

Escenarios de cobertura del servicio de transporte público de pasajeros de la ciudad de Formosa



Héctor Daniel Blanco

Instituto de Investigación para el Desarrollo Territorial y del Hábitat Humano,
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Argentina
ORCID: 0009-0003-5225-4221

Recibido: 23.02.2024. Aceptado: 24.08.2024.

Resumen

El transporte público de pasajeros constituye uno de los nexos en el abordaje del binomio movilidad-accesibilidad en el ámbito urbano, ya que el acceso a las oportunidades de empleo, a los lugares de residencia o a los espacios donde se ofrecen muchos de los servicios esenciales depende, en gran medida, de las posibilidades y circunstancias materiales de los viajes. El objetivo del presente artículo es analizar el alcance espacio-temporal, es decir, la cobertura del servicio de transporte público de pasajeros de la ciudad de Formosa. Para ello, se consideraron criterios técnicos (umbrales normativos) y se aplicaron procesos de análisis espacial –ejecutados en un entorno SIG– en función de datos obtenidos de fuentes primarias (relevamiento en terreno) y secundarias (CNPHyV, 2010). Los resultados evidencian una amplia cobertura territorial del transporte, aunque con limitaciones en áreas periféricas de la ciudad, donde se observan dificultades de acceso, especialmente en sectores alejados de las cabeceras de servicio. Esta situación, además, se corresponde con el modo disperso de producción del suelo urbano. La evaluación del tiempo de viaje, utilizando el método de Kriging bayesiano empírico en comparación con la interpolación por IDW, ha validado tanto la precisión como la fiabilidad de los resultados obtenidos mediante la primera técnica.

PALABRAS CLAVE: TRANSPORTE PÚBLICO. NIVELES DE COBERTURA. SIG. CIUDAD DE FORMOSA.

Spatial (in)equity scenarios associated with public passenger transport in the city of Formosa

Abstract

Public passenger transport constitutes one of the links in addressing the mobility-accessibility binomial in the urban environment; understanding that access to employment opportunities, places of residence or spaces where many of the essential services are offered, depend largely on the material possibilities and circumstances of travel. The objective of this article is to analyze the spatio-temporal scope, that is, the coverage of the public passenger transport service of the city of Formosa. For this, technical criteria (regulatory thresholds) were considered and spatial analysis processes were carried out –executed in a GIS environment–, based on data obtained from primary (field survey) and secondary sources (CNPHyV, 2010). The results show a wide territorial coverage

Escenarios de cobertura del servicio de transporte...

HÉCTOR DANIEL BLANCO

of transport, although with limitations in peripheral areas of the city where access difficulties are observed, especially in sectors far from the service headers; a situation that is also consistent with the dispersed mode of production of urban land. The evaluation of the travel time using the empirical Bayesian Kriging method, in comparison with interpolation by IDW, has validated both the precision and the reliability of the results obtained using the first technique.

KEYWORDS: PUBLIC TRANSPORT. COVERAGE LEVELS. GIS. FORMOSA CITY.

Introducción

El transporte es uno de los elementos clave en el análisis de los desplazamientos cotidianos de la población. En un sentido amplio, el transporte, como vector de la movilidad que incluye todos los modos posibles, ya sean motorizados (transporte privado o público con tracción mecánica), con tracción animal o activos (caminata o bicicleta), está definido por las formas urbanas, los diversos usos del suelo, la infraestructura de circulación y las necesidades y posibilidades de ejercicio de la movilidad (Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios [MINPLAN], 2011; Hernández y Hansz, 2021).

En esta línea, el transporte público de pasajeros (en adelante, TPP) se presenta como uno de los nexos en el abordaje del binomio movilidad-accesibilidad, ya que el acceso a las oportunidades de empleo, a los lugares de residencia o a los espacios donde se ofrecen muchos de los servicios esenciales depende, en gran medida, de las posibilidades y circunstancias materiales de los viajes (Blanco, 2015).

La literatura especializada evidencia una progresiva transición hacia el plano subjetivo de la movilidad urbana (Lévy, 2001; Jouffe, 2011; Amar, 2011; Orellana, Hermida y Hermida, 2022). No obstante, el valor explicativo de los abordajes teórico-metodológicos propuestos desde la concepción materialista del territorio continúa vigente, pues la movilidad efectiva se plasma en viajes, es decir, en desplazamientos que implican la superación de distancias; los cuales, lógicamente, pueden ser medibles, modelizables y analizados en relación con ciertas variables, como la red vial, la infraestructura fija, los modos de transporte, la distribución de la población, la dirección de los flujos, las morfologías y funciones urbanas, entre otras. Esto es posible, además, gracias a las múltiples funcionalidades que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Del mismo modo, la variable temporal constituye un aspecto relevante al momento de examinar los desplazamientos de la población. Una aproximación en este sentido supone destacar los costos de interacción asociados a las redes de transporte, donde el factor “tiempo de viaje” permite caracterizar la fricción del espacio en función de determinados orígenes y destinos, introduciendo de esta manera el concepto de accesibilidad.

Por otra parte, es relevante señalar que el transporte público presenta ciertas particularidades que lo distinguen, en cierto modo, de otros equipamientos y servicios colectivos cuyas funciones de utilidad se encuentran supeditadas a instalaciones fijas o estáticas, como, por ejemplo, en los servicios de salud o educación. De hecho, el transporte público es uno de los medios que facilita la movilidad y, en consecuencia, el acceso potencial a otros bienes y oportunidades. Bajo esta lógica, el transporte opera con el objetivo de

Escenarios de cobertura del servicio de transporte...

HÉCTOR DANIEL BLANCO

conectar secuencialmente diferentes sectores –y funciones– de la ciudad a través de la red vial. Es decir, arterias viales que presentan diferencias de un tramo a otro (longitud, intensidad de flujos, jerarquías, dirección de circulación, nivel de consolidación, entre otras), factores que naturalmente inciden en las condiciones de provisión del servicio (Salado García *et al.*, 2006).

En esta línea, tanto la cobertura espacial como el intervalo de tiempo que demanda superar una determinada distancia son aspectos fundamentales en el análisis de las condiciones de accesibilidad. Si bien las innovaciones tecnológicas y la masificación del transporte han contribuido progresivamente a reducir la fricción de la distancia, ello no impide, como plantean Ramos Pérez y Seguí Pons, que “a escala regional y/o local continúen observándose notables variaciones espaciales en la intensidad de la impedancia, asociadas a la desigual dotación de los territorios en materia de infraestructuras y servicios de transporte” (2015:319).

En concordancia con lo expuesto previamente, en el presente trabajo –tomando como referencia los niveles de cobertura del TPP de la ciudad de Formosa– se analizan los escenarios de interacción con la demanda potencial como una contribución al estudio de las condiciones de accesibilidad de la población a dicho servicio. Para ello, en primer lugar, se desarrolla el marco teórico y metodológico; seguidamente, se caracteriza el transporte público en el contexto del área de estudio; posteriormente, se presentan los resultados en materia de cobertura espacio-temporal y, finalmente, se cierra el artículo con una breve conclusión.

Marco teórico

Como se ha expresado en múltiples ocasiones, la relevancia de los servicios públicos en la vida cotidiana de una proporción considerable de la sociedad está intrínsecamente vinculada a la capacidad de satisfacer una amplia gama de necesidades, entre las cuales se incluye la movilidad. Esta capacidad, a su vez, depende en gran medida de la cobertura espacial de dichos servicios, es decir, de la medida en que su localización y provisión permiten un acceso equitativo y eficiente para todos los segmentos de la población.

En este marco, es pertinente destacar los conceptos de movilidad y accesibilidad, puesto que una adecuada cobertura espacial de los servicios públicos no solo puede mejorar las condiciones de movilidad, sino también garantizar una accesibilidad equitativa. Al respecto, Miralles-Guasch (2002) explora la relación entre ambos conceptos en el contexto urbano. La autora destaca que la movilidad se refiere a la capacidad de desplazarse de un lugar a otro, mientras que la accesibilidad se centra en la facilidad con la que se pueden alcanzar los destinos deseados. Asimismo, argumenta que la accesibilidad es una dimensión espacial de la movilidad y que ambos conceptos están intrínsecamente ligados. En su análisis, señala que el crecimiento y la complejización de las ciudades contemporáneas han generado nuevos desafíos y oportunidades en términos de movilidad diaria, y también enfatiza la importancia de considerar la accesibilidad al planificar y gestionar el transporte urbano para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

En la literatura académica, existe un amplio consenso respecto a la relevancia que adquiere la accesibilidad como instrumento analítico de los (des)equilibrios en las

relaciones socioespaciales entre la oferta (equipamientos/servicios) y la demanda (usuarios) de bienes públicos (Handy y Niemeier, 1997; Garrocho y Campos, 2006; Batty, 2009; Fuenzalida Díaz, 2009; Hansz, Hernández y Rubinstein, 2018; Hernández y Hansz, 2021). Como es bien sabido, la accesibilidad es un concepto que comprende una pluralidad de acepciones. No obstante, dentro de los límites de este texto, dicho término se refiere básicamente a “la facilidad con la que se puede alcanzar un cierto sitio (destino) desde otros puntos en el territorio (orígenes), por lo que sintetiza las oportunidades de contacto e interacción entre determinados orígenes y destinos” (Goodall, 1987, citado en Garrocho Rangel y Campos Alanís, 2006:353). Como puede deducirse, esta definición combina implícitamente las nociones de localización y distancia. Conviene especificar que, desde la perspectiva que se pretende imprimir en este estudio, *este concepto opera en un marco donde las impedancias asociadas al desplazamiento (y a la fricción del espacio) se miden en unidades de longitud y de tiempo.*

