

Entorno urbano, densidad poblacional y uso del Sistema de Autobuses de Transporte Rápido en Quito

Núñez, Alba

Entorno urbano, densidad poblacional y uso del Sistema de Autobuses de Transporte Rápido en Quito

EURE, vol. 49, núm. 148, pp. 1-19, 2023

Pontificia Universidad Católica de Chile

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=19675833011>

DOI: <https://doi.org/10.7764/eure.49.148.11>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Otros artículos

Entorno urbano, densidad poblacional y uso del Sistema de Autobuses de Transporte Rápido en Quito

Alba Núñez

Universitat Politècnica de València, España

anuez@doctor.upv.es

EURE, vol. 49, núm. 148, pp. 1-19, 2023

Pontificia Universidad Católica de Chile

Recepción: 23 Marzo 2022

Aprobación: 11 Mayo 2022

DOI: <https://doi.org/10.7764/eure.49.148.11>

Resumen: En este artículo se examina la relación entre las variables urbanísticas y el número de pasajeros que acceden caminando a las estaciones del Sistema de Autobuses de Transporte Rápido (BRT, por sus siglas en inglés) de Quito, Ecuador. Para ello se construye un modelo de estimación directa de la demanda, que se apoya en Sistemas de Información Geográfica, a fin de delimitar el área de servicio y calcular sus características urbanísticas dentro de un umbral de distancia peatonal de seiscientos metros; también se emplea un modelo de regresión lineal múltiple para explicar el número de entradas por estación en función del entorno urbano. Los resultados muestran que el número de ingresos mantiene correlación con la densidad de la red, el uso de suelo, el índice de la forma, el ancho de la acera y la distancia al centro de negocios, mientras que la densidad de la población no resulta significativa.

Palabras clave: modelos de transporte, transporte urbano, morfología urbana.

Abstract: *This paper examines the relationship between urban variables and the number of passengers who walk to the Bus Rapid Transit (BRT) system stations in Quito, Ecuador. For this purpose, a direct estimation model of demand is built, which relies on Geographic Information Systems to delimit the service area and calculate its urban characteristics within a pedestrian distance threshold of six hundred meters; in addition, a multiple linear regression model is applied to explain the number of entries per station depending on the urban environment. The results show that the number of entries correlates with network density, land use, shape index, sidewalk width and distance to the business center, while population density is not significant.*

Keywords: *transportation models, urban transportation, urban morphology.*

Introducción

La creciente importancia otorgada a las relaciones entre las zonas periféricas y las zonas centrales, así como el aumento de la circulación vehicular, supone transformaciones en el actual modelo de ciudad. Tales cambios, en la mayoría de los casos, tienen que adaptarse a un contexto ya existente. Por ello, resulta pertinente realizar un acercamiento a aquellos planteamientos urbanos en los que se afirma el carácter circular de las relaciones entre la organización espacial, los medios de transporte y la movilidad.

Al respecto, en numerosos estudios se analiza la demanda del transporte en función del entorno urbano, sea que este forme parte o no de un tipo de morfología urbana orientada al transporte público. Los hallazgos de tales pesquisas muestran que las variables urbanísticas influyen en el transporte público. Así, la densidad, la diversidad, el diseño y la accesibilidad mantienen significancia en el cálculo de la demanda tanto en transportes sobre rieles (Cardozo et al., 2010; Chan & Miranda-Moreno, 2013; Choi et al., 2012; Loo et al., 2010; Sohn & Shim, 2010) como en los sistemas BRT (Cervero & Dai, 2014; Estupiñán & Rodríguez, 2008; Rodríguez & Vergel-Tovar, 2017). El resultado significativo de tales procedimientos depende, entre otros, de aspectos como el contexto y el tipo de sistema de transporte.

