

**ÁREAS DE CAPTACIÓN DE
POBLACIÓN DE CENTROS QUE
OFRECEN MANEJO INTEGRAL
DEL ATAQUE
CEREBROVASCULAR ISQUÉMICO
AGUDO EN BOGOTÁ, COLOMBIA**
2.019

Bogotá, D. C. Colombia

**ÁREAS DE CAPTACIÓN DE POBLACIÓN DE CENTROS QUE OFRECEN
MANEJO INTEGRAL DEL ATAQUE CEREBROVASCULAR ISQUÉMICO AGUDO
EN BOGOTÁ, COLOMBIA**

AUTORES:

**IVÁN FELIPE PRADILLA ANDRADE
PAOLA PASTORA POLO PANTOJA
JAIVER ENRIQUE MACEA ORTIZ**

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO
ESCUELA DE MEDICINA Y CIENCIAS DE LA SALUD
UNIVERSIDAD CES
FACULTAD DE MEDICINA
MAESTRÍA EN EPIDEMIOLOGÍA
BOGOTÁ
2.019**

**ÁREAS DE CAPTACIÓN DE POBLACIÓN DE CENTROS QUE OFRECEN
MANEJO INTEGRAL DEL ATAQUE CEREBROVASCULAR ISQUÉMICO AGUDO
EN BOGOTÁ, COLOMBIA.**

AUTORES:

Iván Felipe Pradilla Andrade
Paola Pastora Polo Pantoja
Jaiver Enrique Macea Ortiz

Asesor Metodológico

Alberto Vélez Van Meerbeke, MD, MSc
Neuropediatra epidemiólogo
Profesor Titular de Carrera

Asesor Temático

Alejandro Velázquez Torres, MD, MSc.
Médico Magister Neurociencias
Profesor Asistente de Carrera

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
Magíster En Epidemiología**

UNIVERSIDAD DEL ROSARIO
ESCUELA DE MEDICINA Y CIENCIAS DE LA SALUD
UNIVERSIDAD CES
FACULTAD DE MEDICINA
MAESTRÍA EN EPIDEMIOLOGÍA
BOGOTÁ
2.019

“La Universidad del Rosario y la Universidad CES de Medellín, no se hacen responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”

FICHA TÉCNICA

AUTORES:

Jaiver Enrique Macea Ortiz. Médico Cirujano Universidad Nacional de Colombia. Especialista en Neurología Universidad Nacional de Colombia. Estudiante Maestría en Epidemiología Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario en convenio con el CES. jaiver.macea@urosario.edu.co

Iván Felipe Pradilla Andrade. Médico Universidad de los Andes. Estudiante Maestría en Epidemiología Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario en convenio con el CES. ivan.pradilla@urosario.edu.co

Paola Pastora Polo Pantoja. Médico General Fundación Universitaria San Martín. Especialista en Anestesiología Fundación Universitaria San Martín. Estudiante Maestría en Epidemiología Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario en convenio con el CES. paola.polo@urosario.edu.co

ASESORES:

Alberto Francisco Vélez van Meerbeke. Médico y Cirujano, Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario. Especialista en pediatría, Universidad Autónoma de Madrid. Especialista en Neuropediatría, Universidad Autónoma de Madrid. Especialista en Epidemiología, Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario. Magíster en epidemiología en la Universidad CES. alberto.velez@urosario.edu.co

Alejandro Velásquez Torres. Médico y Cirujano, Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario. Magíster en Neurociencias, Universidad de Salamanca. alejandro.velasquez@urosario.edu.co

AGRADECIMIENTOS

“A mis familiares y amigos, gracias por la paciencia y el apoyo para desarrollar este proyecto.”

JEM

“A mis compañeros de tesis. Sus valiosos aportes, asesorías, comentarios y apoyo incondicional lograron la realización de este trabajo de grado.”

PPP

“A mi familia, por el apoyo, paciencia, entrega y valiosos consejos que permitieron alcanzar el objetivo de esta tesis.”

IFP

A nuestros tutores de tesis, los Doctores Alberto Vélez y Alejandro Velázquez, por su apoyo y asesoría, tanto metodológica como temática, en el desarrollo de este proyecto.

A la Arquitecta Andrea Carolina Torres MSc, Profesora de la Universidad de los Andes, cuyo trabajo cimentó las bases de este proyecto de investigación.

A la Doctora María Alejandra Palacios MD MSc Profesora de la Fundación Universitaria Sanitas por su consejo y ayuda constante durante el desarrollo de esta tesis.

A los docentes de la Universidad CES, por su orientación e instrucción durante esta maestría.

Este trabajo está dedicado a los pacientes que han tenido un infarto cerebral, con el presente proyecto esperamos contribuir a mejorar sus desenlaces y calidad de vida.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	11
ABSTRACT	12
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	16
2. ESTADO DEL ARTE	17
3. MARCO TEÓRICO	19
3.1 ENFERMEDAD CEREBROVASCULAR.....	19
3.1.1 Definición de ataque cerebrovascular isquémico agudo (ACVi).....	19
3.1.2 Epidemiología del ACVi.....	19
3.1.3 Tratamientos del ACVi agudo.....	20
3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS CENTROS DE ATENCIÓN DEL ACVi.....	21
3.3 TRANSPORTE EN ACVi.....	21
3.4 ESTRATO SOCIOECONÓMICO.....	22
3.5 PRINCIPIOS DE EPIDEMIOLOGÍA ESPACIAL.....	23
3.5.1 Autocorrelación Espacial.....	24
3.5.2 Interpolación y Predicción Espacial.....	26
4. OBJETIVOS	31
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	31
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	31
5. HIPÓTESIS	32
5.1 HIPÓTESIS NULAS.....	32
5.2 HIPÓTESIS ALTERNAS.....	32
6. METODOLOGÍA	33
6.1 ENFOQUE METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	33
6.2 TIPO Y DISEÑO DE ESTUDIO.....	33
6.3 UNIDAD DE ANÁLISIS.....	33
6.3.1 Estrategia de simulación y Diseño Muestral.....	34
6.4 DESCRIPCIÓN DE VARIABLES.....	36
6.5 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	38
6.5.1 Fuentes de información.....	38
6.5.2 Instrumento de recolección y Software.....	39
6.5.3 Proceso de obtención de la información.....	41
6.6 CONTROL DE ERRORES Y SESGOS.....	41

6.7	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	42
6.7.1	Patrón de puntos	42
6.7.2	Superficies de <i>Kriging</i>	42
6.7.3	Mapas coropléticos	43
6.7.4	Regresión espacial	43
7.	CONSIDERACIONES ÉTICAS	46
8.	RESULTADOS	47
8.1	ANÁLISIS EXPLORATORIO	47
8.2	PREDICCIÓN ESPACIAL	51
8.2.1	Mapas coropléticos de tiempos de llegada	51
8.2.2	Mapas coropléticos de zonas de captación por momento de la semana	70
8.3	ANÁLISIS POR ESTRATO SOCIOECONÓMICO (ESE): MODELOS DE REGRESIÓN ESPACIAL Y CALIBRACIÓN	76
9.	DISCUSIÓN	78
9.1	FORTALEZAS, LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES PARA FUTUROS PROYECTOS	81
10.	CONCLUSIONES	83
	BIBLIOGRAFÍA	84
	ANEXOS	91
	ANEXO 1. GRÁFICOS DE DISPERSIÓN DE MORAN PARA TIEMPOS DE LLEGADA A CADA CENTRO	91
	ANEXO 2. CÓDIGO DE GENERACIÓN DE PUNTOS ALEATORIOS	97
	ANEXO 3. CÓDIGO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	99
	ANEXO 4. RESPUESTA A DERECHO DE PETICIÓN 2018ER52776 DEL 13 DE JULIO DE 2018, SOLICITANDO DATOS DE DOMINIO PÚBLICO A LA SECRETARÍA DISTRITAL DE SALUD	101

TABLA DE RECURSOS GRÁFICOS: DIAGRAMAS

Diagrama 1.	Planteamiento del problema	15
Diagrama 2.	Unidades de análisis	33
Diagrama 3.	Definición de variables	37

TABLA DE RECURSOS GRÁFICOS: MAPAS

Mapa 1.	Centros de Manejo Integral del ACVi (CMIACVi). Bogotá, Colombia 2.019	35
Mapa 2.	Muestreo de puntos	36
Mapa 3.	Indicadores Locales de asociación espacial (LISA - Local Indicators of Spatial Association) para tiempos mínimos de llegada en la mañana entre semana.	50

Mapa 4. Tiempos de llegada entre semana al centro Clínica Universitaria Colombia.	52
Mapa 5. Tiempos de llegada fin de semana al centro Clínica Universitaria Colombia.	53
Mapa 6. Tiempos de llegada entre semana al centro Clínica del Country.	53
Mapa 7. Tiempos de llegada fin de semana al centro Clínica del Country.	54
Mapa 8. Tiempos de llegada entre semana al centro Fundación Cardio Infantil.	54
Mapa 9. Tiempos de llegada fin de semana al centro Fundación Cardio Infantil.....	55
Mapa 10. Tiempos de llegada entre semana al centro Fundación Santa Fe de Bogotá.	55
Mapa 11. Tiempos de llegada fin de semana al centro Fundación Santa Fe de Bogotá.....	56
Mapa 12. Tiempos de llegada entre semana al centro Clínica de Marly.	56
Mapa 13. Tiempos de llegada fin de semana al centro Clínica de Marly.	57
Mapa 14. Tiempos de llegada entre semana al centro Hospital Universitario Mayor.....	57
Mapa 15. Tiempos de llegada fin de semana al centro Hospital Universitario Mayor.....	58
Mapa 16. Tiempos de llegada entre semana al centro Hospital Militar Central	58
Mapa 17. Tiempos de llegada fin de semana al centro Hospital Militar Central.....	59
Mapa 18. Tiempos de llegada entre semana al centro Clínica los Nogales.	59
Mapa 19. Tiempos de llegada fin de semana al centro Clínica los Nogales.....	60
Mapa 20. Tiempos de llegada entre semana al centro Hospital de la Samaritana.....	60
Mapa 21. Tiempos de llegada fin de semana al centro Hospital de la Samaritana.	61
Mapa 22. Tiempos de llegada entre semana al centro Hospital Universitario San Ignacio. ..	61
Mapa 23. Tiempos de llegada fin de semana al centro Hospital Universitario San Ignacio...	62
Mapa 24. Tiempos de llegada entre semana al centro Hospital de San José Centro.....	62
Mapa 25. Tiempos de llegada fin de semana al centro Hospital de San José Centro.....	63
Mapa 26. Tiempos de llegada entre semana al centro Hospital Infantil Universitario de San José.	63
Mapa 27. Tiempos de llegada fin de semana al centro Hospital Infantil Universitario de San José.	64
Mapa 28. Tiempos de llegada entre semana al centro Hospital Universitario Clínica San Rafael.	64
Mapa 29. Tiempos de llegada fin de semana al centro Hospital Universitario Clínica San Rafael.	65
Mapa 30. Tiempos de llegada entre semana al centro Fundación Clínica Shaio.	65
Mapa 31. Tiempos de llegada fin de semana al centro Fundación Clínica Shaio.....	66
Mapa 32. Tiempos mínimos de llegada entre semana al centro más cercano.	66
Mapa 33. Tiempos mínimos de llegada fin de semana al centro más cercano.....	67
Mapa 34. Zonas de captación mañana (6AM-8AM) entre semana.....	71
Mapa 35. Zonas de captación tarde (5PM-7PM) entre semana.	72
Mapa 36. Zonas de captación noche (9PM) entre semana.....	73
Mapa 37. Zonas de captación mañana (6AM-8AM) fin de semana.	74
Mapa 38. Zonas de captación tarde (5PM-7PM) fin de semana.	75
Mapa 39. Zonas de captación noche (9PM) fin de semana.	76

TABLA DE RECURSOS GRÁFICOS: TABLAS

Tabla 1. Estado del Arte.....	17
Tabla 2. Tabla de variables del estudio	38
Tabla 3. Control de Sesgos.....	41
Tabla 4. Resumen del análisis estadístico realizado por objetivos propuestos.....	44
Tabla 5. Descripción de puntos muestreados entre semana y fin de semana.	47

Tabla 6. Distribución de grupos de estrato socioeconómico en el conjunto de datos censales DANE y en puntos muestreados.....	48
Tabla 7. I de Moran para distancia a cada centro entre semana.....	48
Tabla 8. I de Moran para distancia a cada centro para el fin de semana.....	49
Tabla 9. Coeficientes de determinación para validación cruzada del modelo de kriging.....	51
Tabla 10. Área y población cubierta entre semana por centro.....	67
Tabla 11. Área y población cubierta fin de semana por centro.	69
Tabla 12. Modelos de auto regresión espacial para el efecto del estrato.	77

TABLA DE RECURSOS GRÁFICOS: GRÁFICOS

Gráfico 1. Ejemplo de segmentación de Voronoi construida en QGIS	27
Gráfico 2. Semivariograma muestral del tiempo de llegada al centro más cercano.....	29
Gráfico 3. Dispersión de Moran para tiempos de llegada a cada centro en hora pico mañana entre semana.	91
Gráfico 4. Dispersión de Moran para tiempos de llegada a cada centro en hora pico tarde entre semana.	92
Gráfico 5. Dispersión de Moran para tiempos de llegada a cada centro en hora control noche entre semana.	93
Gráfico 6. Dispersión de Moran para tiempos de llegada a cada centro en hora pico mañana fin de semana.....	94
Gráfico 7. Dispersión de Moran para tiempos de llegada a cada centro en hora pico tarde fin de semana.....	95
Gráfico 8. Dispersión de Moran para tiempos de llegada a cada centro en hora control noche fin de semana.....	96

ABREVIACIONES

ACVi: Ataque Cerebrovascular Isquémico
API: Interfaz de Programación de Aplicaciones
CMIAVCi: Centros con Manejo Integral del ACVi
CRUE: Centro Regulador de Urgencias y Emergencias
CSC: Comprehensive Stroke Center
DALY: Años de Vida perdidos Ajustados por Discapacidad
DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DM: Diabetes Mellitus
ECV: Enfermedad Cerebrovascular
ESE: Estrato Socioeconómico
GIS: Sistemas de Información Geográfica
HTA: Hipertensión Arterial
NIHSS: Institutos Nacionales de Salud de los Estados Unidos
PSC: Primary Stroke Center
RIPS: Registros Individuales de Prestación de Servicios de Salud
rTPA: Activador del Plasminógeno Tisular recombinante
SDS: Secretaría Distrital de Salud de Bogotá
TAC: Tomografía Axial Computarizada

RESUMEN

Objetivo: Describir las áreas de captación de los centros que realizan manejo endovascular para el ACVi agudo de la ciudad de Bogotá, teniendo en cuenta las condiciones de tráfico.

Métodos: Se seleccionaron aleatoriamente centroides de las manzanas censales de Bogotá correspondientes al censo DANE del 2005. De acuerdo con datos oficiales, se escogieron tres condiciones de tráfico entre semana y en fines de semana. Utilizando la Interfaz de Programación de Aplicaciones de Matriz de Distancia de Google®, se solicitó el tiempo de desplazamiento en tráfico desde cada punto a cada uno de los 14 centros de manejo integral del ACVi identificados. Se muestrearon un total de 2850 puntos entre semana, y 1420 los fines de semana, para un total de 179.340 tiempos de llegada. Se construyeron mapas ráster utilizando kriging universal y se asignaron tiempos de llegada a cada manzana censal. Utilizando estos valores se construyeron mapas coropléticos y se calcularon áreas y poblaciones de cobertura. Se ajustaron modelos autoregresivos espaciales para explorar la contribución del estrato socioeconómico. Todos los análisis utilizaron software libre.

Resultados: Los tiempos mínimos de llegada al centro más próximo mostraron una alta autocorrelación espacial. Las condiciones de tráfico afectaron significativamente las áreas de cubrimiento óptimo, con diferencias de hasta un 73% entre las áreas máximas y mínimas. No se observó un patrón uniforme de los cambios en las áreas en respuesta a las condiciones de tráfico. Al calcular áreas de exclusividad para cada centro, se encontró que 5 centros abarcan la mayoría de la ciudad, cubriendo poblaciones por encima de las recomendaciones internacionales. Los modelos autoregresivos espaciales mostraron una contribución estadísticamente significativa para el estrato socioeconómico bajo. Sin embargo, la magnitud de este efecto no es clínicamente significativa.

Conclusiones: Las condiciones de tráfico en la ciudad de Bogotá afectan significativamente las áreas de cubrimiento óptimo de los centros de manejo integral del ACVi. Las zonas de captación de cada centro se encuentran distribuidas de manera desigual, con 5 centros cubriendo la mayoría del área urbana. El estrato socioeconómico no mostró una asociación clínicamente significativa con el tiempo de llegada en modelos autoregresivos espaciales.

Palabras clave (DeCS): Procedimientos endovasculares, Accidente cerebrovascular, Análisis Espacial, Transporte de Pacientes.

ABSTRACT

Objective: To describe the catchment areas of medical centers with comprehensive stroke management in Bogotá, considering traffic conditions.

Methods: We randomly selected centroids for census tracts in Bogotá for the 2005 DANE census. Based on official data, we selected three traffic conditions for weekdays and weekends. Using Google's Distance Matrix API, we requested times in traffic from points to each of the 14 medical centers with comprehensive stroke management. We sampled a total of 2850 points throughout the week and 1420 for the weekends, for a total of 179.340 transport times. We constructed raster maps using universal kriging and assigned corresponding values to each census track that was not explicitly sampled. Using these values, we constructed choropleth maps and calculated the area and populations covered. Spatial autoregressive models were explored for the association between socioeconomic status and arrival times. All analyses made use of free software.

Results: Arrival times to the closest center showed a high spatial autocorrelation. Traffic conditions significantly affected catchment areas, with reductions of up to 73% from maximal to minimal areas. We did not observe a uniform pattern for changes in areas under the various traffic conditions. When mapping the exclusive catchment areas for each center, we observed that 5 medical centers covered the majority of the city's area and population, with a population to center ratio exceeding international recommendations. Spatial autoregressive models showed a statistically, but not clinically, significant contribution of socioeconomic status to arrival times to the nearest center.

Conclusions: Traffic conditions in Bogotá significantly affect optimal coverage areas for medical centers offering comprehensive stroke management. Catchment areas showed that 5 centers covered most of the city, exceeding international recommendations. Socioeconomic status did not show a clinically significant association with transport times to the nearest centers on spatial autoregressive models.

Keywords (MeSH): Endovascular procedures, Stroke, Spatial Analysis, Transportation of patients.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de la enfermedad cerebrovascular (ECV), el ataque cerebrovascular isquémico agudo (ACVi) genera una alta carga de morbilidad y mortalidad a nivel mundial. En 2.012 y en años recientes constituyó la segunda causa de muerte no violenta y la tercera causa de discapacidad (4,5% de los años de vida perdidos ajustados por discapacidad-DALY) (1). A pesar de que existen múltiples estudios que dan cuenta de la efectividad y seguridad de las terapias de reperfusión, el tratamiento en las fases agudas sigue siendo infrecuente (2,3). Dentro de las principales limitaciones está el no reconocimiento de los síntomas, la falta de consulta oportuna a los servicios de urgencias y la inexistencia de equipos organizados para el manejo inmediato en los centros de atención (4).

El tiempo de evolución de los síntomas es uno de los marcadores más importantes para obtener desenlaces clínicos favorables. Se calcula que con cada minuto que pasa se pierden aproximadamente 1,9 millones de neuronas en un infarto de circulación anterior, con cada hora se acelera el envejecimiento en 3,6 años (5), y por cada quince minutos de no reperfusión se altera de manera significativa la mortalidad intrahospitalaria y la discapacidad medida con escala de Rankin modificado (6).

No todos los centros médicos están equipados para dar manejo a las distintas presentaciones de ACVi. En particular, la complejidad de la infraestructura requerida para ofrecer manejo endovascular agudo al ACVi es una barrera importante. Un análisis del estudio MR CLEAN europeo mostró que se necesita un centro que ofrezca manejo endovascular del ACVi por cada millón de habitantes (7). En Bogotá, se cuenta con 14 centros con estas características a la fecha (abril 2.019). Dadas las proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), la población de Bogotá no excedería los 9 millones de habitantes en 2.019 (8). Esto sugeriría que el número de centros que ofrecen este manejo es más que adecuado para cubrir las necesidades de la población. Sin embargo, una amplia oferta en este tipo de servicios no garantiza que la distribución espacial de los centros sea homogénea en toda la ciudad y permita la atención oportuna para toda la población.

El estudio de la calidad de atención en el ACVi ha incorporado una serie de conceptos importantes que son frecuentemente medidos y reportados, como los tiempos desde ingreso hasta valoración por especialista, puerta-aguja y puerta-ingle (9). Los tiempos que comprenden desde el inicio de los síntomas hasta la llegada al centro asistencial han recibido menor atención.

Un elemento poco analizado es el efecto que las condiciones de tráfico adversas puedan tener sobre los tiempos de traslado hasta centros asistenciales que ofrezcan manejo integral del ACVi. En efecto, un estudio previo realizado en Melbourne, Australia no encontró diferencias significativas en la magnitud de las áreas de captación de sus centros de manejo de ACVi bajo distintas condiciones de tráfico (10). Este resultado no es directamente aplicable en nuestro medio. La ciudad de Bogotá cuenta con la particularidad de experimentar una alta congestión vial, y en la

clasificación del 2.018 publicada por la firma de monitoreo y análisis del tráfico INRIX, se ubica en la primera posición a nivel mundial en número de horas perdidas en tráfico (272 horas Vs. 118 horas en Melbourne) (11).

Para establecer la situación del fenómeno en Bogotá, se solicitó al Centro Regulador de Urgencias y Emergencias (CRUE) de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá (SDS), a través de un derecho de petición (ANEXO 4) los datos sobre llamadas, tiempos de transporte y características de los pacientes que buscaron ayuda a través de la línea 123. Sin embargo, la calidad de los datos no permitió construir una distribución empírica del origen de llamadas de urgencias con diagnósticos compatibles con ACVi. Se encontraron incongruencias en las edades, sexo y tiempos de traslado.

Adicionalmente, se solicitaron los datos de los Registros Individuales de Prestación de Servicios de Salud (RIPS) con diagnósticos compatibles con ACVi. La SDS respondió con medidas de resumen de incidencia y prevalencia. Sin embargo, estos datos resultaron inverosímiles, ya que estuvieron muy por debajo de lo esperado (22,53 por cada 100.000 habitantes vs 545 por cada 100.000 habitantes en 2.008 en Estados Unidos y 97,3 casos por cada 100.000 habitantes según las proyecciones para Colombia) (12,13). De forma similar, el número de urgencias identificadas como ACVi en la red pública fue considerablemente más bajo de lo esperado.

Los datos oficiales muestran que el sistema de urgencias y emergencias no es insensible a las condiciones de tráfico, y estudios realizados en otras ciudades sugieren que el transporte en ambulancias resulta en peores desenlaces para otras condiciones altamente sensibles a los tiempos de traslado (heridas por arma cortopunzante y de fuego) (14,15).

Datos de acceso público, solicitados bajo derecho de petición a la SDS, (ANEXO 4) mostraron que en el 2.017 para registros codificados con diagnóstico I64 de la Clasificación Internacional de Enfermedades Versión 10 (Accidente Vascular Encefálico Agudo, No especificado), el tiempo entre la llamada solicitando un servicio de ambulancia a la línea 123 y la llegada de este servicio al sitio de origen tiene una mediana de 44,6 minutos (rango intercuartílico 27,6-68,1). En este mismo conjunto de datos se encontró una mediana de 98,8 minutos (rango intercuartílico 74,8-130,3) entre el momento de la llamada y la llegada al centro asistencial. Dado que el criterio de calidad planteado en otros estudios es de llegada en no más de 30 minutos, se pone en duda la idoneidad de este medio de transporte (16).

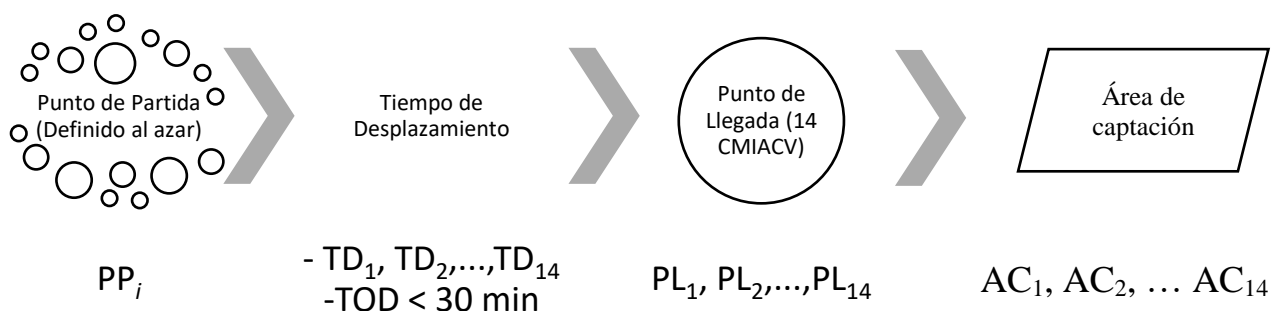
Las inequidades en la incidencia, el manejo y el desenlace del ACVi son múltiples y han sido descritas previamente (17,18). La distribución dispar de factores de riesgo y del acceso a servicios médicos produce desenlaces clínicos desfavorables para las poblaciones con menores recursos económicos. En 2006 una revisión mostro que las personas con menores ingresos tenían una mayor incidencia y severidad de esta condición, acompañados de peores desenlaces (19).

En un estudio realizado en China por Yan et al. (20) se mostró que los pacientes de estratos socioeconómicos más bajos en la provincia de Shanghai tenían mayor mortalidad (13.1% vs 5.1%) y tendencia a presentar desenlaces clínicos desfavorables (discapacidad y recurrencia de ACVi no fatal). Esto aplicaba no sólo para el estrato socioeconómico individual sino también para el barrio de residencia de los individuos. En otro estudio iraní, un bajo nivel educativo y vivir en un área económica menos privilegiada tenía una influencia significativa en la funcionalidad (OR 6.1 IC 95% 1.3-28.4; $p = 0.02$) y mortalidad (aHR 1.84; IC 95% 1.05-3.23; $p = 0.03$) a uno y cinco años, respectivamente (21).

Estas diferencias no aplican sólo para las comparaciones entre países de altos y bajos ingresos, sino que se han encontrado diferencias importantes entre los individuos de altas y bajas clases socioeconómicas dentro de cada país (22,23).

Desde la perspectiva gubernamental y de planeación es importante definir las áreas apropiadamente cubiertas por cada centro asistencial. Esto ayudaría a distribuir de forma más eficiente los servicios ofertados.

Diagrama 1. Planteamiento del problema



PP_i se refiere a la ubicación geográfica (long. y lat.) donde se simuló la ocurrencia de un evento de ACV
 TD₁ a TD₁₄ es el tiempo real de desplazamiento con las condiciones de tráfico usuales en la ciudad de Bogotá a cada uno de los Centro de Manejo Integral del ACV (CMIACV)
 TOD es el Tiempo óptimo de Desplazamiento definido como menor a 30 minutos.
 PL₁ a PL₁₄ se refiere a la ubicación geográfica (long. y lat.) de cada uno de los CMIACV
 AC₁ a AC₁₄ es el segmento geográfico en el que el evento puede llegar en menos de 30 minutos al CMIACV

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Aunque existe evidencia de la efectividad de la terapia trombolítica intravenosa y el manejo endovascular en la reperusión de los pacientes con ACVi, el porcentaje de afectados que se beneficia de estas intervenciones es muy bajo, debido a diversas razones (4). Uno de los factores menos evaluados es el reconocimiento por parte de la ciudadanía de los síntomas que sugieren el curso de un ACVi y de los sitios donde debe acudir en caso de presentarlos. En nuestro entorno, las áreas de captación de los CMIACV no han sido evaluadas, lo que constituiría el primer paso para mostrar a la población general cuáles son los lugares a los que debe consultar de acuerdo con el lugar de ocurrencia del evento. Estas áreas han sido definidas en otras poblaciones y funcionan de manera organizada y eficiente (24,25).

El estudio de los tiempos de desplazamiento bajo condiciones de tráfico en una ciudad puede resultar en altos costos. La necesidad de establecer una caracterización de viajes y rutas exigiría un monitoreo de usuarios individuales en tiempo real. Sin embargo, la logística de dicha aproximación rápidamente superaría la capacidad económica y técnica de entidades oficiales. La Secretaría de Movilidad, por ejemplo, se limita a caracterizar las velocidades promedio en las vías principales de la ciudad (26).

Por otra parte, la información sobre los medios y los tiempos del transporte prehospitalario no son de recolección usual en los servicios de urgencias. El recurso oficial, consolidado en bases de datos proporcionadas por el CRUE (ver ANEXO 4), presenta limitaciones asociadas a la calidad del dato.

Ante estas dificultades, este estudio derivó datos de la interfaz de programación de aplicaciones (API, por sus siglas en inglés) de Matriz de Distancia de Google. Este servicio incorpora datos en tiempo real de usuarios de Google Maps, Waze, y Android (con autorización del usuario), calculando de forma fluida diferentes rutas y sus tiempos de llegada. El uso de esta funcionalidad optimiza los recursos económicos a la vez que accede a la herramienta más informada sobre tiempos de desplazamiento en nuestro medio. Junto a esto, el uso de metodologías de análisis espacial permitió definir las áreas de captación de cada centro.

Con este conocimiento y bajo la premisa “tiempo es cerebro” (5) se podría plantear para futuros estudios, la validación del modelo con datos reales, lo que a largo plazo podría contribuir a la optimización del recurso económico y a modificar el desenlace clínicos de los afectados (27).

1.3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son las áreas de captación de población de los centros de manejo endovascular del ACVi agudo teniendo en cuenta las condiciones de tráfico en la ciudad de Bogotá?

2. ESTADO DEL ARTE

Se llevaron a cabo búsquedas utilizando los términos MeSH “spatial analysis”, “stroke”, y “social class” en las bases de datos MEDLINE, y Proquest Theses & Dissertations Global, seleccionando los trabajos que compartían una metodología similar al presente proyecto.

Tabla 1. Estado del Arte

Autor (año) Localización	Fuentes de datos	Centros incluidos	Unidad de análisis/ Muestreo	Tiempos de traslado	Conclusión
Phan et al. 2017(10). Melbourne, Australia (~4 millones de habitantes)	Datos generados aleatoriamente utilizando distribución conocida de casos incidentes de ACVi en cada código postal.	2 centros de referencia con manejo endovascular, 2 centros con la capacidad de realizar este manejo, pero no designados como de referencia. 6 centros adicionales sin esta capacidad	Código postal, y Generación de coordenadas aleatorias con probabilidad ajustada a datos de incidencia de ACVi georreferenciados.	Determinados a partir de solicitudes al API de Google.	Los datos derivados del API de Google, y utilizando el estimado optimista, son una buena aproximación de los tiempos reales de traslado de ambulancias en la definición de áreas de captación.
Cheng et al., 2016 (28). Shenzhen, China (~12.5 millones de habitantes)	Datos generados aleatoriamente con pesos alterados de acuerdo con el número de habitantes en cada unidad de análisis	2008 instituciones de salud	Sub-districtos (n=58). Muestreo ajustado al número de habitantes en cada sub-districto.	Datos de NavInfo de tiempos de traslado desde el centro administrativo de cada sub-districto a los centros médicos. Datos consultados usando API de Baidu.	El análisis de indicadores espaciales de autocorrelación espacial permitió identificar districtos con relativa abundancia y escasez en su acceso a servicios de salud
Chen et al., 2015 (29). Kaohsiung, Taiwan (~2,8 millones de habitantes)	Revisión retrospectiva de 3 años de una cohorte de paro cardiaco por fuera del hospital. Datos cruzados de Departamento de Bomberos y Hospitales de destino.	Todos los hospitales en la ciudad, independiente del nivel de complejidad	Eventos individuales de paro cardiaco por fuera del hospital	Análisis de redes utilizando ArcGIS complementado con Kriging para construcción de superficie cubriendo la totalidad del área de la ciudad.	Estudio identificó factores que afectan la supervivencia incluyendo el tiempo de respuesta de los servicios de emergencia, disponibilidad de DEA, y sexo femenino. Kriging permitió extender los datos y observar disparidades entre área rural y urbana.

<p>Van Rheenen, 2015 (25). Alberta, Canadá (~4,3 millones de habitantes)</p>	<p>Análisis retrospectivo de 367 eventos de ACV entre abril 2010 y marzo 2013 de un centro de manejo integral de ACV. Base de datos de todos los pacientes hospitalizados en Alberta</p>	<p>Todos los centros médicos de Alberta con énfasis en aquellos con manejo integral del ACV.</p>	<p>Zonas de diseminación . Unidad censal mínima en ese país con no más de 700 habitantes.</p>	<p>Análisis de redes y datos de centro de manejo integral. Se corroboró la exactitud de los estimados generados por análisis de redes.</p>	<p>Estudio identificó el porcentaje de la población que se encontraba dentro de varios umbrales de tiempo de llegada a los centros más cercanos. El análisis de redes fue buen predictor de los tiempos reales observados, con mayores discrepancias en áreas urbano, probablemente debido a efectos del tráfico.</p>
--	--	--	---	--	---

Es importante anotar que literatura reciente sobre el traslado prehospitalario en trauma sugiere estudiar el problema utilizando métodos de análisis como el estudio de la autocorrelación espacial utilizando la I de Moran (Global y Local), la predicción espacial con métodos geoestadísticos como el kriging, y datos censales georreferenciados (30).

3. MARCO TEÓRICO

3.1 ENFERMEDAD CEREBROVASCULAR

La enfermedad cerebrovascular (ECV) se define como cualquier anomalía en el cerebro que ocurre como consecuencia de una lesión sobre los vasos sanguíneos, comprende un grupo heterogéneo de condiciones que, aunque comparten algunos factores de riesgo, difieren en su fisiopatología y manifestaciones clínicas. Dentro de ellas el infarto cerebral isquémico corresponde aproximadamente al 75% de los casos, la hemorragia intraparenquimatosa el 24% y la trombosis de senos venosos cerebrales al 1% (31). En cualquiera de estos grupos se puede presentar deterioro cognitivo vascular, que actualmente es la segunda causa más frecuente de demencia a nivel mundial, luego de la enfermedad de Alzheimer (32). Se deja por fuera de este grupo a la ruptura de aneurismas arteriales y el trauma craneoencefálico como causantes de hemorragias subaracnoideas y los sangrados intracraneales no parenquimatosos, respectivamente.

3.1.1 Definición de ataque cerebrovascular isquémico agudo (ACVi)

Es una forma de enfermedad cerebrovascular que se caracteriza por un déficit neurológico súbito no convulsivo que ocurre como consecuencia de la obstrucción total o parcial de un vaso sanguíneo arterial. Requiere de dos elementos importantes para clasificarse como tal: el primero es la naturaleza focal del ataque (aunque en algunos casos puede haber hallazgos clínicos generalizados, que no obstante son la respuesta a una lesión focal e. g. coma súbito por lesión del tegmento pontino) y el segundo es la naturaleza permanente del déficit cuando no se interviene, es decir, la irreversibilidad total o parcial de los síntomas (13,31). A pesar de todo lo anterior, hay personas que tienen ataques silentes por ocurrir en áreas no elocuentes clínicamente.

3.1.2 Epidemiología del ACVi

La ECV como grupo de condiciones es muy frecuente, en Estados Unidos se encontró una prevalencia de 2,6% en mayores de 20 años entre 2.009 y 2.012, de ellos el ACVi corresponde al 75-85% de todos los casos (31,33). El 17,8% de los adultos mayores de 45 años en ese país habían presentado síntomas de un ACVi, y hasta el 28% eran infartos cerebrales silentes. El riesgo de recurrencia es aproximadamente del 20% a 5 años, aunque viene en descenso. A nivel mundial corresponde a la segunda causa de muerte y es la tercera causa más frecuente de discapacidad. Desafortunadamente, esta condición aumenta la carga de enfermedad mundial desde hace varias décadas en países en vías de desarrollo (1).

En el único estudio poblacional realizado en Colombia sobre esta enfermedad, se encontró una prevalencia de 2,7% en el año 1.992 con una tasa de incidencia de 88,9/100.000 habitantes y una mortalidad de 16,2/100.000 habitantes (34). Los costos

por esta enfermedad son también muy altos, en Colombia se calcularon para el año 2.008 en COP \$ 450.000'000.000 (13).

Como todas las enfermedades cardiovasculares, la ECV tiene factores de riesgo modificables y no modificables (35), de ellos la hipertensión arterial (HTA), dislipidemia y la diabetes mellitus (DM) son los más importantes, sin desconocer que en los últimos años se han reconocido otros factores emergentes como el síndrome de apnea hipopnea obstructiva del sueño, entre otros (33).