Por otra parte, el análisis geográfico del funcionamiento de las actividades de servicio abarca la interacción de una serie de componentes básicos, los cuales se identifican a continuación:

- i) unos agentes (con titularidad pública, privada o mixta) encargados de administración y provisión de los servicios, con determinados móviles o fines;
- ii) una población (usuarios potenciales) distribuidos espacialmente, los cuales conforman unos patrones variables de demanda/necesidad, iii) unos recursos (instalaciones, equipamientos, bienes muebles, etc.) donde generalmente se realizan los actos de provisión/uso, iv) un territorio con unas estructuras concretas que definen el marco y condicionan el funcionamiento espacial de las comunidades, y v) unas relaciones espaciales entre esos entes, plasmadas en flujos de naturaleza diversa tales como desplazamientos, comunicaciones, etc., los cuales que traducen la convergencia espaciotemporal entre proveedor-consumidor típica de los actos de servicio. (Moreno Jiménez y Fuenzalida Díaz, 2015:396)

Siguiendo esta línea de pensamiento, Hernández y Hansz (2021) plantean que la definición de accesibilidad sintetiza tres elementos interdependientes: *la forma urbana*, la cual influye en la distribución de las residencias y oportunidades en el territorio; *el sistema de transporte*, es decir, los medios y recursos que posibilitan (o dificultan) los desplazamientos entre distintos puntos de la ciudad; y *las características de las personas y de los hogares*, que determinan las necesidades y aspiraciones de llevar a cabo actividades específicas, así como las condiciones y el entorno para su realización.

Metodología

La metodología empleada en este estudio se basa en la integración de diversas fuentes de información y técnicas de análisis espacial aplicadas a través de los SIG. Los SIG constituyen una herramienta fundamental para el análisis espacial cuantitativo, ya que facilitan la integración y modelización de grandes volúmenes de datos y permiten operacionalizar conceptos clave como distribución, asociación e interacción espacial. En esta línea, mediante la aplicación de diferentes procedimientos, como el análisis de redes, la interpolación y la validación de modelos, se refuerza el enfoque analítico,

incrementando las capacidades para evaluar la accesibilidad a equipamientos y servicios, identificar áreas con carencias de cobertura y estimar la demanda potencial.

Procesamiento de los datos y técnicas de análisis

Como se mencionó anteriormente, el diseño metodológico comprende la aplicación de una serie de procedimientos de análisis espacial ejecutados en un entorno SIG. Concretamente, para determinar los niveles de cobertura territorial del TPP se utilizó la extensión *Network Analyst* del software ArcGIS, de gran utilidad para el análisis de redes, posibilitando el cálculo de las áreas de servicio. A través de esta función, se pueden definir zonas de influencia en las proximidades de cualquier ubicación (en este caso, paradas o stops) conforme a la red vial y de acuerdo con una impedancia especificada. El resultado de la aplicación de este solucionador se expresa gráficamente a través de una geometría poligonal. Esta herramienta se utilizó específicamente para cuantificar la población servida y la superficie de cobertura del TPP, según umbrales de distancia predefinidos¹. Cabe señalar que las áreas de servicio de las paradas fueron superpuestas a polígonos de *Thiessen* con el fin de ajustar la captación de la demanda potencial y evitar así la superposición de las áreas de influencia, asumiendo de esta manera el principio del mínimo esfuerzo, que supone que las personas acudirían a las líneas del TPP más próximas a sus residencias.

Cálculo de la demanda potencial

Los *buffers* correspondientes a las áreas de servicio son recursos esenciales para la extracción de los datos relativos a la población que constituye la demanda potencial del servicio de transporte. Como operación previa a la extracción, estos datos –obtenidos en principio para cada radio censal²– fueron desagregados a nivel de celdas a partir de un proceso de rasterización. Dicho proceso implicó la conversión de los radios censales (en formato vectorial) a una estructura de datos ráster.³ Este procedimiento se realizó con la herramienta *People to Pixel* disponible en ArcGIS. En otras palabras, de esta manera se modelizó la distribución de la población de interés en el área de estudio, asignando los respectivos valores absolutos a nivel de pixel. Este procedimiento representa una mejora respecto a los análisis tradicionales de unidades censales basados en el *centroide* o en la asignación proporcional del área (Cardozo y Da Silva, 2015).

Por consiguiente, una vez generadas las áreas de servicio y rasterizada la variable censal de interés (el conjunto de la población), se procedió a extraer los valores relativos a la demanda potencial conforme a los atributos de impedancia definidos en las capas poligonales. Esta operación de superposición se realizó mediante la herramienta *Estadísticas zonales* disponible en ArcGIS, a través de la cual se puede calcular –entre otras

1. Los umbrales de distancia de las áreas de servicio proceden de las metas definidas en el Plan Estratégico Formosa 2015 (PEF, 2015). En dicho documento se establece -en términos proyectivos- que la cobertura geográfica del servicio del TPP sea tal que ningún habitante de la ciudad deba caminar más de 5 cuadras (500 m) para acceder a la parada de la línea más cercana a su domicilio. Esta distancia se reduce a 3 cuadras (300 m) en el área central de la ciudad.

2. Procesamiento de datos basado en Redatam+SP.

3. El tamaño de píxel que se asignó al ráster de salida fue de 30 metros.

operaciones estadísticas– la suma de los valores que contienen los píxeles en las áreas de servicio predefinidas.

Operaciones asociadas a la estimación del tiempo de viaje

Para modelar el tiempo de desplazamiento en ómnibus a partir del conjunto de puntos muestrales obtenidos, se ha optado por aplicar el método de Krigging Bayesiano Empírico (en adelante, KBE). Esta elección se debe principalmente a que este predictor automatiza –por medio de procesos de creación de subconjuntos y simulaciones– los parámetros más complejos de la creación de un modelo kriging válido⁴; mientras que otros métodos kriging requieren el ajuste manual de dichos parámetros para obtener resultados precisos (ESRI, 2016). Además, este método tiene en cuenta el error introducido al estimar el modelo de semivariograma, utilizando para ello muchos modelos en lugar de uno solo (Krivoruchko, 2012).

Siguiendo el flujo de trabajo propuesto por Fuenzalida Diaz (2015), la aplicación del KBE –a través de la herramienta *Geostatistical Analyst* de ArcGIS– comprendió básicamente tres etapas: *i*) análisis exploratorio de los datos (ver anexo Figura 2), *ii*) análisis estructural (ver anexo Figura 3) y *iii*) predicciones. Por razones de extensión, los resultados de esta última etapa, como la obtención de la validación cruzada y el mapa de predicción, se incluyen directamente en la siguiente sección. En esta fase final, además de obtener el mapa de superficie en formato ráster (con los valores de predicción para puntos no muestrales), se comprobó la validez del modelo utilizado a través del procedimiento denominado validación cruzada (*cross validation*). Asimismo, se cotejaron los resultados con los obtenidos de la aplicación del método de interpolación basado en la distancia inversa ponderada (IDW).

En relación con esto, Fuenzalida sostiene:

El modelo a seleccionar será aquel que mejor reproduzca los datos conocidos, por lo tanto cumplirá con las siguientes condiciones: *Root-Mean-Square -RMS-* (Raíz cuadrada del error medio): cuanto más pequeño sea, mejores serán las predicciones; *Average Standard Error -ASE-* (Error estándar promedio): pequeño, próximo a RMS, la variabilidad de la predicción se calcula correctamente; y *Root-Mean-Square Standardized -RMSS-* (Raíz cuadrada del error medio): cerca de uno (1), los errores de la predicción son válidos. (2015:92)

Fuentes de información

Los datos utilizados en este estudio están relacionados con los requerimientos de evidencia de la sección de resultados y constituyen los insumos básicos que permiten operacionalizar la metodología. En concreto, se emplearon las siguientes bases de datos, provenientes de diferentes fuentes:

4. Entre los principales parámetros a definir se encuentran los elementos básicos del semivariograma. Estos son: el rango, la meseta (*sill*), y el efecto pepita (*nugget*).

- **Planta urbana (capa poligonal):** Corresponde al área urbana aproximada de la ciudad de Formosa, incluyendo la zona contigua de manzanas edificadas con límites reconocibles. Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2019).
- **Barrios/asentamientos (capa poligonal):** Contiene los datos alfanuméricos de identificación. Fuente: Registro Nacional de Barrios Populares (ReNaBaP, 2018); Dirección de Catastro Municipal (DCM, 2019).
- **Radios censales (capa poligonal):** Incluye datos de población relevados por el INDEC en el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas (CNPHyV, 2010). Se realizó un recorte de la capa (en función del área urbana), obteniéndose 244 unidades espaciales (radios censales). Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC, 2015).
- **Red vial del municipio (capa lineal):** *Dataset* sobre el cual se realizó control y corrección de errores de topología. Fuente: Dirección General del Catastro Territorial (DGCT, 2018).
- **Red y paradas del TPP:** Se relevó con GPS tanto las líneas como las paradas, obteniéndose las coordenadas de 1106 paradas, pertenecientes al total de los ramales del TPP (ver anexo Figura 1). Asimismo, se midieron –con cronómetro– los tiempos de viaje (según paradas), asignando valores de tiempo en minutos, en función del sentido de circulación centro-periferia (desde el centro de la ciudad hasta las cabeceras de servicio). Fuente: Relevamiento en terreno (octubre-noviembre de 2019).