Con base en estas diferencias y a fin de contribuir a esta línea de investigación, en este artículo se propone como objetivo analizar la influencia del entorno urbano en la demanda del Sistema de Autobuses de Transporte Rápido (BRT, por sus siglas en inglés) en Quito, Ecuador. Se consideró la situación de 42 estaciones BRT durante el año 2016. A partir de las variables urbanísticas tomadas del entorno inmediato a dichas estaciones, se trata de explicar el número de pasajeros que ingresan a pie a cada una de las estaciones (es decir, los usuarios que mantienen contacto con el entorno). Para el cálculo, se emplea un modelo de estimación directa, el cual se apoya en las capacidades de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y en las técnicas de análisis estadístico (regresión múltiple).

Desde este enfoque, el interés del artículo es doble. Por un lado, se enfatizan las relaciones entre las variables urbanísticas y el uso del BRT, intentando explicar a partir de ellas el mayor o menor número de entradas a las estaciones, lo cual es indispensable en un sistema que registra un elevado número de ingresos peatonales, como es el caso del BRT de Quito. Por otro lado, esta forma de calcular la demanda constituye una herramienta necesaria tanto para los planificadores del transporte como para los planificadores urbanos, pues al primer grupo le permite predecir la demanda de manera rápida y confiable –lo que les facilita la gestión de la red–, y al segundo grupo esta metodología le resulta útil para proponer modelos urbanos más sostenibles, considerando la localización de los usos de suelo cercanos a los sistemas de transporte.

Además de la presente introducción, el artículo se estructura en cuatro apartados más, con lo cual se pretende dar cumplimiento al objetivo planteado. El segundo incluye el estado de la cuestión; el tercero, los pasos aplicados durante el análisis de la demanda del sistema BRT de Quito; en el cuarto se ofrecen los resultados obtenidos y, finalmente, se presentan las conclusiones.

Revisión de la literatura

A principios de la década de los noventa en Estados Unidos surgen varias tendencias de planificación urbana para enfrentar las tensiones de un modelo disperso y dependiente del vehículo privado. Entre los planteamientos se encuentra el Desarrollo Orientado al Transporte (DOT) que, con el propósito de promover el uso del sistema de transporte público, plantea un vecindario más compacto, diverso y caminable alrededor de las estaciones o nodos de conexión del transporte (Calthorpe, 1993). Al respecto, existen estudios que subrayan el éxito que en varias zonas ha tenido el transporte público diseñado aplicando estos criterios (Cervero, 2006). Sin embargo, los factores externos ejercen influencia no solo en estos espacios, pues los hallazgos obtenidos a partir de un modelo de estimación directa muestran que estos influyen también en la demanda de las estaciones en un entorno que no posee enfoque DOT (Cardozo et al., 2010; Chan & Miranda-Moreno, 2013; Choi et al., 2012; Loo et al., 2010; Sohn & Shim, 2010). Por ello, resulta importante revisar las soluciones que se han ofrecido en la ciudad en cuanto a los nodos de transporte, ya que las decisiones tomadas en este entorno urbano repercuten sobre la movilidad de la población.

Entre las variables externas que mantienen relación con la demanda del sistema de transporte se encuentran las urbanísticas y las sociodemográficas; estas últimas, en la mayoría de modelos de demanda, figuran junto con la densidad de la población y la densidad de empleo, e incluso en algunos cálculos las integran a ambas para obtener una densidad global (Ewing & Cervero, 2010); el nivel de significancia de todas estas variables depende de los atributos de la ciudad y del tipo de sistema de transporte analizado. Así, en el modelo de demanda del metro de Madrid, España, la densidad de la población no tiene significancia (Cardozo et al., 2010), mientras que en otras sí, como es el caso de ciudades de Corea del Sur, donde la densidad de la población neta y la densidad de la población en el origen resultan significativas (Choi et al., 2012; Sohn & Shim, 2010).

La mayoría de estos hallazgos muestra que una mayor densidad de la población o un mayor número de empleos en el entorno próximo, con o sin características DOT, en ciudades desarrolladas incrementan la probabilidad de que un mayor número de personas utilice el transporte ferroviario, lo cual se pone en duda, debido a que los resultados revelaron cambios en su significación según su localización en relación con la parada. Así, la densidad de la población y el empleo adquieren significancia cuando se encuentran dentro de los rangos

próximos a la estación y presentan un efecto trivial cuando se localizan a distancias más largas (Ding et al., 2019).