3.1.3 Tratamientos del ACVi agudo

Dada la alta prevalencia, carga de enfermedad y secuelas que genera el ataque cerebrovascular agudo, desde los años 70 del siglo pasado se han realizado varios estudios con el fin de dar tratamiento oportuno a este grupo de pacientes, la mayoría de ellos con terapias trombolíticas intravenosas que requiere la evaluación de la escala de los institutos nacionales de salud de los Estados Unidos (NIHSS, por sus siglas en inglés) (2,36–41) y desde 2.015 con terapias endovasculares (7,42–45).

A partir de los hallazgos del estudio de los NIHSS publicado en 1.995 (40), la agencia regulatoria en Estados Unidos autorizó el uso del activador del plasminógeno tisular recombinante (rTPA, por sus siglas en inglés) para el manejo de los pacientes con ACVi dentro de las tres primeras horas luego del inicio de los síntomas. Luego la ventana de tiempo se extendió de 3 horas a 4,5 horas en Europa, Colombia y otros países luego del tercer estudio colaborativo europeo (2) y, finalmente se vienen usando dispositivos endovasculares a partir del estudio MR CLEAN y otros publicados en 2.015 (7,42–45). Sólo los estudios de terapia endovascular tienen en cuenta pacientes con síntomas de más de 4,5 horas de evolución, todos los estudios de terapia trombolítica intravenosa incluyeron pacientes con tiempo menor a este límite. El estudio EXTEND-IA tuvo además en cuenta, que en los pacientes con obstrucción proximal se encontrara tejido salvable a través de una técnica de perfusión por tomografía (45).

En el año 2.018, además se publicaron dos nuevos estudios que extendieron el tiempo de ventana terapéutica hasta 16 (46) y 24 (47) horas de iniciados los síntomas y que abren una nueva oportunidad para los pacientes más afectados.

En la actualidad y gracias a los estudios mencionados anteriormente, se ofrece terapia de reperfusión vascular a pacientes dentro de las primeras seis horas de iniciados los síntomas y en algunos casos incluso más allá de ese tiempo. Sin embargo, es necesario realizar imágenes diagnósticas de perfusión cerebral para precisar que no existan signos tempranos de infarto cerebral que empeoran el desenlace clínico de los pacientes, también hay que evaluar la cantidad de tejido salvable y el tamaño del

infarto cerebral, especialmente en el grupo de más de 6 horas y con obstrucción de vaso proximal (13).

Además de esta aproximación, que corresponde a tratar cada uno de los eventos que se presentan con el fin de maximizar la independencia del enfermo y disminuir la fatalidad, se han propuesto otras estrategias para disminuir la carga que genera el ACVi pero que están fuera del alcance de este trabajo (48).

3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS CENTROS DE ATENCIÓN DEL ACVi

Con el advenimiento de tratamientos para el ACVi, el manejo de esta enfermedad pasó de ser expectante a activo, con requerimiento de un equipo entrenado que tome decisiones terapéuticas rápidas según la condición clínica del enfermo. En Norteamérica, esto ha llevado a la clasificación de los centros que realizan el manejo de estos pacientes: el primer grupo y de más baja complejidad está representado por los centros primarios de atención del ACVi (PSC, *Primary Stroke Center*) y los de alta complejidad, que corresponde a los centros de atención especializada (CSC, *Comprehensive Stroke Center*), cuya principal diferencia radica en el entrenamiento del personal asistencial y la capacidad de realizar manejo endovascular (49)

En Colombia esta clasificación es diferente, en la guía de práctica clínica para manejo del ACVi de 2.015 (13) sólo se definen centros de baja y mediana o alta complejidad, siendo los primeros aquellos lugares donde no se ofrecen terapias de reperfusión vascular y se consideran importantes en el diagnóstico temprano y la pronta remisión.

A pesar de esta clasificación, estos servicios no se encuentran claramente definidos, ni se han distribuido para hacer manejo por áreas específicas dentro de las ciudades. En la mayoría de las poblaciones intermedias estos centros no existen y la capacidad de transporte oportuno hacia áreas metropolitanas es reducida.

3.3 TRANSPORTE EN ACVi

Los desenlaces clínicos favorables en ACVi se dan al evitar la muerte del enfermo y lograr la mejor funcionalidad, esto sólo es posible lograrlo a través de la administración oportuna de la terapia de reperfusión adecuada para cada paciente (50). Para lograrlo, es necesario que existan tiempos cortos entre el inicio de los síntomas y la administración de la terapia trombolítica o el procedimiento endovascular.

Dado que “el tiempo es cerebro” (5) se ha empezado a investigar la mejor estrategia de tratamiento cuando se acude vía telefónica a los servicios de atención prehospitalaria (51). Se han planteado dos modelos: en el primero el paciente va a un centro de atención primaria del ACVi (PSC) donde se identifica si es candidato a

trombolisis y se inicia; en el mismo lugar se evidencia si hay obstrucción de vaso proximal y se remite a un centro de atención especializada (CSC). Esta estrategia es conocida como “*drip and ship*”. La segunda estrategia consistente en enviar a todos los pacientes directamente a un centro de atención especializada (CSC), esta aproximación se ha denominado “*mothership*” (51).

Existen al menos 3 escalas desarrolladas en inglés para identificar, basados en las características del paciente, si hay obstrucción de gran vaso y que con esta información los equipos paramédicos de atención en escena decidan el tipo de centro de manejo del ACVi al cual debe ser llevado el paciente (52). En el Reino Unido se ha propuesto, para trombolisis intravenosa, que el tiempo ideal de transporte debe ser menor a 30 minutos (16) y Saver et al. (53) encontraron que los desenlaces clínicos eran mejores cuando se llegaba al centro de reperfusión dentro de la primera hora de inicio de los síntomas.

Teniendo en cuenta que los tiempos de traslado influyen en los desenlaces, Milne et al. hicieron un modelo matemático para definir la mejor opción de transporte y encontraron que en Estados Unidos y Canadá vale la pena que los afectados pasen primero por el PSC sólo si allí logran administrar la trombolisis intravenosa en los primeros 30 minutos desde la llegada del paciente al servicio de urgencias y si los CSC están a más de 45 minutos de distancia de los primeros (54).

Ya se ha demostrado que el traslado en vehículos tipo ambulancias favorece mejores desenlaces clínicos en los pacientes. Sin embargo, en nuestro país no es infrecuente que los traslados se hagan en vehículos de transporte público y particulares (53,55).

En Colombia, el Centro Regulador de Urgencias y Emergencias está reglamentado por medio de la resolución 1220 del 8 de abril de 2.010, emitida por el Ministerio de Salud y Protección Social, en la que se reglamenta la existencia de los Centros Reguladores de Urgencias y Emergencias (CRUE), con el fin de garantizar la accesibilidad y la oportunidad a la población en situaciones de urgencias, emergencias o desastres. Están organizados administrativamente para prestar servicios las 24 horas y a ellos son direccionados todo tipo de eventos de atención prehospitalaria.

3.4 ESTRATO SOCIOECONÓMICO

El estrato socioeconómico es una clasificación de los inmuebles residenciales que deben recibir servicios públicos con el fin de hacer un cobro diferencial de estos de acuerdo con las capacidades de pago. En Colombia se realiza por parte del Comité Permanente de Estratificación, que se encuentra regulado por la ley 732 de 2002 y se basa en la reglamentación dada por la Ley 142 de 1994. El cálculo se basa en el número de viviendas en una subzona, número de baños, número de pisos,

características de la cubierta, enchape de la cocina, etc (56). Una aplicación de esta metodología es que permite orientar la planeación de la inversión pública, como la expansión y mejoramiento de infraestructura de servicios públicos y vías, salud y saneamiento.

El impacto que estas condiciones económicas tiene sobre la mortalidad y desenlaces clínicos en ACVi ya ha sido estudiado y en general se reconoce que bajos niveles de ingreso están relacionados con mayor presentación de los ataques, mayor mortalidad y menor probabilidad de recuperación funcional(19–22).

3.5 PRINCIPIOS DE EPIDEMIOLOGÍA ESPACIAL

El análisis de enfermedades complejas como el cáncer, la ECV, DM, entre otras, requiere de múltiples aproximaciones ya que no son determinadas exclusivamente por los elementos biológicos propios de los individuos que las padecen. Los factores culturales, del ambiente físico y sociales se suman a la susceptibilidad genética de sufrir una enfermedad. Una aproximación que integra los elementos antes mencionados en las diversas agrupaciones humanas es la epidemiología espacial. Aunque es una disciplina utilizada desde los albores de la epidemiología (el trabajo de John Snow sobre la epidemia del cólera en Londres es el mejor ejemplo), su uso sólo ha crecido en las últimas décadas (57).

Dentro del desarrollo de esta área, se han generado tres perspectivas de uso, una aproximación tradicional, que busca hacer mapeo y análisis de agrupaciones de enfermedad y el análisis ecológico, elementos que usan técnicas de cartografía a través de sistemas de información geográfica (GIS, por sus siglas en inglés). La otra aproximación es el mapeo de eventos agudos en salud, por ejemplo, en epidemias y desastres, y en el seguimiento de la dispersión de agentes tóxicos ambientales, con el fin de crear las mejores estrategias de contención y manejo. La tercera corresponde a la posibilidad de aplicar lo encontrado en las aproximaciones anteriores a la comunidad, esta es una estrategia interesante porque permite integrar los datos obtenidos directamente de las poblaciones; con esto se puede entregar luego a esos mismos grupos, información que les permita organizar su entorno con el fin de mejorar sus condiciones de salud (57).

En ACVi ya se han hecho varios estudios de análisis geoespacial sobre la distribución y tiempos de traslado hacia los centros que ofrecen terapias de reperfusión (51,52,54,58). Además de estos, van Rheenen utilizó GIS para hacer un análisis epidemiológico espacial del ACVi en Alberta, Canadá. Dentro de los elementos analizados estuvo la distribución de los casos en el estado, la influencia de factores socioeconómicos y nivel educativo en los tiempos de distancia hasta los CSC y la mortalidad. También comparó los tiempos de transporte reales en ambulancia con los

predichos por un sistema computacional (ArcGIS) demostrando que para esa población eran razonables (tiempo real correspondió al 70% del predicho) (25).

3.5.1 Autocorrelación Espacial

La independencia de las observaciones que es parte de los supuestos estadísticos de varios métodos de análisis es algo que no se puede presumir en un análisis espacial. La proximidad espacial puede dar lugar a proximidad en el espacio de otras variables de la unidad de estudio. Esto es a la vez un impedimento y una ventaja. Por un lado, la presencia de esta dependencia en las observaciones lleva a la violación de los supuestos fundamentales sobre la estructura de los residuales. Sin embargo, esta dependencia puede utilizarse como herramienta predictiva, basándose en que se espera que datos próximos en el espacio sean similares en otros atributos también. Pare poder hacer uso de esto, la noción de “proximidad” debe ser formalizada matemáticamente, y la diferencia entre métodos de análisis con frecuencia se encuentra en cómo se realice esta formalización. Los estadísticos utilizados para determinar la presencia de autocorrelación espacial evalúan la similitud entre un atributo de mediciones tomadas a una cierta distancia la una de la otra. En este caso se considerarán las dos versiones de la I de Moran como indicadores de autocorrelación espacial global y local.

I de Moran Global vs. I de Moran Local

La I de Moran Global fue construida como un estadístico que permite detectar la presencia de algún tipo de arreglo espacial de forma objetiva. Su valor oscila entre -1 y 1, y varía de acuerdo con nociones intuitivas sobre la organización. Una I de Moran de 1 describiría, por ejemplo, una región simétricamente dividida en un atributo binario. Por otro lado, una I de Moran de -1 correspondería a una distribución uniforme de estos datos, similar a un tablero de ajedrez. Matemáticamente, la I de Moran se puede escribir como:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}$$

En donde n es el número de objetos espaciales, y es el atributo de interés, y w_{ij} es el peso espacial entre los objetos i y j .

El valor esperado de este estadístico se puede escribir como:

$$E[I] = \frac{-1}{n-1}$$

De modo que la aleatoriedad absoluta se encontrará alrededor de este valor para un número n de puntos. Es fácil ver que este valor se aproximará a cero a medida que incrementa el número de puntos.

Es importante notar, que el atributo no está definido de forma exclusiva en $\{0,1\}$, sino en \mathbb{R} . De hecho, la I de Moran no es el estadístico ideal para analizar patrones de puntos con atributos binarios (existencia vs. no existencia del punto).

Las distribuciones analíticas de Moran son difíciles de calcular y dependen de supuestos excesivamente restrictivos. Como alternativa se ha planteado realizar un test de permutaciones, en el que, para cada permutación, los valores correspondientes a cada punto se desordenan y se asignan a otros. Utilizando los valores obtenidos para la I de Moran en cada permutación, se puede construir una distribución empírica, que produce a su vez un pseudo-valor p . Este método ha sido integrado en varios GIS (59,60).

Con respecto al análisis propuesto, se espera que los tiempos de llegada a un centro particular muestren una autocorrelación espacial alta, puesto que los tiempos tienden a ser mayores para distancias desde el centro lo suficientemente grandes. Este análisis se presentará por rigor estadístico en el análisis, procediendo desde estadísticos globales de autocorrelación espacial a los locales. Si bien no sería sorprendente encontrar un valor significativo para los tiempos de llegada a un centro dado, el valor de este estadístico es de interés para el tiempo mínimo de llegada al centro más cercano. Si los centros, y su accesibilidad están uniformemente distribuidos en el espacio, se espera que este estadístico tenga un valor de entre -1 y 0 , siendo marcadamente superior a cero si hay agrupaciones.

I de Moran Local de Anselin

A pesar de permitir la detección de patrones formalmente, la I de Moran Global no permite la detección específica de focos, una limitación que comparte con estadísticos como la c de Geary. En respuesta a esto se desarrollaron métodos de indicadores locales de autocorrelación espacial (LISA, por sus siglas en inglés), siendo la I de Moran local de Anselin uno de ellos (61). Este indicador se calcula como:

$$I_i = \frac{(y_i - \bar{y}) \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Los gráficos de dispersión de este estadístico se organizan con el valor del estadístico en el punto (eje de las ordenadas) y el valor del atributo analizado (eje de las abscisas). Estos gráficos permiten la detección de puntos con patrones inusuales, ubicados en los cuadrantes II y IV, que corresponden a puntos con valores de atributo

bajos rodeados por puntos con valores altos, y puntos con valores de atributo alto rodeados por puntos con valores bajos.

3.5.2 Interpolación y Predicción Espacial

Los métodos de predicción espacial nacieron de la necesidad de optimizar los procesos utilizados para encontrar yacimientos mineros a partir de un muestreo costoso y limitado. Una variedad de métodos, geoestadísticos y no-geoestadísticos, se ha desarrollado para este fin, y de forma conjunta se conocen como métodos de interpolación o predicción espacial (62). Estos métodos comparten también algo del formalismo matemático en que ambos buscan identificar el valor de un campo aleatorio ($Z(s)$) en puntos o índices espaciales (s_0) no muestreados. $Z(s)$ se encuentra en el espacio del atributo medido, sea esta concentración de partículas de algún contaminante, concentración de gramos de algún metal precioso por tonelada minada, o tiempos de desplazamiento (62).

Los métodos no-geoestadísticos permiten obtener estimados de los valores de un atributo con facilidad, pero dependen de que el fenómeno que genera el campo aleatorio se comporte de acuerdo con la estructura asumida. Por otro lado, los modelos geoestadísticos, ya implementados en numerosos softwares estadísticos de fácil uso, exige la formalización del concepto de correlación espacial (semivariograma) y la verificación de supuestos como la estacionariedad y la isotropía.

Métodos de interpolación No-geoestadísticos

Dentro de estos métodos se encuentra la interpolación por distancia inversa ponderada (IDW por sus siglas en inglés). Este modelo asume la forma:

$$\hat{Z}(s_0) = \frac{\sum_{i=1}^n w(s_i)Z(s_i)}{\sum_{i=1}^n w(s_i)}$$

En donde w corresponde a:

$$w(s_i) = ||s_i - s_0||^{-p}$$

Este modelo asume que el comportamiento del atributo depende únicamente de la distancia, decayendo de acuerdo con el inverso de una potencia dada p . Así, para valores de p pequeños, los puntos muestreados cercanos tienen poca influencia sobre los lejanos sobre los valores de los puntos que lo rodean. Por otro lado, para valores de p grandes, los puntos cercanos adquieren una influencia mayor, convergiendo a valores idénticos a los del punto más cercano muestreado si p tiende a infinito.

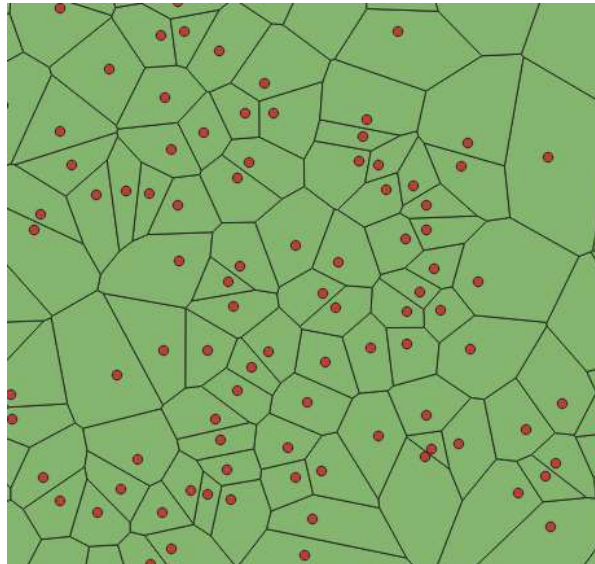
Cabe resaltar que si el índice espacial coincide con una observación el valor es reemplazado por el valor muestreado con el fin de evitar pesos tendientes a infinito.

Los valores de p , sin embargo, no se dilucidan de forma inmediata, requiriendo de métodos como la validación cruzada para su optimización. Este método arroja resultados inadecuados si las observaciones muestran una configuración espacial específica o se encuentran agrupadas.

Interpolación de Vecinos Naturales

La interpolación de vecinos naturales ofrece una alternativa no-geoestadística en el caso de observaciones agrupadas. Requiere como sustrato la segmentación de la región de estudio en un diagrama de Voronoi (63).

Gráfico 1. Ejemplo de segmentación de Voronoi construida en QGIS



Sobre este diagrama se crea un nuevo polígono de Voronoi rodeando el punto a ser interpolado y el peso asignado corresponde al grado de solapamiento del nuevo polígono con sus vecinos. Usando notación similar a la anterior se tiene que para un conjunto de observaciones S :

$$S \in \mathbb{R}^k$$

$$p \in S$$

$$\hat{Z}(q) = \sum_{p \in S} w_p(q) Z(p)$$

$$w_p(q) = \frac{A(Vor_S(p) \cap Vor_{S \cup \{q\}}(q))}{A(Vor_{S \cup \{q\}}(q))}$$

En donde q es el punto sobre el que se quiere realizar una predicción, p son los puntos observados, A es una función de área, y Vor es el polígono de Voronoi. Nótese que el polígono de Voronoi correspondiente a q no es parte de la segmentación realizada sobre S .

Métodos de interpolación Geoestadísticos: Kriging

Los métodos de interpolación geoestadísticos requieren una formalización de la correlación espacial que suele presentarse como el variograma o semi-variograma. Las restricciones impuestas sobre la dependencia de la media sobre la distancia definen la flexibilidad de los modelos (64). Volviendo a la notación anterior, el semi-variograma puede definirse como:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E(Z(s) - Z(s+h))^2$$

En esta fórmula, la autocorrelación espacial de Z depende únicamente de la distancia de separación h . El plantear la semivarianza de esta manera implica asumir *estacionariedad* del proceso, es decir que su media a través de los índices espaciales es constante. Nótese que h es un vector de posición, no un escalar. Una restricción adicional con respecto al proceso puede reducir a h a un escalar, que es la de *isotropía*. Esta condición implica independencia de la semivarianza de la dirección, reduciendo a γ a una función de la magnitud $\|h\|$ de la separación entre los puntos. Por otro lado, modelos más generales pueden obtenerse si la media se considera una función de predictores lineales, que son particularmente útiles si el fenómeno de fondo presenta variaciones en la media con la distancia y la dirección.

Rango, meseta y nugget

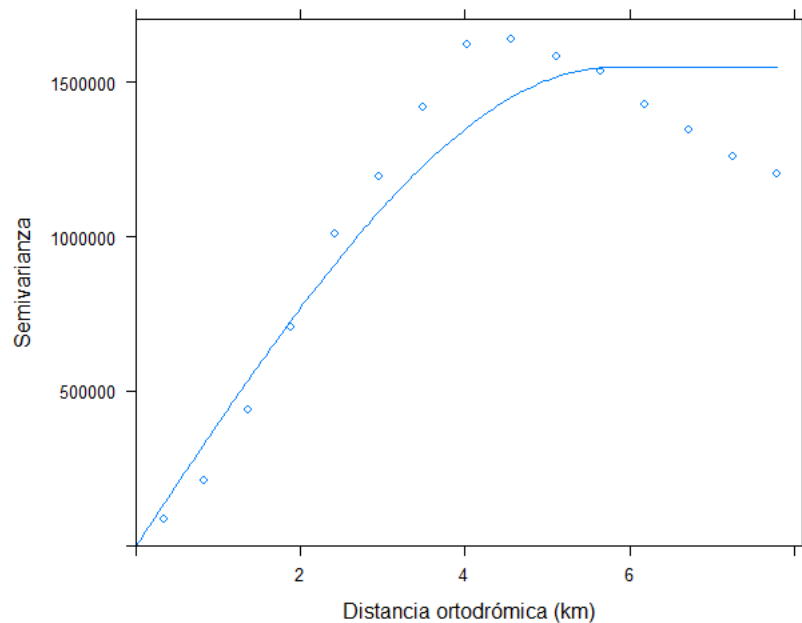
Una vez se ha estimado un semivariograma muestral, se pueden definir magnitudes que son de interés a la hora de ajustar un modelo a los datos para la realización de la predicción espacial. Con el nombre de *meseta* se conoce el valor de la semivarianza a partir del cual su comportamiento se estabiliza. La existencia de la meseta sugiere que existe una distancia a partir de la cual $Z(s)$ y $Z(s+h)$ se encuentran incorrelacionados. La distancia a la cual esto ocurre se conoce como *rango* (64,65).

El efecto de nugget se refiere al comportamiento cerca del origen. Es natural esperar que la semivarianza llega a cero para distancias de cero. Sin embargo, este puede no ser el caso y con frecuencia se observan discontinuidades sobre el origen. El nombre de este fenómeno ayuda a intuir su significado. Los depósitos de oro frecuentemente existen como agrupaciones pequeñas (nuggets) que son usualmente mucho más pequeñas que las muestras, de modo que, entre muestras directamente contiguas, la concentración de oro puede ser drásticamente distinta. En general, y por fuera del

campo de la minería, esto puede deberse a la existencia de microestructuras a escalas inferiores a la unidad de medición o a la distancia mínima entre dos de los puntos muestreados (64).

Los algoritmos implementados en el ajuste de modelos se deben inicializar utilizando valores para estas características (meseta, rango, nugget), que pueden ser derivados de la exploración del semivariograma muestral (62,66).

Gráfico 2. Semivariograma muestral del tiempo de llegada al centro más cercano.



Modelos paramétricos del semivariograma

La predicción espacial requiere la extensión de las características observadas en el semivariograma a puntos no observados. Esto se logra escogiendo los modelos con mejor ajuste o cuyas características se ajusten mejor al fenómeno de interés. Entre los modelos más populares se encuentran el Gaussiano, el exponencial, el de Matern y el esférico. A continuación, se discutirán brevemente las características del modelo esférico, utilizado en este trabajo.

El modelo esférico se puede escribir como:

$$\gamma(h) = c_0 + c \left[\frac{3h}{2r} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{r} \right)^3 \right], \text{ para } 0 < h \leq r$$

$$c_0 + c, \text{ para } h > r$$

$$0, \text{ para } h = 0$$

En donde, c_0+c es la meseta, c_0 es el nugget, y h es la distancia (64). En nuestro caso, la exploración de los tiempos de llegada a centros específicos o al centro más cercano se ajusta a los componentes del modelo. Por un lado, es razonable asumir que después de una distancia límite los tiempos estarán incorrelacionados. Es adecuado también suponer que existen efectos a pequeña escala que pueden afectar de forma significativa la correlación espacial como calles cerradas, cambios de sentido, y barreras geográficas (e.g. humedales, canales) (66).

Kriging Universal

La construcción de los semivariogramas tiene como fin poder realizar procedimientos de predicción espacial a través de kriging. Además del modelo del semivariograma, el kriging puede realizarse como kriging ordinario o kriging universal. El kriging ordinario preserva los supuestos de estacionariedad e isotropía previamente descritos, mientras que el kriging universal asume que el valor esperado de la variable Z es la suma de un término determinista de tendencia (acomodando la anisotropía y descartando estacionariedad), y un término aleatorio estacionario que depende del modelo del semivariograma (64).

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Describir las áreas de captación de los centros que realizan manejo endovascular para el ACVi agudo de la ciudad de Bogotá, teniendo en cuenta las condiciones de tráfico.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar los tiempos de transporte desde diversos puntos de la ciudad y bajo distintas condiciones de tráfico hasta los centros hospitalarios que ofrecen servicios de atención integral del ACVi agudo.
2. Estimar la proporción de eventos simulados que acudirían a un centro de manejo integral del ACVi agudo en el tiempo ideal de transporte menor de 30 minutos bajo distintas condiciones de tráfico.
3. Mapear las áreas de cobertura óptima de cada institución de salud que ofrece manejo integral del ACVi en la ciudad de Bogotá bajo distintas condiciones de tráfico.
4. Delimitar las áreas de captación de cada centro médico que ofrezca manejo integral para el ACVi agudo en la ciudad de Bogotá para distintas condiciones de tráfico.
5. Cuantificar las áreas, población total y población mayor de 60 años englobadas dentro de las zonas de captación y cubrimiento óptimo bajo distintas condiciones de tráfico.
6. Identificar diferencias en el tiempo de llegada desde sitios de ocurrencia simulados al centro de atención integral del ACVi más próximo entre estratos socioeconómicos de las manzanas censales de origen.

5. HIPÓTESIS

5.1 HIPÓTESIS NULAS

Las áreas de captación de los centros médicos que ofrecen manejo integral del ACVi en la ciudad de Bogotá no muestran variaciones significativas en su configuración, extensión, y población contenida bajo distintas condiciones de tráfico.

- No Existen diferencias estadísticamente significativas entre los estratos socioeconómicos y el tiempo de llegada mínimo al centro más próximo que ofrezca manejo integral del ACVi en la ciudad de Bogotá.

5.2 HIPÓTESIS ALTERNAS

Las áreas de captación de los centros médicos que ofrecen manejo integral del ACVi en la ciudad de Bogotá muestran variaciones significativas en su configuración, extensión, y población contenida bajo distintas condiciones de tráfico.

- Existen diferencias estadísticamente significativas entre los estratos socioeconómicos y el tiempo de llegada mínimo al centro más próximo que ofrezca manejo integral del ACVi en la ciudad de Bogotá.

6. METODOLOGÍA

6.1 ENFOQUE METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

Por las características de la investigación, este estudio tiene un enfoque cuantitativo.

6.2 TIPO Y DISEÑO DE ESTUDIO

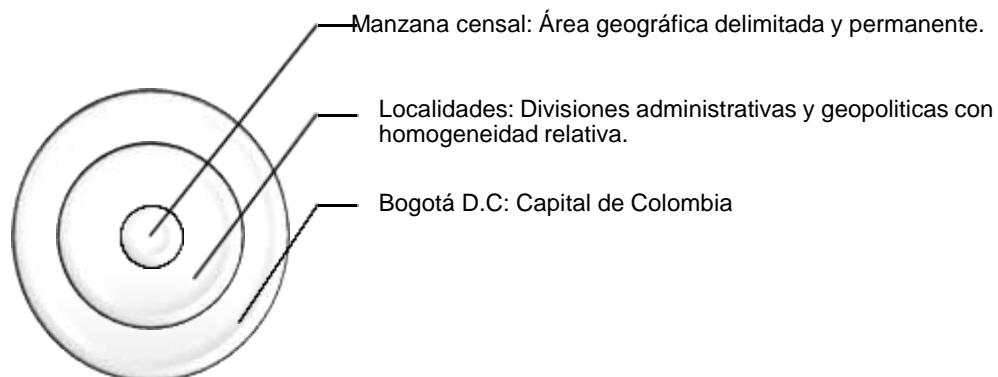
Estudio ecológico exploratorio con análisis geoespacial.

6.3 UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis considerada fue la manzana censal de las diferentes localidades de la ciudad de Bogotá D.C. Esta hace referencia a una delimitación cartográfica creada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) con fines estadísticos. Se define como un área de terreno edificada o sin edificar, delimitada por vías de tránsito vehicular o peatonal de carácter público, así como por accidentes naturales o culturales, siempre y cuando estos elementos sean de carácter permanente, se identifiquen fácilmente en campo, y su geometría como objeto geográfico sea un polígono (67).

Para el análisis, se tomó una capa espacial de manzanas censales del 2.005 descrita en la tesis de maestría de la profesora de Arquitectura Andrea Carolina Torres (68) que fueron superpuestas a las obtenidas del Marco Geoestadístico Nacional del DANE (67). Las áreas de estudio fueron las 19 localidades del área urbana de Bogotá D.C., estas tienen 4.219 km² de área, con una extensión aproximada de 33 kilómetros de sur a norte y 16 kilómetros de oriente a occidente (69).

Diagrama 2. Unidades de análisis



6.3.1 Estrategia de simulación y Diseño Muestral

Puntos muestreados

Se seleccionaron aleatoriamente los centroides de las manzanas censales de Bogotá basándonos en el censo del DANE realizado en el año 2005. Las manzanas se seleccionaron siguiendo una distribución de probabilidad uniforme. Se verificó que la distribución espacial mostrara un adecuado cubrimiento del área de la ciudad, y que la distribución de estratos muestreados se aproximara a la observada para el conjunto de datos total.

Condiciones de tráfico

Las condiciones de tráfico muestreadas se definieron de acuerdo con el documento Observatorio de Movilidad Bogotá D.C. 2017, publicado por la Secretaría Distrital de Movilidad Página 104, Gráfica 6.1 (26). Estos datos fueron recopilados por el Centro de Gestión de Tránsito de la Secretaría Distrital de Movilidad en el mes de septiembre de 2017. Las velocidades son calculadas a partir de información de sensores que detectan la velocidad de dispositivos con tecnología Wifi o Bluetooth sobre los principales corredores viales de la ciudad.

Este documento muestra que las velocidades del tráfico en Bogotá son estables a través de los días laborales (típicos en el documento), con un patrón distinto para los fines de semana (atípicos en el documento). La velocidad promedio se mantiene alrededor de los 24km/hora entre las 6:00AM, y las 5:00PM, siendo mínima alrededor de las 6:00PM (21,2km/h). Las velocidades incrementan después de esta hora a razón de 4km/h cada hora, y superan la media general de 27,4km/h alrededor de las 9:00PM. Este comportamiento define tres periodos importantes con relativa estabilidad: hora pico de la mañana (6:00AM-8:00AM), hora pico de la tarde (5:00PM-7:00PM), y un periodo control en las noches de baja congestión (9:00PM en adelante). La uniformidad en las velocidades de desplazamiento en estos tres periodos permite optimizar el muestreo.

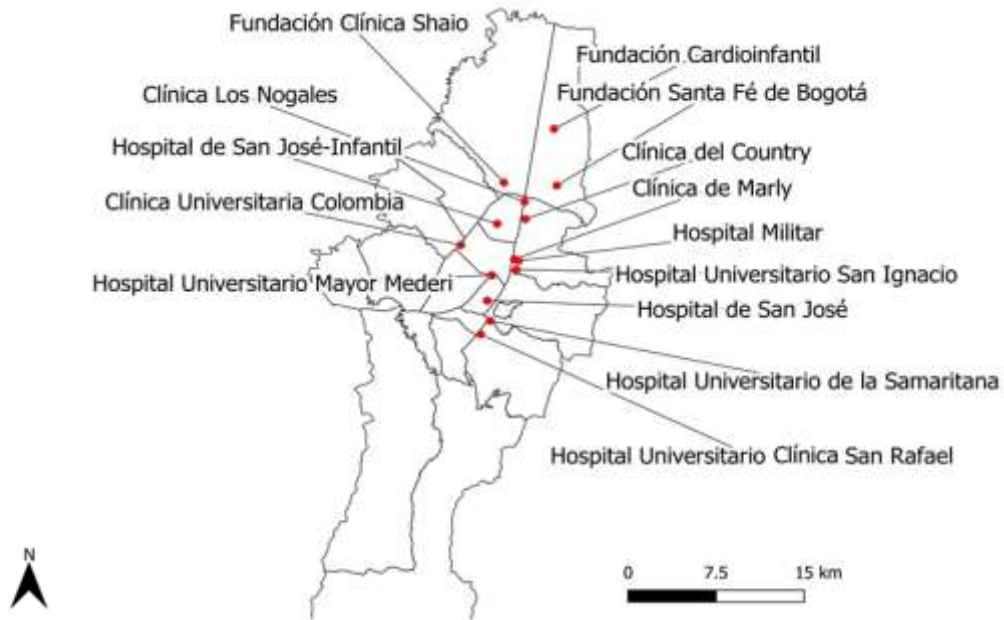
Centros de manejo integral del ACVi

Se identificaron 14 centros que ofrecen manejo integral del ACVi, entendiéndose el manejo integral como un hospital capaz de ofrecer servicio imagenológico 24 horas (específicamente Tomografía Axial Computarizada - TAC), procedimientos de trombólisis y trombectomía por personal especializado y disponible, y que cuente con una unidad de cuidado intensivo (UCI). La determinación de estos se realizó a través de contactos con:

- Secretaría de Salud: el CRUE y la Subdirección de gestión en emergencias y desastres.
- Hospitales y clínicas: Direcciones científicas y gerencias.
- Contacto directo con las salas de hemodinamia y los servicios de neurología.

- Asociación Colombiana de Neurología: Miembros del comité de Enfermedad Cerebrovascular.
- Industria: Medtronic (fabricantes de Solitaire®), CTP Médica (vendedor autorizado de Penumbra®).

Mapa 1. Centros de Manejo Integral del ACVi (CMIACVi). Bogotá, Colombia 2.019.

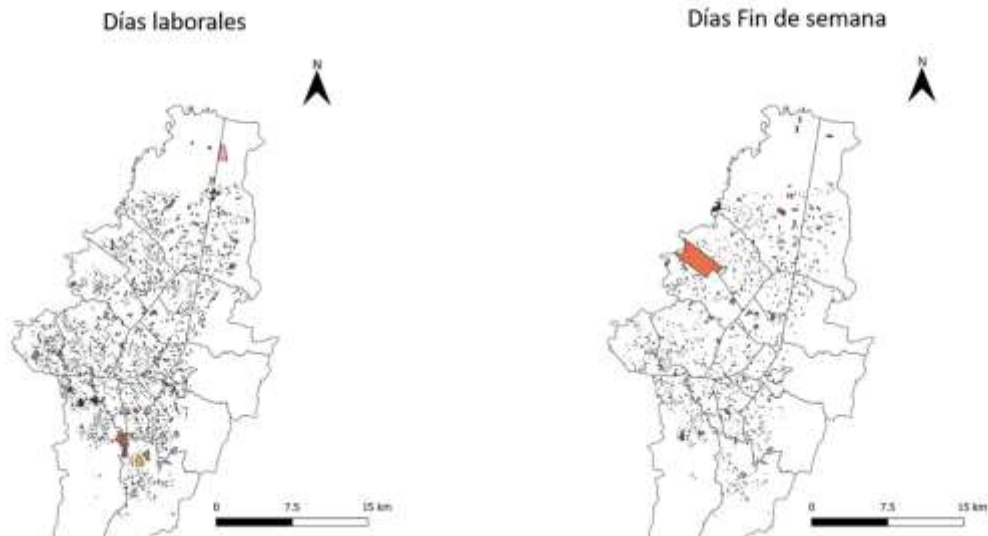


Procedimiento de muestreo

Utilizando el Interfaz de Programación de Aplicaciones (API, por sus siglas en inglés) de Matriz de Distancia de Google, y el software estadístico R (v. 3.2.2) (70) se solicitó el tiempo de desplazamiento en tráfico desde cada punto a cada centro médico. Debido a limitaciones en el número de elementos que el API permite obtener, se distribuyó un muestreo en 10 credenciales de API distintas, solicitando tiempos desde 285 puntos a 14 centros, en los 3 momentos de los días laborales definidos. Esto produjo matrices de 3.990 datos por usuario en cada momento del día. Para los fines de semana, se tomaron 142 puntos por credencial. Estas limitaciones en el muestreo permitieron mantener la viabilidad económica del proyecto.

En total se obtuvieron 119.700 elementos en el muestreo entre semana, y 59.640 en el fin de semana.

Mapa 2. Muestreo de puntos




6.4 DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

Las variables objeto de estudio se pueden dividir según la función que cumplen en el evento estudiado; inicialmente se evaluaron variables que pretenden hacer una caracterización de las unidades de análisis, en este caso se realizó una caracterización de las manzanas censales según el estrato socioeconómico (ESE) en estas reportado por el DANE; esta variable se categorizó en dos niveles, bajo que incluye estratos 1, y 2 y medio-alto que incluye estratos 3, 4, 5 y 6.