Caracterización del transporte público de pasajeros en el contexto del área estudio

El área de estudio corresponde a la ciudad de Formosa, localizada al este del territorio de la provincia homónima, sobre la margen derecha del Río Paraguay (Ver Figura 1). Este núcleo urbano se compone internamente por más de 100 barrios, incluyendo varios asentamientos informales (ReNaBaP, 2018; DCM, 2019). En términos demográficos, debe señalarse que la ciudad de Formosa congrega el 96% de la población departamental y el 42,4% del total provincial (CNPHyV, 2010). Es importante destacar que, en contraste con las demás capitales del Noreste Argentino, e incluso con otras aglomeraciones de tamaño intermedio de menor población del país, la ciudad de Formosa no conforma un área metropolitana. A pesar de esta distinción, de acuerdo con Lanfranchi *et al.* (2018), durante el lapso comprendido entre 2006 y 2016, Formosa fue el municipio capitalino que –en el contexto regional– experimentó la mayor expansión de su área urbana.

El servicio de TPP de la ciudad de Formosa, es provisto, desde el 2017, por la empresa Crucero del Sur. En 2019, según datos proporcionados por la Subsecretaría de Transporte y Emergencia del municipio capitalino, la oferta estaba constituida por 9 líneas de colectivos (ver Figura 4), servidas por una flota operativa de alrededor de 72 vehículos.

En 2019, la red (ramales, ida y vuelta), se caracterizaba por una extensión total de 366 km lineales, con cierta uniformidad en las longitudes de los recorridos, aunque, con una menor participación relativa de la línea 30. Asimismo, los resultados del índice de rodeo sugieren que la línea 25 presentaba una menor sinuosidad en los tramos que separaban a las cabeceras; mientras que la línea 40 expresaba la situación contraria⁵ (ver Cuadro 1).

5. Esto quiere decir que la distancia real –la que se establece por la red del TPP– es más de siete veces la distancia ideal existente –en línea recta– entre las cabeceras (en el caso de la línea 40).

Escenarios de cobertura del servicio de transporte...
HÉCTOR DANIEL BLANCO

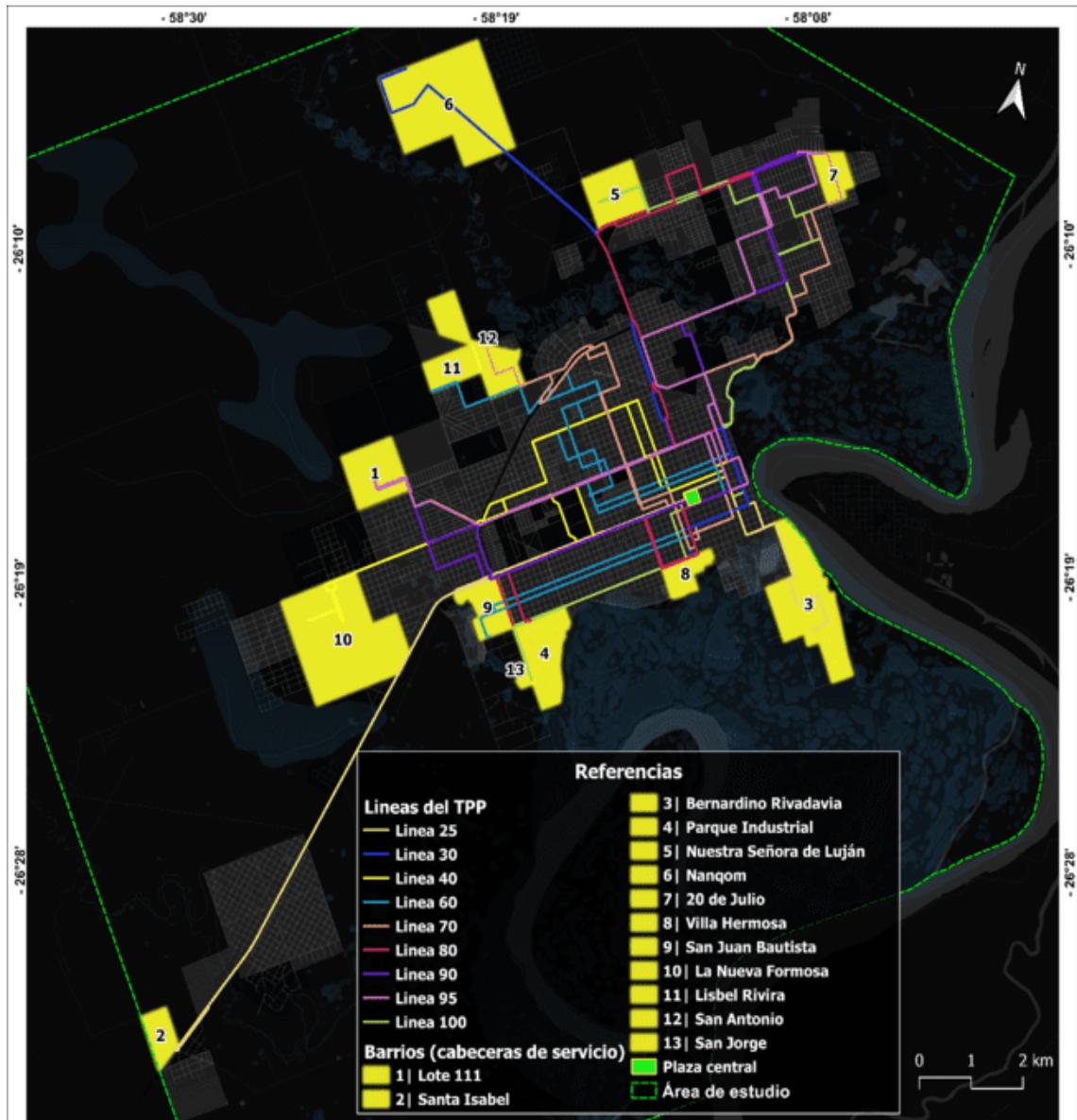


Figura 4. Área de estudio. Ciudad de Formosa, 2019. Fuente: elaboración propia.

El relevamiento en terreno permitió detectar, entre otros aspectos, un bajo porcentaje de paradas con garitas (ver Cuadro 1). Esto podría interpretarse como un factor que reduce la eficacia operativa del servicio, ya que dichas instalaciones, además de cumplir con funciones esenciales de resguardo ante condiciones meteorológicas adversas, deberían contener información útil para los usuarios (p. ej., tarifas, horarios, transbordos, recorridos, etc.). Cabe señalar que la ausencia de garitas es más frecuente en los sectores periféricos de la ciudad, que coinciden con las cabeceras de servicio, donde muchas paradas están ubicadas a menos de 200 metros entre sí (ver anexo Figura 1). Esta cercanía sugiere una redundancia en la red, lo que podría requerir modificaciones para optimizar la distribución de paradas y equilibrar la cobertura con la eficiencia operativa del servicio.

Escenarios de cobertura del servicio de transporte...
HÉCTOR DANIEL BLANCO

Cuadro 1. características de la red del TPP. Ciudad de Formosa, 2019

Línea	Longitud total (km)	Índice de rodeo (R_i) ¹	Paradas con garitas (%)
25	43	1,4	30
30	32	1,5	26
40	42,5	7,1	33
60	37	4	31
70	41,8	2,8	20
80	42,7	2,1	39
90	40,8	1,9	38
95	43,8	2,1	35
100	42,5	2,4	33

Fuente: elaboración propia.

1. $R_i = L_i / D_i$

. Siendo

. L_i = longitud real del recorrido entre punto i y punto j .

. D_i = distancia ideal (en línea recta) entre punto i y punto j .

. En la presente aplicación la distancia ideal de cada línea fue calculada sobre la base de la longitud promedio del ramal (ida y vuelta).

Por otro lado, según estimaciones del área de transporte de la municipalidad, en 2019 se realizaron aproximadamente 55,000 viajes⁶ diarios en días hábiles, con una tarifa plana de 25\$ por pasajero, y cerca de 20,000 viajes de estudiantes con boletos gratuitos⁷. Una característica particular de estos viajes es la distribución temporal de la demanda, que presenta, durante los días laborables, cuatro picos diarios: de 06:30 a 07:30, de 11:30 a 13:30, de 15:30 a 16:30, y de 18:30 a 20:30.

En la Figura 4 se muestra la distribución de la red del TPP en la ciudad de Formosa. A primera vista, las trazas de los recorridos parecen cubrir gran parte del área urbana, aunque, como es previsible, se observa una mayor superposición de líneas en el centro de la ciudad, particularmente en las cercanías de la plaza central. En el microcentro, se distinguen núcleos de alta densidad, con un valor de 1,07 km de red lineal por cada km² de territorio (ver Figura 5). Al respecto, es importante señalar que “los transportes colectivos urbanos [...] no valorizan o desvalorizan por sí mismos el centro de las ciudades, pero constituyen uno de los elementos que crean centralidad urbana” (Miralles-Gausch, 2002:20).

Contrariamente a la situación del área céntrica, las posibilidades de movilidad de la población son más limitadas en los radios censales periféricos de la ciudad, según los datos del CNPHyV (2010). En estos sectores –situados en los ejes nor-noreste, oeste y sur-suroeste del tejido urbano consolidado (central y pericentral)–, cerca del 10% de las viviendas⁸ no cuentan con cobertura de transporte público a menos de 300 metros⁹

6. Durante los fines de semana y días feriados la cantidad de viajes se reducía aproximadamente al 50% (Subsecretaría de Transporte y Emergencia, 2019).