En otros estudios de esta naturaleza aplicados a los sistemas BRT de siete urbes latinoamericanas, se muestra que esta variable se encuentra significativamente relacionada con el número de pasajeros (Vergel-Tovar & Rodríguez, 2018). Sin embargo, al analizar la correlación entre la densidad de la población y la demanda BRT de dos ciudades ecuatorianas, Quito y Guayaquil, en ambas esta variable resulta insignificante y negativa, respectivamente (Vergel-Tovar & Rodríguez, 2014). En contraste, en el caso de Curitiba, y con la especificidad de que el análisis estadístico incluye la información de las demás ciudades, sí se mostró significativa la densidad; en esta urbe brasileña implementaron un modelo de desarrollo urbano orientado al sistema BRT que resultó exitoso (Deng & Nelson, 2011).

Las demás variables predictivas más estudiadas forman parte de los dominios mezcla del uso de suelo, diseño y proximidad. En cuanto a la mezcla de usos de suelo, tales como hoteles, universidades, hospitales (Foletta et al., 2013), bares, restaurantes (Choi et al., 2012), sitios de entretenimiento (Zhao et al., 2013), comercio (Foletta et al., 2013; Loo et al., 2010; Sohn & Shim, 2010), escuelas y vivienda (Chan & Miranda-Moreno, 2013), centros comerciales (Zhao et al., 2013), incrementa el número de pasajeros en los sistemas sobre rieles, siempre y cuando se encuentren en un umbral de distancia peatonal entre los quinientos y mil metros. Vergel-Tovar y Rodríguez (2018) sugieren también que la mezcla del uso de suelo y los equipamientos institucionales ubicados a lo largo del corredor se asocian positivamente con la demanda. Por el contrario, Cardozo et al. (2010); Durning y Townsend (2015) y Liu et al. (2016) encontraron que el efecto de combinación de usos de suelo en el número de pasajeros del transporte ferroviario urbano es insignificante, lo cual lleva a resultados inconsistentes y fraccionados.

Las variables de diseño que mantienen relación con la demanda del transporte son los nodos de red o las intersecciones que tienen más de tres conexiones (Choi et al., 2012; Foletta et al., 2013), la longitud y la densidad de la red (Cardozo et al., 2010; Lin & Shin, 2008; Rodríguez & Joo, 2004). Las características de diseño en estos estudios se calcularon en un rango de distancia máxima peatonal entre los cuatrocientos y ochocientos metros. Los pocos estudios de BRT incluyeron otras variables, como la señalización, los elementos de seguridad, el mobiliario urbano (Suzuki et al., 2014), corredores con protección ante las condicionantes climáticas y los senderos concurridos e interesantes (Jiang et al., 2012).

Estudios más recientes confirman que el diseño del viario influye en la cantidad de pasajeros, ya que la disposición de las personas a caminar hacia las estaciones del metro depende de las características urbanísticas de los segmentos del viario. Así, los peatones prefieren aquellos tramos con presencia de edificios menores a seis pisos, con tiendas minoristas a pie de calle, más vegetación, iluminadas, instalaciones de cruce, un mayor ancho de acera (Liu et al., 2020). Específicamente, en estudios de demanda realizados por Tu et al.

(2018) y Vergel-Tovar y Rodríguez (2018), se sugiere que la longitud del viario por área anima a un mayor número de personas a viajar, en el primer caso, en autobuses, sistemas de metro y taxis en Shenzhen, China; en el segundo caso, en el sistema BRT de siete ciudades de América Latina.

El factor proximidad suele expresarse en términos de distancia del desplazamiento (aunque también se expresa con la variable temporal) en dos escalas. La primera es la de la variable de proximidad a la estación de transporte público (Foletta et al., 2013), que está presente en pocos estudios; y la segunda, la variable proximidad al centro de negocios (CBD, por sus siglas en inglés), que corresponde a la longitud desde la parada hasta la zona central de la ciudad (Cardozo et al., 2010; Chan & Miranda-Moreno, 2013; Kuby et al., 2004; Loo et al., 2010). En el BRT, la proximidad al núcleo de negocios es significativa, y está asociada de manera negativa con la demanda en ciudades latinoamericanas (Vergel-Tovar & Rodríguez, 2018).