Como variable predictora, se incluyó el punto geográfico simulado, de ocurrencia del evento (PPI), el cual fue descrito en longitud y latitud, como coordenadas de geolocalización. Se usaron los centros (PL) que prestan manejo integral de ACV en la ciudad de Bogotá, D.C, referenciando su localización geográfica según longitud y latitud. Se utilizó el tiempo óptimo de desplazamiento (TODi) para recibir manejo integral de ACV en ventana terapéutica, definido en 30 minutos, que es el tiempo internacionalmente aceptado en estándares de calidad (16). La variable de interés o de desenlace fue el área de captación de cada centro definida de acuerdo con el tiempo total de desplazamiento (TDi) que tomó llegar al sitio más cercano que brindara manejo integral de reperfusión, esto fue medido en km^2 .

Diagrama 3. Definición de variables



PP_i	Punto de partida simulado en donde sucede un evento de ACV	
	Longitud	
	Latitud	
	TD_{i1}	Tiempo de desplazamiento desde el PPI hasta PI.
		Condiciones de tráfico usuales de la ciudad
	TD_{i14}	Condiciones de tráfico particulares en tiempo real
		TOD_i
	Es aquel menor a 30 minutos	
	PL_{1-}	Cada uno de los Centros de manejo integral de ACV.
		Sólo 14 en total
PL_{14}	Longitud	
	Latitud	
AC_{1-}	Segmento geográfico en donde un evento simulado (PPI) llega al CMIACV (PL1-14) en TOD.	
		AC_{14}
ESE	Estrato socioeconómico categorizado en bajo (1, 2 y 3) y alto (4, 5 y 6)	
	Puntos con separación donde se pierda la autocorrelación espacial	

Tabla 2. Tabla de variables del estudio

Nombre	Definición	Naturaleza	Unidad de medida
PPI	Punto de partida simulado donde sucede un evento ACV	Cualitativa, Nominal Ambiental	Longitud, Latitud en decimales WGS84
TDi	Tiempo de desplazamiento desde el sitio de ocurrencia del evento hasta el centro de manejo integral de ACV.	Cuantitativa, Nominal Agregada	Segundos
TODi	Tiempo óptimo de desplazamiento.	Cuantitativa, Nominal Agregada	Segundos
PLi	Centro de manejo integral de ACV	Cualitativa, Nominal Ambiental	1. C1
			2. C2
			...
			14. C14
AC	Segmento geográfico donde un evento simulado llega a tiempo a CMIACV en TOD	Cuantitativa, de razón. Ambiental	Área
ESE	Estrato socioeconómico, áreas geográficas definidas socioeconómicamente según las características de las unidades de vivienda y la infraestructura cercana	Cualitativa, ordinal Ambiental	1. Bajo 2. Medio – Alto

6.5 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

6.5.1 Fuentes de información

Las variables de este estudio fueron identificadas por medio de revisión de los datos del censo realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) en el año 2.005, se trata de una fuente secundaria de disponibilidad pública.

6.5.2 Instrumento de recolección y Software

Con la excepción de la API de Matriz de Distancia de Google, todas las herramientas de análisis utilizadas son software libre disponible en una variedad de plataformas (Linux, Windows, MacOS).

Solicitudes al API de Matriz de Distancia de Google

Las solicitudes a través del API de Matriz de Distancia de Google fueron gestionadas usando código propio para el software estadístico R (v. 3.4.2) (ANEXO 3) (70). Los puntos muestreados fueron seleccionados aleatoriamente sobre una distribución uniforme y corresponden a los centroides de la manzana censal seleccionada. El código desarrollado comienza con una definición de la credencial de interacción con el API que se va a utilizar. Cada credencial viene acompañada de límites en su tasa de muestreo, el número de destinos y orígenes concurrentes máximos, y un máximo de solicitudes por día. Tanto los puntos generados en el muestreo (ANEXO 2), como las coordenadas de los centros médicos, tienen un nombre de archivo regular y son leídos como archivos separados por comas. Tras inicializar un contenedor para los datos solicitados, el código realiza la solicitud al servidor de Google usando una sintaxis predefinida. Esta sintaxis contiene los orígenes y destinos en el formato WGS84 como “Latitud1,Longitud1|Latitud2,Longitud2,...”, los parámetros del modelo de tráfico (tipo de vehículo, modelo de tráfico, tiempo de partida), el tipo de objeto que se pide al servidor (XML o JSON), y la credencial específica que realiza la solicitud. El objeto JSON retornado es leído como lista utilizando comandos de la librería rjson (71). Esta lista es desensamblada y se extraen los tiempos de tiempo en tráfico. Es importante tener en cuenta que son los tiempos en tráfico los que se extraen y no los tiempos de traslado idealizado, también contenidos en el objeto. Cada fila del contenedor inicializado es llenada con los tiempos desde un origen a cada uno de los centros. Esto es seguido por una verificación de datos faltantes (NAs) y una construcción del archivo final en nombre regular. Por default, los archivos son guardados en el directorio de trabajo de la sesión de R.

Consolidación de Datos

Debido a la naturaleza distribuida del muestreo (distintas credenciales), fue necesario consolidar los datos en un archivo único para cada condición de tráfico. Se utilizaron hojas de cálculo de Microsoft Excel (v. 2013 Microsoft Corporation, Washington, EE. UU.) para esta consolidación y los datos se guardaron como archivos separados por comas para facilitar compatibilidad con los softwares que se utilizarían para el análisis. Los tiempos mínimos y centros más cercanos se calcularon también durante esta consolidación.

Análisis exploratorio

Para este análisis se utilizó principalmente el software de análisis espacial GeoDa (. 1.21.1.131), desarrollado por el Laboratorio de Análisis Espacial de la Universidad de

Chicago (72). En este software se llevó a cabo el análisis univariado de las distribuciones, el análisis de patrón de puntos, incluyendo análisis de correlación espacial global y local, valores extremos espaciales (spatial outliers) en gráfico de dispersión de Moran, y gráficos LISA (Local Indicators of Spatial Autocorrelation). Para todos los análisis se utilizaron matrices de distancia ortodrómica, seleccionando la distancia ortodrómica de modo que ninguna observación se quedara sin vecinos espaciales.

El software estadístico R fue utilizado para la exploración de correlogramas para los tiempos de llegada y mínimos a cada centro. Se construyeron semivariogramas muestrales y de nube utilizando el paquete gstat, utilizando los valores encontrados de la meseta el rango y el nugget como puntos de partida para el ajuste de modelos exponenciales, gaussianos y esféricos (73). Los modelos esféricos mostraron mejor ajuste y fueron utilizados para la construcción de capas de kriging.

Visualización y Construcción de capas de Kriging

La visualización final de los datos y la construcción de capas de kriging se realizó utilizando QGIS versión 3.4.5-Madeira (74). Se importaron las capas de manzanas censales del DANE y los mapas de puntos obtenidos con tiempos de llegada. Utilizando el módulo de SAGA se crearon capas ráster con tamaño de celda 0.001, y límites definidos por la capa de manzanas censales del DANE. Los valores de estas capas sobre los polos de inaccesibilidad de cada manzana DANE se utilizaron como el valor correspondiente de tiempo de llegada. Esto se logró utilizando la funcionalidad de unión espacial con predicado de contenido. Una vez cada manzana tuviese un tiempo asignado, estos datos se utilizaron para determinar el centro más próximo. Los tiempos asignados y el atributo de centro más próximo fueron utilizados para la construcción de los mapas coropléticos de áreas de cubrimiento óptimas y áreas de captación.

Autoregresión espacial

Los modelos de autoregresión espacial se construyeron en el software estadístico R utilizando el paquete spdep (59). La verificación de supuestos utilizó funcionalidades base de R (70).

Gestor de referencias bibliográficas

Las referencias empleadas en la construcción del marco teórico de los diferentes artículos obtenidos de la búsqueda sistemática de la literatura se almacenaron y administraron por orden de código de asignación en un programa de gestión de referencias (Zotero Versión 5.0.65) (75).

6.5.3 Proceso de obtención de la información

Los investigadores realizaron la generación de datos simulados a través de un código en el software R, el cual generó de manera aleatoria los puntos geográficos de ocurrencia de eventos.

Se obtuvieron los centroides de la capa de manzanas censales y sus ubicaciones fueron muestreadas usando una distribución de probabilidad uniforme. Se obtuvieron 10 muestras de 285 puntos. Se verificó la uniformidad espacial de la distribución de cada submuestra, así como la consistencia en la distribución de estratos socioeconómicos con respecto al conjunto total de manzanas censales.

En tiempo simultaneo se realizó la construcción de la base de datos en donde el API de Matriz de Distancia de Google devolvía los resultados obtenidos. Por último, se realizó una revisión de la base de datos validando la información (datos en blanco, errores del servidor).

6.6 CONTROL DE ERRORES Y SESGOS

Con el fin de garantizar una adecuada precisión y validez del estudio, y consiente de las limitaciones a que nos enfrentamos debido a la no probada calidad de los datos inicialmente solicitados a los entes competentes, se utilizaron datos simulados y se usaron otras estrategias encaminadas a controlar los sesgos más importantes a lo que se enfrentan este tipo de abordajes metodológicos.

Tabla 3. Control de Sesgos

Sesgo	Descripción	Estrategia control
Selección	Diferencia entre los puntos aleatorios generados	Los datos fueron simulados basados en una distribución de probabilidad uniforme.
Información	Observador	Personal idóneo recolectó, analizó y alimentó la base de datos. Se capacitó a los investigadores para la recolección de datos mediante del instrumento diseñado.
	Instrumento	Se creó una tabla de datos en Excel 365 para facilitar la recolección y verificar la calidad del dato y se estandarizó dicha recolección en el personal que intervino. La herramienta usada para obtener los tiempos de desplazamiento agrupa la mayor cantidad de datos, muestreados de todos los usuarios de Google Maps, Waze,

Sesgo	Descripción	Estrategia control
		y Android (para aquellos que autoricen). Este volumen de datos no es recolectado por ninguna otra entidad, pública o privada, en el mundo. Adicionalmente, los resultados de la Matriz de Distancia de Google cuentan con validaciones previas por múltiples fuentes en múltiples países, y han sido utilizados en el contexto de la salud (ver Estado del Arte).
Falacia Ecológica	Inferencias	No se emitieron conclusiones a nivel individual de los datos obtenidos por simulación de la población general.

6.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

6.7.1 Patrón de puntos

Los resultados obtenidos del muestreo se consolidaron en grupos de acuerdo con la hora de muestreo y si fue entre semana o fin de semana. Se realizó análisis exploratorio de la variable de tiempo mínimo de llegada a cualquier de los centros.

Se construyeron matrices de distancia para cada grupo de puntos, utilizando el mínimo del ancho de banda para no dejar ningún punto sin vecinos espaciales en la matriz. Utilizando esta matriz de distancia se calculó la I de Moran para cada variable de tiempo y se construyeron gráficos de dispersión de esta variable (I de Moran es la pendiente de una regresión sobre los tiempos retardados espacialmente y los valores estandarizados de la variable). Estos gráficos permitieron identificar valores extremos espaciales. Se utilizó el método de permutaciones para el cálculo de pseudo valores p utilizando 9999 permutaciones.

Aunque es de esperarse que exista una alta autocorrelación espacial para los tiempos de llegada a un centro específico, este análisis se realizó para preservar el rigor del método estadístico en la búsqueda de indicadores globales de autocorrelación antecediendo al análisis de indicadores locales. El resultado del análisis de los tiempos de llegada al centro más próximo, sin embargo, no es claramente previsible.

Los variogramas muestrales y sus nubes se exploraron utilizando la librería “*gstat*” del software estadístico R. Utilizando este método se determinó que el modelo esférico se utilizaría para construir superficies de *kriging* para los distintos tiempos de llegada.

6.7.2 Superficies de *Kriging*

Basado en los resultados observados de los variogramas muestrales se decidió utilizar un modelo esférico para realizar predicción espacial. Utilizando el módulo de SAGA

de QGIS, se calcularon superficies de *kriging* universal junto con su desviación estándar. El *kriging* universal es el modelo de elección en este caso debido a que el supuesto de estacionariedad es claramente violado, y a que la estructura del modelo incorpora un elemento determinista, que pudiese interpretarse como la distancia euclídea entre el punto y los centros, y un componente aleatorio correspondiente a las características del tránsito. Además de tener una historia exitosa de uso en las ciencias geológicas, esta estrategia también ha sido usada en estudios de ciencias de la salud (29).

Las superficies se delimitaron en un espacio definido por el usuario, pero uniforme para todos los casos. La precisión de la predicción espacial se evaluó utilizando validación cruzada seleccionando 250 datos aleatorios para la verificación. Se calculó el R^2 entre los valores predichos y observados en el set de prueba utilizando la definición general de:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=0}^n (y_i - k_i)^2}{\sum_{i=0}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Siendo k_i el valor predicho por el modelo para el punto i . Este coeficiente de determinación es distinto de aquel obtenido de realizar una regresión lineal sobre los valores predichos y observados debido a que esto calcularía un reajuste de los coeficientes. Es decir, este coeficiente sería alto incluso si la predicción se desvía, consistentemente, de los valores observados por un factor constante. Debido a esto, se utiliza esta definición general.

Se calcularon los polos de inaccesibilidad de cada manzana censal y se muestrearon los valores de la capa de *kriging* en estos puntos. Estos puntos se asignaron a los polígonos de manzana censal usando unión espacial con predicado espacial de contenido.

6.7.3 Mapas coropléticos

Utilizando los valores derivados de la capa de *kriging*, se construyeron mapas coropléticos con tres categorías: llegada en menos de 30 minutos, llegada entre 30 minutos y menos de 60 minutos, y llegada en 60 minutos o más. Para cada centro se construyeron seis mapas de este tipo, por cada punto temporal y momento de la semana. Los valores de llegada a cada centro se unificaron en una sola capa espacial, que se utilizó para determinar el centro al que cada manzana llega en el menor tiempo, sea que este dentro de los criterios de calidad o no.

6.7.4 Regresión espacial

Se construyeron modelos de auto regresión espacial utilizando una matriz de distancia de k -vecinos ($k=4$). La única variable incluida en el análisis fue el estrato socioeconómico (ESE), dicotomizado como medio-alto (≥ 3) y bajo (1 y 2). Se eliminaron las observaciones con estratos codificados como 0, que correspondían a predios cuyo ESE no pudo ser determinado debido a presentar combinaciones de estratos, son zonas públicas o de patrimonio histórico. Un total de seis modelos se

realizaron para cada momento del día y la semana, para los que se presentan el valor del coeficiente, su error estándar y el valor p correspondiente a la prueba de Wald.

A continuación, se presenta una tabla resumen del análisis estadístico realizado por objetivos del proyecto:

Tabla 4. Resumen del análisis estadístico realizado por objetivos propuestos

Obj.	Descripción	Plan de análisis	Estadísticos
1	Pruebas de auto-correlación espacial para tiempos de llegada a cada centro y al centro más próximo	Descriptivo	I de Moran sobre la variable tiempo de llegada. Valor estandarizado de la I de Moran. Pseudo-valor p por medio de método de las permutaciones. Presentados por condición de tráfico.
2	Descripción de resultados de tiempos de llegada desde los puntos muestreados	Descriptivo	Número de puntos que alcanzan el centro más próximo en tiempos menores a 30 minutos, entre 30 y 60 minutos. Y mayores a 60 minutos en cada condición de tráfico.
	Análisis de indicadores locales de autocorrelación espacial	Descriptivo	I de Moran local de Anselin. Gráfico de dispersión de Moran.
	Semivariogramas muestrales	Descriptivo	Construcción de semivariogramas muestrales y de nube
	Exploración de modelo de mejor ajuste para kriging	Descriptivo	Valores iniciales definidos por los semivariogramas, modelos gaussianos, exponenciales y esféricos.
	Construcción de superficies de kriging	Descriptivo	Superficies de tiempo de llegada utilizando kriging universal
	Validación de predicción espacial	Bivariado	Validación cruzada usando submuestra aleatoria del 80% de los datos para la calibración. Estadístico de correlación R^2 .
3	Mapeo de zonas de cubrimiento óptimo por cada centro y condición de tráfico	Descriptivo	Mapas coropléticos con 3 niveles: llegada por debajo de 30 minutos, entre 30 y 60 minutos y superior a 60 minutos.
4	Construcción de mapas de zonas de captación	Descriptivo	Mapas coropléticos. El color de cada polígono se asigna de

			acuerdo con el centro más próximo
5	Cuantificación de características de las áreas óptimas y de captación	Multivariado	Totales de población, población mayor de 60 años y suma de áreas catastrales (km ²) de las manzanas censales para cada condición de tráfico y centro
6	Modelos de autoregresión espacial de tiempo mínimo de llegada y estrato socioeconómico	Multivariado	Modelos de autoregresión espacial explorando el rol del estrato socioeconómico sobre el tiempo de desplazamiento. Valores de los coeficientes, errores estándar, y valores p para prueba de Wald

7. CONSIDERACIONES ÉTICAS

La presente investigación es de tipo secundaria y las observaciones se hicieron sobre datos simulados y no sobre pacientes. Según la resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de la República de Colombia, donde se establecieron las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud, este estudio se cataloga como una investigación sin riesgo, que corresponde con aquella en la que no se realiza ninguna intervención ni modificación intencionada de las variables biológicas, fisiológicas, psicológicas o sociales de los individuos (76).

Los autores no reportan ningún conflicto de interés con respecto de los resultados del estudio. Los hallazgos serán dados a conocer a la comunidad académica y científica de forma responsable y transparente.

8. RESULTADOS

8.1 ANÁLISIS EXPLORATORIO

Entre semana se muestrearon 2.850 puntos para los 14 centros para los periodos de tiempo definidos como hora pico de la mañana (6:00AM-8:00AM), hora pico de la tarde (5:00PM-7:00PM), y control noche de bajo flujo (9:00PM en adelante). Para el muestreo de la mañana el servidor de la matriz de distancias de Google® presentó errores internos que no permitieron compilar la información de dos puntos, terminando la petición con 2.848 puntos. Por otro lado, el fin de semana se muestrearon 1.420 puntos para los mismos centros en los mismos periodos de tiempo. Dado que los puntos son idénticos para los muestreos en las distintas horas del día, se puede realizar una comparación indirecta de la fracción de puntos alcanzando un centro de manejo integral del ACVi entre ellos.

Para los tiempos mínimos de llegada a cualquier centro se aprecia que la fracción de puntos que logran llegar a un centro dentro del criterio de calidad de 30 minutos aumenta a través del día. De forma inversa, la fracción de sujetos que llegan a un centro en más de una hora disminuye a medida que pasa el día, encontrándose que solo dos puntos llegan en estos tiempos en la noche entre semana y en la del fin de semana.

Tabla 5. Descripción de puntos muestreados entre semana y fin de semana.

Variables	Entre semana		Fin de semana	
	Valor (n)	Porcentaje (%)	Valor (n)	Porcentaje (%)
Número de Puntos Mañana	2.848	100	1.420	100
Llegada < 30 minutos	1.167	41	676	47,6
≥ 30 minutos < 60 minutos	1.379	48,4	629	44,3
≥ 60 minutos	302	10,6	115	8,1
Número de Puntos Tarde	2.850	100	1.420	100
Llegada < 30 minutos	1.465	51,4	693	48,8
≥ 30 minutos < 60 minutos	1.346	47,2	643	45,3
≥ 60 minutos	39	1,4	84	5,9
Número de Puntos Noche	2.850	100	1.420	100
Llegada < 30 minutos	1.752	61,5	856	60,3
≥ 30 minutos < 60 minutos	1.096	38,4	562	39,6
≥ 60 minutos	2	0,1	2	0,1

La distribución de los estratos socioeconómicos de los puntos muestreados es similar a la de la totalidad de las manzanas censales en ambos casos. las distribuciones por estrato de las submuestras no difieren del conjunto total de datos, conservando la proporción de objetos con estratos socioeconómicos bajos, altos y no especificados.

Tabla 6. Distribución de grupos de estrato socioeconómico en el conjunto de datos censales DANE y en puntos muestreados

Estrato / n (%)	Conjunto Completo	Entre Semana	Fin de Semana
Bajo (1y 2)	18571 (42,96%)	1221 (42,84%)	608 (42.82%)
Alto (3 a 6)	14834 (34,32%)	981 (34,42%)	511 (35.99%)
No especificado*	9820 (22,72%)	648 (22,74%)	301 (21.20%)

*Para Bogotá, el estrato 0 tiene varias connotaciones, puede corresponder manzanas que tienen más de un estrato socioeconómico, son patrimonio histórico o zonas públicas. Chi-cuadrado para diferencia entre conjunto completo y muestra entre semana 0.0178, valor $p=0.991$. Chi-cuadrado para diferencia entre conjunto completo y muestra fin de semana 2.5228, valor $p=0.283$.

Se utilizó con el software GeoDA™ (72) el método de permutaciones para obtener pseudo valores p de cada I de Moran Global calculada. Se encontró una fuerte autocorrelación espacial entre los tiempos de llegada a cada centro. Esta misma tendencia se encontró para los tiempos mínimos de llegada. En todos los casos, el pseudo valor p alcanzó el valor mínimo dado el número de permutaciones.

Tabla 7. I de Moran para distancia a cada centro entre semana.

Centro	Mañana			Tarde			Noche		
	I Moran	Valor Z	p	I Moran	Valor Z	P	I Moran	Valor Z	p
Colombia	0,71	354,5189	0,0001	0,6691	482,0751	0,0001	0,8185	585,2348	0,0001
Country	0,8589	433,0238	0,0001	0,85	606,758	0,0001	0,7312	521,7912	0,0001
FCI	0,9336	468,3218	0,0001	0,9051	646,9483	0,0001	0,674	482,1534	0,0001
FSFB	0,8963	448,7807	0,0001	0,8676	619,6888	0,0001	0,6844	487,0758	0,0001
Marly	0,7844	390,7948	0,0001	0,7063	506,7732	0,0001	0,7867	562,7486	0,0001
Mederi	0,7166	356,8664	0,0001	0,6977	502,3293	0,0001	0,6883	491,5361	0,0001
Militar	0,7785	388,4116	0,0001	0,6989	499,4633	0,0001	0,7414	528,879	0,0001
Nogales	0,8651	434,9795	0,0001	0,851	607,904	0,0001	0,8	570,871	0,0001
Samaritana	0,8423	427,9308	0,0001	0,8238	585,1182	0,0001	0,7153	511,9621	0,0001
San Ignacio	0,775	387,0299	0,0001	0,7034	501,9403	0,0001	0,7971	569,5021	0,0001
San José Centro	0,7739	557,2633	0,0001	0,7547	541,2851	0,0001	0,8406	602,6789	0,0001
San José Infantil	0,8157	587,1792	0,0001	0,7691	550,4688	0,0001	0,7248	519,6439	0,0001
San Rafael	0,8679	442,6557	0,0001	0,8725	620,5362	0,0001	0,7789	557,2895	0,0001
Shao	0,8965	458,0453	0,0001	0,8901	635,7605	0,0001	0,8564	608,0887	0,0001

*FCI: Fundación Cardioinfantil; FSFB: Fundación Santa Fe de Bogotá.

Se hace evidente que los valores estandarizados correspondientes a las I de Moran fueron consistentemente mayores para los tiempos entre semana que para los tiempos en el fin de semana.

Tabla 8. I de Moran para distancia a cada centro para el fin de semana

Centro	Mañana			Tarde			Noche		
	I Moran	Valor Z	p	I Moran	Valor Z	p	I Moran	Valor Z	p
Colombia	0,6808	224,7748	0,0001	0,6975	225,1184	0,0001	0,6822	255,5279	0,0001
Country	0,8596	280,2393	0,0001	0,8226	269,3488	0,0001	0,8147	272,3111	0,0001
FCI	0,8722	282,8067	0,0001	0,8532	277,8616	0,0001	0,8283	274,8223	0,0001
FSFB	0,8335	269,6541	0,0001	0,8033	261,6631	0,0001	0,785	261,9885	0,0001
Marly	0,75228	248,3801	0,0001	0,7224	239,0908	0,0001	0,7235	237,4612	0,0001
Mederi	0,6887	226,5528	0,0001	0,657	216,8578	0,0001	0,6601	217,6267	0,0001
Militar	0,7538	246,9755	0,0001	0,7229	238,448	0,0001	0,7156	234,7653	0,0001
Nogales	0,8336	270,2989	0,0001	0,8052	262,8249	0,0001	0,7913	264,3995	0,0001
Samaritana	0,7602	252,1268	0,0001	0,7426	246,5638	0,0001	0,7159	237,0755	0,0001
San Ignacio	0,738	242,6611	0,0001	0,7198	238,5157	0,0001	0,7039	231,0202	0,0001
San José Centro	0,7073	234,315	0,0001	0,674	222,5072	0,0001	0,5706	180,2579	0,0001
San José Infantil	0,813	265,1487	0,0001	0,7969	261,8863	0,0001	0,7191	229,69	0,0001
San Rafael	0,8248	271,5222	0,0001	0,7976	264,3834	0,0001	0,7805	258,1946	0,0001
Shaio	0,8623	283,8132	0,0001	0,8656	284,0761	0,0001	0,8582	289,8799	0,0001

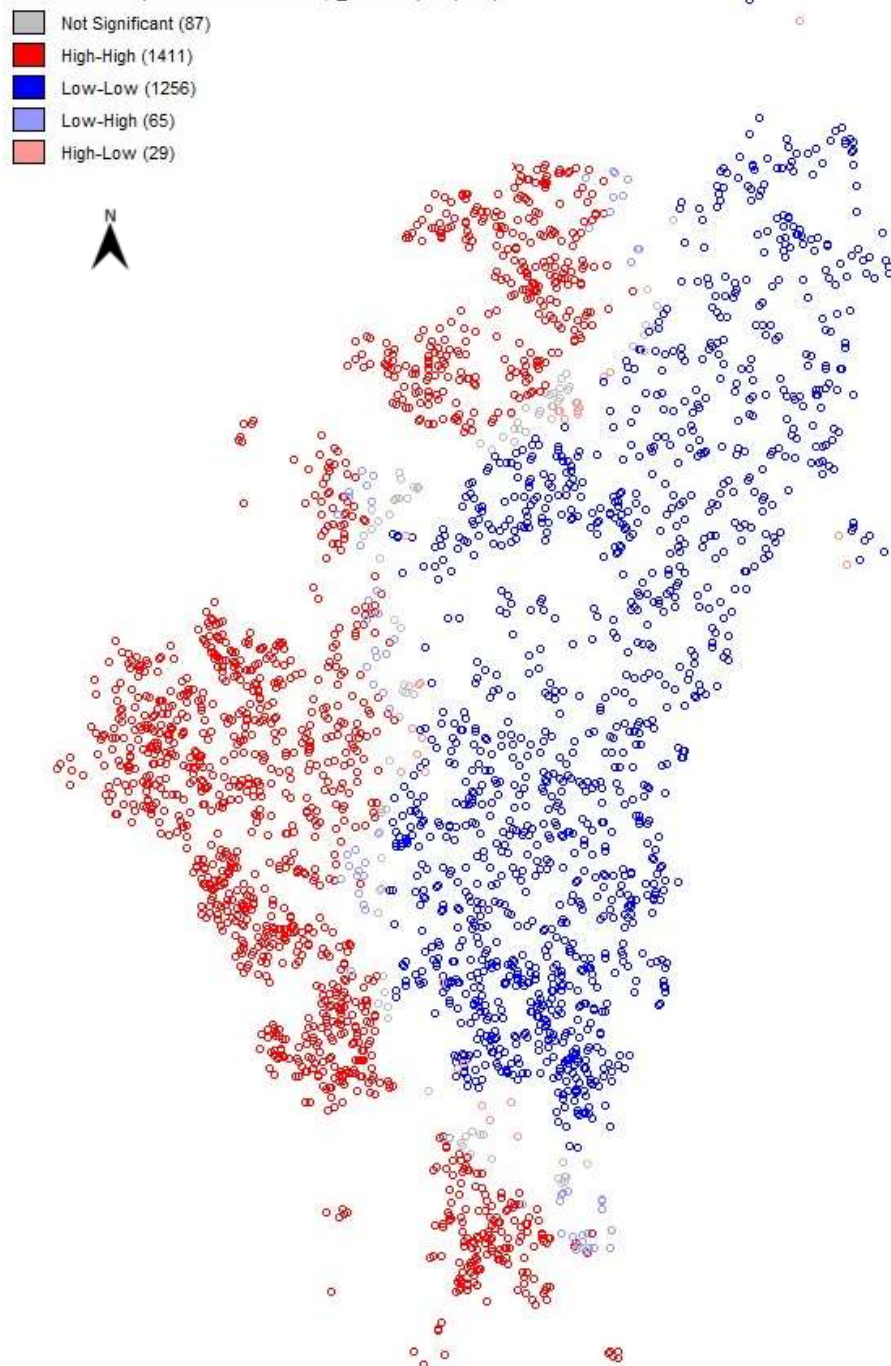
*FCI: Fundación Cardioinfantil; FSFB: Fundación Santa Fe de Bogotá.

Los puntos obtenidos del muestreo se consolidaron en grupos de acuerdo con la hora de solicitud (hora pico mañana, hora pico tarde y control noche) y si fue entre semana o fin de semana. Se realizó análisis exploratorio de la variable de tiempo mínimo de llegada a cualquier de los 14 centros evidenciando una distribución bimodal: los puntos cercanos a los cerros orientales tienen tiempos menores que aquellos en el occidente.

A continuación, a manera ilustrativa, se muestra el mapa de indicadores locales de asociación espacial (I de Moran local) para la mañana entre semana. Cabe mencionar que, en este mapa, aquellos puntos marcados como “High-High” corresponden a puntos con valores de tiempo altos (por encima de la media) que se encuentran rodeados de valores similarmente altos. Correspondientemente, los puntos denominados “Low-Low” son puntos con valores de tiempo bajos rodeados de otros puntos con valores bajos. Los cuadrantes “Low-High” y “High-Low” se denominan valores extremos espaciales (“spatial outliers”), que son puntos con valores de tiempo altos o bajos, rodeado de valores opuestos. Este análisis exploratorio mostró

formalmente que los puntos ubicados cerca de los cerros orientales muestran valores bajos de tiempos de llegada.

Mapa 3. Indicadores Locales de asociación espacial (LISA - Local Indicators of Spatial Association) para tiempos mínimos de llegada en la mañana entre semana.



8.2 PREDICCIÓN ESPACIAL

Los variogramas muestrales se utilizaron para asignar los valores iniciales (“nugget”, “sill”, “range”) del ajuste de modelos de kriging. Se probaron modelos gaussianos, exponenciales y esféricos, encontrando mejor ajuste para el modelo esférico. Este modelo se utilizó para la construcción de superficies de kriging usando el módulo SAGA de QGIS. La precisión de esta estimación se valoró utilizando validación cruzada, apartando un conjunto de 250 datos para realizar este procedimiento. Se utilizó el estadístico R2 para validar la precisión de la estimación.

Tabla 9. Coeficientes de determinación para validación cruzada del modelo de kriging.

Centros	Entre semana			Fin de semana		
	Mañana	Tarde	Noche	Mañana	Tarde	Noche
Tiempos Mínimos	0,9518	0,9633	0,9639	0,8564	0,9211	0,9821
Fundación Clínica Shaio	0,9614	0,9852	0,9868	0,9758	0,9662	0,9717
Hospital de San José-Centro	0,9409	0,9614	0,9561	0,8115	0,9295	0,9909
Hospital de San José-Infantil	0,9159	0,9638	0,9768	0,9666	0,9432	0,9922
Fundación Santa Fe de Bogotá	0,9275	0,9745	0,9645	0,9751	0,9686	0,9939
Clínica de Marly	0,8913	0,9544	0,9656	0,9624	0,9298	0,9954
Hospital Universitario Clínica San Rafael	0,9735	0,9847	0,9712	0,9593	0,9580	0,9940
Clínica del Country	0,9245	0,9780	0,9776	0,9797	0,9729	0,9946
Clínica Los Nogales	0,8980	0,9679	0,9759	0,9805	0,9483	0,9917
Clínica Universitaria Colombia	0,8620	0,9640	0,9623	0,9267	0,9212	0,9901
Hospital Universitario San Ignacio	0,8859	0,9573	0,9669	0,9659	0,9430	0,9947
Hospital Universitario Mayor Mederi	0,8665	0,9618	0,9649	0,9412	0,9103	0,9899
Hospital Universitario de la Samaritana	0,9617	0,9831	0,9629	0,9596	0,9532	0,9932
Fundación Cardio Infantil	0,9665	0,9832	0,9720	0,9839	0,9793	0,9960
Hospital Militar Central	0,9021	0,9558	0,9685	0,9644	0,9463	0,9951

Los valores estimados por el kriging mostraron un alto coeficiente de determinación para las observaciones del conjunto de prueba, siendo superiores a 0,81 en todos los casos. Debido a esto, se utilizaron los mismos parámetros para la predicción espacial en todas las condiciones de tiempo.

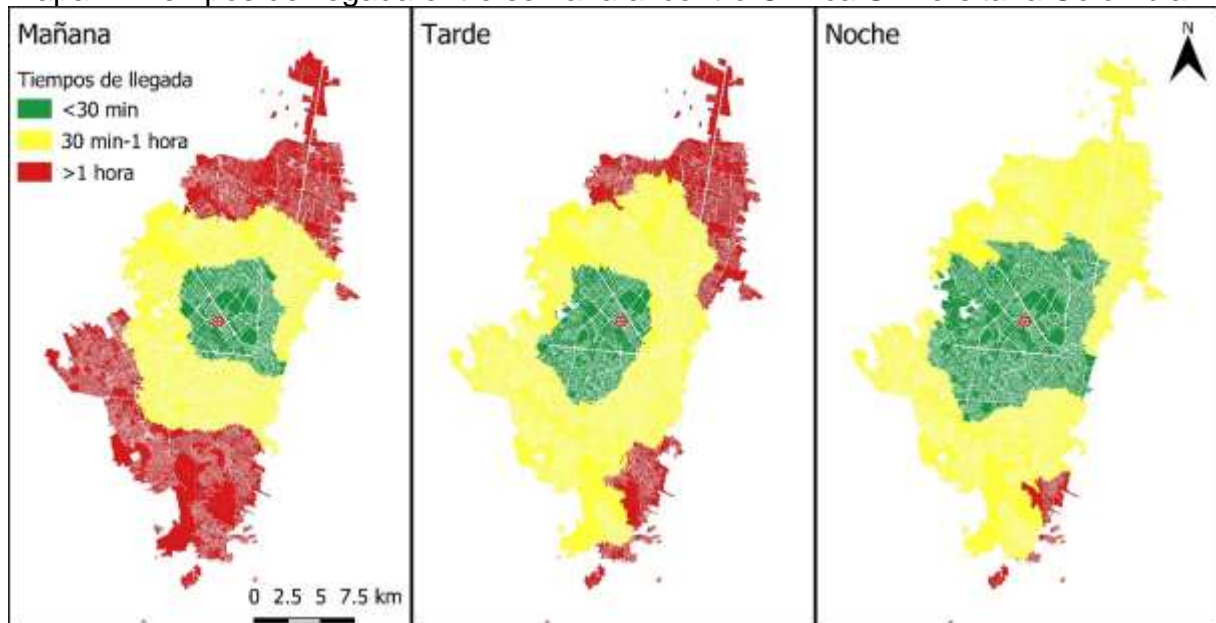
8.2.1 Mapas coropléticos de tiempos de llegada

Utilizando la predicción espacial de kriging universal con modelo esférico se completaron los valores para las manzanas censales no muestreadas. Esta predicción espacial permitió construir mapas coropléticos de tiempos de llegada divididos en tres grupos: 30 minutos, 30-60 minutos y más de 60 minutos. No es inmediatamente claro que las áreas crezcan o disminuyan en cada punto del día con respecto a los otros. Adicionalmente, algunos centros (Nogales, Clínica del Country) muestran un aumento

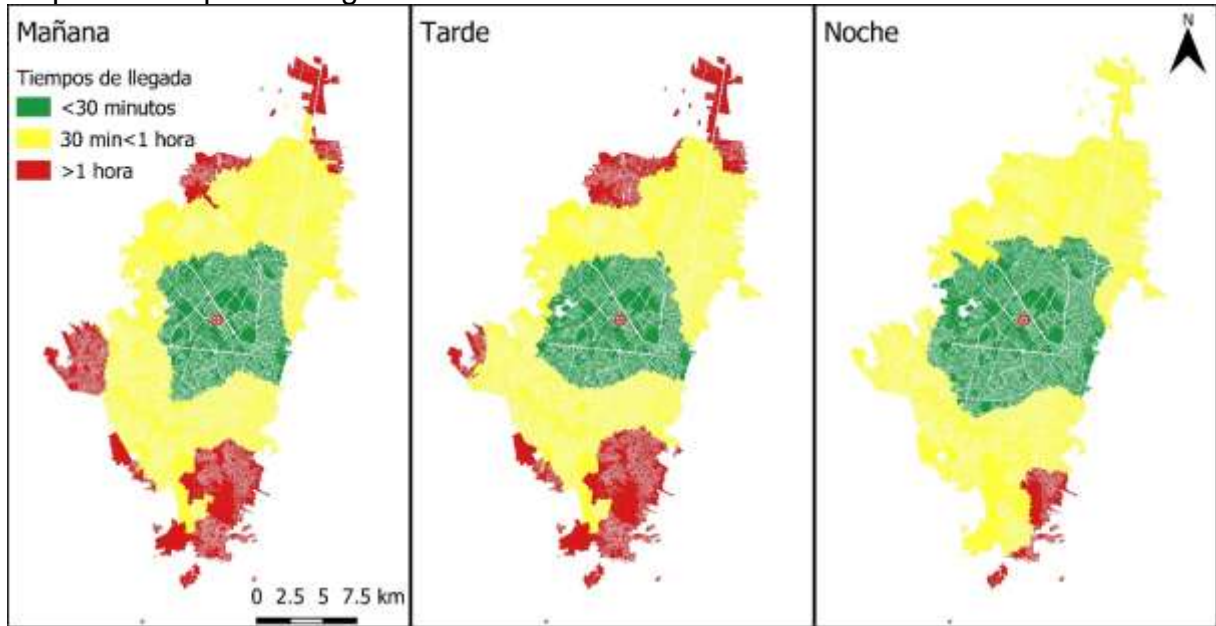
en el área cubierta durante la hora pico de la tarde, contrario a la tendencia general. Tanto la forma como la extensión de las áreas de cubrimiento varían extensamente durante el día, no siendo proporcional a la distancia arco al centro.