7. Beneficio disponible para estudiantes de los niveles educativos primario, secundario y terciario/universitario.

8. Del total de la ciudad (61.796 viviendas particulares).

9. Distancia establecida en función del segmento en el que se ubican.

Escenarios de cobertura del servicio de transporte...
HÉCTOR DANIEL BLANCO

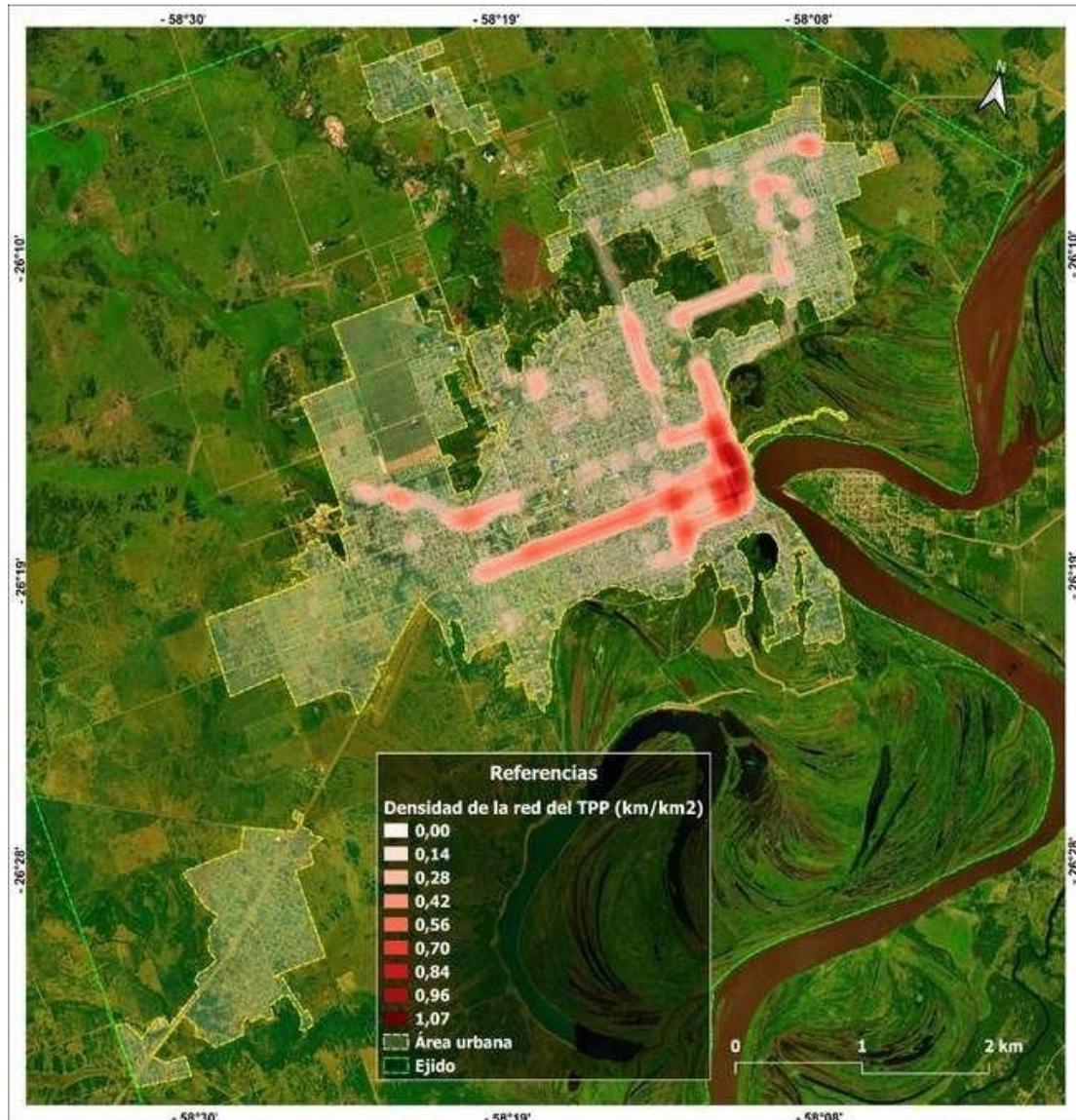


Figura 5. Densidad de la red del TPP. Ciudad de Formosa, 2019. Fuente: elaboración propia.

(ver Figura 6.a). Además, en estas zonas se localizan muchas de las viviendas que no tienen, en el tramo correspondiente, al menos una cuadra con pavimento o algún otro material de cobertura que facilite el desplazamiento (ver Figura 6.b). En 2010, el 34,3% de las viviendas de la ciudad se encontraba en esta situación (CNPhyV 2010).

Naturalmente, en estos sectores residenciales, las calles de tierra son prácticamente intransitables durante los días de lluvia (ver Figura 7), lo que provoca frecuentemente modificaciones en los recorridos regulares de algunas líneas de transporte. Este contexto es relevante porque se considera que el acceso a las oportunidades urbanas depende en gran medida del lugar de residencia de la población. Desde esta perspectiva, las dinámicas predominantes en los procesos de urbanización, especialmente en los países en desarrollo, han tenido implicaciones significativas en la movilidad de la población.

Escenarios de cobertura del servicio de transporte...
HÉCTOR DANIEL BLANCO

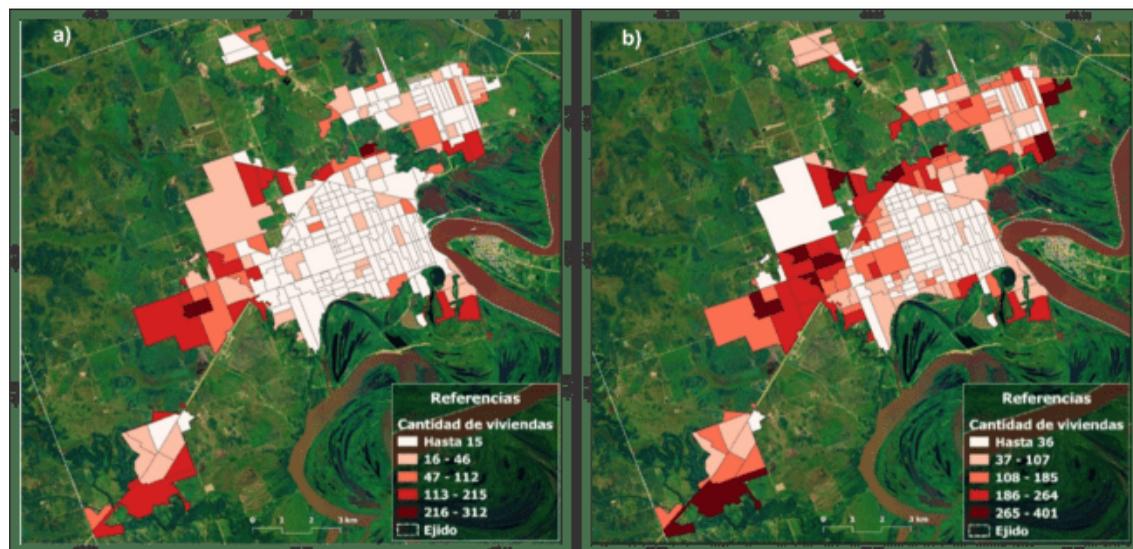


Figura 6. a) Viviendas sin cobertura del TPP; b) viviendas sin acceso a vías (semi)consolidadas en el segmento. Distribución por radios censales. Ciudad de Formosa, 2010.
Fuente: elaboración propia en base a datos del CNPhyV 2010.

La ubicación de las personas en relación con sus necesidades de desplazamiento se presenta como un factor crucial (Vasconcellos, 2010). De manera similar, Miralles-Gausch (2002) plantea que la organización de las actividades y servicios en el entorno urbano contemporáneo se caracteriza por una asignación diferenciada y fragmentada de las funciones urbanas, lo que genera una separación espacio-temporal entre las diferentes actividades cotidianas.

Niveles de cobertura territorial del TPP

La definición de áreas de cobertura del TPP de acuerdo con distancias óptimas predefinidas¹⁰ representa un procedimiento apropiado para cuantificar –en términos potenciales– la población que, dada su situación residencial, se encuentra en condiciones de (des)ventaja respecto al acceso al servicio de transporte público. A la vez, este tipo de abordaje constituye una aproximación que permite orientar los procesos de expansión urbana; asumiendo la idea de que las redes de transporte estructuran –al menos parcialmente– el territorio.

De acuerdo con los umbrales normativos seleccionados, la red del TPP revelaba una amplia cobertura territorial en el conjunto de la ciudad, cerca del 90%, dejando escasos intersticios al interior del área urbana sin provisión del servicio (ver Figura 8). Los resultados expresados en el mapa proceden básicamente de los cálculos efectuados en base a la red vial municipal; vale decir, estimaciones que introducen la anisotropía del espacio urbano al considerar la trama vial.

10. Como se indicó en el apartado metodológico, en la presente aplicación se calcularon umbrales de distancias de 300 y 500 metros de las paradas de colectivos. Se asume que una cuadra generalmente tiene una extensión aproximada de 100 metros.

Escenarios de cobertura del servicio de transporte...
HÉCTOR DANIEL BLANCO



Figura 7. Calles internas de los barrios ubicados en el cuadrante oeste de la ciudad: a) Divino Niño, b) Liborsi y c) San Antonio. Fuente: Fotografías del autor, octubre de 2019.

En la tabla de la Figura 8 se demuestra que la magnitud de la demanda potencial es, en términos generales, inversamente proporcional a las distancias de cobertura. Asimismo, se puede deducir que el 27,4% del área urbana no estaba cubierta por la red de transporte público. Este resultado implica que el 10,5 % de la población¹¹ tuvo que recorrer más de 500 metros para acceder a la parada de colectivo más cercana a su lugar de residencia. Este escenario puede ser aún más preocupante en situaciones que comprometan el bienestar de las personas, como un problema de salud recurrente que impida el uso de transporte privado.