Además de las variables predictoras, otro criterio importante son los modelos de estimación directa (Direct Ridership Model o MRD), basados en herramientas de SIG y análisis de regresión cuyo objetivo es determinar el umbral de distancia peatonal máxima y el procedimiento para medirlo, sobre todo en aquellos tejidos urbanos en donde la forma de la red es más orgánica o irregular.

El DOT define al umbral máximo de desplazamiento con una variable temporal, entre cinco y diez minutos (Calthorpe, 1993), los cuales, expresados en longitud, corresponden a 400-800 metros. En consecuencia, los trabajos anglosajones que analizan la demanda de sistemas sobre rieles establecen una distancia estándar de 0,25 millas – unos 400 metros– (Guerra & Cervero, 2013), en España, entre 300 y 800 metros (Cardozo et al., 2010); y en sistemas BRT corresponde a 250 metros para estaciones y 500 metros para terminales (Estupiñán & Rodríguez, 2008; Vergel-Tovar & Rodríguez, 2018). A la hora de seleccionar el método de distancia, la técnica tradicional es la euclidiana, que no se ajusta a la realidad (Canepa, 2007; Cardozo et al., 2010); las pocas excepciones en las que emplea el método de medición a través de la red se aplican en análisis de sistemas sobre rieles, por ejemplo, el metro de Madrid (Cardozo et al., 2010).

En resumen, esta revisión de la literatura sobre el análisis del número de pasajeros de transporte público ferroviario urbano y BRT sugiere los siguientes elementos clave:

1. La mayoría de los estudios se ha centrado en los análisis de las estaciones del sistema ferroviario urbano, mientras que los estudios de demanda del sistema BRT son muy escasos.
2. Gran parte de las investigaciones ha empleado un umbral de distancia peatonal máxima estándar, según el criterio de que en el ajuste del modelo las variaciones son mínimas entre uno y otro rango (Guerra & Cervero, 2013). Esto se contradice con los hallazgos de las investigaciones, que muestran que la localización es relevante para determinar la significancia de la

variable. Adicionalmente, se ha utilizado la distancia euclidiana, como método de medición, para definir el área a través de *buffers*, en lugar de medir la distancia a través de la red que define las zonas mediante isócronos, las cuales tienden a semejarse a los *buffers* únicamente cuando el trazado es reticular, pero son distintas en una estructura vial irregular.

3. En varios estudios se ha incluido las paradas, terminales y estaciones de transferencia, sin considerar que entre ellas existen diferencias. Las terminales y estaciones de transferencia son peculiares no solo porque tienen mayor número de pasajeros (Kuby et al., 2004; Vergel-Tovar & Rodríguez, 2018), sino porque funcionan como nodos intermodales; es decir, los usuarios pueden acceder a través de buses tipo (intercambiadores), taxis, etc. Puesto que el modelo de estimación directa está diseñado para calcular la demanda de aquellas paradas donde el mayor número de ingresos se realiza a pie, las terminales y las estaciones de transferencia no deberían considerarse.

4. Los efectos de las características del entorno edificado en el número de pasajeros de transporte ferroviario urbano a nivel de estación recibieron mucha atención. Si bien en varios estudios se analizó la demanda del sistema BRT en función del contexto, en ellos también existen algunos vacíos. Sobre la densidad de la población, por ejemplo, surge la inquietud respecto de si esta variable será significativa en ciudades donde predomina una estructura urbana dispersa, en la cual sus habitantes duermen en la periferia y trabajan en la ciudad central. Asimismo, llama la atención el papel que desempeña la variable mezcla del uso del suelo frente a la demanda BRT en urbes en donde su entorno urbano no tiene características del DOT. En el caso de las variables de diseño, los resultados han mostrado consistencia sobre la incidencia de la densidad del viario en el peatón y, por lo tanto, en el número de usuarios del sistema de transporte; sin embargo, esta estrategia en el proceso proyectual de diseño del espacio público podría ser aplicable en zonas de nuevo desarrollo, mas no en áreas consolidadas de ciudades en desarrollo. Por ello, se requiere profundizar en el análisis de otros criterios de diseño que pueden aportar a los desplazamientos peatonales y, con ello, incrementar el número de usuarios BRT.