La Clínica Universitaria Colombia se encuentra localizada en la calle 23B Número 66 – 46, al interior de la localidad de Teusaquillo. Dada su localización en el centro geográfico de la ciudad, se observa que aumenta su área de cobertura óptima a través del día entre semana. Sin embargo, durante el fin de semana el área de cobertura óptima disminuye en la tarde. Sin importar la condición de tiempo, áreas ubicadas en el oriente de la localidad de Usme no alcanzan a llegar a este centro dentro del criterio de menos de 1 hora. En el fin de semana las variaciones en el área de calidad son menores a las observadas entre semana.

Mapa 4. Tiempos de llegada entre semana al centro Clínica Universitaria Colombia.

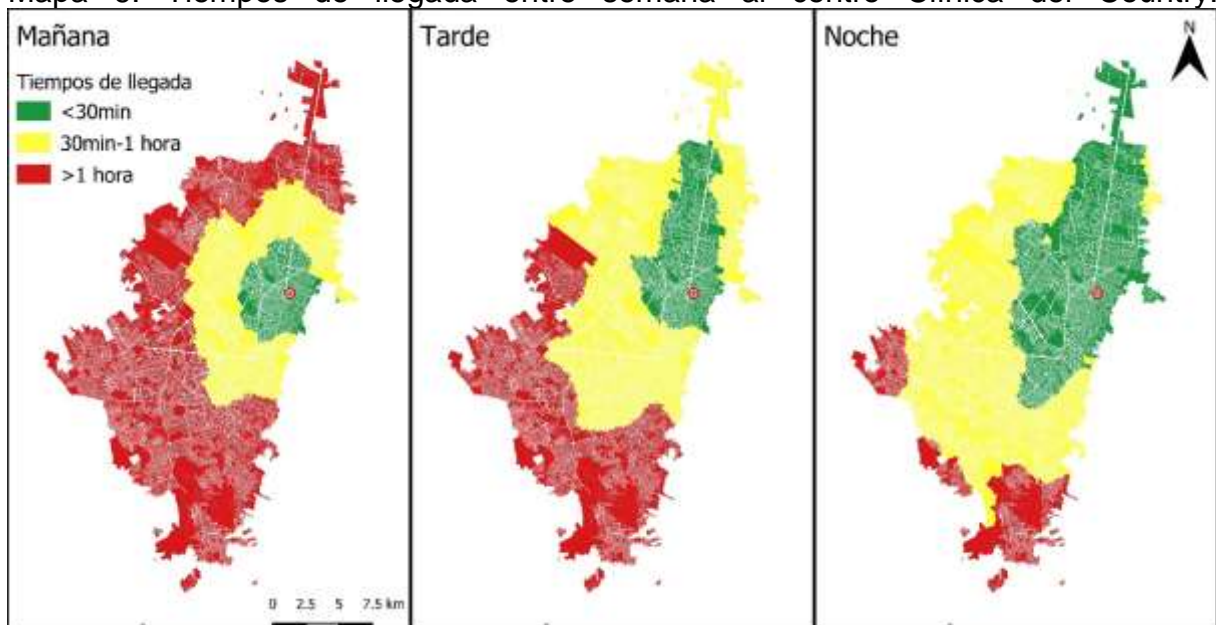


Mapa 5. Tiempos de llegada fin de semana al centro Clínica Universitaria Colombia.

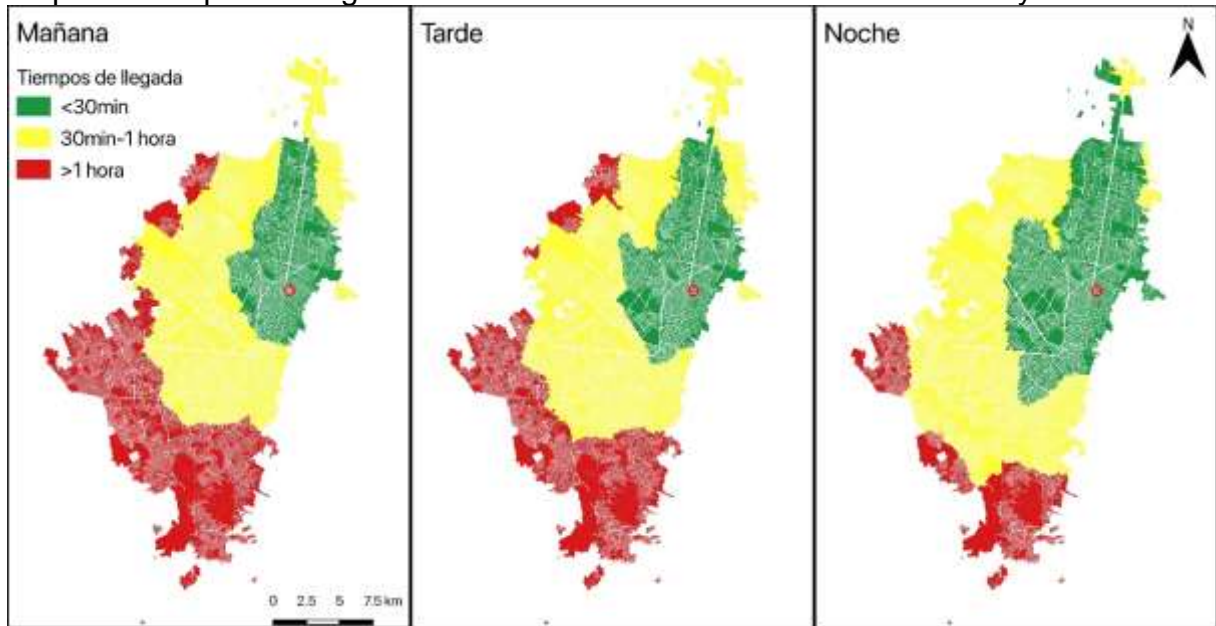


La Clínica del Country se encuentra localizada en la carrera 16 número 2-57, próxima a una vía amplia (autopista Norte). Sin embargo, las vías de acceso inmediatamente adyacentes al centro son angostas y densamente transitadas. En las mañanas de los días laborales, la zona de cubrimiento óptimo es mínima. Esta área crece en la hora pico de la tarde siguiendo la dirección de la autopista norte, sin cambios apreciables en otras direcciones. En las horas de la noche, la zona de cubrimiento óptima se ensancha hacia el suroriente de la ciudad, aunque siguiendo el mismo eje mayor. Esta tendencia se conserva durante los fines de semana, aunque partiendo desde una extensión similar a la de la hora pico de la tarde.

Mapa 6. Tiempos de llegada entre semana al centro Clínica del Country.

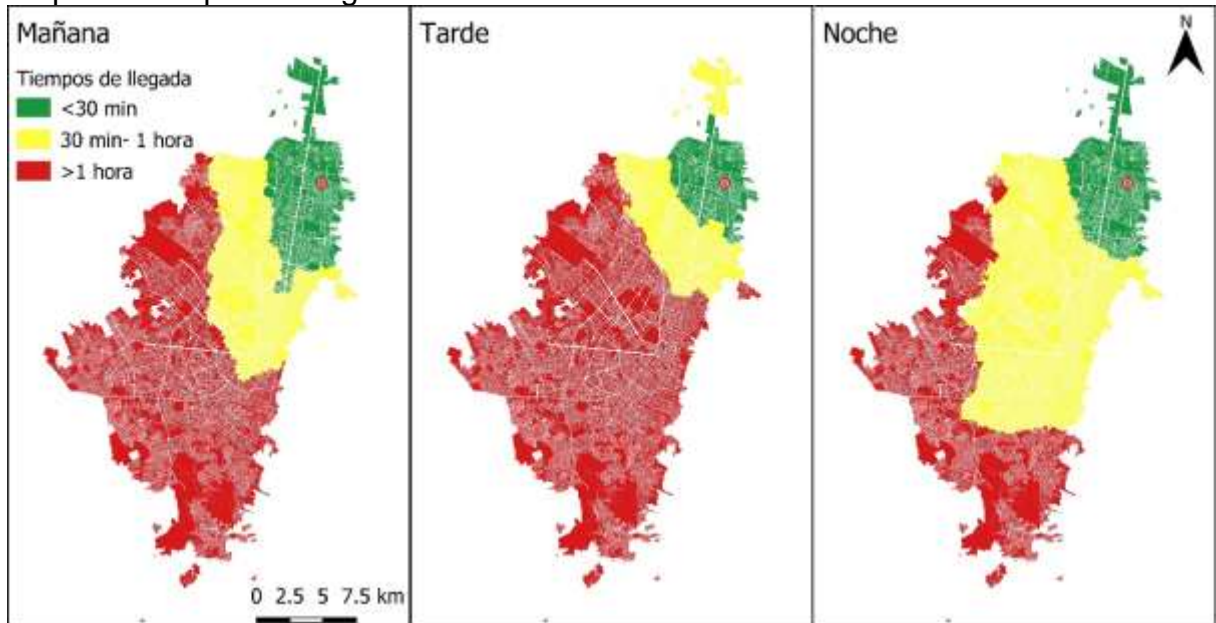


Mapa 7. Tiempos de llegada fin de semana al centro Clínica del Country.

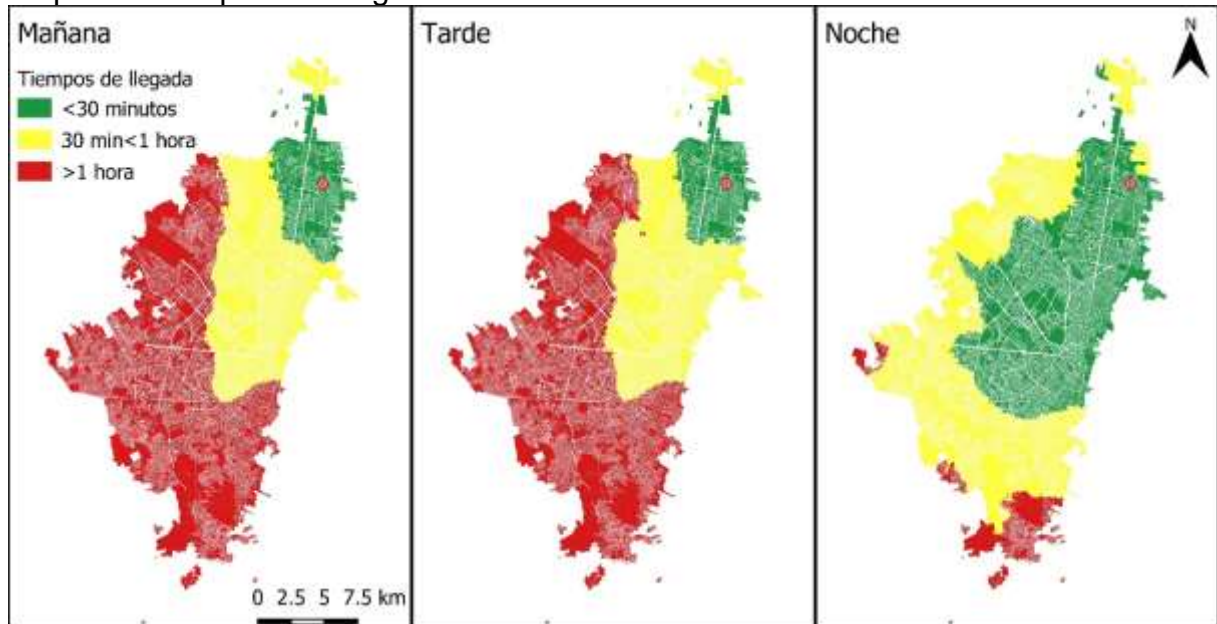


La Fundación Cardio Infantil se encuentra ubicada en la Calle 163 A número 13B-60, alejada de vías principales y en una zona residencial con vías de acceso angostas. A diferencia de otros centros, la hora pico de la tarde exhibe su menor área, y debido a que se encuentra próxima al límite norte de la ciudad, su cobertura no aumenta apreciablemente en la noche. Durante los fines de semana, el cubrimiento es similar al de las horas pico de los días laborales, aunque alcanza su máximo en la noche.

Mapa 8. Tiempos de llegada entre semana al centro Fundación Cardio Infantil.

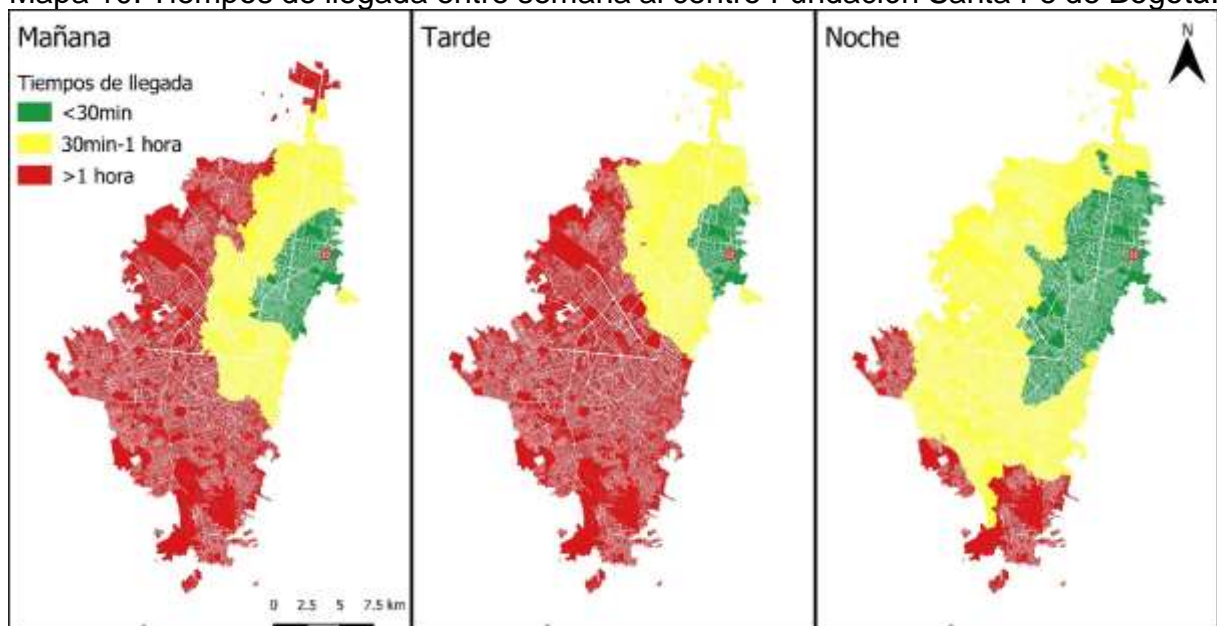


Mapa 9. Tiempos de llegada fin de semana al centro Fundación Cardio Infantil.

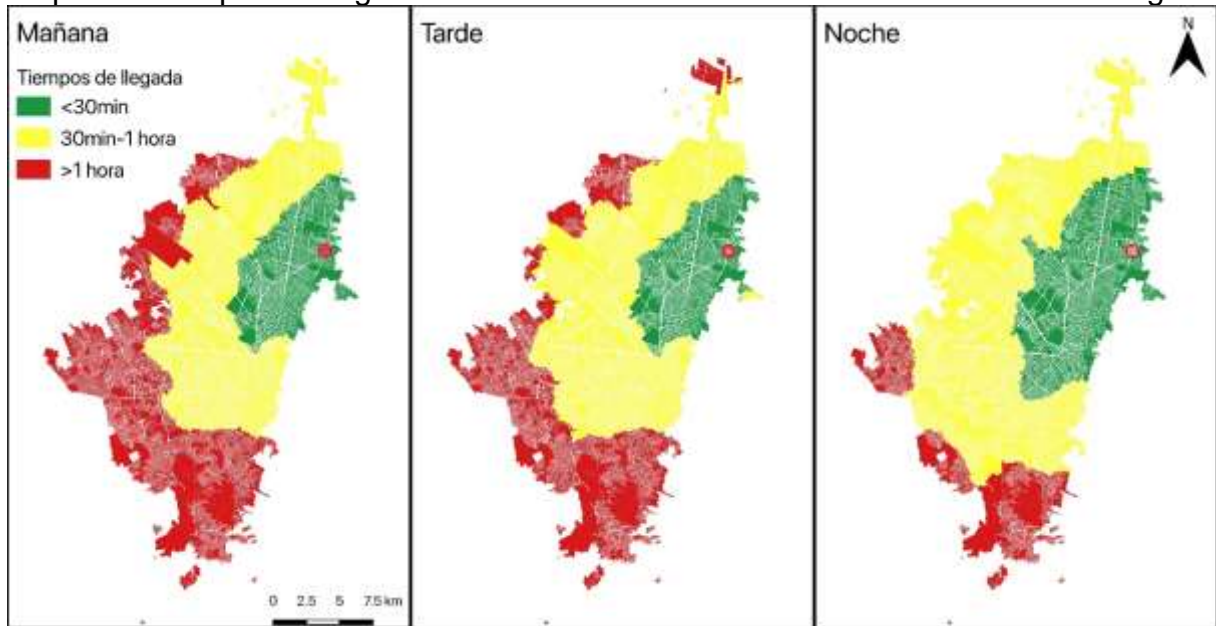


La Fundación Santa Fe de Bogotá está ubicada en la Carrera 7 número 117 – 15. Este centro es el único que cuenta con certificación “Joint Comission” como “Comprehensive Stroke Center” en la ciudad de Bogotá. Sus instalaciones se encuentran rodeadas por las carreras séptima y novena, ambas vías amplias de alto tránsito. Dada su proximidad a los cerros orientales, su zona de cubrimiento óptima se encuentra limitada en esta dirección, siendo mínima en la hora pico de la tarde de los días laborales. Bajo ninguna de las condiciones de tiempo logra cubrir áreas en las localidades de Bosa, Ciudad Bolívar o Usme en tiempos menores a 30 minutos.

Mapa 10. Tiempos de llegada entre semana al centro Fundación Santa Fe de Bogotá.

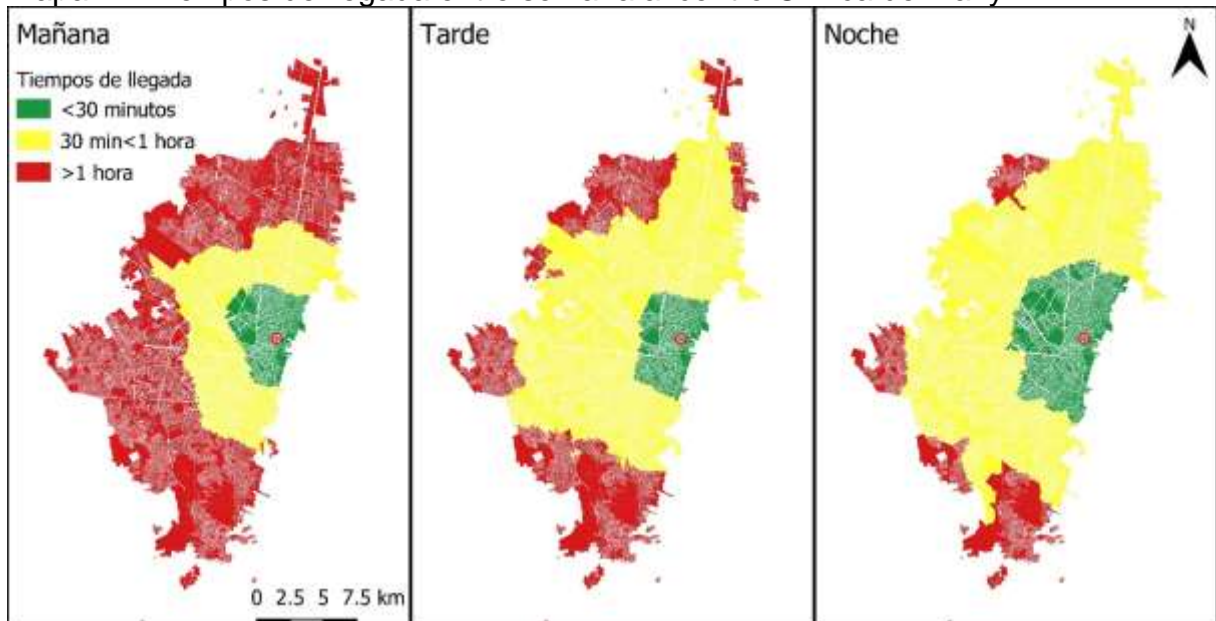


Mapa 11. Tiempos de llegada fin de semana al centro Fundación Santa Fe de Bogotá.

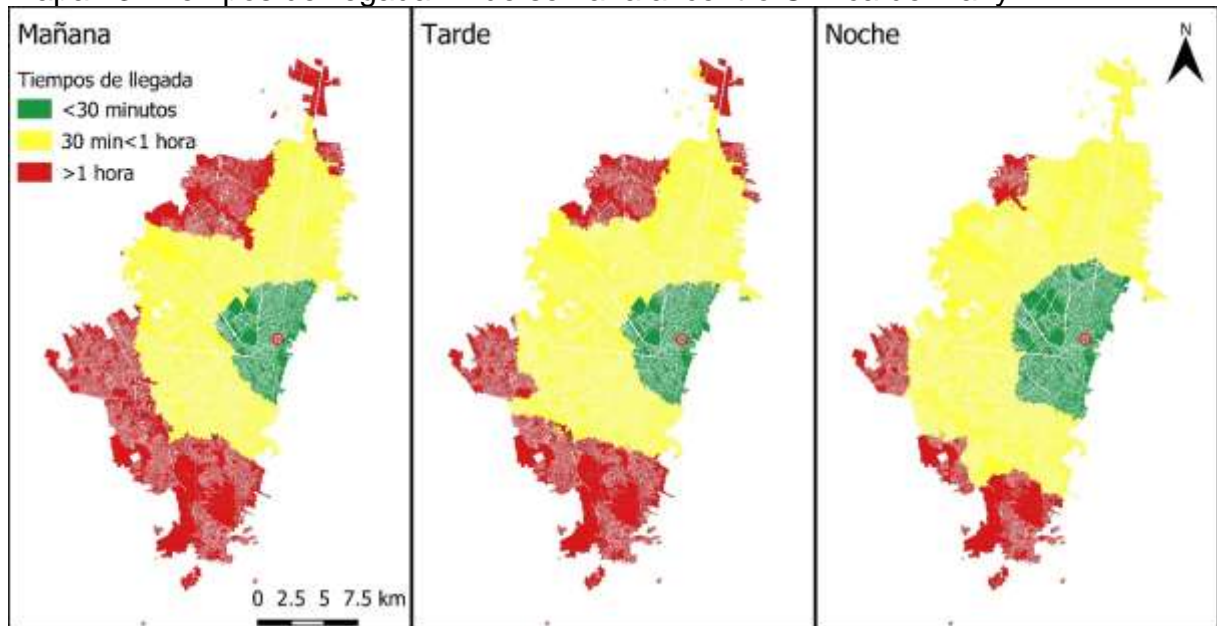


La Clínica de Marly se encuentra ubicada en la Calle 50 número 9-67 cerca de los cerros orientales en la localidad de Chapinero. No cuenta con vías de acceso amplias y está ubicada en una zona comercial altamente transitada. Su zona de cubrimiento óptimo es mínima en las mañanas de los días laborales, con una gran parte del área de la ciudad por fuera de un tiempo de llegada menor a una hora. El área óptima no aumenta apreciablemente a través del día entre semana ni en los fines de semana, siendo zonas de no accesibilidad Engativá, Ciudad Bolívar, Bosa y Usme.

Mapa 12. Tiempos de llegada entre semana al centro Clínica de Marly.

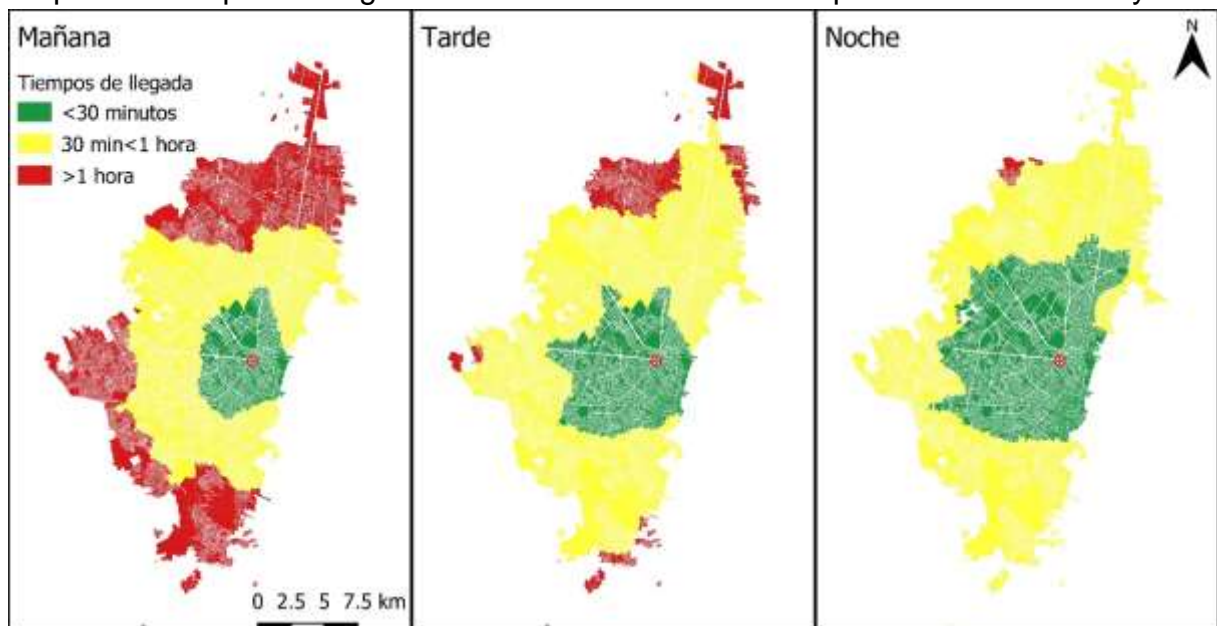


Mapa 13. Tiempos de llegada fin de semana al centro Clínica de Marly.

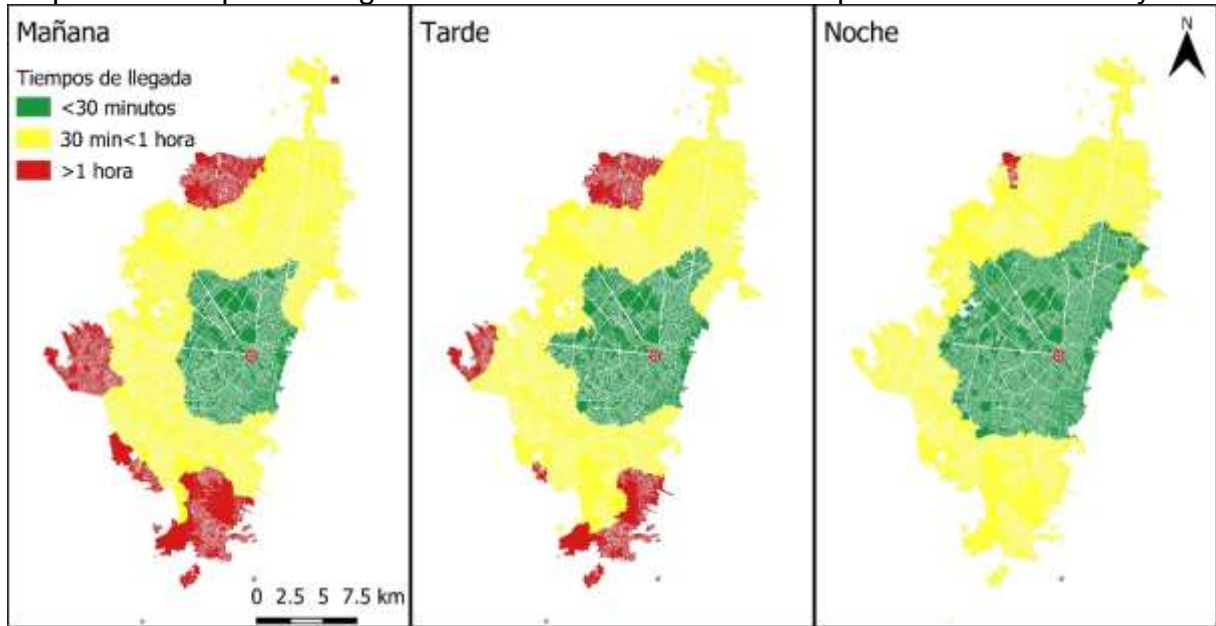


El Hospital Universitario Mayor - Mederi, ubicado en la calle 24 número 29-45, se encuentra cerca de tres vías principales: la Avenida NQS, la Avenida Las Américas y la Avenida El Dorado. Su área óptima crece a medida que pasa el día, tanto entre semana como los fines de semana, siendo máxima en las noches del fin de semana. Sólo un área pequeña ubicada en la localidad de Engativá se encuentra por fuera de un tiempo de llegada menor a una hora en todas las condiciones de tiempo. En las noches, el cubrimiento en tiempos menores a 1 hora comprende casi la totalidad de la ciudad.

Mapa 14. Tiempos de llegada entre semana al centro Hospital Universitario Mayor

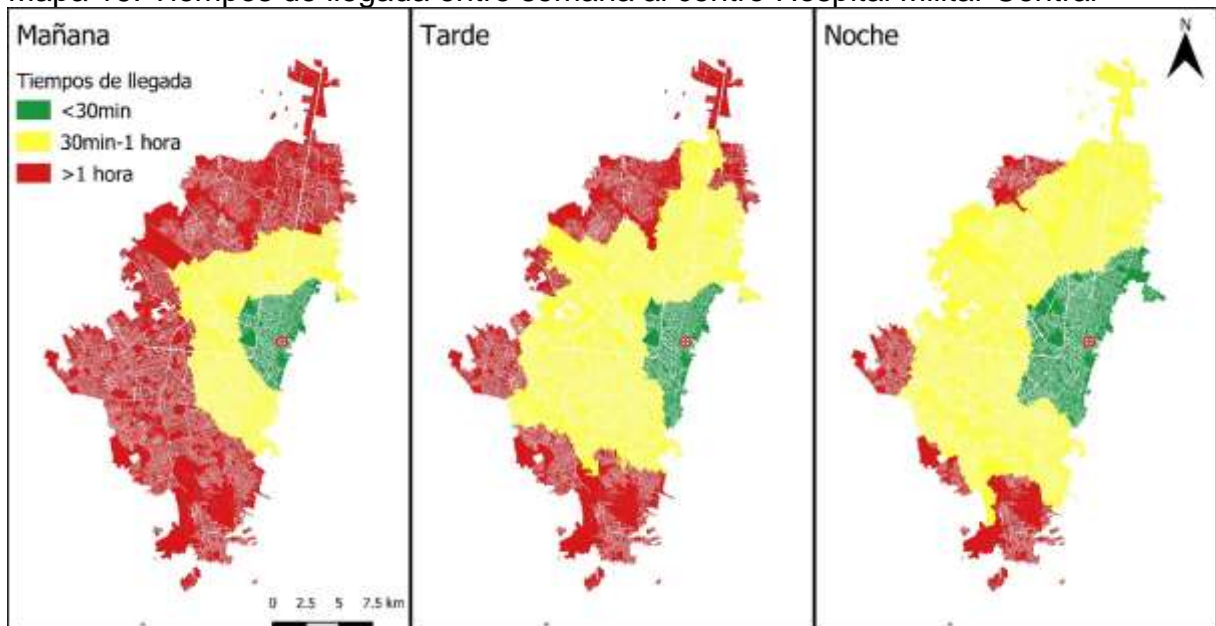


Mapa 15. Tiempos de llegada fin de semana al centro Hospital Universitario Mayor

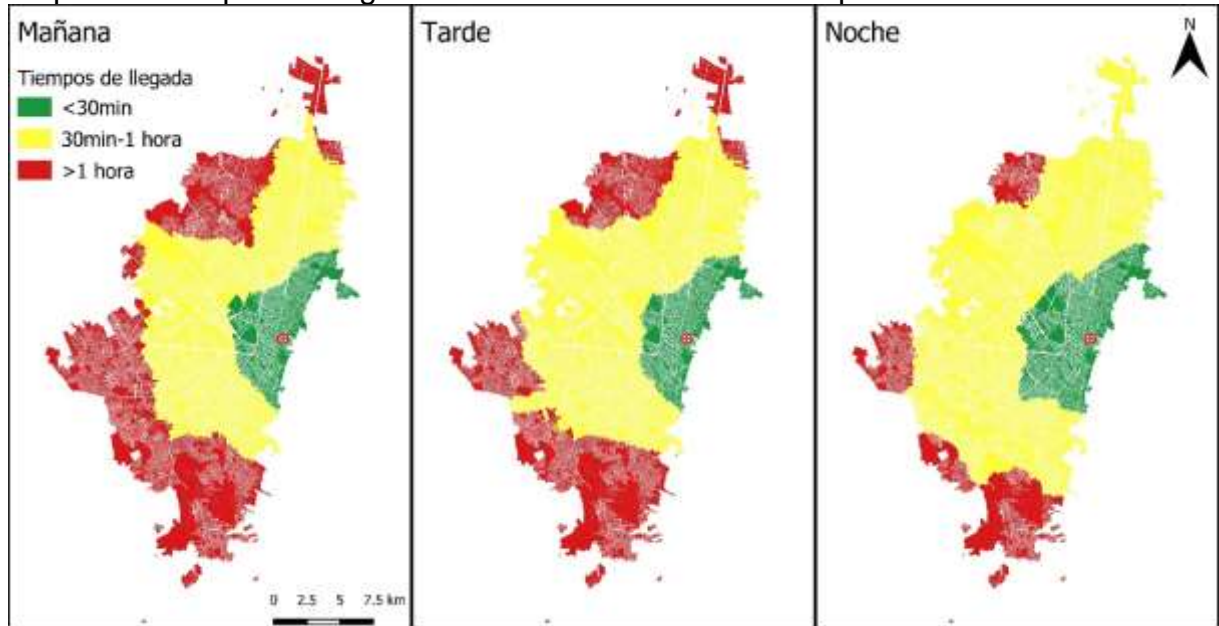


El Hospital Militar Central se encuentra ubicado en la Traversal 3ra número 49-02, inmediatamente adyacente a los cerros orientales y alejado de vías principales. Su área de cobertura óptima es mínima en las mañanas entre semana, y la mayoría del área de la ciudad se encuentra por fuera de tiempos de llegada inferiores a una hora. Su área óptima se extiende hacia el occidente de forma más marcada durante la noche y la mañana de los días laborales, pero su área sigue la distribución de los cerros, aumentando o disminuyendo sobre el eje norte-sur.