Por otro lado, al superponer las áreas de servicio –con radios de 500 metros–¹² correspondientes al conjunto de ramales del TPP, se obtiene una superficie acumulada de cobertura de 11.590,4 hectáreas (115,9 km²) (Cuadro 2). Los resultados desagregados de esta operación evidencian una cierta paridad en las extensiones territoriales de las áreas de servicio de cada línea, con la excepción de la línea 80, que cubre casi el doble de superficie que la línea 30.

11. El cálculo de población servida se basa en los valores censales del año 2010; momento en que la ciudad de Formosa registraba un total de 22.6745 habitantes; incluyendo a la población de los radios censales ubicados en el extremo suroeste. En otras palabras, para el análisis se consideró al conjunto de la población del área de estudio, sin desagregar los datos según características específicas como la edad, el nivel socioeconómico u otros aspectos sociodemográficos.

12. La extensión del área de estudio y el umbral de distancia examinado (500 metros en torno a las paradas), implican una superposición de las áreas de influencia de las líneas del transporte.

Escenarios de cobertura del servicio de transporte...
HÉCTOR DANIEL BLANCO

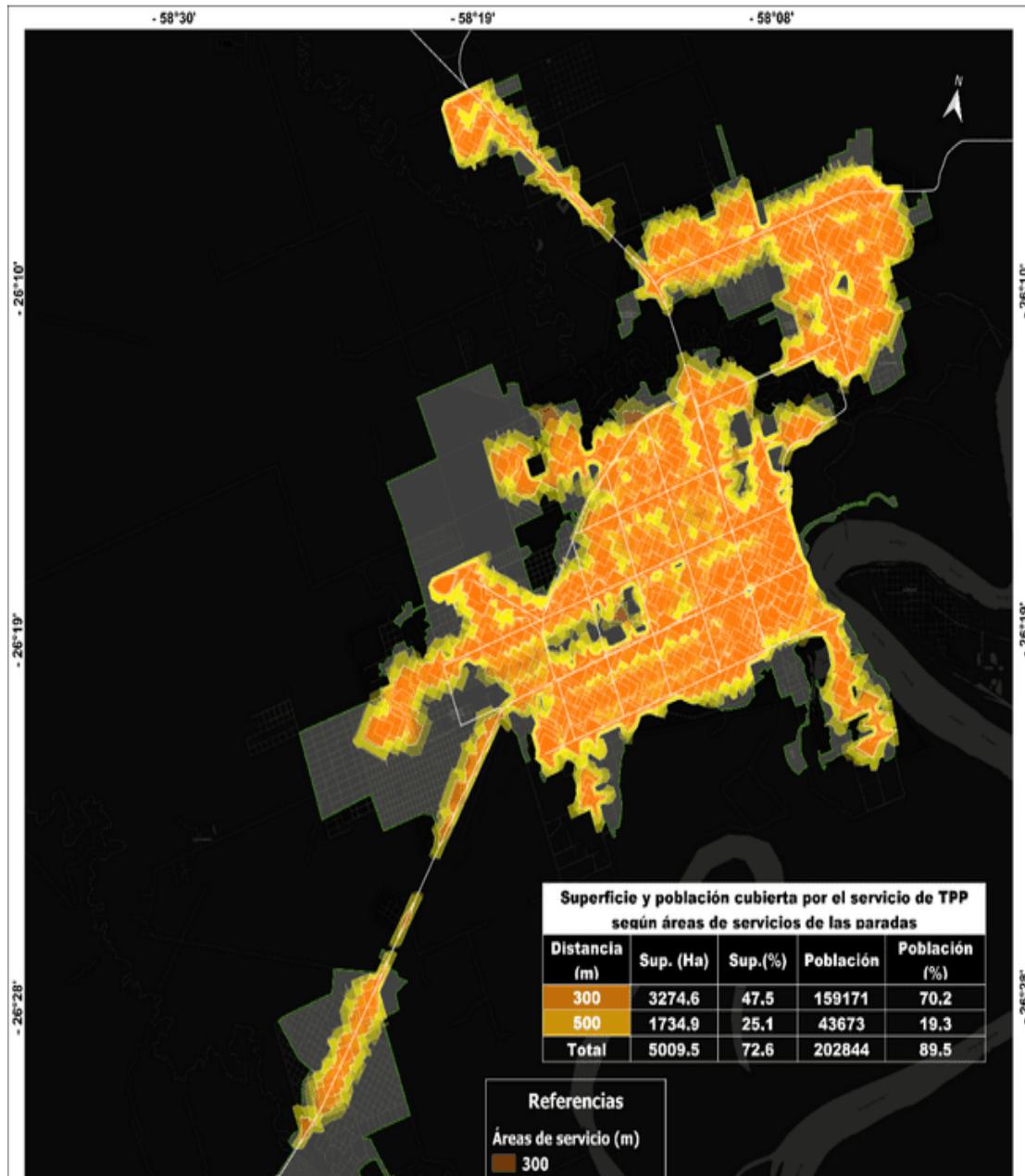


Figura 8. Áreas de servicio del TPP. Ciudad de Formosa, 2019.
Fuente: elaboración propia sobre la base de datos del CNPhyV 2010.

Si bien la cobertura en términos de superficie es un aspecto relevante para evaluar el TPP, no es el único factor a considerar. Es igualmente importante examinar cómo se distribuye dicha cobertura dentro del área de estudio, es decir, cómo se configura la oferta del servicio en relación con el número de líneas que sirven cada sector de la ciudad. En este sentido, como se mencionó previamente, algunos sectores presentan ventajas significativas debido a la disponibilidad total de las líneas que componen la red del TPP, lo que facilita la conexión entre diversas áreas de la ciudad. Sin embargo, en las zonas periféricas se observa una situación diametralmente opuesta (Figura 5).

Escenarios de cobertura del servicio de transporte...
HÉCTOR DANIEL BLANCO

Esta disparidad, junto con las diferencias en la frecuencia del servicio, como plantean Parras y Ramírez (2016), contribuye a acentuar las inequidades en el acceso al transporte público.

Cuadro 2. Superficie y demanda potencial cubierta según líneas del TPP. Ciudad de Formosa, 2019

Línea	Área de servicio (Ha)	Área de servicio (%)	Población	Población (%)
25	1190,9	10,3	29046	5
30	868,5	7,5	32842	6
40	1382,5	11,9	64058	12
60	1405,8	12,1	76812	14
70	1296,1	11,2	69626	13
80	1499,7	12,9	72815	13
90	1331,5	11,5	62017	11
95	1320,3	11,4	70328	13
100	1295,1	11,2	66174	12
Total	11590,4	100	543716	100

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la composición de la demanda, se destacan los casos de las líneas 25 –que posee la mayor longitud de los recorridos (ver Cuadro 1)– y 60, puesto que son los ramales que menor y mayor población capturan respectivamente, en términos potenciales. Cabe señalar que las líneas 30 y 25 abarcan los porcentajes más bajos de cobertura del territorio y de la demanda potencial, ya que recorren –en parte– por zonas de vacíos urbanos ubicados al norte y suroeste respectivamente, antes de llegar a los barrios periféricos de cabecera (ver Figura 9). Estos rasgos de dispersión/ discontinuidad observados en el área de estudio respecto a la trama urbana más consolidada pueden ser interpretados como señales de advertencia, dado que la sostenibilidad de esta tendencia conlleva costos significativos en materia de infraestructuras, equipamientos y servicios (MINPLAN, 2011). En este escenario, las evidencias generadas por autores como, Lanfranchi *et al.* (2018), abonan la idea de que el uso residencial del suelo ha sido el principal vector de expansión de la ciudad de Formosa, destacándose en los últimos años, las viviendas sociales (individuales) de baja densidad construidas por iniciativa del sector público.

Estimación del tiempo de viaje en TPP

La cobertura del servicio de TPP en función de los tiempos de viaje puede evaluarse mediante curvas de isócronas. Para su cálculo, se utiliza la interpolación de valores muestrales. A través de un método de interpolación geoestadístico, se estimó el tiempo de desplazamiento en ómnibus desde el centro hacia la periferia de la ciudad, basándose en la variable “minutos”, cuyos valores se obtuvieron con cronómetro en cada una de las paradas de la red del TPP.

Existen diversas técnicas de interpolación, pero en este estudio se optó por el método Kriging bayesiano empírico (KBE), tal como se estableció en la metodología. El resultado de esta interpolación fue validado a partir de las estadísticas de error de

Escenarios de cobertura del servicio de transporte...
HÉCTOR DANIEL BLANCO



Figura 9. Barrios cabeceras de servicio de las líneas 25 y 30. Ciudad de Formosa, 2019.
Fuente: elaboración propia sobre la base de datos del ReNaBaP, 2018 y de la DCM, 2019.

predicción y comparado con los resultados obtenidos mediante la técnica IDW (ver Figura 10), uno de los interpoladores determinísticos más utilizados. Cabe destacar que estas operaciones corresponden a la fase final del método geoestadístico aplicado: la fase de predicciones.

En la Figura 10 se evidencia que el KBE ofrece mejores resultados que el método IDW, al mostrar una media (*ME*) de los errores de predicción más reducida¹³ y un menor error cuadrático medio (RMSE). Mientras que la validación cruzada del IDW solo proporciona información sobre estas medidas, los estadísticos del KBE permiten además

13. Puesto que la *ME* puede estar influido por la escala de los datos, es conveniente utilizar la media estandarizada (*MSE*), que también debería estar cerca del cero.