Para responder algunas de estas inquietudes, se consideró la ciudad de Quito, Ecuador, debido a su morfología, pues su espacio parcelado y espacio urbanizado presentan diferencias importantes de ser analizadas; sobre todo, el uso de suelo, el entramado vial, etc. En el estudio se emplearon datos derivados de varias fuentes primarias y secundarias, y se aplicó el modelo de estimación directa para analizar la demanda de las paradas –descartando las terminales y las estaciones de transferencia que no se relacionan con su entorno próximo– en

dos corredores del BRT que, a pesar de que este sistema está presente en varias urbes, es muy poco estudiado. A través de este análisis estadístico se busca identificar el nivel de significancia de las variables urbanísticas en un contexto mayoritariamente consolidado y sin características del DOT, que luego pueda emplearse para el diseño de políticas de planeamiento urbanístico orientadas a viajes más sostenibles en las zonas consolidadas.

Metodología

Con la finalidad de profundizar los hallazgos encontrados en estudios previos sobre la asociación entre la densidad poblacional, la mezcla de usos de suelo, el diseño urbano, la accesibilidad y la demanda del BRT se examina el entorno urbano inmediato a las estaciones de dos corredores del sistema BRT de Quito (MetrobusQuito). Se seleccionaron porque cumplen con dos características significativas: la primera, son carriles exclusivos (de uso reservado únicamente para el BRT); la segunda, los circuitos han estado en operación por más de diez años. Según Wright y Hook (2010), ambas denotan consolidación en el entorno urbano inmediato a las estaciones, lo que permite analizarlo.

Después de definir el objeto y seleccionar el caso de estudio, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la relación entre los atributos del entorno urbano y el número de pasajeros del sistema BRT de Quito? Para dar respuesta a esta inquietud, se propone el método de estimación directa con el apoyo de SIG y el análisis estadístico (regresión múltiple), el cual consta de tres etapas: 1) la delimitación de las áreas de servicio; 2) el cálculo de las variables urbanísticas y socioeconómicas; y 3) el modelo de regresión múltiple (modelo de demanda).

Aplicación del modelo de estimación directa (MRD): 42 estaciones BRT de Quito

El sistema BRT de Quito (capital de la República del Ecuador) empezó a operar en 1995; fue el primer proyecto de movilidad emblemático del país y el segundo sistema implementado fuera de las ciudades brasileñas en América Latina (Wright & Hook, 2010). Actualmente, este modo de transporte posee tres corredores: el Trolebús, la Ecovía y el Sur Occidental, con aproximadamente 135 kilómetros de longitud entre carriles exclusivos y tráfico mixto. Para este estudio se considera los corredores Trolebús y Ecovía, por tener 27,5 km de carriles exclusivos (casi el 100%) y estar en operación por más de diez años (Barrera, 2013; Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros [EPMTP], 2016). A lo largo de este recorrido, los circuitos señalados integran un entorno próximo diverso morfológicamente tanto en su espacio parcelado como en el espacio urbanizado, sobre todo en el entramado vial, que se va ajustando a la topografía propia de la ciudad (2.800 m.s.n.m.).

Delimitación temporal y espacial

En el análisis se emplea información referida al periodo 2010-2016. Estos años se justifican por las fuentes utilizadas; los datos desagregados de población a nivel de manzana del año 2010; el número de ingresos a las estaciones del año 2015; y las variables urbanísticas recopiladas a escala de segmento de red peatonal y manzana en el 2016.