Mapa 16. Tiempos de llegada entre semana al centro Hospital Militar Central

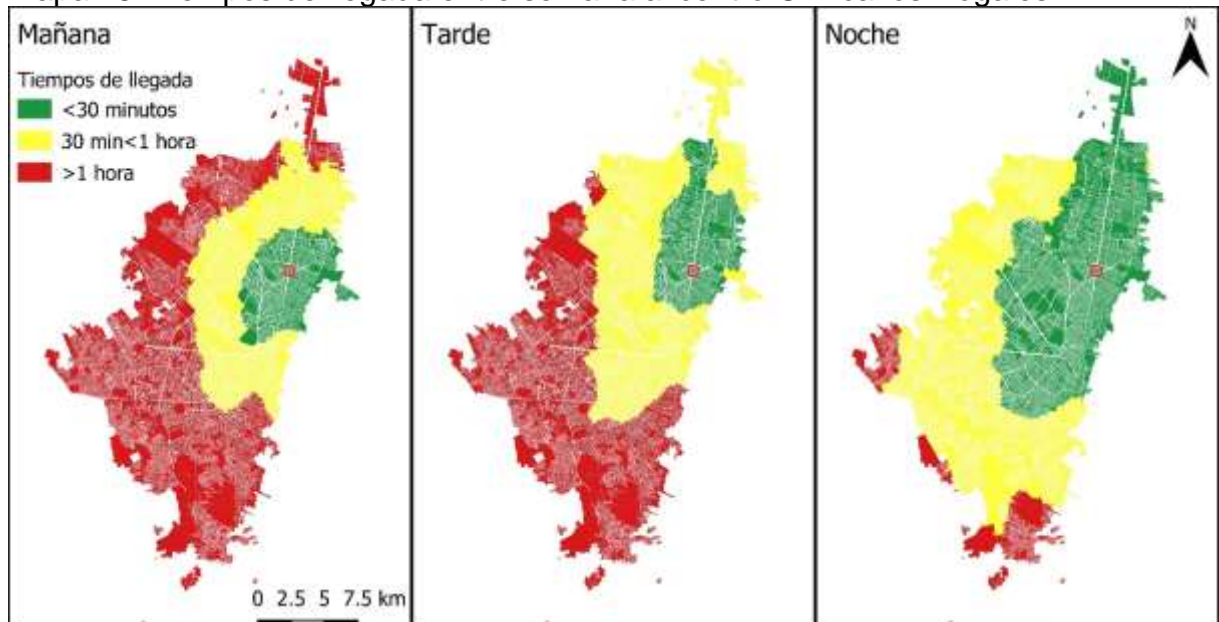


Mapa 17. Tiempos de llegada fin de semana al centro Hospital Militar Central

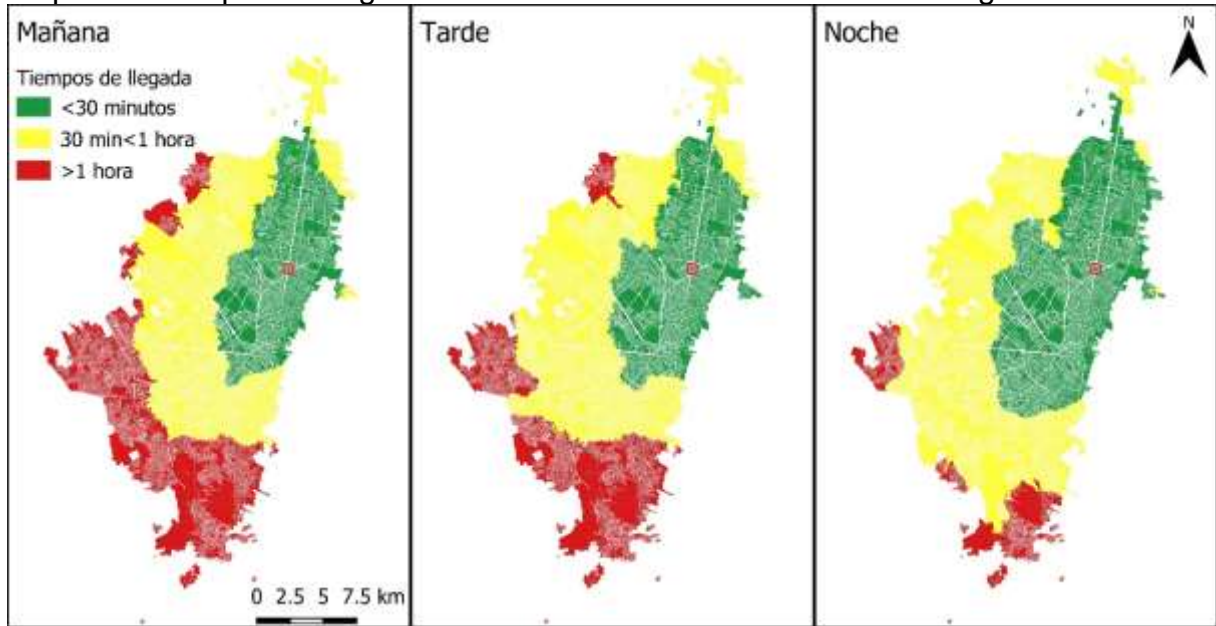


La Clínica los Nogales se encuentra ubicada en la Calle 95 número 23 - 61, adyacente a la autopista norte. De forma similar a la Clínica del County, también ubicada cerca de esta vía, los aumentos en el área de cubrimiento la siguen. Su óptima es mínima en las mañanas de los días laborales y aumenta hacia el norte en la tarde, y en ambas direcciones en la noche. El área de cubrimiento en los fines de semana presenta escasos cambios y sigue una distribución similar a la de las noches entre semana.

Mapa 18. Tiempos de llegada entre semana al centro Clínica los Nogales.

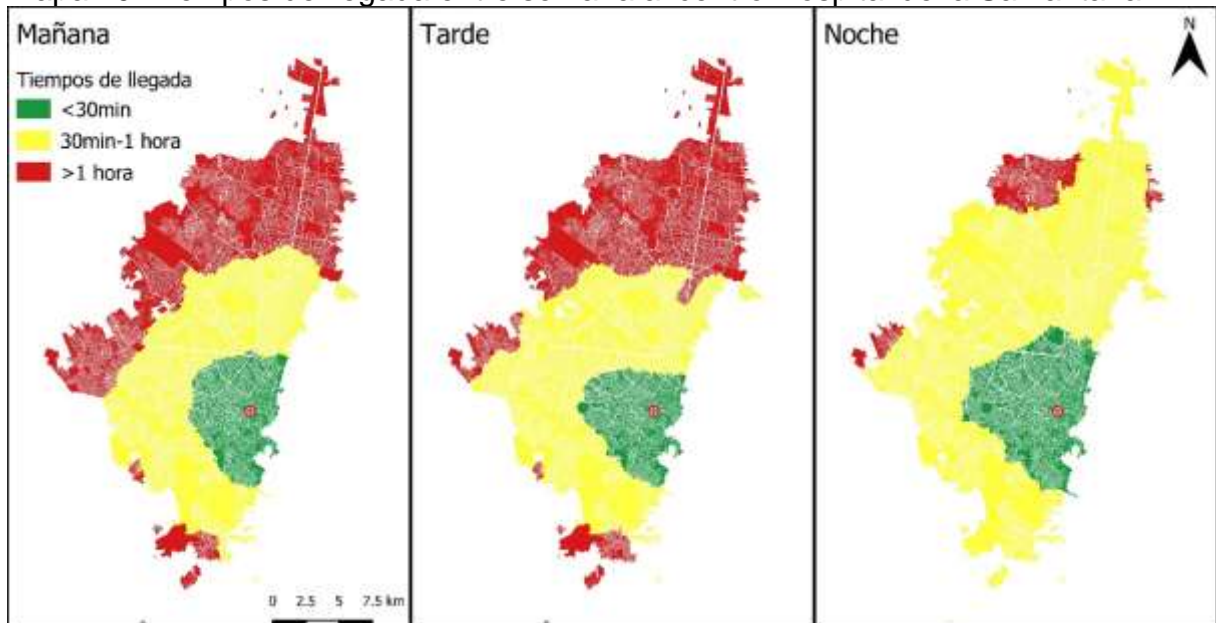


Mapa 19. Tiempos de llegada fin de semana al centro Clínica los Nogales.

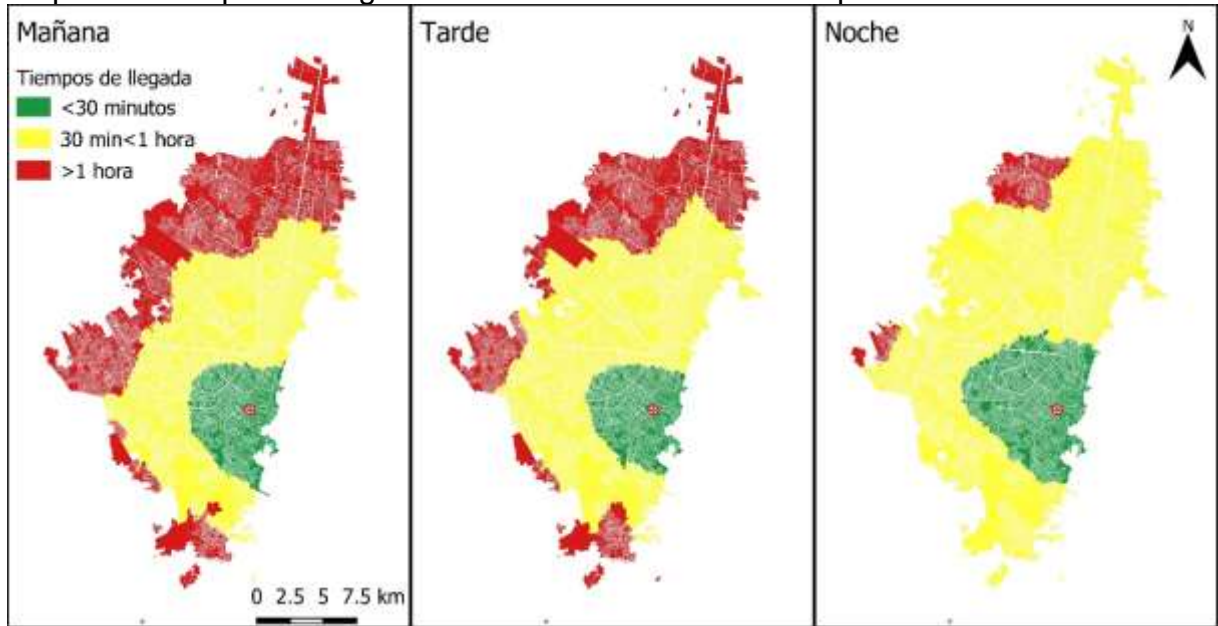


El Hospital Universitario de la Samaritana está ubicado en la Carrera 8 número 0-29 Sur, próximo a la carrera décima. Su zona de cubrimiento óptimo experimenta poca variación a través del día, sea en día laboral o en los fines de semana. A pesar de su ubicación, en las mañanas y tardes de los días entre semana no alcanza a cubrir la totalidad de las manzanas censales de la localidad de Usme, y su proyección hacia el occidente no se extiende más allá de la porción oriental de la localidad de Kennedy. Es notable que el cubrimiento de este centro no es notablemente mayor en los fines de semana que en los días laborales.

Mapa 20. Tiempos de llegada entre semana al centro Hospital de la Samaritana.

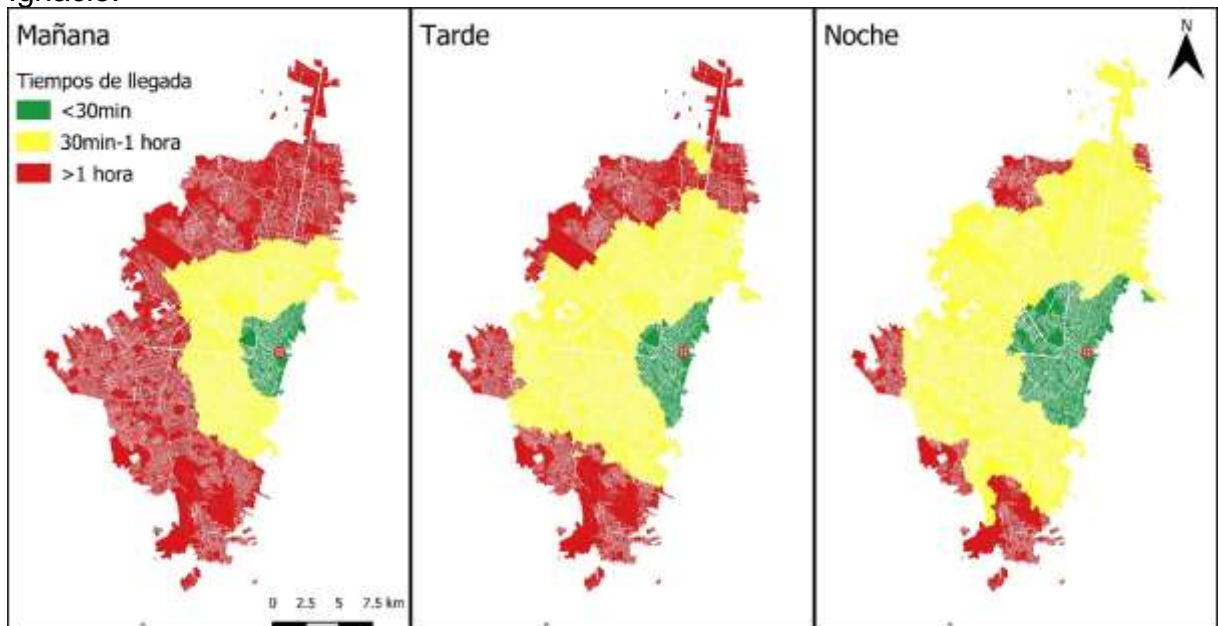


Mapa 21. Tiempos de llegada fin de semana al centro Hospital de la Samaritana.

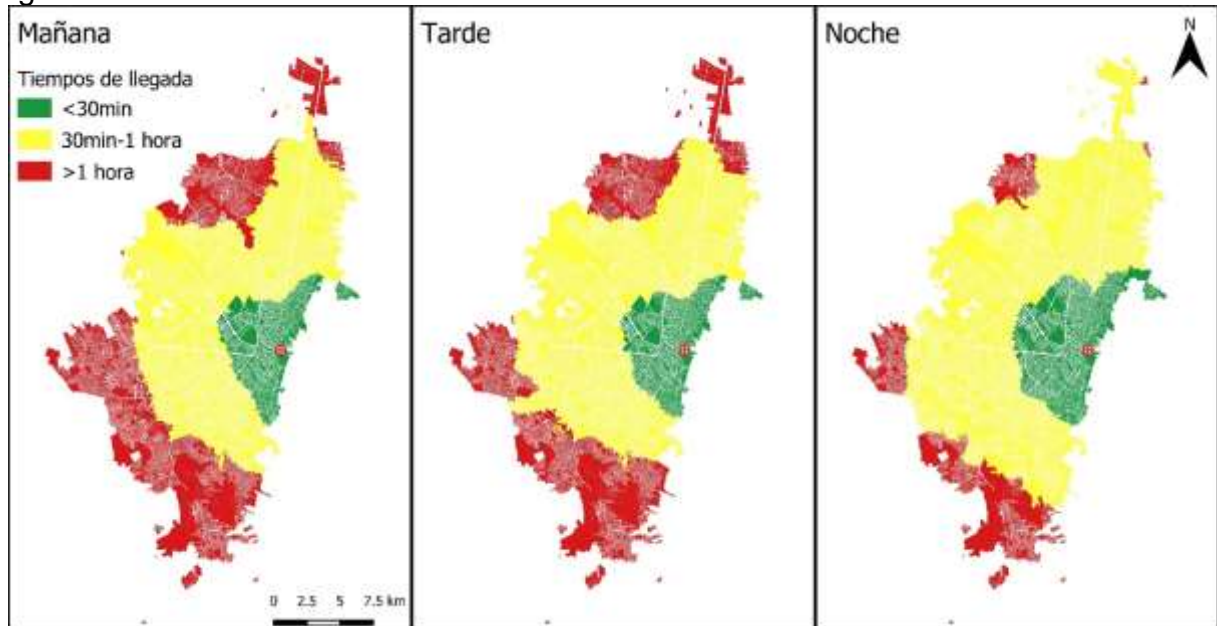


El Hospital Universitario San Ignacio está ubicado en la Carrera Séptima número 40-62, y se encuentra al interior de los predios de la Universidad Javeriana de Bogotá. Aunque la carrera séptima es una vía importante en la ciudad, no hay vías de gran capacidad en su proximidad que permitan la proyección de su área óptima hacia el occidente. En las horas pico de la mañana y tarde, su área óptima es la más pequeña de los centros evaluados. Los fines de semana, se amplía el área de cubrimiento, aunque no por encima del cubrimiento de la noche de los días laborales.

Mapa 22. Tiempos de llegada entre semana al centro Hospital Universitario San Ignacio.

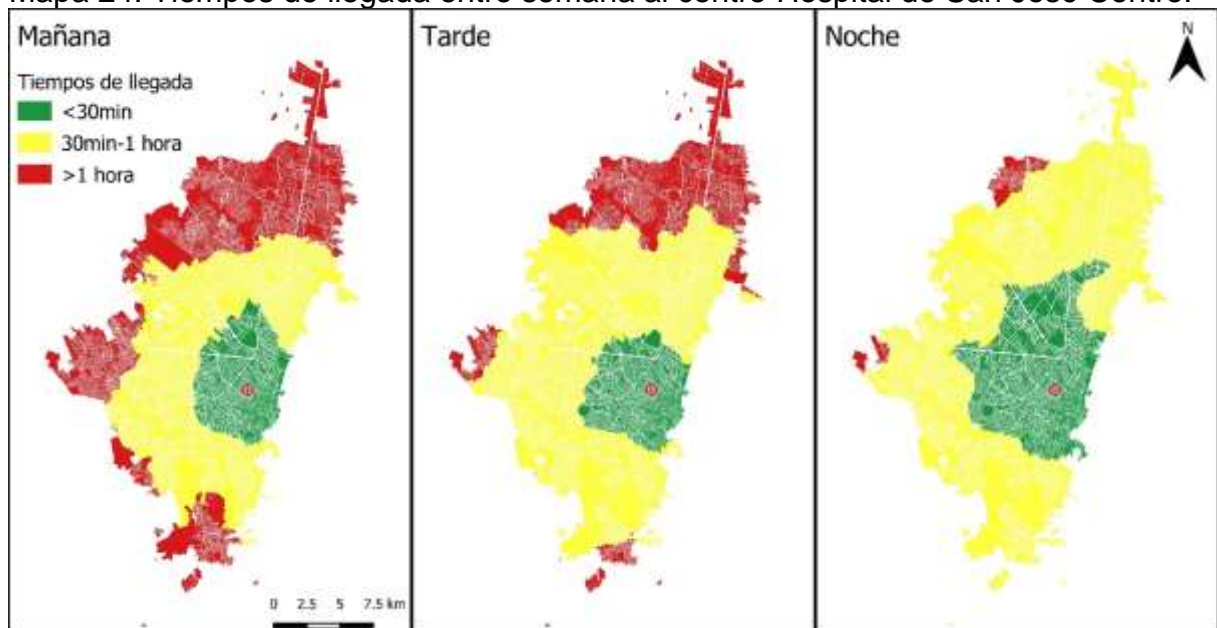


Mapa 23. Tiempos de llegada fin de semana al centro Hospital Universitario San Ignacio.

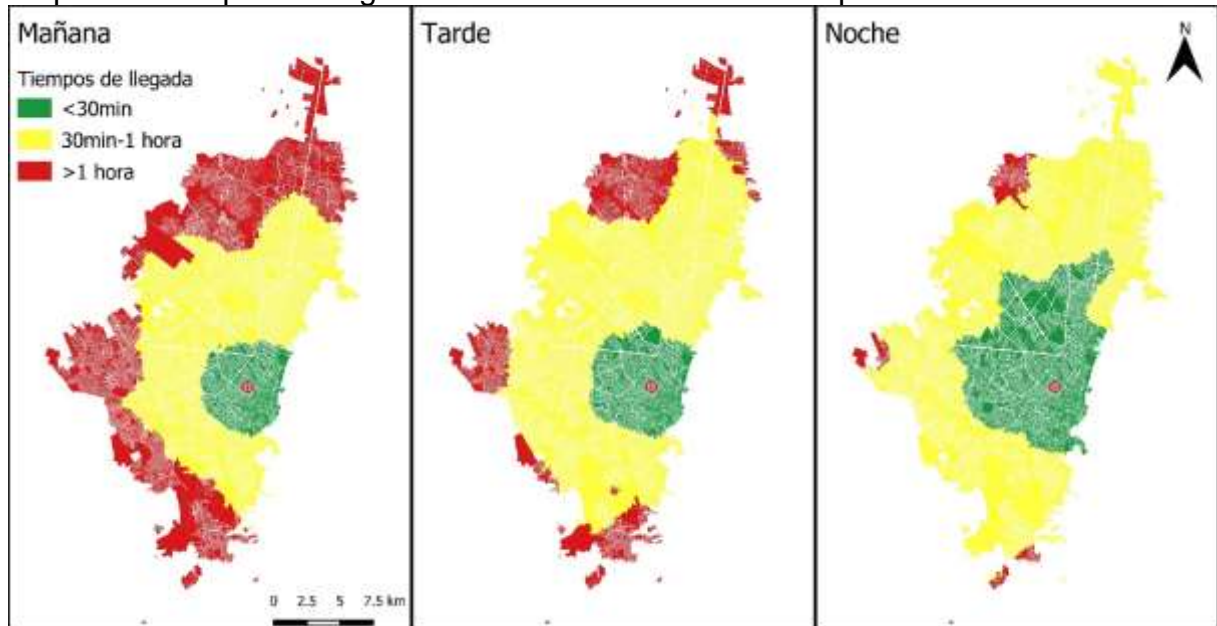


El Hospital de San José se encuentra ubicado en la calle 10ma número 18-75 rodeado de un área comercial. Su zona de cubrimiento es mayor en los días laborales, comparado con las mismas horas pico en los fines de semana. La hora pico de la mañana de los fines de semana presenta la menor área de cubrimiento óptimo, dejando por fuera de incluso su área de llegada en una hora grandes partes de las localidades de Kennedy, Bosa y Usme. En las noches, sean de fin de semana o de día laboral, su cubrimiento de llegada en menos de una hora se amplía hasta cubrir la mayoría de la ciudad.

Mapa 24. Tiempos de llegada entre semana al centro Hospital de San José Centro.

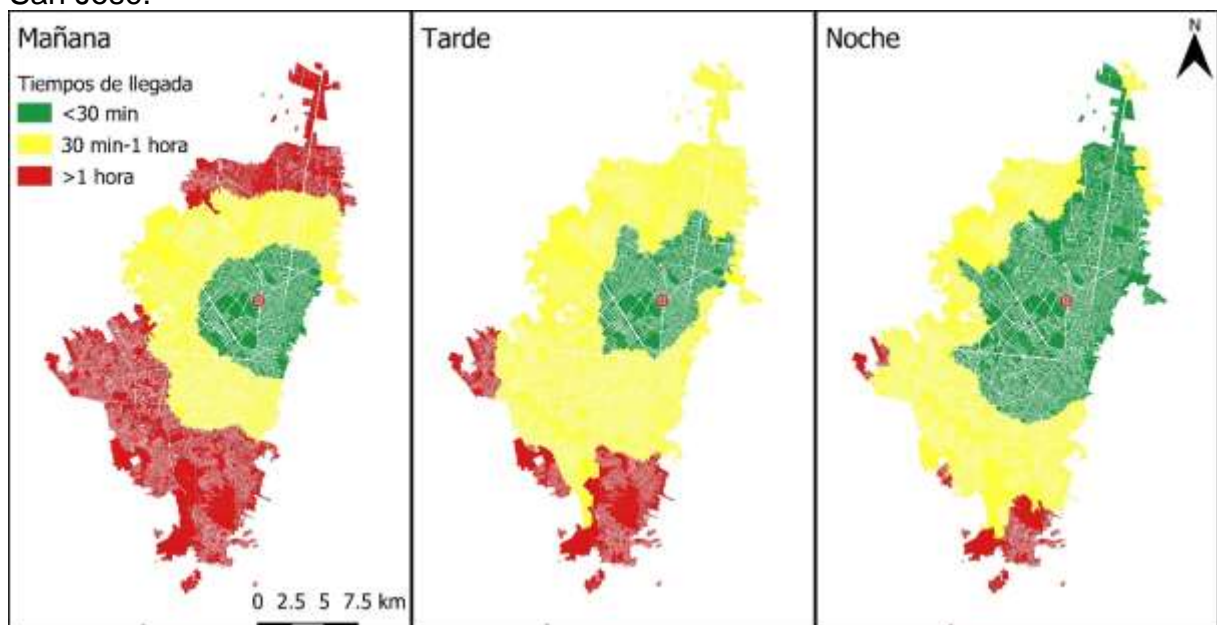


Mapa 25. Tiempos de llegada fin de semana al centro Hospital de San José Centro.

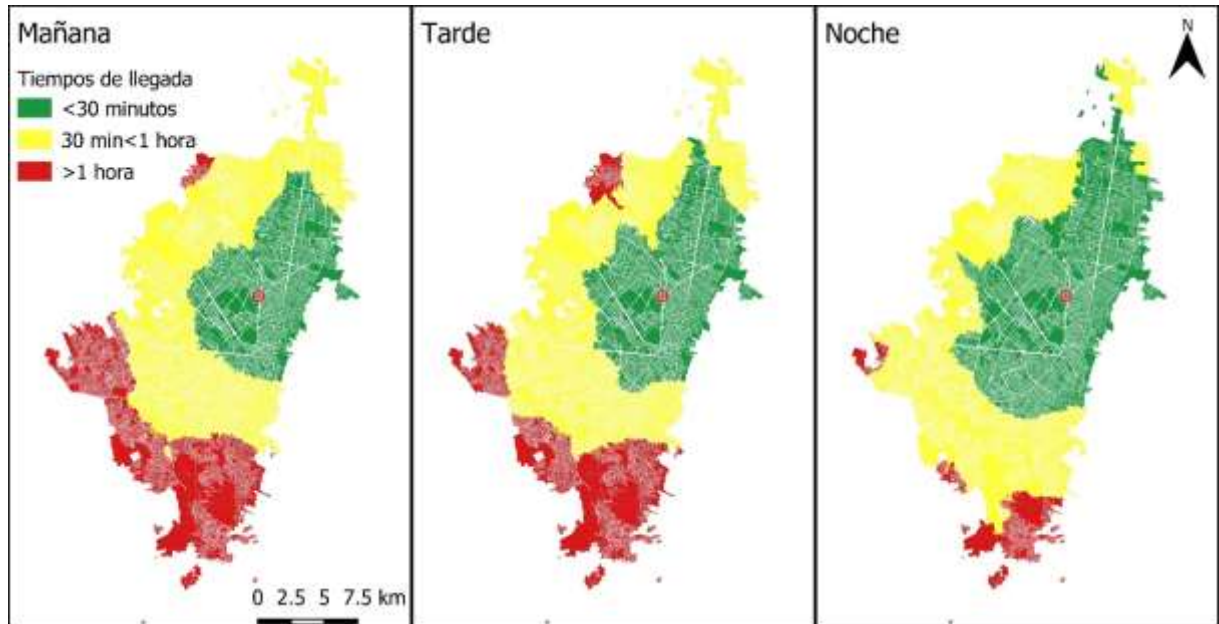


El Hospital Universitario Infantil de San José se encuentra ubicado en la carrera 54 número 67a-18, adyacente a la calle 68, y a pocas manzanas de la Avenida NQS. Su área de cubrimiento óptimo es mínima en las mañanas de los días laborales, extendiéndose hacia el norte a través del día. Los fines de semana muestran un incremento notable en su área de cubrimiento, con un área de llegada menor a 30 minutos que se extiende desde el extremo norte de la ciudad hasta más allá de la localidad de La Candelaria.

Mapa 26. Tiempos de llegada entre semana al centro Hospital Infantil Universitario de San José.

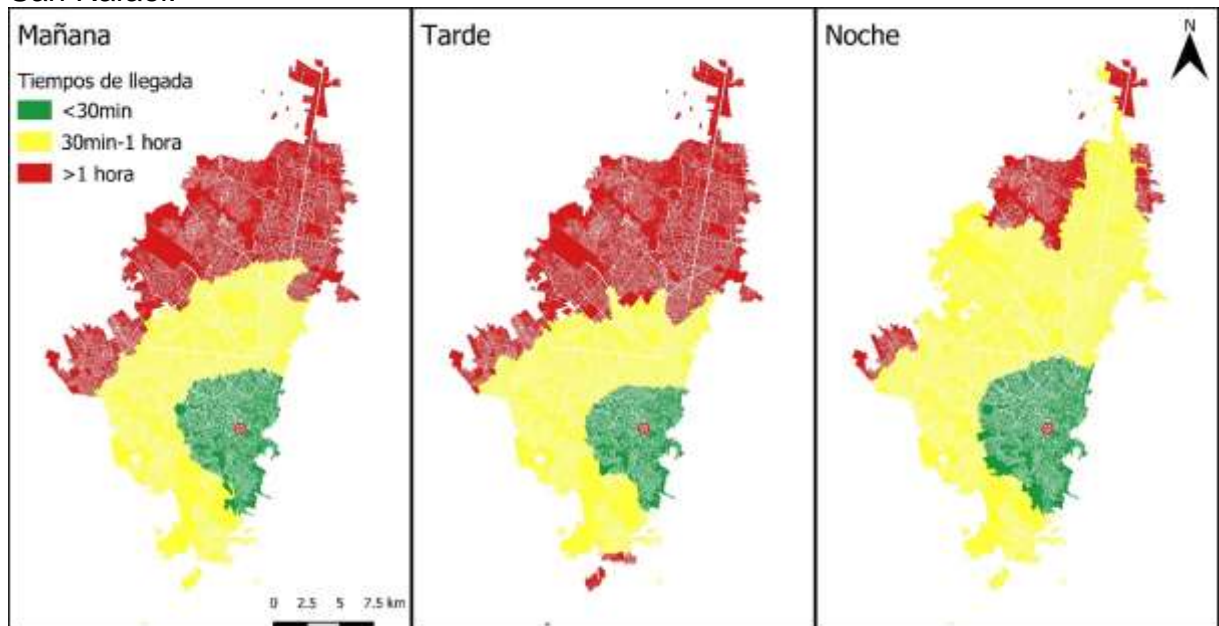


Mapa 27. Tiempos de llegada fin de semana al centro Hospital Infantil Universitario de San José.

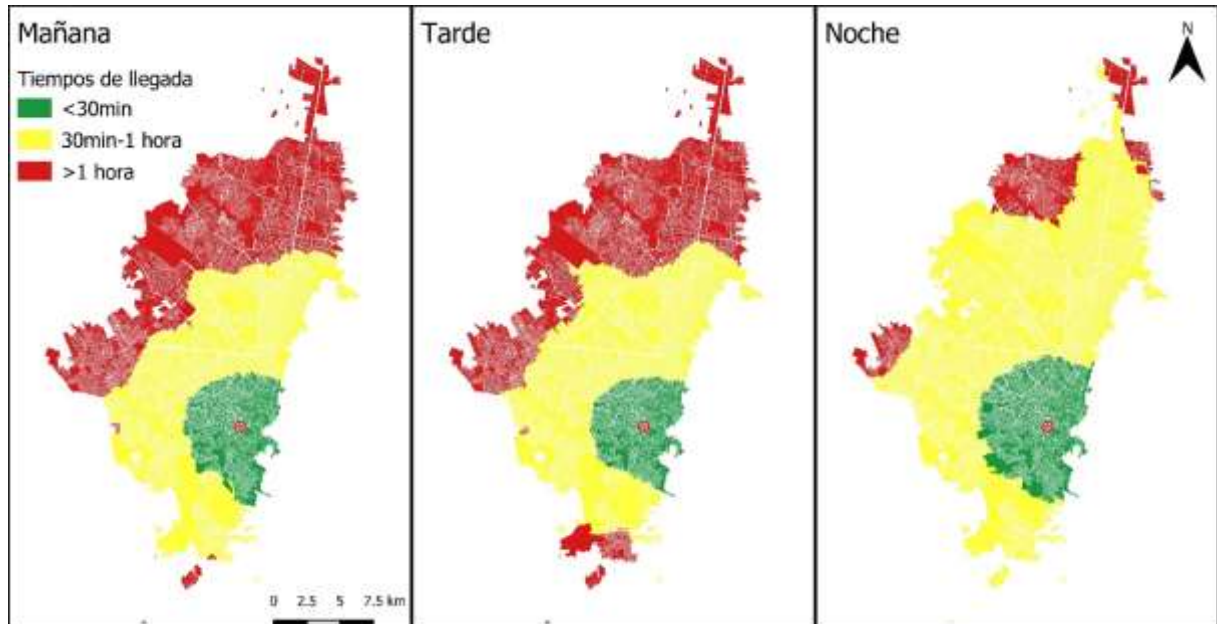


El Hospital Universitario Clínica San Rafael se encuentra ubicado en la localidad de San Cristóbal, en la Carrera 8va número 17-45 Sur. De los centros evaluados, es el ubicado más al sur de la ciudad. Sin embargo, su área de cubrimiento óptimo no cubre la totalidad de la localidad de Usme, y su proyección hacia el occidente es limitada. A través del día, su área de cubrimiento óptima presenta pocos cambios, siendo mínima en la hora pico de la tarde de los días laborales.

Mapa 28. Tiempos de llegada entre semana al centro Hospital Universitario Clínica San Rafael.

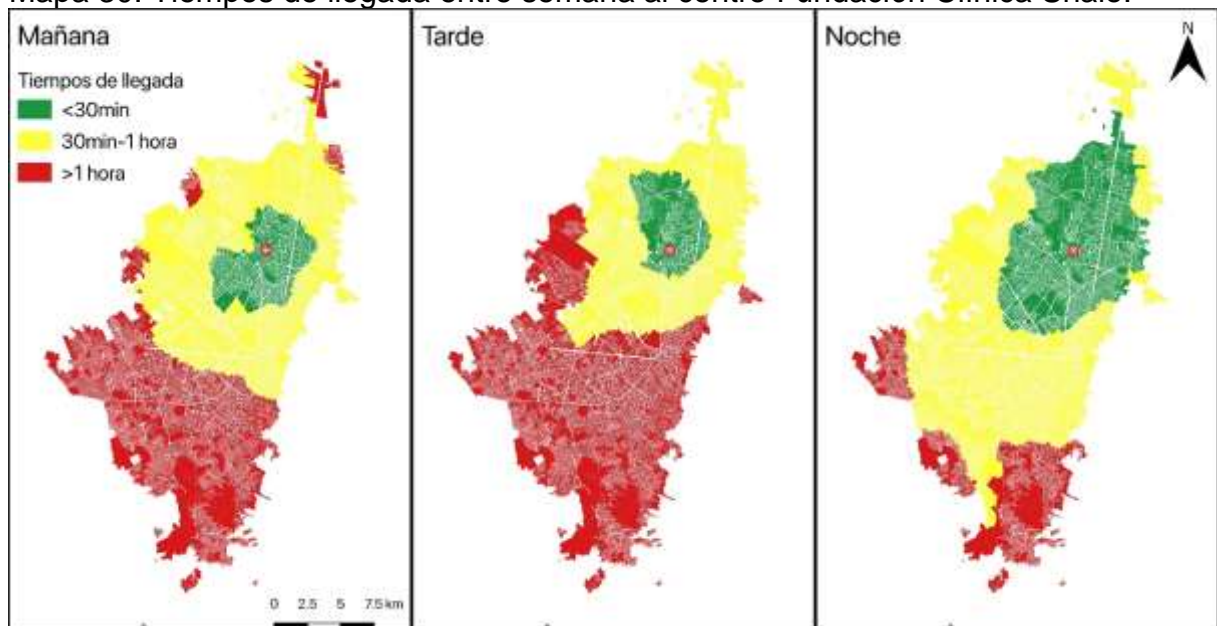


Mapa 29. Tiempos de llegada fin de semana al centro Hospital Universitario Clínica San Rafael.

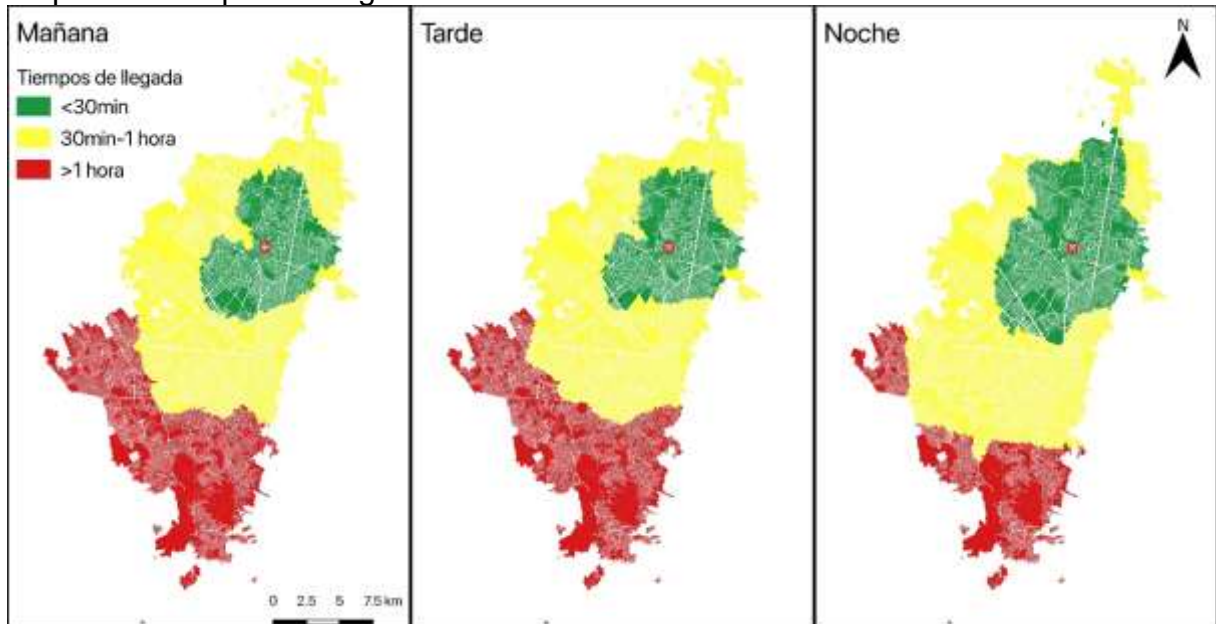


La Fundación Clínica Shaio está ubicada en la diagonal 115A, número 70c - 75. Aunque está rodeada por una zona residencial de calles angostas, se encuentra próxima a la avenida Suba. Su proyección hacia el occidente se encuentra limitada por la barrera del Club los Lagartos y el Humedal Juan Amarillo. En los días laborales, su área es similar en extensión en las horas pico de la mañana y tarde. Sin embargo, su cubrimiento es mínimo en la hora pico de la tarde de los días laborales, presentando además un desplazamiento hacia el noroccidente. Los fines de semana presentan escasa variación con respecto a los días laborales, con la excepción de estabilidad en la topología de su cubrimiento.