Escenarios de cobertura del servicio de transporte...
HÉCTOR DANIEL BLANCO

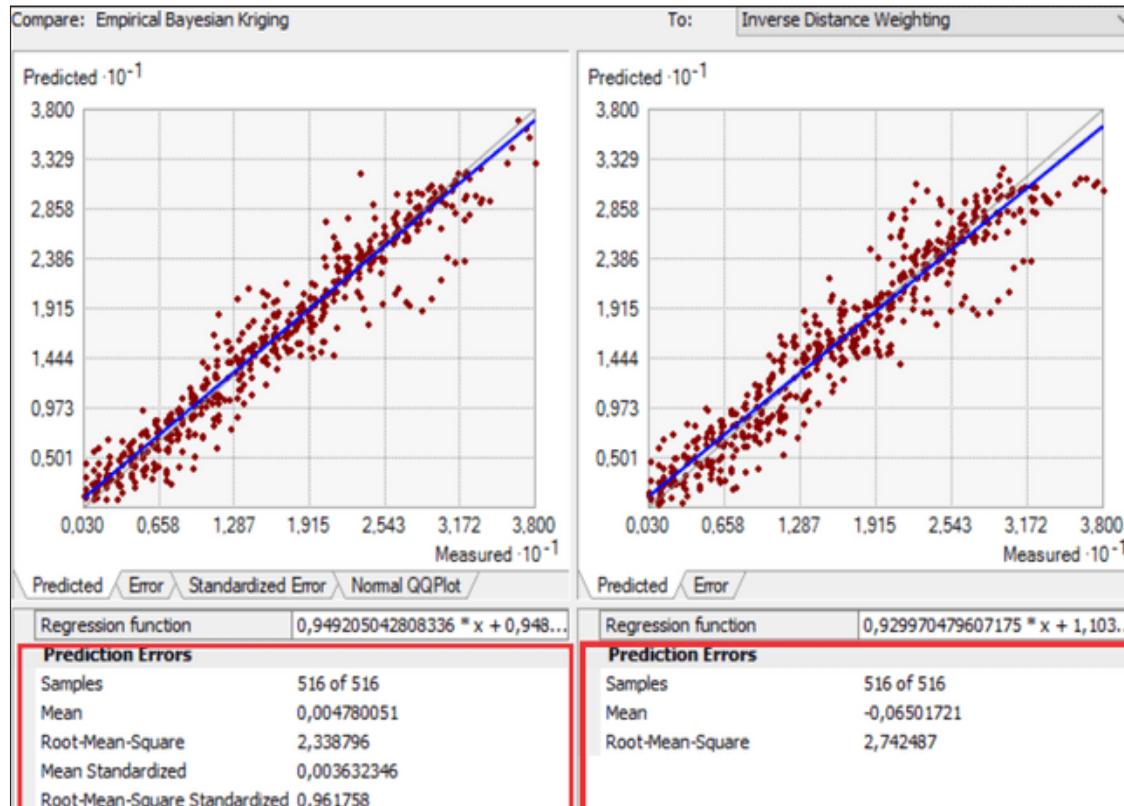


Figura 10. Validación del modelo. Errores de la predicción. Fuente: elaboración propia.

evaluar la variabilidad de la predicción mediante el error estándar promedio (ASE) y el error estandarizado de raíz cuadrática media (RMSS).

En el mapa de predicción (ver Figura 11), se observa que el aumento de las superficies de cobertura, a partir de la segunda corona (después de los 15 minutos), implica una reducción en los tiempos de desplazamiento, probablemente debido a la descongestión vehicular y la presencia de arterias de circulación rápida (como la ruta nacional N° 11, la avenida Circunvalación y la avenida Ribereña). En cambio, en la primera isócrona (hasta los 8 minutos), se presenta una situación opuesta, donde una menor superficie de cobertura implica un mayor tiempo de traslado. No obstante, esta área, que concentra el 19% de la demanda potencial, corresponde a una mejor situación locacional, ya que se trata del área central de la ciudad, donde se concentran las actividades terciarias y los nodos de interconexión.

Ciertamente, el efecto de la fricción de la distancia es más significativo en los barrios periféricos comprendidos en la última isócrona (>25 min, desde el centro) (ver Figura 12). A pesar de ser la zona más alejada, el descenso en el número de habitantes es leve en comparación con el resto de las coronas, con excepción del área incluida en el tercer intervalo de tiempo (15-20 min). Veintiún barrios de la ciudad están total o parcialmente dentro de la quinta isócrona, que representa un tiempo de desplazamiento superior a 25 minutos. Entre ellos, varios cuentan con un elevado volumen poblacional, destacándose especialmente los conjuntos habitacionales del sector nordeste,

Escenarios de cobertura del servicio de transporte...
 HÉCTOR DANIEL BLANCO

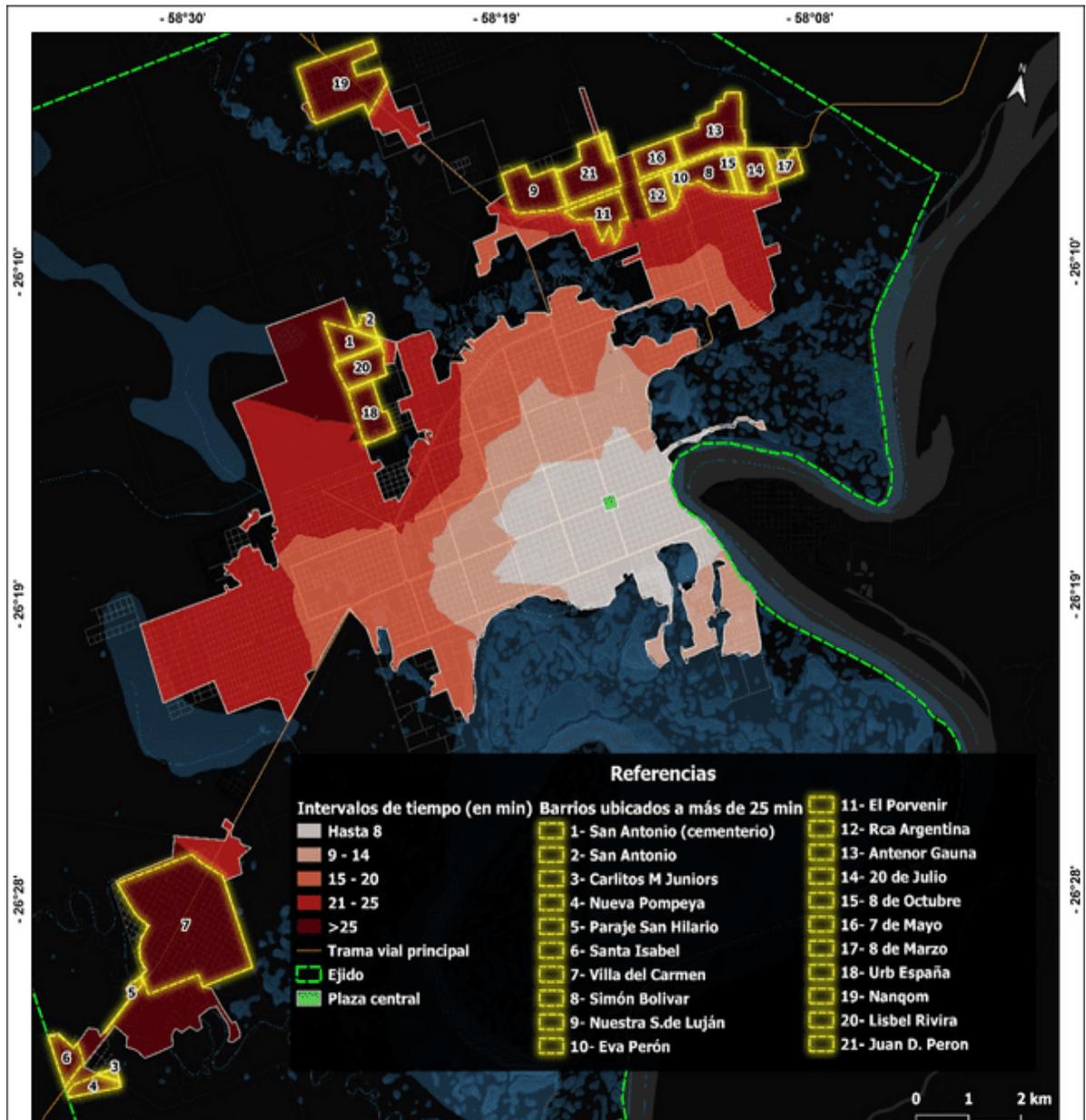


Figura 11. Isocronas del servicio de TPP con dirección de circulación centro-periferia. Ciudad de Formosa (2019).
 Fuente: elaboración propia.

correspondientes al circuito 5, y en menor medida, Villa del Carmen (al suroeste). Por otro lado, como se observa en la tabla de la Figura 8, la tercera isócrona abarca los sectores de la ciudad con mayor demanda potencial, que en su mayoría corresponden a barrios de viviendas colectivas.