En el ámbito espacial, el análisis se realiza en el entorno próximo a las paradas de dos corredores del sistema: el Trolebús y la Ecovía. La selección de estos carriles se justifica por la calidad del servicio. Ambos poseen carriles exclusivos y, además, han estado en operación por más de diez años. Respecto a las estaciones, se seleccionan las 42 que estaban funcionando de manera habitual, puesto que el sistema de transporte se encontraba en un proceso de remodelación de las estaciones en el primer semestre del 2016 (fecha en el que se recopiló los datos); se descartan aquellas estaciones que registran un mayor número de pasajeros que no tienen contacto con el entorno, es decir, terminales y estaciones de transferencia. En la Figura 1 se muestran los corredores Trolebús y Ecovía, las paradas y sus áreas de servicio.

Recopilación de datos

En esta investigación se utilizaron dos grupos de datos: el primero se refiere a la información propia del BRT, tal como el número de pasajeros, corredores, paradas y número de rutas; el segundo corresponde a las características del entorno urbano. Entre las variables urbanísticas se encuentran el uso de suelo en planta baja, la mezcla de uso vertical, la tipología de la red, etc. Respecto a las fuentes de obtención de los datos, la mayoría de la información del BRT se encuentra disponible en formato Shape (SIG) en el gobierno abierto, mientras que los datos de las variables urbanísticas se obtuvieron de las visitas de campo mediante la técnica Pedestrian Environmental Data Scan (PEDS), la cual ha sido probada para evaluar el espacio peatonal a microescala en ciudades de Estados Unidos (Clifton et al., 2007).