Mapa 30. Tiempos de llegada entre semana al centro Fundación Clínica Shaio.



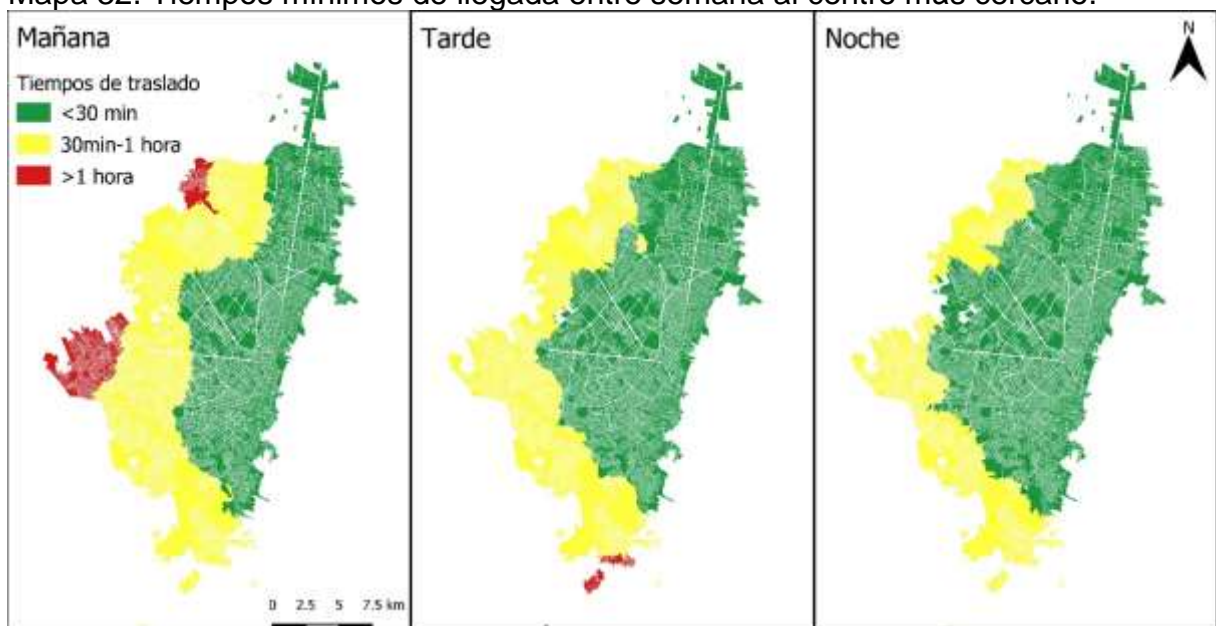
Mapa 31. Tiempos de llegada fin de semana al centro Fundación Clínica Shaio



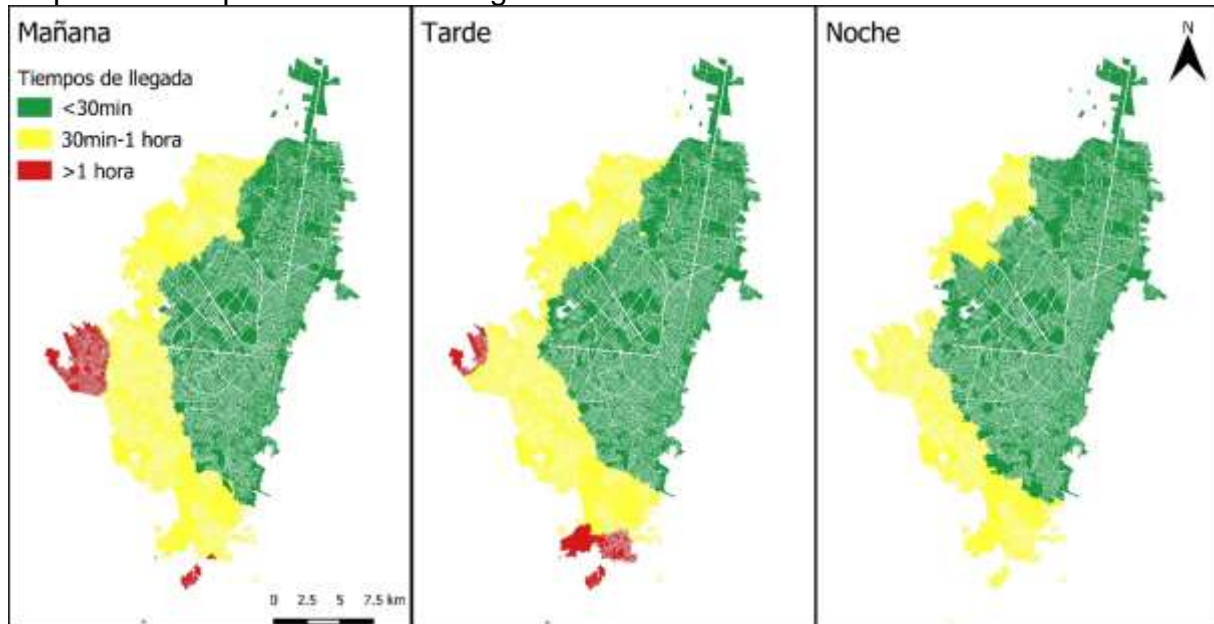
La Fundación Clínica Shaio junto con la Fundación Santa Fe de Bogotá son los únicos centros que cuentan con servicio de imágenes de perfusión cerebral, necesarios para la trombectomía posterior a 6 horas del inicio de los síntomas.

Los tiempos mínimos de llegada al centro más próximo muestran el cubrimiento total del conjunto de centros considerados. Grandes áreas de las localidades de Engativá, Fontibón, Bosa, Ciudad Bolívar y Usme no se encuentran dentro del área de calidad, y algunas áreas de estas localidades se encuentran por fuera de incluso el umbral de 1 hora.

Mapa 32. Tiempos mínimos de llegada entre semana al centro más cercano.



Mapa 33. Tiempos mínimos de llegada fin de semana al centro más cercano.



En las siguientes tablas, que son la cuantificación de lo que se observa en los mapas coropléticos, se muestra el área y la población cubierta por cada centro. La mayoría de los centros modifica sustancialmente su área de cobertura y población captada de acuerdo con la hora y el día que se realice el traslado. En los días laborales, el cambio más extremo corresponde al área cubierta por la Clínica del Country, con un cambio porcentual con respecto al máximo del control de la noche del 78,34% (Tabla 7). Sin embargo, los cambios más significativos en cuanto a población cubierta, tanto total como mayores de 60 años, corresponden a la Fundación Santa Fe de Bogotá, con reducciones del 78,67% y 77,01%, respectivamente.

Por otro lado, el Hospital Universitario Clínica San Rafael es el más insensible a las condiciones de tráfico con cambios en área, población total y población mayor de 60 años de 33,26%, 23,02% y 24,88%, respectivamente.

Tabla 10. Área y población cubierta entre semana por centro.

Entre semana		Mañana			Tarde			Noche		
		A (km ²)	Pob. (Habs.)	Hab>60	A (km ²)	Pob. (Habs.)	Hab>60	A (km ²)	Pob. (Habs.)	Hab>60
Colombia	<30min	35,68	605.530	138.096	41,59	850.033	165.079	92,67	2.130.813	416.183
	30-60min	112,63	2.538.368	483.755	181,83	4.420.782	735.695	197,77	4.267.208	674.794
	>60min	150,74	3.347.514	480.590	75,63	1.220.597	201.667	8,60	93.391	11.464
Country	<30min	22,73	440.619	116.746	43,51	779.103	189.055	104,95	1.709.685	385.494
	30-60min	71,56	1.201.628	267.001	130,08	2.685.783	491.319	147,31	3.953.195	615.525
	>60min	204,76	4.849.165	718.694	125,46	3.026.526	422.067	46,78	828.532	101.422
FCI	<30min	48,18	668.790	146.704	27,88	475.258	93.154	44,37	606.320	127.617

Entre semana		Mañana			Tarde			Noche		
		A (km2)	Pob. (Habs.)	Hab>60	A (km2)	Pob. (Habs.)	Hab>60	A (km2)	Pob. (Habs.)	Hab>60
	30-60min	64,28	1.347.799	273.958	46,76	715.853	146.519	125,43	2.843.974	555.379
	>60min	186,58	4.474.823	681.779	224,41	5.300.301	862.768	129,25	3.041.118	419.445
FSFB	<30min	26,47	426.914	115.055	17,37	255.507	66.759	70,32	1.198.040	290.326
	30-60min	78,29	1.238.203	260.738	76,69	1.420.479	286.161	178,85	4.387.131	701.052
	>60min	194,28	4.826.295	726.648	204,98	4.815.426	749.521	49,87	906.241	111.063
Marly	<30min	21,93	354.279	89.310	21,60	331.258	82.354	46,59	778.387	182.022
	30-60min	71,63	1.440.104	304.940	170,70	3.846.854	713.846	200,26	4.704.208	798.427
	>60min	205,48	4.697.029	708.191	106,75	2.313.300	306.241	52,20	1.008.817	121.992
Mederi	<30min	32,06	550.379	122.860	55,92	1.237.364	256.386	100,71	2.232.410	460.636
	30-60min	129,76	2.960.973	543.230	206,40	4.573.497	757.258	195,88	4.189.231	634.030
	>60min	137,23	2.980.060	436.351	36,72	680.551	88.797	2,46	69.771	7.775
Militar	<30min	19,26	293.794	75.065	21,95	341.465	82.020	44,98	692.262	165.831
	30-60min	70,32	1.349.827	292.409	157,79	3.578.689	681.693	201,81	4.760.114	810.901
	>60min	209,47	4.847.791	734.967	119,31	2.571.258	338.728	52,26	1.039.036	125.709
Nogales	<30min	33,02	529.269	142.834	40,04	721.421	181.802	124,10	2.108.088	467.448
	30-60min	77,66	1.446.003	300.171	107,96	2.197.458	401.055	146,14	3.969.657	587.153
	>60min	188,37	4.516.140	659.436	151,05	3.572.533	519.584	28,81	413.667	47.840
Samaritana	<30min	35,77	934.919	169.833	33,65	959.888	171.742	53,70	1.427.000	261.190
	30-60min	122,12	2.595.115	463.228	133,89	3.020.513	501.442	222,56	4.472.686	765.417
	>60min	141,16	2.961.378	469.380	131,51	2.511.011	429.257	22,79	591.726	75.834
San Ignacio	<30min	14,90	223.401	54.935	19,42	288.264	65.503	41,11	658.090	148.537
	30-60min	76,87	1.548.817	330.582	150,08	3.696.285	695.523	204,03	4.673.036	810.969
	>60min	207,27	4.719.194	716.924	129,54	2.506.863	341.415	53,91	1.160.286	142.935
San José Centro	<30min	36,59	752.024	157.771	35,45	824.691	164.401	70,75	1.633.014	332.847
	30-60min	130,21	2.978.718	526.410	183,87	4.211.984	710.619	219,40	4.643.472	745.518
	>60min	132,24	2.760.670	418.260	79,73	1.454.737	227.421	8,89	214.926	24.076
San José Infantil	<30min	46,25	808.817	196.351	48,25	968.881	232.850	133,27	2.434.012	533.128
	30-60min	109,05	2.314.814	436.104	198,81	4.585.077	752.445	144,58	3.802.261	538.929
	>60min	143,75	3.367.781	469.986	51,99	937.454	117.146	21,20	255.139	30.384
San Rafael	<30min	40,27	1.107.334	192.402	33,31	991.450	168.611	49,90	1.287.860	224.462
	30-60min	120,85	2.523.567	438.756	113,41	2.502.063	408.387	203,77	4.221.611	741.111
	>60min	137,94	2.860.511	471.283	152,33	2.997.899	525.443	45,38	981.941	136.868
Shaio	<30min	27,86	602.367	144.480	25,89	461.408	93.925	86,85	1.700.316	365.283
	30-60min	133,26	2.361.216	437.238	98,17	1.981.358	382.483	152,04	3.522.568	574.108
	>60min	137,93	3.527.829	520.723	174,99	4.048.646	626.033	60,16	1.268.528	163.050
Tiempos Mínimos	<30min	148,34	2.724.365	558.440	169,23	3.590.881	712.043	206,13	4.386.087	832.704
	30-60min	133,44	3.177.807	474.697	127,18	2.878.675	387.985	92,92	2.105.325	269.737
	>60min	18,36	589.240	69.304	2,64	21.856	2.413	0	0	0

*FCI: Fundación Cardioinfantil; FSFB: Fundación Santa Fe de Bogotá. Datos correspondientes a censo 2005, Bogotá, DANE.

Tabla 11. Área y población cubierta fin de semana por centro.

Fin de semana		Mañana			Tarde			Noche		
		A (km2)	Pob. (Habs.)	Hab>60	A (km2)	Pob. (Habs.)	Hab>60	A (km2)	Pob. (Habs.)	Hab>60
Colombia	<30min	62,31	1.240.880	265.617	61,99	1.216.065	250.390	94,76	2.147.254	424.436
	30-60min	168,47	3.953.891	675.071	163,18	3.936.828	677.883	191,86	4.195.693	659.496
	>60min	68,26	1.296.641	161.753	73,88	1.338.519	174.168	12,43	148.465	18.509
Country	<30min	53,97	947.676	232.792	66,63	1.172.741	282.265	104,65	1.754.172	397.611
	30-60min	127,68	2.588.096	472.236	133,50	2.971.677	513.619	141,98	3.806.020	590.070
	>60min	117,40	2.945.640	397.413	98,92	2.346.994	306.557	52,43	931.220	114.760
FCI	<30min	34,82	560.075	116.595	31,95	528.431	106.322	50,23	701.890	155.448
	30-60min	82,34	1.417.723	303.726	85,12	1.401.827	312.781	152,79	3.575.962	661.337
	>60min	181,88	4.513.614	681.120	181,98	4.561.154	683.338	96,03	2.213.560	185.656
FSFB	<30min	48,25	814.560	206.869	48,30	834.567	211.689	76,76	1.279.968	305.801
	30-60min	119,20	2.559.806	478.695	136,78	2.946.198	536.657	168,39	4.222.889	674.962
	>60min	131,59	3.117.046	416.877	113,97	2.710.647	354.095	53,89	988.555	121.678
Marly	<30min	28,41	433.364	108.708	28,59	431.355	107.616	46,96	794.271	185.627
	30-60min	140,73	2.905.620	570.380	164,85	3.659.560	683.630	196,68	4.659.970	789.750
	>60min	129,91	3.152.428	423.353	105,61	2.400.497	311.195	55,41	1.037.171	127.064
Mederi	<30min	56,43	1.121.245	244.665	69,75	1.364.688	300.218	109,72	2.332.851	490.582
	30-60min	182,01	4.012.208	686.276	188,60	4.258.784	696.197	187,49	4.116.923	606.909
	>60min	60,60	1.357.959	171.500	40,69	867.940	106.026	1,84	41.638	4.950
Militar	<30min	32,35	412.802	106.220	29,73	394.515	100.731	32,35	412.802	106.220
	30-60min	130,92	2.781.547	549.198	157,74	3.491.172	659.125	130,92	2.781.547	549.198
	>60min	135,78	3.297.063	447.023	111,57	2.605.725	342.585	135,78	3.297.063	447.023
Nogales	<30min	75,00	1.225.484	294.169	84,29	1.405.403	330.433	118,29	2.079.011	464.248
	30-60min	123,44	2.834.069	493.791	133,28	3.186.158	527.839	149,98	3.907.670	579.100
	>60min	100,60	2.431.859	314.481	81,47	1.899.851	244.169	30,78	504.731	59.093
Samaritana	<30min	33,01	904.570	162.219	31,22	871.018	159.372	51,86	1.408.644	256.665
	30-60min	129,85	2.611.624	491.629	154,90	3.429.366	613.815	228,66	4.502.813	772.751
	>60min	136,19	2.975.218	448.593	112,92	2.191.028	329.254	18,53	579.955	73.025
San Ignacio	<30min	30,73	405.844	96.269	32,05	430.830	103.094	44,22	688.176	156.593
	30-60min	148,41	3.240.062	632.031	160,27	3.749.218	700.872	199,91	4.718.589	813.349
	>60min	119,91	2.845.506	374.141	106,73	2.311.364	298.475	54,91	1.084.647	132.499
San José Centro	<30min	24,61	518.610	106.977	33,65	716.166	145.267	76,70	1.736.896	361.860
	30-60min	134,74	2.948.215	564.583	201,77	4.502.276	794.455	210,71	4.519.496	713.014
	>60min	139,70	3.024.587	430.881	63,63	1.272.970	162.719	11,63	235.020	27.567
San José Infantil	<30min	75,63	1.252.437	303.549	88,41	1.508.512	355.955	133,74	2.511.299	547.868
	30-60min	140,11	3.153.607	529.759	135,53	3.337.284	539.321	141,73	3.680.664	518.474
	>60min	83,31	2.085.368	269.133	75,11	1.645.616	207.165	23,58	299.449	36.099

Fin de semana		Mañana			Tarde			Noche		
		A (km2)	Pob. (Habs.)	Hab>60	A (km2)	Pob. (Habs.)	Hab>60	A (km2)	Pob. (Habs.)	Hab>60
San Rafael	<30min	35,81	1.016.255	174.763	30,84	919.964	159.672	48,27	1.279.061	222.004
	30-60min	127,74	2.377.340	431.336	129,84	2.559.039	466.905	212,48	4.378.004	774.255
	>60min	138,97	3.097.817	493.342	138,37	3.012.409	475.864	38,30	834.347	106.182
Shaio	<30min	54,00	1.047.624	240.909	54,41	1.070.446	241.881	85,83	1.663.176	360.318
	30-60min	143,18	2.757.179	490.009	143,36	2.835.330	501.993	146,46	3.447.524	567.255
	>60min	101,96	2.686.609	371.523	101,28	2.585.636	358.567	66,75	1.380.712	174.868
Tiempos Mínimos	<30min	159,00	3.157.285	635.702	167,07	3.366.664	679.288	202,32	4.308.869	821.332
	30-60min	126,08	2.929.969	416.927	118,59	2.951.474	404.330	96,73	2.182.543	281.109
	>60min	13,97	404.158	49.812	13,39	173.274	18.823	0	0	0

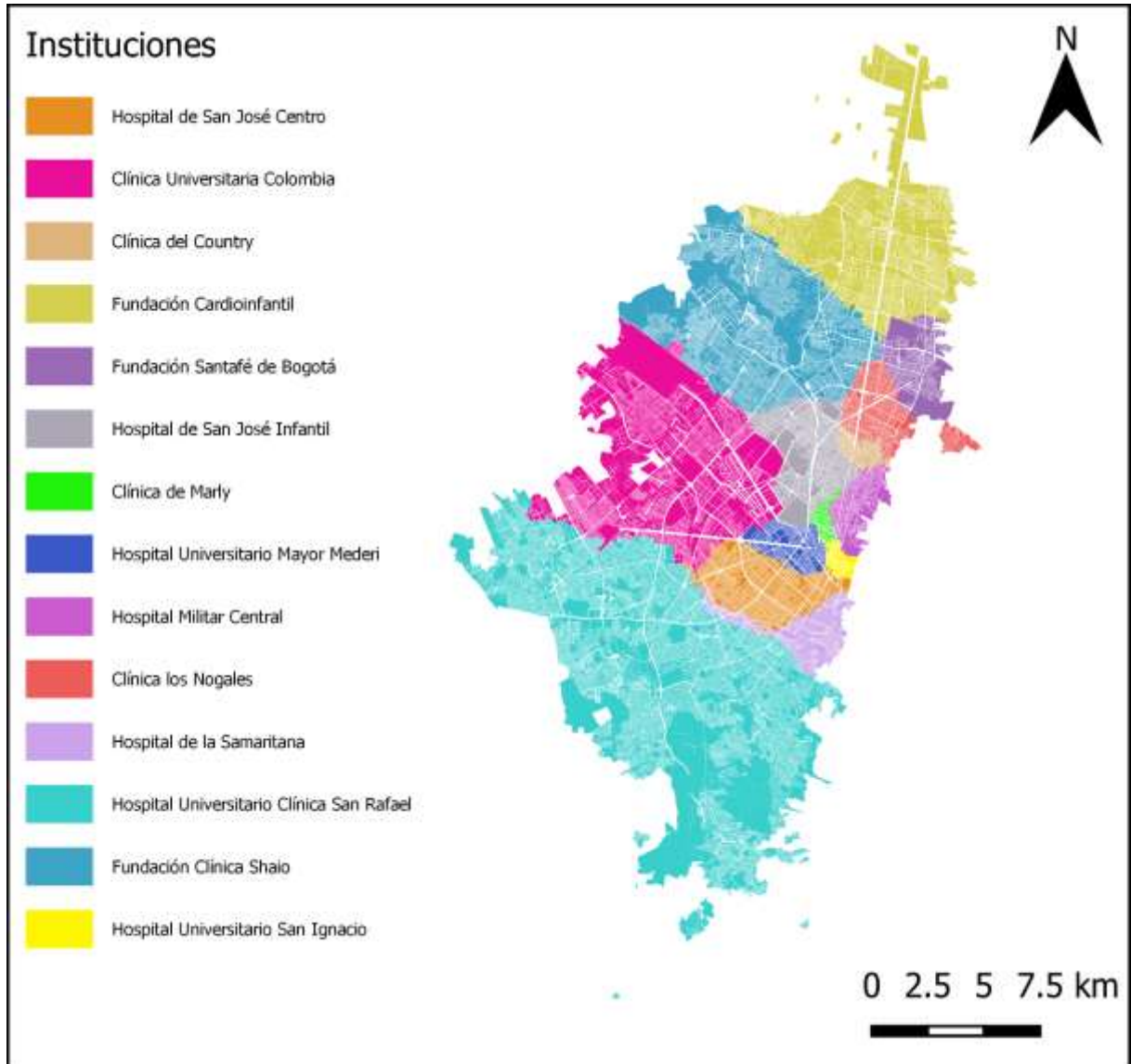
Hab>60: Habitantes mayores de 60 años; A: Área; Pob: Población Total. Datos correspondientes a censo 2005, Bogotá, DANE.

8.2.2 Mapas coropléticos de zonas de captación por momento de la semana

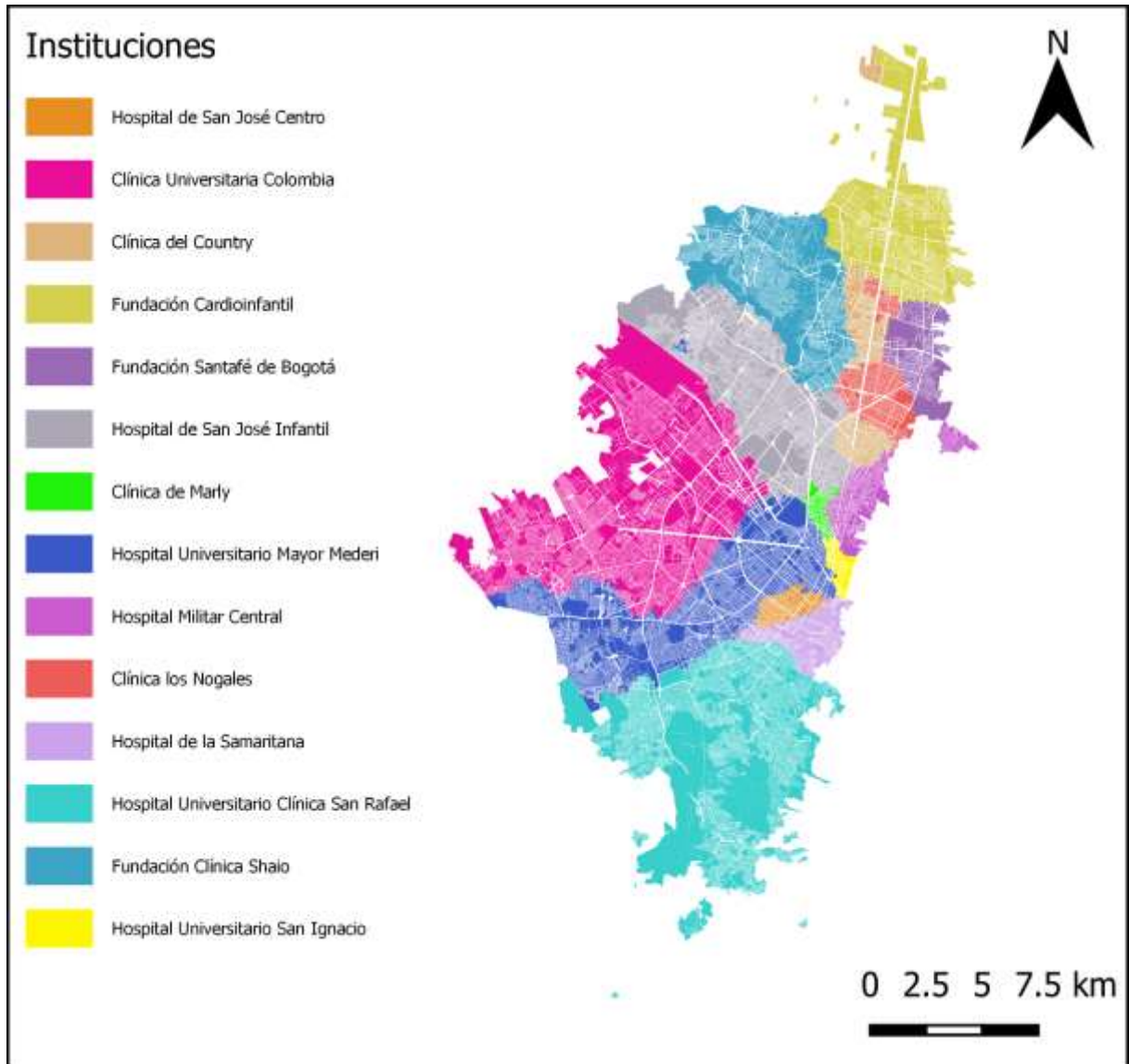
Los mapas de zonas de captación muestran los centros más cercanos de llegada de cada manzana. Esto no necesariamente significa que los tiempos de llegada se encuentren dentro de los criterios de calidad. Bajo todas las condiciones de tiempo, la mayoría del área de la ciudad es cubierta por 5 centros: Hospital Universitario Clínica San Rafael, Clínica Universitaria Colombia, Fundación Clínica Shaio, Fundación Cardio infantil, y el Hospital Universitario Mayor Mederi. Este último muestra una variación extensa bajo condiciones de tráfico diferentes con una reducción de hasta el 89% en el área de captación entre condiciones de bajo y alto tráfico (tarde vs. Mañana entre semana).

También de forma consistente, las áreas de captación de la Clínica de Marly, La Clínica del Country, y el Hospital Universitario San Ignacio son las más pequeñas, y debido a la incertidumbre asociada al modelo de kriging, presentan anomalías como tiempos de llegada más rápidos a centros como el Hospital Militar a pesar de puntos de partida inmediatamente adyacentes a los centros.

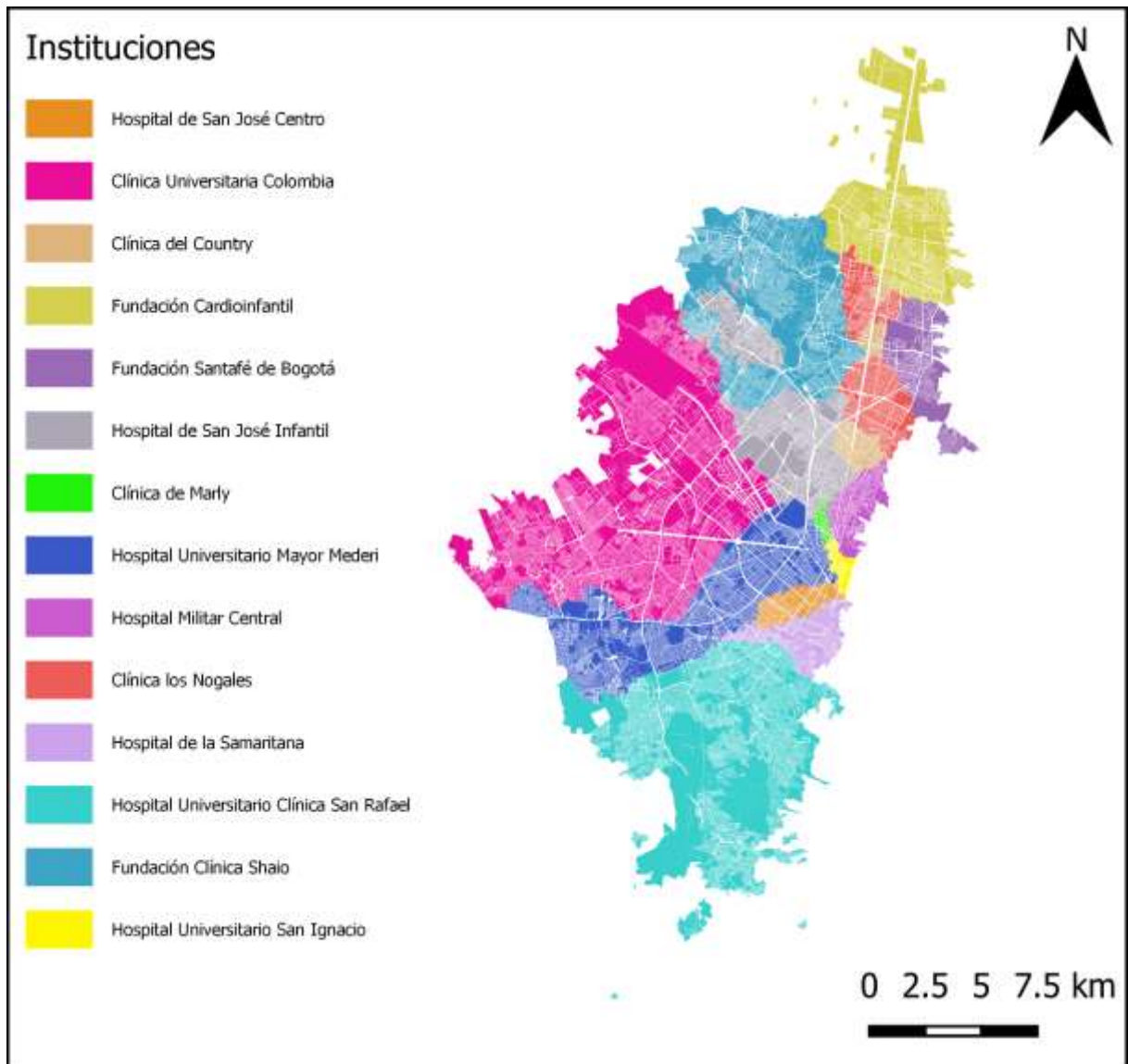
Mapa 34. Zonas de captación mañana (6AM-8AM) entre semana.



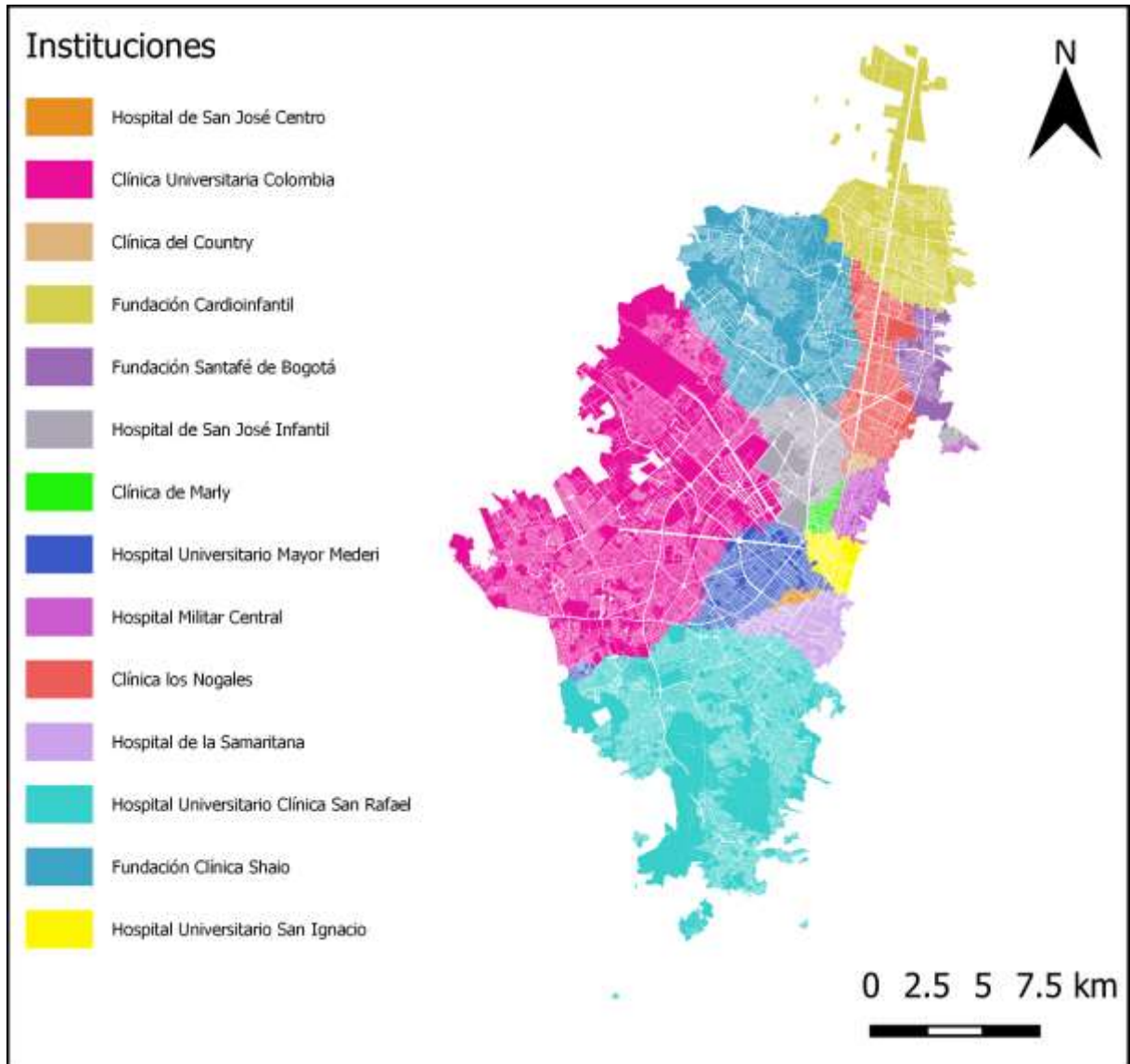
Mapa 35. Zonas de captación tarde (5PM-7PM) entre semana.