Escenarios de cobertura del servicio de transporte...
 HÉCTOR DANIEL BLANCO

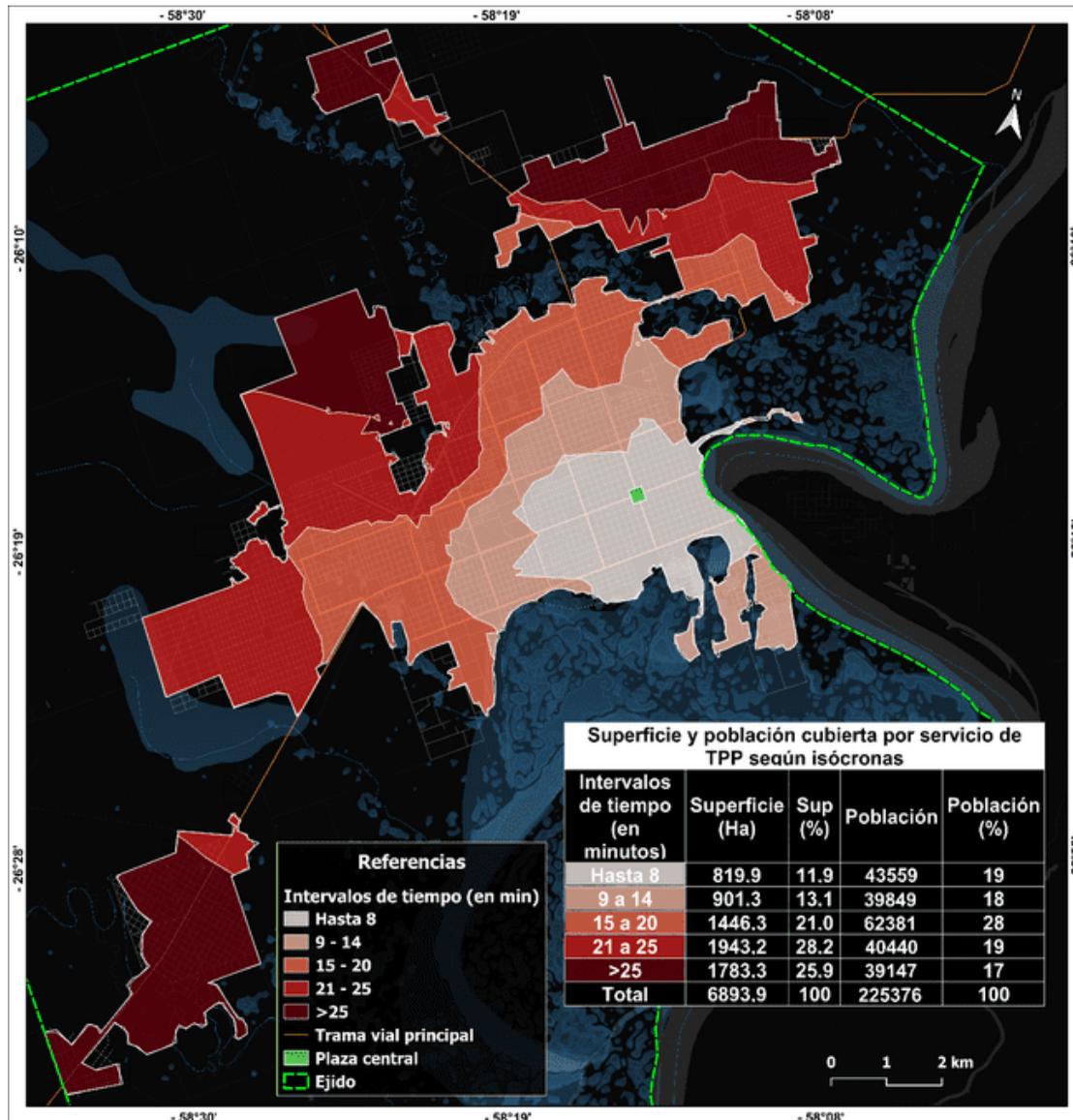


Figura 12. Barrios ubicados a más 25 minutos del centro. Distancia basada en tiempos de viaje en TPP. Ciudad de Formosa (2019). Fuente: elaboración propia en base a datos del ReNaBaP, 2018 y de la DCM, 2019.

Conclusiones

En este trabajo se analizó la cobertura del servicio de Transporte Público de Pasajeros (TPP) de la ciudad de Formosa, considerando aspectos territoriales, temporales y poblacionales. A través de una metodología que combina el uso de datos primarios y secundarios, herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de análisis espacial, se evaluaron las áreas de servicio, la demanda potencial y los tiempos de viaje en función de la red de transporte público del área de estudio.

Los resultados revelan una amplia cobertura territorial del servicio de transporte público en la ciudad, aunque se identificaron áreas con menor acceso, especialmente en la

Escenarios de cobertura del servicio de transporte...

HÉCTOR DANIEL BLANCO

periferia urbana, particularmente en sectores que no coinciden con las cabeceras del servicio. La población que reside en estas zonas enfrenta mayores dificultades para acceder al servicio, lo que puede tener implicaciones significativas en términos de equidad y accesibilidad.

El análisis de la red del TPP, considerando los umbrales de distancia normativa de 300 y 500 metros, evidenció que aproximadamente un cuarto de la superficie urbana no contaba con cobertura del servicio en 2019. Esto significa que cerca del 10% de la población probablemente tuvo que recorrer más de 500 metros para acceder a la parada más cercana. En contraste, alrededor del 70% de los formoseños se encuentran en un escenario más favorable en términos de movilidad, con acceso al servicio de transporte público a menos de 300 metros de sus hogares. Casi la mitad de la superficie urbana está en esta situación de cobertura óptima.

La estimación del tiempo de viaje, mediante la técnica de Kriging bayesiano empírico, permitió analizar la variabilidad temporal de la cobertura del TPP. Se constató, entre otros aspectos, que la fricción espacial asociada al modo disperso de producción del suelo urbano penaliza particularmente la movilidad efectiva de los residentes en barrios periféricos que son cabeceras del servicio de transporte. La evaluación comparativa con el método de interpolación IDW mostró que el Kriging bayesiano proporciona resultados más precisos y confiables en la predicción de tiempos de viaje.

Sin duda, el análisis de la accesibilidad vinculada al transporte colectivo es más complejo, ya que además del tiempo de desplazamiento entre paradas, deben considerarse los intervalos de espera (dependientes de la frecuencia del servicio), los tiempos de transbordo y el acceso a las paradas (Herce, 2009). Estos factores, junto con variables subjetivas de la movilidad cotidiana, podrían integrarse en futuras investigaciones para ampliar las perspectivas de análisis. No obstante, el estudio realizado ofrece una visión aproximada de cómo la interacción entre diferentes unidades funcionales del espacio urbano genera diferencias en las condiciones de movilidad y accesibilidad de la población. En consecuencia, se espera que este trabajo sirva como insumo para la toma de decisiones en materia de planificación territorial y del TPP a nivel local.

Finalmente, es fundamental reconocer que en el área de estudio la ausencia de políticas públicas efectivas, basadas en evidencia, que promuevan la densificación del tejido urbano, ha permitido la proliferación de vacíos urbanos y el crecimiento de áreas de baja densidad. Esta dinámica incrementa los costos asociados a la provisión de servicios e infraestructura en un territorio cada vez más extenso, lo que afecta tanto la eficiencia del transporte público como las posibilidades y condiciones de movilidad y accesibilidad. En este contexto, es esencial orientar la planificación territorial hacia la consolidación del tejido urbano existente.

Referencias bibliográficas

- » Amar, G. (2011). *Homo mobilis. La nueva era de la movilidad*. Argentina. La Crujía.
- » Blanco, H. (2015). Una mirada a la población de bajos ingresos del Área Metropolitana de Posadas desde la movilidad cotidiana. *Geográfica Digital*, 12(24), 1-11. <https://doi.org/10.30972/geo.12242155>
- » Batty, M. (2009). Accessibility: in search of a unified theory. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36 (2), 191-194.
- » Cardozo, O. y Da Silva, C. (2015). Funciones distance decay y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la estimación de demanda potencial en el Transporte Público de Resistencia (Chaco, Argentina). *Revista Transporte y Territorio*, (13), 80-99. <https://doi.org/10.34096/rtt.i13.1878>
- » ESRI (2016). ¿Qué es un Kriging bayesiano empírico? *Environmental Systems Research Institute (ESRI)*. Recuperado de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.4/extensions/geostatistical-analyst/what-is-empirical-bayesian-kriging.htm>
- » Fuenzalida Díaz, M. (2009). *Análisis de desigualdades territoriales desde principios de equidad y eficacia. Metodología y aplicación a la región de Valparaíso (Chile)*. Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Madrid.
- » Fuenzalida Díaz, M. (2015). Interpolación espacial con Sistemas de Información Geográfica. En Fuenzalida, M.; Buzai, G. D.; Moreno Jiménez, A. y García De León, A. *Geografía, geotecnología y análisis espacial: tendencias, métodos y aplicaciones*. (86-98). Santiago de Chile: Editorial Triángulo.
- » Garrocho Rangel, C. y Campos Alanís, J. (2006). Un indicador de accesibilidad a unidades de servicios clave para ciudades mexicanas: fundamentos, diseño y aplicación. *Economía, Sociedad y Territorio*, 6(22), 349-397. <https://doi.org/10.22136/est002006262>
- » Handy, S y Niemeier, D. (1997). Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives. *Environment and Planning A*, (29), 1175-1194.
- » Hansz, M., Hernández, D. y Rubinstein, E. (2018) *¿Qué implica la accesibilidad en el diseño e implementación de políticas públicas urbanas?: concepto, instrumentos para su evaluación y su rol en la planificación de la movilidad urbana*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- » Herce, M. (2009). *Sobre la movilidad en la ciudad. Propuestas para recuperar un derecho ciudadano*. Barcelona: Reverté.
- » Hernández, D. (2017) Transporte público, bienestar y desigualdad: cobertura y capacidad de pago en la ciudad de Montevideo. *Revista CEPAL*, 122, 165-184. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/afd504ea-2ffc-446e-853e-f323ed175e5f/content>
- » Hernández, D., y Hansz, M. (2021). *Accesos a oportunidades para favorecer la inclusión. Aspectos conceptuales, indicadores y su medición*. Caracas: CAF. Recuperado de <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1692>
- » Instituto Nacional de Estadísticas y Censos . (2015). Unidades geoestadísticas. Cartografía y códigos geográficos del Sistema Estadístico Nacional. <https://geoservicios.indec.gov.ar/codgeo/index.php?pagina=definiciones>