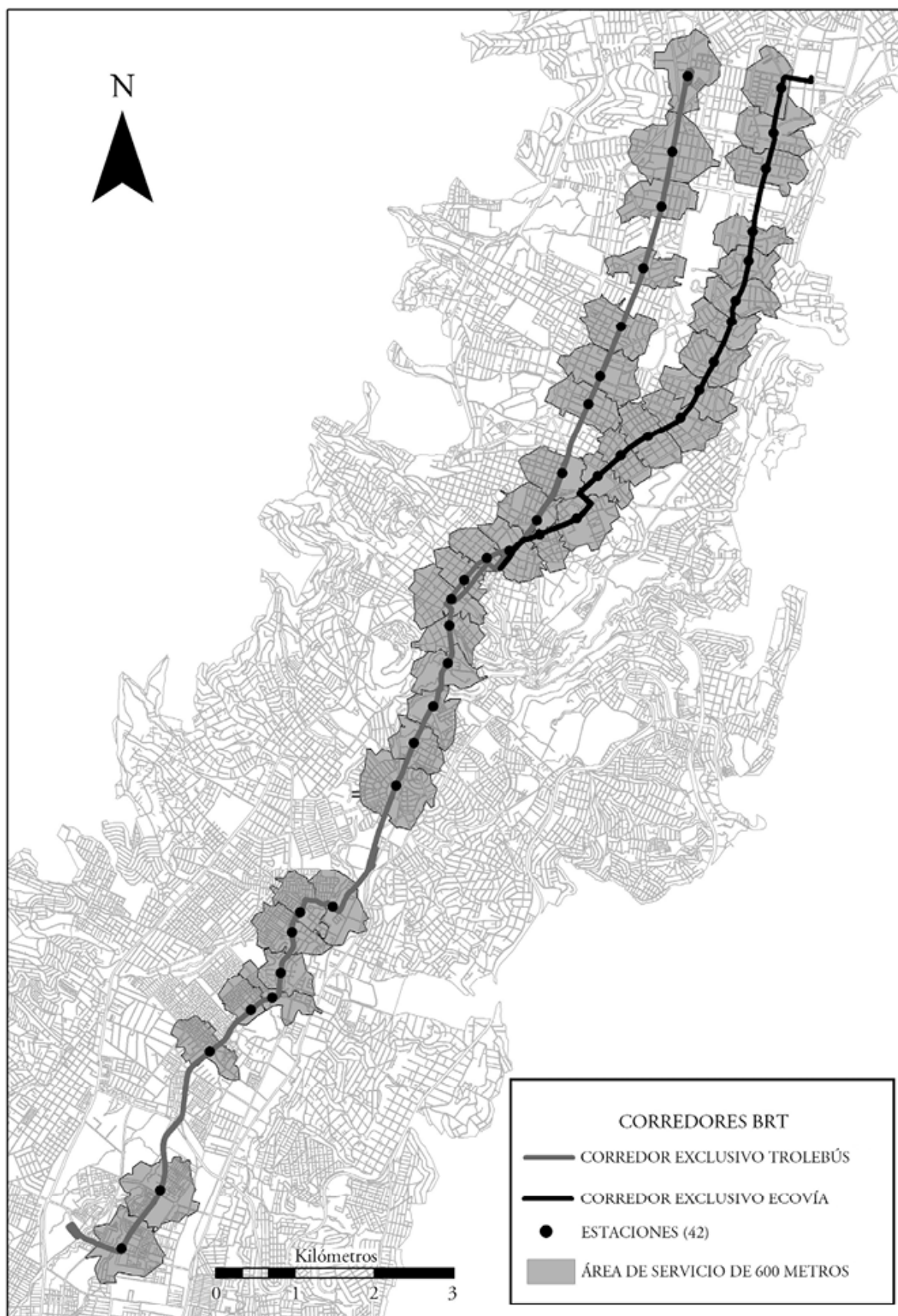


FIGURA 1

Las 42 paradas del BRT de Quito, con sus áreas de servicio

ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS DATOS DE LA SECRETARÍA DE MOVILIDAD DE QUITO

Delimitación del área de servicio

El cálculo del área de servicio tiene dos pasos: la elección del umbral máximo de recorrido a pie y el procedimiento para la medición de esta distancia. En el caso de la distancia máxima de recorrido, para la investigación en la que se basa este artículo se empleó 600 metros, la misma que resultó del análisis descriptivo de una muestra de 1.680 itinerarios peatonales de los usuarios de estas 42 paradas BRT de Quito.¹ Una vez definido el umbral de distancia, se selecciona el procedimiento para medirla. La mayoría de los estudios de estimación directa basados en herramientas SIG utilizan la distancia euclidiana; sin embargo, según algunos autores, el procedimiento que más se ajusta a la configuración de la red de las ciudades es aquel que mide la distancia peatonal a través de la red (Gutiérrez et al., 2008). Por ello, aquí se calcula el recorrido peatonal a través de la red con el apoyo del software ArgGis 10.3 (*GIS Network Analyst*).

Ambas decisiones parecen ser acertadas. Por un lado, la distancia máxima peatonal corresponde a un análisis de campo, que se encuentra dentro de los parámetros de los estudios previos de demanda. Así, en estaciones del metro, las ciudades anglosajonas emplean umbrales dentro de los 400 a 800 metros (Canepa, 2007; Guerra & Cervero, 2013; Murray et al., 1998; O'Sullivan & Morrall, 1996); en Madrid, ciudad europea, entre los 300 y 800 metros (Cardozo et al., 2010; García-Palomares et al., 2013). En sistemas BRT, en cambio, es notoria la diferencia entre las distancias máximas peatonales empleadas. Así, mientras en el BRT de Los Ángeles, California, utilizan 800 metros, en los BRT de siete ciudades latinoamericanas, el umbral de distancia peatonal máximo se diferencia: 250 metros para las paradas y 500 metros para las terminales (Estupiñán & Rodríguez, 2008; Vergel-Tovar & Rodríguez, 2018). La distancia de 250 metros de las paradas, por ejemplo, no cubre ni el 50% de los destinos de los pasajeros. Respecto al procedimiento de medición, este trabajo es uno de los pocos que consideran la estructura vial, algo que resulta importante en un tejido urbano irregular.

Cálculo de las variables urbanísticas y sociodemográficas

Una vez calculadas las 42 áreas de servicio, se codifican los 4.417 arcos de red (segmentos de vía entre intersecciones) que se encuentran dentro de ellas, se recopila los datos de fuentes primarias a través de las fichas PEDS y se organiza la información obtenida a partir de fuentes secundarias. Con esta información se construyen las variables que representan los atributos del entorno urbano y sociodemográfico, las cuales han resultado significativas en estudios previos, tales como la densidad de la población, la variable distancia desde y al CBD y la densidad del viario, con énfasis en la peatonal. Se integran otras variables, como número total de cada tipología, índice de la forma y ancho de la acera.