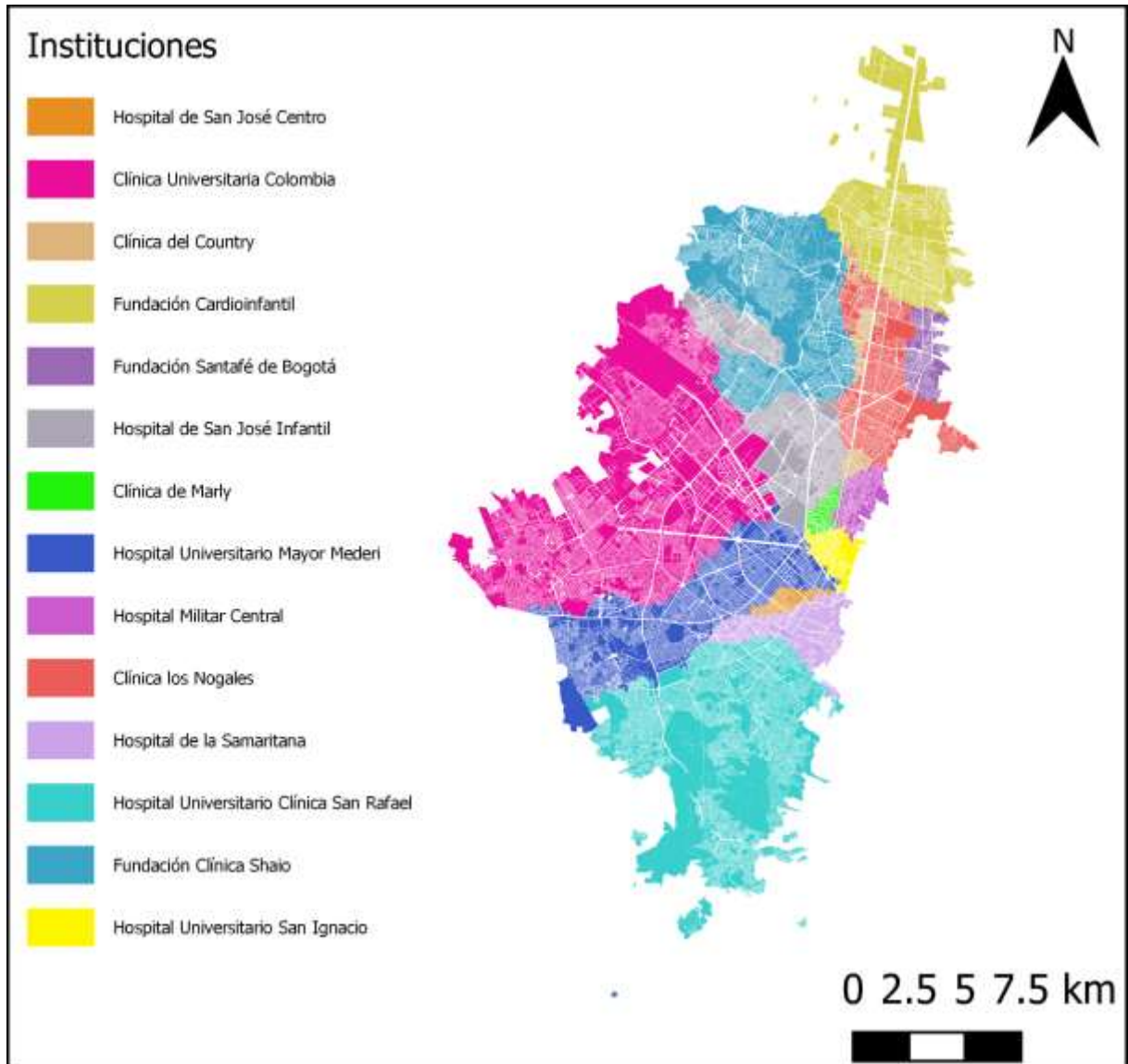
Mapa 36. Zonas de captación noche (9PM) entre semana.



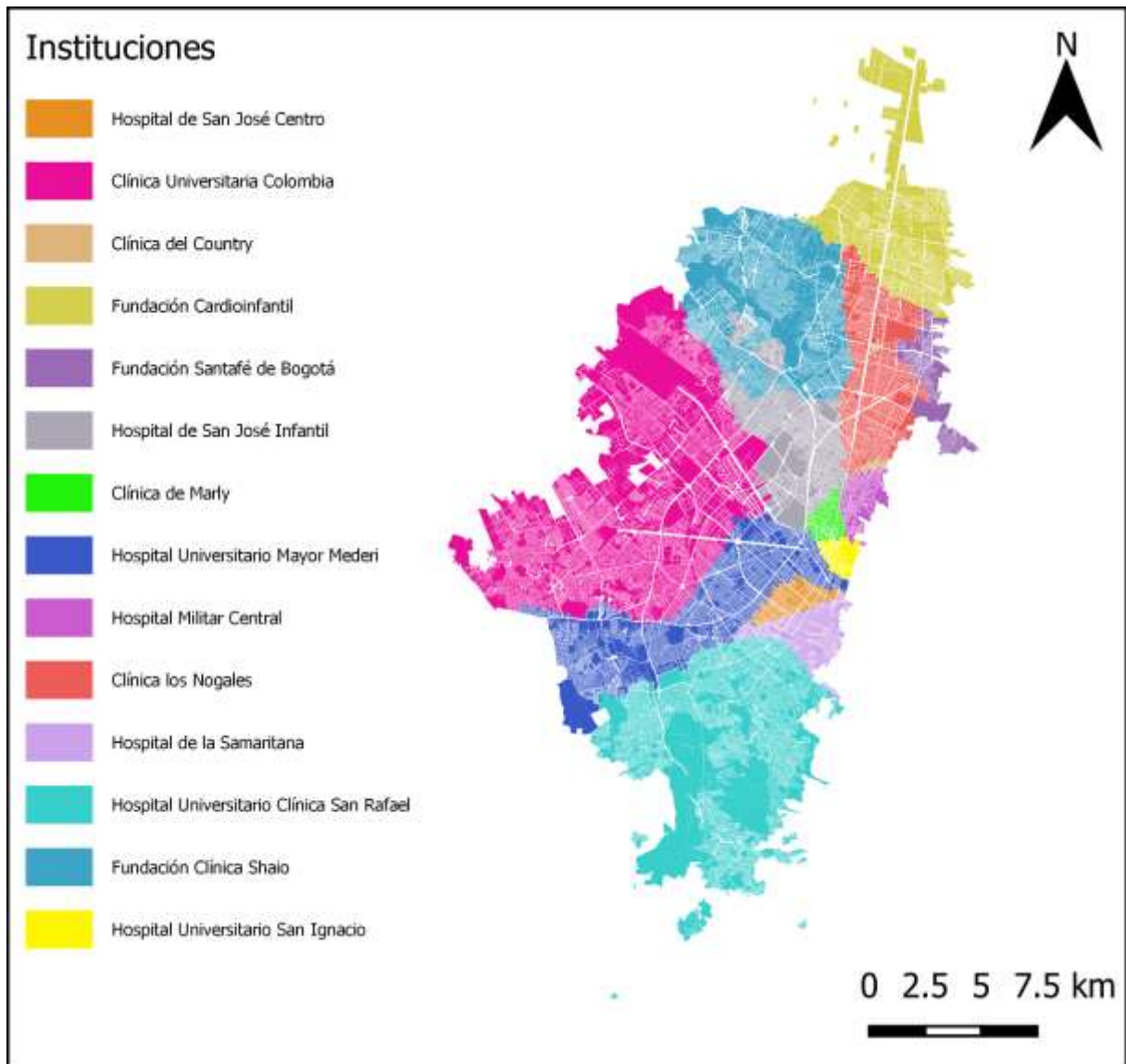
Mapa 37. Zonas de captación mañana (6AM-8AM) fin de semana.



Mapa 38. Zonas de captación tarde (5PM-7PM) fin de semana.



Mapa 39. Zonas de captación noche (9PM) fin de semana.



8.3 ANÁLISIS POR ESTRATO SOCIOECONÓMICO (ESE): MODELOS DE REGRESIÓN ESPACIAL Y CALIBRACIÓN

Se eliminaron registros de aquellos puntos con estratos no determinados, debido a la presencia de distintos estratos en la misma manzana o a condiciones especiales del predio. Utilizando el set reducido de estratos 1 al 6 se llevó a cabo una auto regresión espacial exploratoria usando una matriz de distancia de k-vecinos ($k=4$). Se evaluaron los supuestos de los modelos sobre los residuales, encontrando medias cercanas a cero, distribuciones aproximadamente normales, ausencia de autocorrelación

(estadísticos de Durbin-Watson cercanos a 2), y homocedasticidad a la inspección visual.

Estos modelos mostraron un potencial efecto del estrato, dicotomizado como alto-medio o bajo (bajo: estratos 1 y 2). Las unidades de los coeficientes son segundos en tiempo de desplazamiento al centro más próximo. Los modelos, en cada condición de tráfico muestran una reducción en el tiempo de desplazamiento desde manzanas censales con estratos medios-altos de con respecto a la categoría de referencia (Bajo). Sin embargo, la magnitud del efecto, en cualquiera de las condiciones de tráfico, no parece ser clínicamente significativa, con una diferencia máxima de 68 segundos entre los grupos de estrato socioeconómico.

Tabla 12. Modelos de auto regresión espacial para el efecto del estrato.

Entre Semana	Mañana			Tarde			Noche		
N=2188	Coef.	Err. Estd.	Valor p	Coef.	Err. Estd.	Valor p	Coef.	Err. Estd.	Valor p
Intercepto	128,07	8,83	<2,2e-16	111,67	7,44	<2,2e-16	89,20	6,08	<2,2e-16
Estrato SE Medio-alto (Ref. Bajo)	-54,02	7,85	5,91e-12	-43,64	6,16	1,35e-12	-36,04	5,22	4,86e-12
Fin de semana	Mañana			Tarde			Noche		
N=1107	Coef.	Err. Estd.	Valor p	Coef.	Err. Estd.	Valor p	Coef.	Err. Estd.	Valor p
Intercepto	127,86	12,18	<2,2e-16	137,80	12,79	<2,2e-16	117,72	10,60	<2,2e-16
Estrato SE Medio-alto (Ref. bajo)	-67,55	0,78	3,71e-10	-68,35	10,88	3,29e-10	-60,16	8,65	3,46e-12

*Estrato socioeconómico (SE) bajo comprende los estratos 1 y 2.

9. DISCUSIÓN

Este proyecto representa la primera aproximación en el país al análisis de la influencia de las condiciones de tráfico sobre los tiempos de transporte en ACVi agudo. El método utilizado para la recolección de datos permitió superar los múltiples obstáculos asociados con el estudio de los desplazamientos en tráfico. Comparado con otros posibles métodos, la utilización de la Matriz de la Distancia de Google permitió la incorporación de datos en tiempo real haciendo uso de infraestructura existente.

Adicionalmente, los costos asociados con un muestreo de la totalidad de las unidades de análisis fueron mitigados utilizando métodos geoestadísticos, cuya validación cruzada arrojó excelentes resultados. Este método sería fácil de adaptar a otros contextos urbanos y, previa validación con datos reales, permitiría informar decisiones sobre los potenciales efectos de equipar centros médicos para manejar de forma integral el ACVi.

Los puntos simulados en este estudio no permiten una interpretación distinta de la espacial. Debido a que estos puntos no se tomaron de una distribución espacial empírica sobre los casos incidentes de ACVi, la distribución de los tiempos de llegada podría ser muy distinta en una población real. Por ejemplo, si algún área de la ciudad presentara una incidencia mucho mayor que la del resto de la ciudad, los tiempos de desplazamiento desde esa área adquirirían mayor peso en la distribución de tiempos de llegada observados. Sin embargo, es probable que los tiempos de llegada para esa área muestren concordancia con los predichos por los modelos geoestadísticos utilizados en este trabajo.

Los mapas de tiempos de llegada a cada centro muestran variaciones significativas bajo distintas condiciones de tráfico. La extensión de las áreas de tiempo óptimo (llegada menor a 30 minutos) muestran reducciones superiores al 70% al ser comparadas con las condiciones ideales de tráfico. Adicionalmente, no todos los centros exhiben los mismos patrones, y requieren de un análisis individual. Por ejemplo, el Hospital de San José (Centro) muestra áreas óptimas pequeñas durante el fin de semana en comparación con los días entre semana, a diferencia de la mayoría de centros. Adicionalmente, los centros próximos a los cerros, naturalmente, experimentan una limitación en la expansión de su área de cubrimiento óptimo hacia el oriente. La Fundación Clínica Shaio tiene un área óptima modificada por la proximidad con el Humedal Juan Amarillo. Si bien hay puntos próximos al humedal que en distancia ortodrómica se encuentran cercanos al centro, sus tiempos de llegada se ven afectados por el accidente geográfico. Un efecto opuesto es experimentado por los centros ubicados en proximidad con grandes vías, como la Clínica Los Nogales y la Clínica del Country. El flujo vehicular en la autopista norte durante las tardes (predominantemente sur-norte) reduce el área óptima cubierta

hacia el sur, pero la extiende considerablemente sobre la dirección de la autopista. Esto muestra que un análisis de las velocidades promedio en horas pico es insuficiente para determinar los cambios en la extensión de las áreas de cubrimiento.

La unión de los resultados obtenidos para los centros individuales permitió construir mapas de tiempos mínimos de llegada. Estos mapas obtenidos permiten identificar potenciales disparidades en el manejo del ACVi. Los análisis mostraron que ciertas áreas del occidente de Engativá, occidente de Bosa y sur oriente de Usme podrían encontrarse a más de una hora del centro más próximo de manejo de ACVi. Adicionalmente, la mayoría del área de la ciudad se encuentra a más de 30 minutos de un centro de manejo integral del ACVi.

Durante los fines de semana, llama la atención que los mayores puntos de inaccesibilidad se encuentran ubicados en las salidas de la ciudad; hecho que pudiera corresponder a cambios en el flujo de vehículos hacia otras ciudades y que no necesariamente está representado el hecho de que esos puntos se encuentren en la periferia, ya que hay otras zonas periféricas que conservan buena accesibilidad.

Los mapas de áreas de captación muestran que la distribución de centros de manejo integral del ACVi podría no ser óptima. La localidad de Chapinero agrupa 5 centros en cercana proximidad, por lo que en los mapas de áreas de captación las áreas correspondientes a cada uno son considerablemente más pequeñas que las de centros ubicados hacia el occidente como la Clínica Universitaria Colombia. Un caso incidente en esta área tendría múltiples opciones para acceder al cuidado integral del ACVi dentro de los más altos estándares de calidad, mientras que casos idénticos en las localidades de Bosa o Kennedy podrían no tener acceso oportuno a ningún centro.

Múltiples disparidades socioeconómicas en la presentación, manejo y desenlace del ACVi han sido descritas (17,18). Este estudio buscó determinar si el estrato socioeconómico bajo presenta tiempos de llegada al centro más próximo, incluso tras controlar el efecto de la autocorrelación espacial. Al hacer la comparación entre estratos socioeconómicos, los eventos simulados en zonas de menores ingresos (estrato 1, 2, 3) tuvieron una diferencia máxima de 68 segundos de retraso respecto a las de mayores ingresos con significancia estadística. Sin embargo, no podemos definir si la dirección de estos hallazgos pudiera ser clínicamente relevante. Para evaluarlo, se debería realizar una aproximación con datos reales de pacientes.

La metodología utilizada en este estudio comparte características claves con el estudio realizado por Phan et al. en Melbourne, Australia. Ese estudio identificó las ventajas que presenta el gran volumen de datos recolectado por Google, utilizando también la Matriz de Distancia para obtener tiempos de desplazamiento hasta centros hospitalarios que ofrecen manejo endovascular del ACVi. Aunque el volumen de datos

fue menor, debido a unidades de análisis más extensas (código postal), los investigadores construyeron áreas de captación para cada uno de sus centros bajo distintas configuraciones. Es notable que, en ese estudio, las áreas de captación mostraron variaciones pequeñas bajo distintas condiciones de tráfico (~10%), muy distinto de las variaciones en áreas de captación (hasta 89%) observadas en este estudio. Esto quizás corresponda a las diferencias en la congestión vial experimentadas por cada ciudad (272 horas pérdidas en tráfico por año Vs. 118 horas en Melbourne) (11).

Otros estudios han hecho uso de métodos más tradicionales como el análisis de redes, que no incorpora datos en tiempo real. Este es el caso del estudio de van Rhee en Alberta, Canadá (25). Este método permite calcular tiempos de desplazamiento a partir de características relativamente inmóviles de la malla vial como los límites de velocidad, la ubicación de semáforos y la dirección de las vías. En consecuencia, tendría la ventaja de evitar muestreos, pudiendo ser aplicado sobre grandes áreas. A diferencia del estudio presentado por van Rhee, el área geográfica del presente trabajo es mucho menor. El área de Alberta es más de la mitad del área de Colombia, agrupando menos de 5 millones de habitantes y un número de centros inferior al de la ciudad de Bogotá (25). Esto se ve reflejado en los intervalos de tiempo analizados, siendo mayores para esta autora, con valores de entre 75-165 minutos. Su estudio le permitió concluir que el 54% de la población de Alberta para el año 2.010 tenía acceso a un CMIACVi en un intervalo de dos horas, mientras que en nuestra población esto es del 100%. Es necesario recalcar que ella tenía datos reales de presentación y transporte, mientras que nuestros datos de presentación del infarto cerebral son simulados.

Si tenemos en cuenta que Acharya et al. encontraron que vivir más lejos del centro donde se ofrece trombólisis reduce la posibilidad de aplicación del fármaco, segmentos importantes de la población podrían estar con menor probabilidad de tratamiento dependiendo de la hora del día en que se presente el infarto (58).

Aunque nuestro estudio sólo valoró tiempos de llegada calculados para vehículos particulares, evidencia previa muestra que este quizás sea un medio de transporte superior al traslado en ambulancias para desenlaces clínicos dependientes de tiempo de consulta (14). Estos estudios se realizaron en sujetos con trauma, sin embargo, los desenlaces en ese escenario son también dependientes del tiempo de traslado. Esta evidencia mostró que tanto el tiempo total de traslado, como la mortalidad, se reducen si el medio de transporte usado fue un vehículo particular. Debido a esto, los resultados del presente estudio podrían reflejar más cercanamente la realidad, puesto que los tiempos óptimos calculados podrían ser inferiores a los obtenidos por traslados utilizando el sistema de emergencias distrital.

En el campo de la planeación urbana se ha planteado la aparición de diversas centralidades en Bogotá (68). Estas responden a la presencia de accesos a sistemas de tránsito, a altas concentraciones de espacios comerciales y a particularidades culturales. Dichas centralidades podrían servir como estrategia para mitigar los problemas de tráfico de la ciudad. Sin embargo, centralidades como la de Bosa o Usme sufrirían por no tener un acceso adecuado a los servicios de manejo hiperagudo del ACVi. Cuando se comparan los mapas de captación de cada centro, se encuentra que existen diferencias importantes entre el día y hora de presentación, lo que muestra que la existencia de estos centros no ha sido planeada. Al compararlos con los mapas de manejo exclusivo del ACVi en Londres (77), se nota que la formación de una red de MIACVi es más benéfica para los pacientes porque distribuye con mayor uniformidad su atención.

9.1 FORTALEZAS, LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES PARA FUTUROS PROYECTOS

Dentro de las ventajas de este proyecto se encuentran el uso eficiente de datos a través de la matriz de distancia en vez del análisis de redes, puesto que permitió una mejor aproximación al tiempo real de transporte. Adicionalmente, la pérdida de datos fue reducida al mínimo (2 errores internos del servidor en la mañana entre semana) lo que da mayor confiabilidad a los resultados. El uso de *kriging* como método de predicción espacial optimizó el uso de recursos económicos al evitar el muestreo de todas las manzanas censales que hubiera invalidado la viabilidad económica de este proyecto (costo aproximado de USD 150.000), la validación cruzada del modelo mostró excelentes resultados (Tabla 6).

Este trabajo es el primero en Colombia en explorar la influencia del tráfico en los tiempos de transporte hasta los centros que ofrecen MIACVi. Con el fin de organizar los sistemas de cuidado, es necesario que se exploren con datos reales, tomados de manera prospectiva, los tiempos de traslado en vehículos particulares, y si se usan ambulancias desde el despacho de estas.

El CRUE debe organizar mejor la toma de datos y categorizar apropiadamente los posibles diagnósticos clínicos una vez se reciba la llamada solicitando sus servicios. Se debe centralizar la información clínica de los pacientes atendidos por cada centro, con el fin de calcular la incidencia y prevalencia del ACV en la ciudad que, según lo observado, se sospecha se encuentra subestimada. Estos datos deben ir sumados a los datos reales del cumplimiento de los tiempos de atención, establecidos por las recomendaciones internacionales, una vez el paciente ingresa al servicio de urgencias.

Dentro de las limitaciones se encuentra que los datos de población se tomaron a partir del Censo de 2.005 ya que no existen mapas construidos a partir de los datos del Censo de 2.018, esto puede subestimar los tamaños y composición de la población ubicada en el área de cobertura de cada centro. Por otro lado, los eventos fueron simulados ya que no hubo información confiable sobre los lugares de presentación de los eventos clínicos en el periodo 2.010-2.017, esto no permitió evaluar la influencia del territorio y las diferencias culturales en el riesgo de desarrollar ACVi. Estudios previos como el de Kulick et al. han analizado la influencia de la proximidad a grandes vías sobre el riesgo de infarto cerebral, encontraron que el riesgo entre los no fumadores que viven a menos de 100 metros de las autopistas del norte de Manhattan fue del 42% mayor sobre los que viven a más de 400 metros (78). Pedigo et al. encontraron diferencias entre las zonas de residencia y el riesgo de ACVi y Maheswaran et al hallaron un riesgo excesivo de episodios de infarto cerebral en aquellas zonas con mayor contaminación. Todo esto sugiere que la distribución de la enfermedad vascular cerebral no es uniforme (79,80).

La creación de un sistema de atención oportuno de los pacientes con ACVi agudo y otras formas de ECV cuyos desenlaces dependen del tiempo, requiere la organización de sistemas que definan claramente el papel de cada individuo e institución en la cadena de trabajo. Adicionalmente, se debe verificar la viabilidad económica de la conformación de más centros que ofrezcan trombectomía para las áreas no cubiertas o si estrategias como “*drip and ship*” hacia instituciones de la categoría de CSC son apropiadas en nuestro contexto.

Finalmente, se encontraron áreas donde no existe la posibilidad de acceso a ningún centro en tiempo óptimo (occidente de Engativá, occidente de Bosa y sur oriente de Usme). Esto podría ser consecuencia de la sumatoria de diferentes circunstancias como distancia a centros de atención, calidad de las vías y limitaciones de velocidad para carros particulares dentro del perímetro urbano (50 km/h). Sin embargo, esto debe ser explorado con otro tipo de estudios.

Estos datos estarán disponibles en el dominio público en la forma de este documento y de un artículo en la literatura científica. Se presentarán estos resultados al personal técnico de la Secretaría de Salud de Bogotá, CRUE con el que se estableció contacto para la obtención de datos oficiales de tiempos de desplazamiento de ambulancias en la ciudad. Se espera que esto sirva como justificación para un estudio secundario de validación los resultados que posteriormente permita optimizar la planeación de equipamiento de centros públicos.

10. CONCLUSIONES

Con este estudio se logró determinar, a través de puntos de presentación de ACVi agudo simulados, pero con datos reales de tiempos de transporte, las áreas de cobertura óptimas para cada uno de los centros que ofrece MIACVi agudo.

Se encontró que existe disparidad en los tiempos y áreas de cobertura de cada Institución y que estos se ven influenciados por el momento y día de la semana en que se realizaría el transporte del paciente en un vehículo particular.

Si se organizara una red de CMIACVi, probablemente se evitaría la sobreoferta observada en Chapinero. También se tendría que evaluar la necesidad de equipar instituciones con capacidad de manejo en zonas del sur de la ciudad. Sin embargo, se requiere validación con datos reales.

A pesar de que se definieron áreas de mínimos, estas no representan llegada en tiempos óptimos, lo que refuerza la necesidad de reevaluar la distribución espacial de los CMIACVi.

Aunque existen diferencias estadísticamente significativas en los tiempos de llegada entre ESE dicotomizados (medio-alto y bajo), las diferencias encontradas no son clínicamente significativas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Feigin VL, Norrving B, Mensah GA. Global Burden of Stroke. *Circ Res*. 2017;120(3):439-48.
2. Hacke W, Kaste M, Bluhmki E, Brozman M, Dávalos A, Guidetti D, et al. Thrombolysis with alteplase 3 to 4.5 hours after acute ischemic stroke. *N Engl J Med*. 2008;359(13):1317-29.
3. Goyal M, Menon BK, van Zwam WH, Dippel DW, Mitchell PJ, Demchuk AM, et al. Endovascular thrombectomy after large-vessel ischaemic stroke: a meta-analysis of individual patient data from five randomised trials. *Lancet*. 2016;387(10029):1723-31.
4. Messé SR, Khatri P, Reeves MJ, Smith EE, Saver JL, Bhatt DL, et al. Why are acute ischemic stroke patients not receiving IV tPA? Results from a national registry. *Neurology*. 2016;87(15):1565-74.
5. Saver JL. Time is brain—quantified. *Stroke*. 2006;37(1):263-6.
6. Saver JL, Fonarow GC, Smith EE, Reeves MJ, Grau-Sepulveda MV, Pan W, et al. Time to treatment with intravenous tissue plasminogen activator and outcome from acute ischemic stroke. *JAMA*. 2013;309(23):2480-8.
7. Berkhemer OA, Fransen PS, Beumer D, van den Berg LA, Lingsma HF, Yoo AJ, et al. A randomized trial of intraarterial treatment for acute ischemic stroke. *N Engl J Med*. 2015;372(1):11-20.
8. Proyecciones de Población Municipales por Área 2005-2020 [Internet]. Departamento Administrativo Nacional de Estadística; 2005. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/ProyeccionMunicipios2005_2020.xls
9. Navarro Soler IM, Ignacio García E, Masjuan Vallejo J, Gállego Culleré J, Mira Solves JJ. Conjunto de indicadores de calidad asistencial en el abordaje del ictus. *Neurología* [Internet]. junio de 2017 [citado 12 de mayo de 2019]; Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0213485317301962>
10. Phan Thanh G., Beare Richard, Chen Jian, Clissold Benjamin, Ly John, Singhal Shaloo, et al. Googling Service Boundaries for Endovascular Clot Retrieval Hub Hospitals in a Metropolitan Setting. *Stroke*. 1 de mayo de 2017;48(5):1353-61.
11. INRIX. INRIX 2018 Global Traffic Scorecard [Internet]. 2019. Disponible en: <http://inrix.com/scorecard/#>
12. Fang MC, Coca Perrailon M, Ghosh K, Cutler DM, Rosen AB. Trends in stroke rates, risk, and outcomes in the United States, 1988 to 2008. *Am J Med*. 2014;127(7):608-15.

13. Ministerio de Salud y Protección Social. Guía de Práctica Clínica para el diagnóstico, tratamiento y rehabilitación del episodio agudo del Ataque Cerebrovascular Isquémico en población mayor de 18 años. [Internet]. 2016. Disponible en:
http://gpc.minsalud.gov.co/gpc_sites/Repositorio/Conv_637/GPC_acv/GPC_acv_profesionales.aspx
14. Wandling MW, Nathens AB, Shapiro MB, Haut ER. Association of Prehospital Mode of Transport With Mortality in Penetrating Trauma: A Trauma System-Level Assessment of Private Vehicle Transportation vs Ground Emergency Medical Services. *JAMA Surg.* 2018;153(2):107-13.
15. Shrestha SK, Koirala K, Amatya B. Patient's Mode of Transportation Presented in the Emergency Department of a Tertiary Care Centre, Kavre, Nepal. *Kathmandu Univ Med J KUMJ.* marzo de 2018;16(61):39-42.
16. Fulop N, Boaden R, Hunter R, McKevitt C, Morris S, Pursani N, et al. Innovations in major system reconfiguration in England: a study of the effectiveness, acceptability and processes of implementation of two models of stroke care. *Implement Sci.* 2013;8:5.
17. Song T, Pan Y, Chen R, Li H, Zhao X, Liu L, et al. Is there a correlation between socioeconomic disparity and functional outcome after acute ischemic stroke? *PloS One.* 2017;12(7):e0181196.
18. de Melo Lucena DM, Dos Santos Figueiredo FW, de Alcantara Sousa LV, da Silva Paiva L, do Carmo Almeida TC, Galego SJ, et al. Correlation between municipal human development index and stroke mortality: a study of Brazilian capitals. *BMC Res Notes.* 1 de agosto de 2018;11(1):540.
19. Cox AM, McKevitt C, Rudd AG, Wolfe CDA. Socioeconomic status and stroke. *Lancet Neurol.* febrero de 2006;5(2):181-8.
20. Yan H, Liu B, Meng G, Shang B, Jie Q, Wei Y, et al. The influence of individual socioeconomic status on the clinical outcomes in ischemic stroke patients with different neighborhood status in Shanghai, China. *Int J Med Sci.* 2017;14(1):86-96.
21. Morovatdar N, Thrift AG, Stranges S, Kapral M, Behrouz R, Amiri A, et al. Socioeconomic Status and Long-Term Stroke Mortality, Recurrence and Disability in Iran: The Mashhad Stroke Incidence Study. *Neuroepidemiology.* 16 de abril de 2019;1-5.
22. Marshall IJ, Wang Y, Crichton S, McKevitt C, Rudd AG, Wolfe CDA. The effects of socioeconomic status on stroke risk and outcomes. *Lancet Neurol.* diciembre de 2015;14(12):1206-18.
23. Feigin VL, Forouzanfar MH, Krishnamurthi R, Mensah GA, Connor M, Bennett DA, et al. Global and regional burden of stroke during 1990-2010: findings from

- the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet Lond Engl.* 18 de enero de 2014;383(9913):245-54.
24. London Cardiac and Stroke Networks. London Stroke Unit Lookup [Internet]. Disponible en: <http://www.londonslookup.nhs.uk/about.aspx>
 25. van Rheenen S. A Spatial Epidemiological Analysis of Stroke in Alberta, Canada, Using GIS. [Internet] [Degree of Doctor in Philosophy]. [Calgary, Alberta]: University of Calgary; 2015. Disponible en: https://prism.ucalgary.ca/bitstream/handle/11023/1997/ucalgary_2015_van_Rheenen_Susan.pdf;jsessionid=3D843530FD7546399A986254B239DCD4?sequence=2
 26. Cámara de Comercio de Bogotá. Observatorio de Movilidad - Bogotá 2017 [Internet]. Disponible en: <http://www.simur.gov.co/portal-simur/datos-del-sector/movilidad-en-cifras/>
 27. Hunter RM, Davie C, Rudd A, Thompson A, Walker H, Thomson N, et al. Impact on Clinical and Cost Outcomes of a Centralized Approach to Acute Stroke Care in London: A Comparative Effectiveness Before and After Model. Fehlings M, editor. *PLoS ONE.* 1 de agosto de 2013;8(8):e70420.
 28. Cheng G, Zeng X, Duan L, Lu X, Sun H, Jiang T, et al. Spatial difference analysis for accessibility to high level hospitals based on travel time in Shenzhen, China. *Habitat Int.* abril de 2016;53:485-94.
 29. Chen C-C, Chen C-W, Ho C-K, Liu I-C, Lin B-C, Chan T-C. Spatial Variation and Resuscitation Process Affecting Survival after Out-of-Hospital Cardiac Arrests (OHCA). *PLOS ONE.* 14 de diciembre de 2015;10(12):e0144882.
 30. Medrano NW, Villarreal CL, Price MA, MacKenzie E, Nolte KB, Phillips MJ, et al. Multi-Institutional Multidisciplinary Injury Mortality Investigation in the Civilian Pre-Hospital Environment (MIMIC): a methodology for reliably measuring prehospital time and distance to definitive care. *Trauma Surg Acute Care Open.* 2019;4(1):e000309.
 31. Ropper AH, Samuels MA, Klein JP. Chapter 34. Cerebrovascular Diseases. En: *Adams and Victor's Principles of Neurology, 10e* [Internet]. New York, NY: The McGraw-Hill Companies; 2014. Disponible en: <http://accessmedicine.mhmedical.com/content.aspx?aid=57622711>
 32. Dichgans M, Leys D. Vascular Cognitive Impairment. *Circ Res.* 2017;120(3):573-91.
 33. Guzik A, Bushnell C. Stroke Epidemiology and Risk Factor Management. *Contin Minneap Minn.* 2017;23(1, Cerebrovascular Disease):15-39.
 34. Uribe CS, Jiménez I, Mora MO, Arana A, Sánchez JL, Zuluaga L, et al. [Epidemiology of cerebrovascular diseases in Sabaneta, Colombia (1992-1993)]. *Rev Neurol.* 1997;25(143):1008-12.

35. Jauch EC, Saver JL, Adams HP, Bruno A, Connors JJ, Demaerschalk BM, et al. Guidelines for the early management of patients with acute ischemic stroke: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. 2013;44(3):870-947.
36. Fletcher AP, Alkjaersig N, Lewis M, Tulevski V, Davies A, Brooks JE, et al. A pilot study of urokinase therapy in cerebral infarction. *Stroke*. 1976;7(2):135-42.
37. Brott TG, Haley EC, Levy DE, Barsan W, Broderick J, Sheppard GL, et al. Urgent therapy for stroke. Part I. Pilot study of tissue plasminogen activator administered within 90 minutes. *Stroke*. 1992;23(5):632-40.
38. Haley EC, Levy DE, Brott TG, Sheppard GL, Wong MC, Kongable GL, et al. Urgent therapy for stroke. Part II. Pilot study of tissue plasminogen activator administered 91-180 minutes from onset. *Stroke*. 1992;23(5):641-5.
39. Hacke W, Kaste M, Fieschi C, Toni D, Lesaffre E, von Kummer R, et al. Intravenous thrombolysis with recombinant tissue plasminogen activator for acute hemispheric stroke. The European Cooperative Acute Stroke Study (ECASS). *JAMA*. 1995;274(13):1017-25.
40. National Institute of Neurological Disorders and Stroke rt-PA Stroke Study Group. Tissue plasminogen activator for acute ischemic stroke. *N Engl J Med*. 1995;333(24):1581-7.
41. Hacke W, Kaste M, Fieschi C, von Kummer R, Davalos A, Meier D, et al. Randomised double-blind placebo-controlled trial of thrombolytic therapy with intravenous alteplase in acute ischaemic stroke (ECASS II). Second European-Australasian Acute Stroke Study Investigators. *Lancet*. 1998;352(9136):1245-51.
42. Saver JL, Goyal M, Bonafe A, Diener HC, Levy EI, Pereira VM, et al. Stent-retriever thrombectomy after intravenous t-PA vs. t-PA alone in stroke. *N Engl J Med*. 2015;372(24):2285-95.
43. Jovin TG, Chamorro A, Cobo E, de Miquel MA, Molina CA, Rovira A, et al. Thrombectomy within 8 hours after symptom onset in ischemic stroke. *N Engl J Med*. 2015;372(24):2296-306.
44. Goyal M, Demchuk AM, Menon BK, Eesa M, Rempel JL, Thornton J, et al. Randomized assessment of rapid endovascular treatment of ischemic stroke. *N Engl J Med*. 2015;372(11):1019-30.
45. Campbell BC, Mitchell PJ, Kleinig TJ, Dewey HM, Churilov L, Yassi N, et al. Endovascular therapy for ischemic stroke with perfusion-imaging selection. *N Engl J Med*. 2015;372(11):1009-18.
46. Albers GW, Marks MP, Kemp S, Christensen S, Tsai JP, Ortega-Gutierrez S, et al. Thrombectomy for Stroke at 6 to 16 Hours with Selection by Perfusion Imaging. *N Engl J Med*. 2018;378(8):708-18.

47. Nogueira RG, Jadhav AP, Haussen DC, Bonafe A, Budzik RF, Bhuva P, et al. Thrombectomy 6 to 24 Hours after Stroke with a Mismatch between Deficit and Infarct. *N Engl J Med*. 2018;378(1):11-21.
48. Warlow C, editor. *Stroke: practical management*. 3rd ed. Malden, Mass: Blackwell Pub; 2008. 995 p.
49. Gorelick PB. Primary and comprehensive stroke centers: history, value and certification criteria. *J Stroke*. 2013;15(2):78-89.
50. Bhatia R, Hill MD, Shobha N, Menon B, Bal S, Kochar P, et al. Low rates of acute recanalization with intravenous recombinant tissue plasminogen activator in ischemic stroke: real-world experience and a call for action. *Stroke*. 2010;41(10):2254-8.
51. Southerland AM, Johnston KC, Molina CA, Selim MH, Kamal N, Goyal M. Suspected Large Vessel Occlusion: Should Emergency Medical Services Transport to the Nearest Primary Stroke Center or Bypass to a Comprehensive Stroke Center With Endovascular Capabilities? *Stroke*. 2016;47(7):1965-7.
52. Schlemm E, Ebinger M, Nolte CH, Endres M, Schlemm L. Optimal Transport Destination for Ischemic Stroke Patients With Unknown Vessel Status: Use of Prehospital Triage Scores. *Stroke*. 2017;48(8):2184-91.
53. Saver JL, Smith EE, Fonarow GC, Reeves MJ, Zhao X, Olson DM, et al. The «golden hour» and acute brain ischemia: presenting features and lytic therapy in >30,000 patients arriving within 60 minutes of stroke onset. *Stroke*. 2010;41(7):1431-9.
54. Milne MS, Holodinsky JK, Hill MD, Nygren A, Qiu C, Goyal M, et al. Drip 'n Ship Versus Mothership for Endovascular Treatment: Modeling the Best Transportation Options for Optimal Outcomes. *Stroke*. 2017;48(3):791-4.
55. Prabhakaran S, O'Neill K, Stein-Spencer L, Walter J, Alberts MJ. Prehospital triage to primary stroke centers and rate of stroke thrombolysis. *JAMA Neurol*. 2013;70(9):1126-32.
56. Departamento Nacional de Estadística, Grupo de Estratificación. Metodología de Estratificación Socioeconómica Urbana para Servicios Públicos Domiciliarios. [Internet]. 2015. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/files/geoestadistica/estratificacion/ManualdeRealizacion.pdf>
57. Lawson A, Banerjee S, Haining RP, Ugarte MD, editores. *Handbook of spatial epidemiology*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis; 2016. 684 p. (Chapman & Hall/CRC handbooks of modern statistical methods).
58. Acharya AB, Nyirenda JC, Higgs GB, Bloomfield MS, Cruz-Flores S, Connor LT, et al. Distance from home to hospital and thrombolytic utilization for acute ischemic stroke. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2011;20(4):295-301.