Escenarios de cobertura del servicio de transporte...
HÉCTOR DANIEL BLANCO

- » Jouffe, Y. (2011). Las clases socio-territoriales entre movilidad metropolitana y repliegue barrial. ¿Tienen los pobladores pobres una movilidad urbana de clase? *Revista Transporte y Territorio*, (4), 84-117. <https://doi.org/10.34096/rtt.i4.258>
- » Krivoruchko K. (2012). Empirical Bayesian Kriging: Implemented in ArcGIS Geostatistical Analyst. *ESRI*. Recuperado de <https://www.esri.com/news/arcuser/1012/files/ebk.pdf> (4/11/2021)
- » Levy, J. (2001). Os Novos Espaços da Mobilidade. *GEOgraphia*, 3(6), 7-17. <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2001.v3i6.a13407>
- » Miralles-Gausch, C. (2002). *Ciudad y transporte. El binomio imperfecto*. Barcelona: Ariel.
- » Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios (2011). *Plan Estratégico Territorial Avance II: Argentina Urbana*. Buenos Aires: Diseño editorial.
- » Moreno Jiménez, A. y Fuenzalida Diaz, M. (2015). Servicios y equipamientos para la población. Análisis aplicados a la planificación y la gestión territorial. En Garrocho, C., y Buzai G. (Coords). *Geografía aplicada en Iberoamérica. Avances, retos y perspectivas*. (395-430). Zinacantepec, Estado de México: El Colegio Mexiquense.
- » Parras, A. (2015). Modelización de la red de transporte público a partir de isocronas. En Buzai G., Cacace G., Humacata, L. y Lanzelotti S. (Comp.). *Teoría y métodos de la Geografía Cuantitativa. Libro 1. Por una Geografía de lo real* (195-210). Buenos Aires: MCA Libros.
- » Parras, A., y Ramírez, M. (2016). Propuesta metodológica para el modelado de la demanda potencial del transporte público mediante el empleo de sistemas de información geográfica. *Revista Transporte y Territorio*, (14), 109-121. <https://doi.org/10.34096/rtt.i14.2431>
- » Ministerio del Interior (2015). *Plan Estratégico Territorial Formosa 2015. El Plan de inversiones que conduce la visión de provincia en el largo plazo*. Recuperado de <https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/planes-prov/FORMOSA/Plan-Estrategico-Formosa 2015.pdf>
- » Orellana, D., Hermida, C., y Hermida, M.-A. (2022). ¿Cerca o lejos? Discursos y subjetividad en las relaciones entre el lugar de residencia y la movilidad. *Revista EURE - Revista De Estudios Urbano Regionales*, 48(144). <https://doi.org/10.7764/EURE.48.144.15>
- » Ramos Pérez, D. y Seguí Pons, J. (2015). Conectividad. En López Trigal, L. (Dir). *Diccionario de Geografía aplicada y profesional: terminología de análisis, planificación y gestión del territorio* (114-115). Universidad de León. https://www.uv.es/~javier/index_archivos/Diccionario_Geografia%20Aplicada.pdf
- » Registro Nacional de Barrios Populares (ReNaBaP, 2018) Asentamientos informales. *Poblaciones. Plataforma abierta de datos espaciales de población de la Argentina*. <https://mapa.poblaciones.org/map/3401>
- » Salado García, M., Díaz Muñoz, M., Bosque Sendra, J., Carvalho Cantergiani, C., Rojas Quezada, C.; Jiménez Gigante, F., Barnett, I., Fernández, C., y Muñoz Rueda, C. (2006). Movilidad sostenible y sig. Propuesta de evaluación del transporte público en Alcalá de Henares (1777-1794). En Camacho, M., Cañete, J., Lara, J. (Eds). *El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas*. España: Universidad de Granada.

Escenarios de cobertura del servicio de transporte...
HÉCTOR DANIEL BLANCO

- » Vasconcellos, E. (2010) Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad. Bogotá: CAF.

Héctor Daniel Blanco / danielblancogeo@gmail.com

Profesor y Licenciado en Geografía por la Universidad Nacional de Formosa (UNaF). Doctor en Geografía por la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Becario Posdoctoral (CONICET/IIDTHH). Jefe de Trabajos Prácticos en las cátedras de Técnicas en Geografía II y Seminario de Aplicación Geográfica (UNaF). Profesor Adjunto en la cátedra Teledetección y SIG (UPLaB).

Escenarios de cobertura del servicio de transporte...
HÉCTOR DANIEL BLANCO

Anexos



Figura 1. Paradas del TPP de la ciudad de Formosa. Fuente: elaboración propia a partir de relevamiento en terreno, octubre-noviembre de 2019.

Escenarios de cobertura del servicio de transporte...
 HÉCTOR DANIEL BLANCO

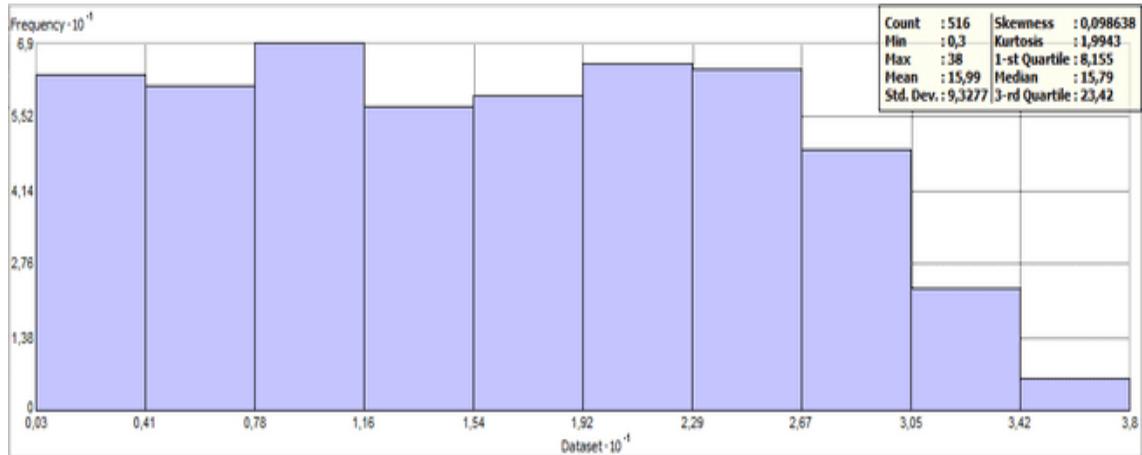


Figura 2. Histograma de frecuencia. Distribución univariante del tiempo cronometrado en las paradas del TPP de la ciudad de Formosa (2019)¹⁴. Fuente: elaboración propia.

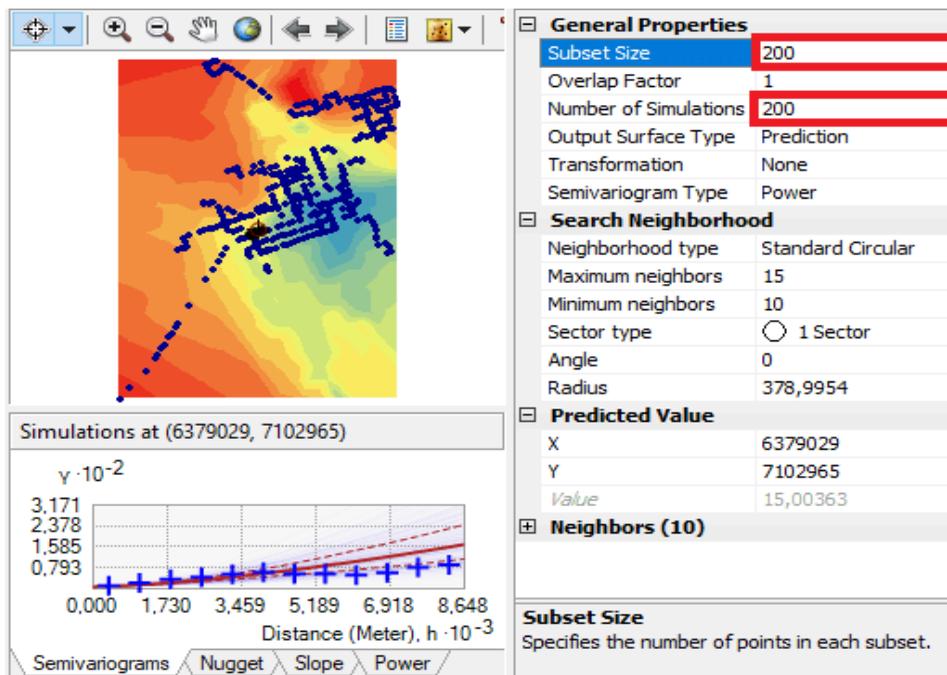


Figura 3. Parámetros de entrada de las propiedades del KBE¹⁵. Fuente: elaboración propia.

14. Para la aplicación del KBE se seleccionaron los valores correspondientes al conjunto de las paradas del TPP, en función del sentido de circulación centro-periferia ($n=516$).

15. Entre los parámetros de entrada, se duplicaron el tamaño del subconjunto de puntos y el número de simulaciones (predeterminados), a fin de lograr mayor precisión en la predicción.