59. Bivand R, Hauke J, Kossowski T. Computing the Jacobian in Gaussian spatial autoregressive models: An illustrated comparison of available methods. *Geogr Anal.* 2013;45(2):150–179.
60. Bivand R, Piras G. Comparing Implementations of Estimation Methods for Spatial Econometrics. *J Stat Softw.* 2015;63(18):1–36.
61. Anselin L. Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geogr Anal.* 1995;27(2):93-115.
62. Bivand R, Pebesma EJ, Gómez-Rubio V. Chapter 8: Interpolation and Geostatistics. En: *Applied spatial data analysis with R. second edition.* New York Heidelberg Dordrecht London: Springer; 2013. p. 214–251. (Use R!).
63. Sambridge M, Braun J, McQueen H. Geophysical parametrization and interpolation of irregular data using natural neighbours. *Geophys J Int.* diciembre de 1995;122(3):837-57.
64. Chiles J-P, Delfiner P. *Geostatistics: modeling spatial uncertainty.* 2nd ed. Hoboken, N.J: Wiley; 2012. 699 p. (Wiley series in probability and statistics).
65. Bivand RS, Pebesma E, Gómez-Rubio V. *Applied Spatial Data Analysis with R* [Internet]. 2.^a ed. New York: Springer-Verlag; 2013 [citado 12 de mayo de 2019]. (Use R!). Disponible en: <https://www.springer.com/la/book/9781461476177>
66. Oliver MA, Webster R. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *CATENA.* febrero de 2014;113:56-69.
67. Departamento Nacional de Estadística. Catálogo de Metadatos Geográficos - Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE [Internet]. [citado 30 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://geoportal.dane.gov.co/geonetwork/srv/spa/catalog.search;jsessionid=C6AB2F0BE5BF0868D5DA9A3579CABFC5#/metadata/6815a21e-2ce8-4623-80a2-2f2a8cf29b5b>
68. Torres León AC. *La actividad central en Bogotá - centralidades espontáneas y su consolidación : una visión desde el territorio* [Internet] [masterThesis]. Bogotá - Uniandes; 2014. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/12898>
69. Cumbre mundial de líderes locales y regionales. Datos básicos Bogotá [Internet]. Bogotá 2016 UCLG. 2015 [citado 28 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.bogota2016.uclg.org/datos-basicos>
70. R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing* [Internet]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2017. Disponible en: <https://www.R-project.org/>
71. Couture-Beil A. rjson: JSON for R [Internet]. 2014. Disponible en: <https://CRAN.R-project.org/package=rjson>

72. Anselin L, Syabri I, Kho Y. GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis. *Geogr Anal.* enero de 2006;38(1):5-22.
73. Gräler B, Pebesma E, Heuvelink G. Spatio-Temporal Interpolation using gstat. *R J.* 2016;8(1):204-18.
74. QGIS Development Team 2018. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. [Internet]. Disponible en: <http://qgis.osgeo.org>
75. Roy Rosenzweig Center for History and New Media. Zotero [Internet]. 2019. Disponible en: <https://www.zotero.org/>
76. Ministerio de Salud. Resolución 8430 [Internet]. 1993. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF>
77. London stroke unit lookup - About this tool [Internet]. [citado 14 de mayo de 2019]. Disponible en: <http://www.londonsulookup.nhs.uk/about.aspx>
78. Kulick ER, Wellenius GA, Boehme AK, Sacco RL, Elkind MS. Residential Proximity to Major Roadways and Risk of Incident Ischemic Stroke in NOMAS (The Northern Manhattan Study). *Stroke.* 2018;49(4):835-41.
79. Pedigo A, Aldrich T, Odoi A. Neighborhood disparities in stroke and myocardial infarction mortality: a GIS and spatial scan statistics approach. *BMC Public Health.* 12 de agosto de 2011;11:644.
80. Maheswaran R, Haining RP, Brindley P, Law J, Pearson T, Fryers PR, et al. Outdoor air pollution and stroke in Sheffield, United Kingdom: a small-area level geographical study. *Stroke.* febrero de 2005;36(2):239-43.

ANEXOS

ANEXO 1. GRÁFICOS DE DISPERSIÓN DE MORAN PARA TIEMPOS DE LLEGADA A CADA CENTRO

Gráfico 3. Dispersión de Moran para tiempos de llegada a cada centro en hora pico mañana entre semana.

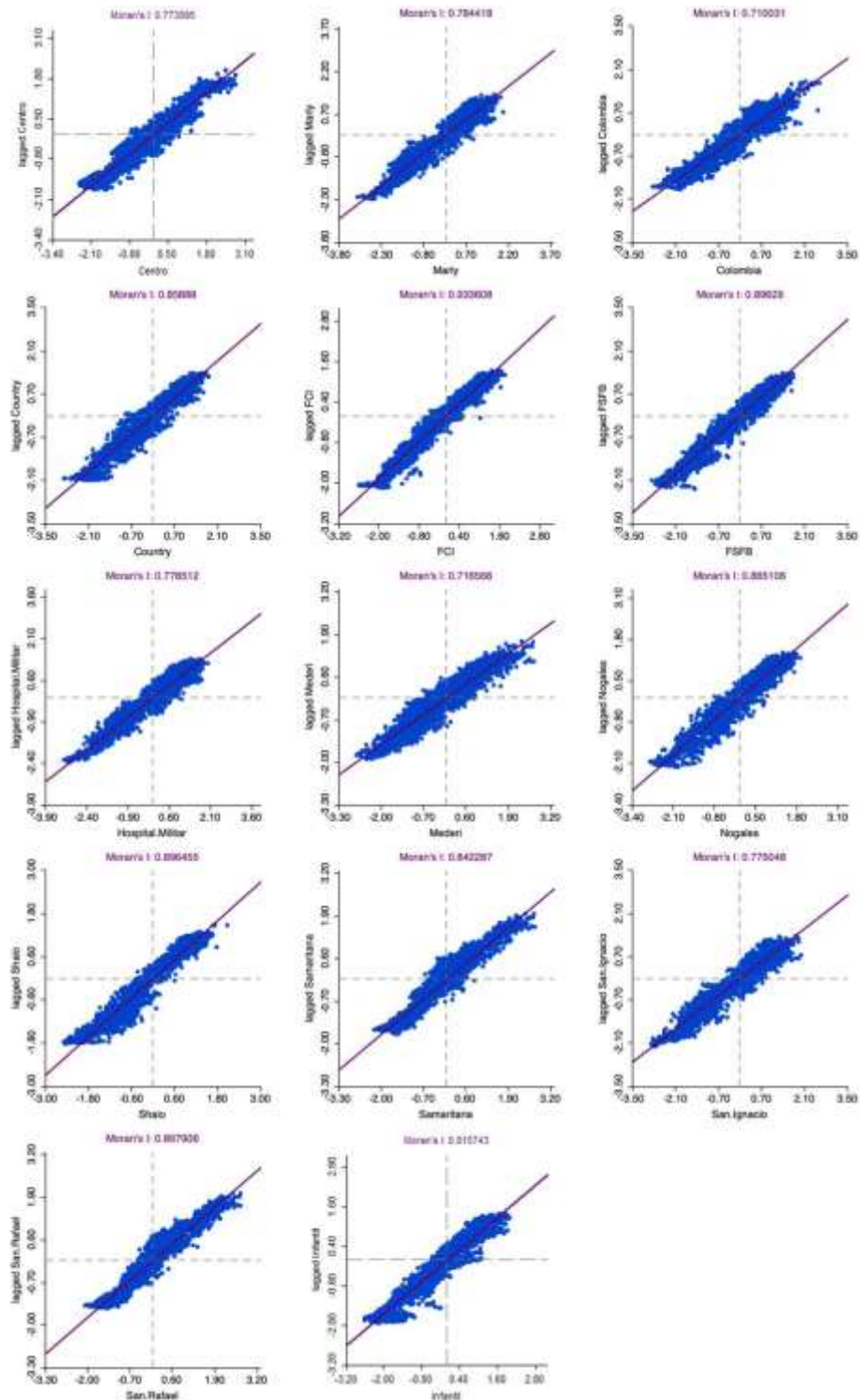


Gráfico 4. Dispersión de Moran para tiempos de llegada a cada centro en hora pico tarde entre semana.

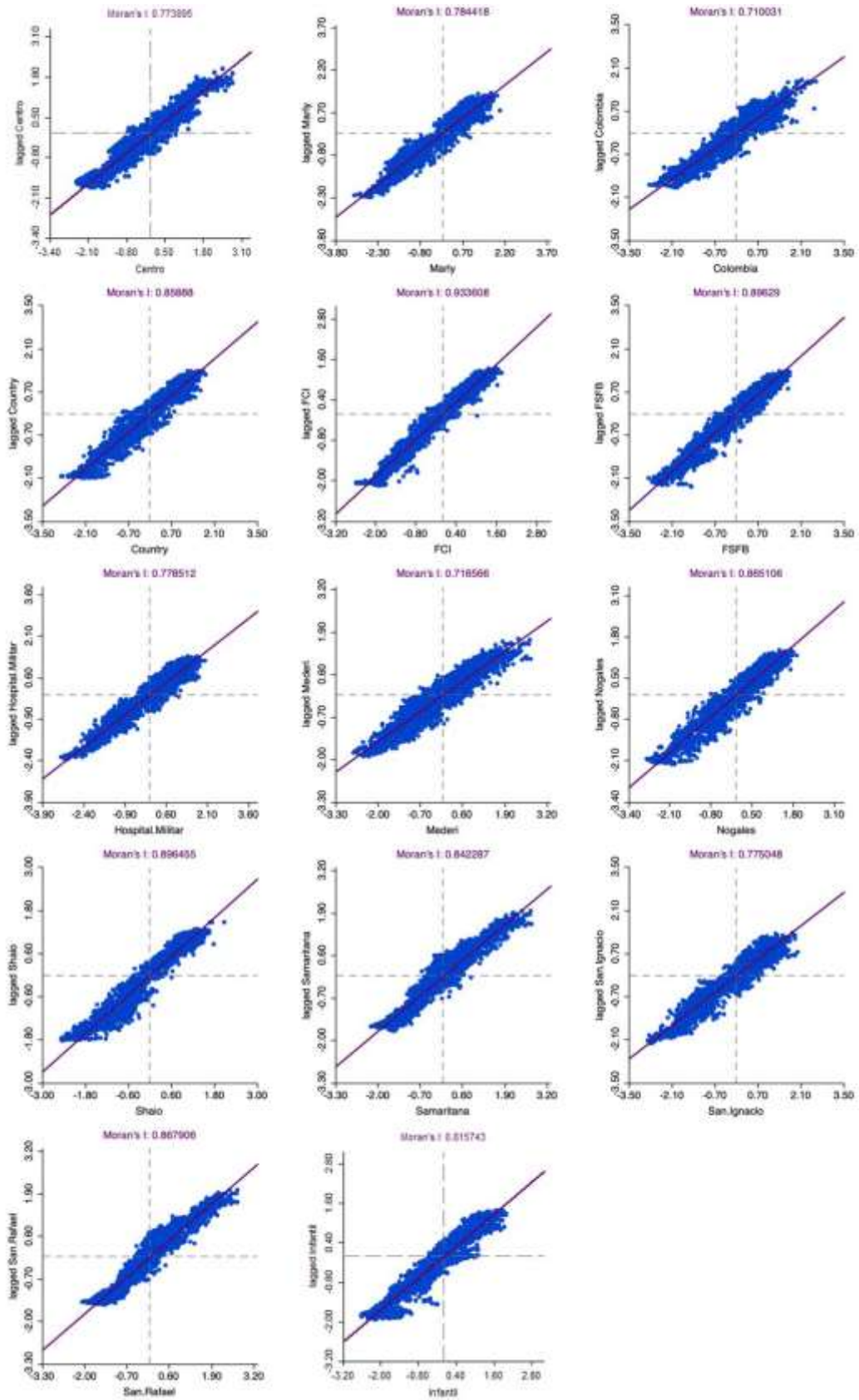


Gráfico 5. Dispersión de Moran para tiempos de llegada a cada centro en hora control noche entre semana.

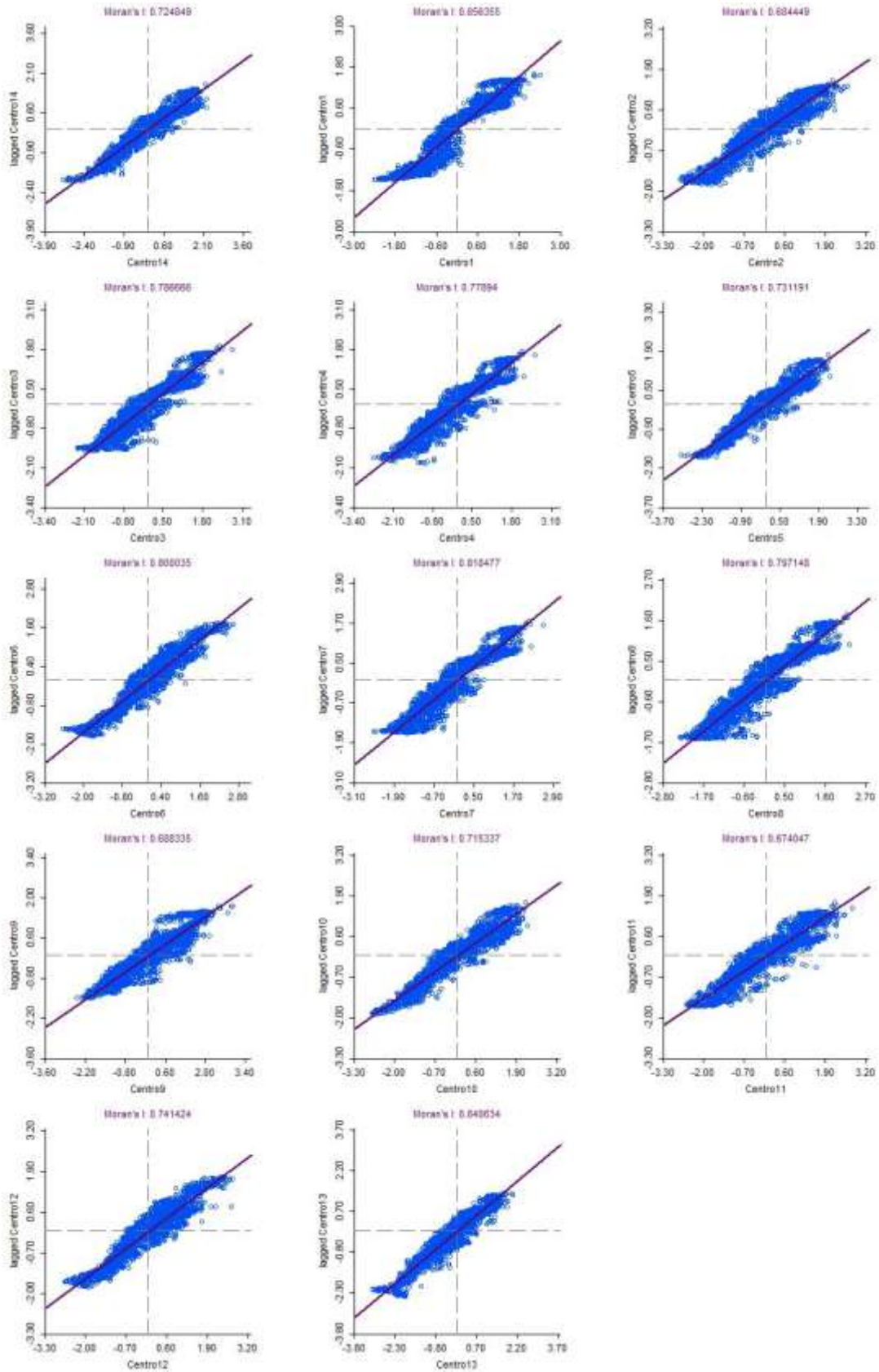


Gráfico 6. Dispersión de Moran para tiempos de llegada a cada centro en hora pico mañana fin de semana

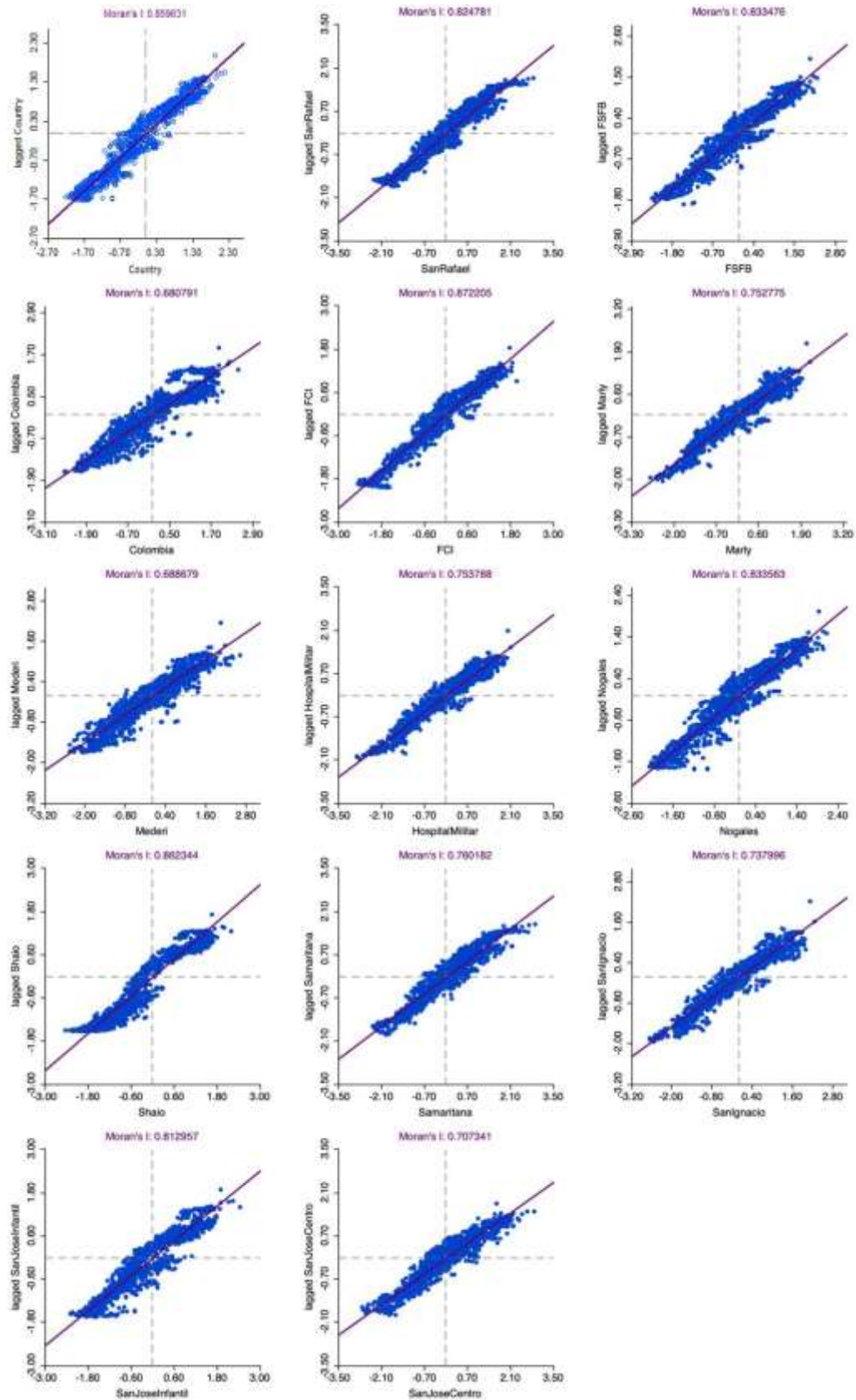


Gráfico 7. Dispersión de Moran para tiempos de llegada a cada centro en hora pico tarde fin de semana.

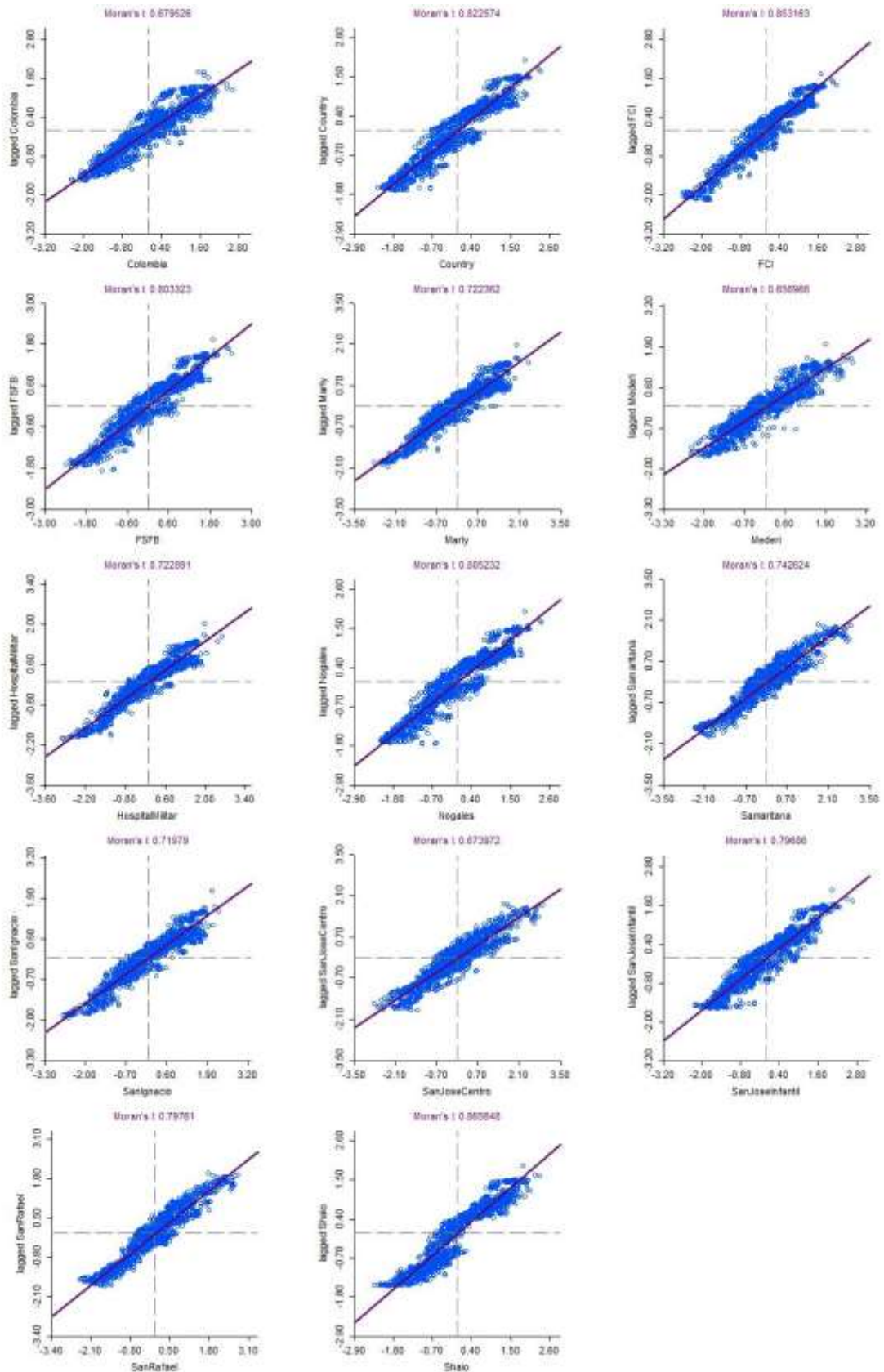
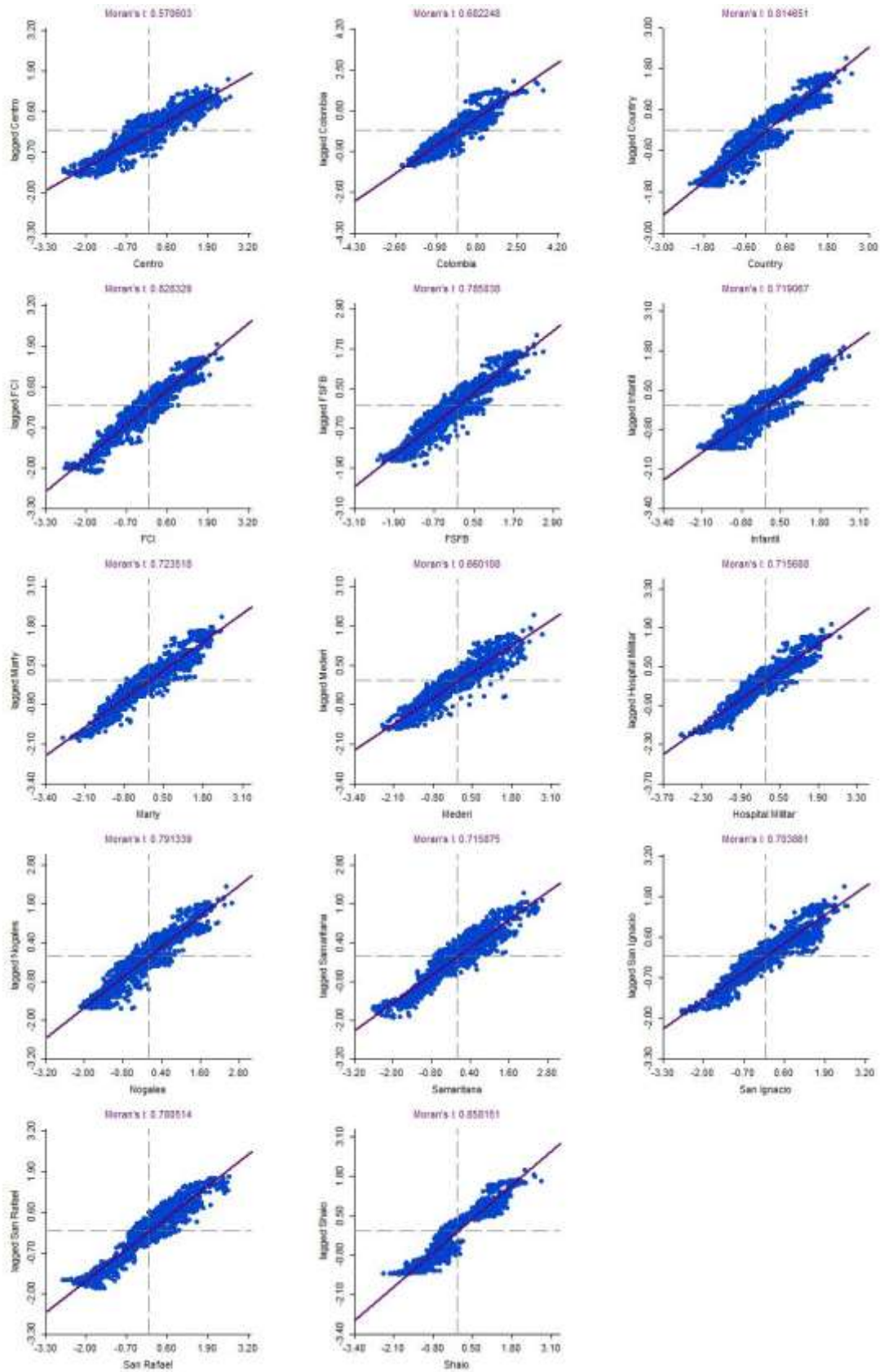


Gráfico 8. Dispersión de Moran para tiempos de llegada a cada centro en hora control noche fin de semana



ANEXO 2. CÓDIGO DE GENERACIÓN DE PUNTOS ALEATORIOS

```
#####Módulo de muestreo#####
#Compatibilidad y librerías
#Este código hace uso de funciones y objetos de los paquetes sp, ggplot2,
rgdal, rgeos, grid, gridExtra. La versión de R utilizada fue v3.4.2 y todos
#los paquetes se utilizaron en su versión más reciente. El archivo
georreferenciado de las manzanas censales DANE del censo del 2005 fue
otorgado por la profesora Andrea Torres León del Departamento de
Arquitectura de la Universidad de Los Andes. Datos técnicos sobre este
archivo se pueden encontrar en el documento "La actividad central en
Bogotá: centralidades espontáneas y su consolidación : una visión desde el
territorio" en el repositorio de dicha institución.

#Cargue de librerías
library(sp)
library(ggplot2)
library(rgdal)
library(rgeos)
library(grid)
library(gridExtra)

#Importación del set de manzanas censales DANE para Bogotá del Censo del
2005.
dane<-readOGR(dsn='D:/ACV/ManzanaDane/Dane.shp', encoding = 'LATIN1')

#Los datos del archivo de referencia del DANE se encuentran en una
proyección local.
#Por conveniencia, se convertirá al WGS84 para mantener compatibilidad con
el formato de Google.
dane<-spTransform(dane, CRS('+proj=longlat +ellps=WGS84 +datum=WGS84
+no_defs'))

#El archivo fuente muestra 43225 objetos espaciales. Debido a limitaciones
en la interacción con el API de Google, para el fin de semana se
muestrearon 142 puntos por credencial.
#Se obtuvieron un total de 10 credenciales en nuestro caso.

#Número de puntos a muestrear
npuntos<-142
#Número de credenciales en las que se distribuirá el muestreo.
ncreds<-10
#Número de objetos espaciales en el objeto cargado
nobjs<-nrow(dane@data)

#Se muestrean los subíndices de cada polígono espacial.
totalindexsampleFDS<-sample(1:nobjs, size = npuntos*ncreds)

#Se mapean los objetos para verificar una distribución adecuada en el
espacio.
plot(dane[totalindexsampleFDS,])

#Se crea una lista auxiliar para dividir el set en 10.
indicesFDS<-rep_len(1:ncreds,length.out = npuntos*ncreds)

#Ambos conjuntos se unen en un data frame.
myindicesFDS<-as.data.frame(cbind(indicesFDS, totalindexsampleFDS))

#Los índices se almacenan para verificación posteriormente.
```

```
write.csv(file='TotalIndexSampleFDS.csv', myindicesFDS)

#Se utilizan los índices para crear variables de entorno con objetos
espaciales y para crear archivos ESRI para mapeo y verificación
posteriormente. El formato ESRI tiene como limitación la abreviación de los
nombres de los atributos.

for(i in 1:ncreds){
  temp<-myindicesFDS$totalindexsampleFDS[myindicesFDS$indicesFDS==i]
  nom<-paste0('p', i, 'FDS')
  assign(nom, dane[temp,])
  writeOGR(get(nom), dsn=paste0('Samp', i, 'FDS.shp'), driver = 'ESRI
Shapefile', layer = paste0('Samp', i))
}

#Se obtienen los centroides de cada polígono en cada objeto espacial. Estos
puntos serán utilizados en la solicitud al API de Google y deben
distribuirse entre los usuarios.
for(i in 1:ncreds){
  varname<-paste0('p', i, 'FDS')
  coordtemp<-coordinates(gCentroid(get(varname), byid=T))
  fname<-paste0('Puntos-',i,'FDS.csv')
  write.csv(coordtemp, file = fname)
}

#Se define el set complementario de manzanas no muestreadas.
compset<-c(1:nobjs)[-totalindexsampleFDS]

#Se grafican las distribuciones por estrato del set total
p1<-ggplot(dane@data, aes(ESTRATO_06))+geom_bar()
p2<-ggplot(dane@data[compset,], aes(ESTRATO_06))+geom_bar()
grid.arrange(p1,p2)
rm(p1,p2)

#Se define un contenedor para los objetos gráficos y se crean diagramas de
barras para cada submuestra
gcont<-gList()
for(i in 1:ncreds){
  varname<-paste0('p', i, 'FDS')
  temp1<-get(varname)
  tempg<-ggplot(temp1@data, aes(ESTRATO_06))+
  geom_bar()
  gcont[[i]]<-tempg
}

#Se grafican en conjunto para comparación visual
do.call('grid.arrange', gcont)

rm(gcont)

#Se debe verificar acá que las distribuciones por estrato del conjunto
total, el conjunto no muestreado, y cada submuestra sean comparables.
```

ANEXO 3. CÓDIGO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

```
#####Módulo de solicitud#####
#Compatibilidad y librerías
#Este código hace uso de funciones y objetos de los paquetes lubridate,
rjson, RCurl, ggplot3, y xlsx. La versión de R utilizada fue v3.4.2 y todos
los paquetes se utilizaron en su versión más reciente. Las credenciales de
API de Google deben obtenerse a través de cualquier cuenta de Google tras
haber configurado el acceso a herramientas de desarrollador. En particular,
este código requiere acceso a la API de Matriz de Distancia de Google.

library(lubridate)
library(rjson)
library(RCurl)
library(ggplot2)
library(xlsx)

#Importe de archivo de Microsoft Excel con las credenciales de API
keystot<-read.xlsx(file="D:/ACV/Keys.xlsx", sheetIndex = 1, encoding =
'LATIN1')

#Definición del índice usuario con el que se solicitarán los valores.
usernumber<-1

key<-as.character(keystot$Key[usernumber])

filename1<-paste0("D:/ACV/ArregloMapa/Puntos-",usernumber,"FDS",".csv")
pacientes<-read.csv(file = filename1, encoding='LATIN1', as.is = T)
colnames(pacientes)<-c('Manzana', 'Long', 'Lat')

#Importe de las ubicaciones de los centros de interés
centros<-read.csv('D:/ACV/CentrosMed.csv', encoding='LATIN1')
centros$Institución<-as.character(centros$Institución)

#Inicialización del contenedor
container<-as.data.frame(matrix(nrow=nrow(pacientes),
ncol=(3+nrow(centros))))
colnames(container)<-c('Manzana','OrigLat', 'OrigLong', centros$Institución)

#Vector de destinos en el formato deseado
destinos<-paste0(centros$Lat, ",", centros$Long)

destinos<-paste0(destinos, collapse="|")

for(i in 1:nrow(pacientes)){
  tpac<-pacientes[i,]
  origen<-paste0(tpac$Lat,",", tpac$Long)
  url1<-
paste0("https://maps.googleapis.com/maps/api/distancematrix/json?units=metr
ic&origins=",
  origen,"&destinations=",destinos,
  "&departure_time=now&mode=driving&key=",
  key,"&traffic_model=pessimistic")

  temprep<-(getURL(url1))
  tempjson<-fromJSON(temprep)
  temprows<-unlist(tempjson$rows)
  indices<-which(names(temprows)=='elements.duration_in_traffic.value')
  traffic_vals<-temprows[indices]
  container[i,]<-c(tpac$Manzana, tpac$Lat, tpac$Long,traffic_vals)
}
```

```
}  
  
#Verificación del total de NAs en el objeto obtenido  
#El total de NAs debe ser de cero.  
print(paste('Total de NAs: ', sum(is.na(container))))  
  
#Nombre de archivo. Si se desea, se puede modificar con un destino específico.  
fname<-paste0('ResUsuario', usernumber, '_', substr(now(), 1, 13), ".csv")  
  
write.csv(container, file = fname, fileEncoding = 'LATIN1')  
  
#Se puede acceder a los archivos generados por este código en el directorio  
de trabajo de la sesión de R (getwd()).
```

ANEXO 4. RESPUESTA A DERECHO DE PETICIÓN 2018ER52776 DEL 13 DE JULIO DE 2018, SOLICITANDO DATOS DE DOMINIO PÚBLICO A LA SECRETARÍA DISTRITAL DE SALUD

Bogotá D.C., 22 de agosto de 2018

SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD 22-08-2018 10:20:36
Al Contestar Cite Este No.:2018EE78709 O 1 Fol:0 Anex:0 Rec:2
ORIGEN: 021100.SUBDIRECCION CENTRO REGULADOR DE UF
DESTINO: PERSONA PARTICULAR/MIGUEL DAVID QUINTERO C
TRAMITE: OFICIOS-RESPUESTA
ASUNTO: RESP. RAD 2018ER52776


Señor
Miguel David Quintero Consuegra
Calle 56 35 A 49
Universidad del Rosario
Bogotá D.C.

Asunto: Respuesta a radicado 2018ER52776, del 13 de julio de 2018.

De acuerdo con la reunión realizada el día 16 de agosto de 2018 con el Dr. Iván Pradilla, referente a la revisión de la base de datos que fue posible recabar sobre datos de incidentes por ACV ocurridos entre los años 2006 y 2016, hago envío a la dirección electrónica anotada como referencia en el radicado del asunto, migueld.quintero@urosario.edu.co, del archivo en cuestión con las variables elegidas por el doctor Pradilla en esa misma reunión.

Debo aclarar, que las bases encontradas contienen datos del año 2010 al 2017, lo cual se informó al doctor Iván.

Cordialmente,


DIANA CONSTANZA RODRÍGUEZ POSSO
Subdirectora Centro Regulador Urgencias y emergencias