Así, al superponer el mapa con el número de residentes a escala de manzana (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2010) sobre las áreas de servicio, se obtiene el número de población dentro del área de captación de demanda; allí no se considera el número total de los habitantes de las manzanas que se fraccionan por estar localizadas en el borde; para distribuirlos según el área que les corresponde, se emplea el método de proporción de áreas (O'Neill et al., 1992). Con estos datos de población, la densidad se calcula sobre las superficies de las áreas de servicio. La distancia al centro de negocios, que pertenece al dominio de accesibilidad, se obtiene al medir la distancia entre la parada de origen y el CBD de la ciudad (Cardozo et al., 2010; Ewing & Cervero, 2010; Vergel-Tovar & Rodríguez, 2014).

El número total de usos y servicios de cada tipología, incluidos en el dominio mezcla de usos de suelo, se obtiene del número total de usos y servicios de cada tipología, tales como el número total de establecimientos de educación, de salud, de oficinas, de equipamientos de administración, de hoteles, de servicios financieros, de cultura y de bienestar, localizados dentro del área de servicio.

También mediante superposiciones de capas se calculan las variables del dominio diseño: la longitud del viario peatonal y, a partir de la misma, su densidad dentro del área de servicio (Cardozo et al., 2010; Tu et al., 2018; Vergel-Tovar & Rodríguez, 2018); en otras palabras, es la longitud de la red en función de su área de servicio. El índice de la forma o configuración urbana se obtiene de la relación entre el área de servicio, calculada con la distancia medida a través del viario, isócronas; y el área de servicio se calcula con la distancia euclidiana, *buffers*. Este indicador parte del supuesto de que existe una relación entre la forma de las ciudades y el modo de organizar su espacio interior: sus resultados oscilan de 0 a 1 (Haggett, 1976); si el resultado está más cerca de 1, la organización del espacio interior es más compacta y el tramado vial es más reticular, lo que implicaría un mayor número de intersecciones, cuya variable se relaciona con la demanda del transporte (Cardozo et al., 2010; Lin & Shin, 2008; Rodríguez & Joo, 2004), mientras que, si se aproxima a cero, la trama es irregular. La variable ancho de acera menor de un metro corresponde al número de segmentos que tienen esta dimensión y se encuentran dentro del contexto inmediato de las estaciones. Finalmente, se considera el número de líneas de buses dentro del área de servicio –factor intermodal–, que actúan como alimentadores del transporte tipo BRT.

En la Tabla 1 se muestran las variables que participan en el modelo y su análisis descriptivo; dichas variables se encuentran agrupadas por los dominios urbanos y las características de las paradas.

tabla 1
Descripción de variables y análisis estadístico descriptivo

VARIABLES	DEFINICIÓN	PROMEDIO	DESVIAC. ESTÁNDAR	MÁX.	MÍN.	NIVEL	FUENTE
N.º diario de usuarios	N.º diario de usuarios de cada estación durante el 2015	3415,4	2037,83	8358,521	336,906	Parada	EPMTP
Características de las paradas							
Línea de buses	N.º de servicio de rutas (1- 24)	7,88	5,39	24	1	Parada	SIG; Secretaría de Movilidad
Distancia al CBD		5,37	4,12	15,315	0,690	Corredor	SIG
Atributos del entorno urbano y sociodemográfico							
Población/ km ²	Densidad (personas por km ²)	0,91	0,51	2,248	0,092	Parada	INEC
N.º de usos	N.º usos de suelo (educación, salud, oficinas, administración, hoteles, financieros, cultura y bienestar en cada área de servicio)	159,50	123,51	518	25	Parada	PEDS; Secretaría de Movilidad
Densidad de la red	Densidad de la red (km lineales por área de servicio)	21,14	30,71	29,047	11,195	Parada	SIG; Secretaría de Movilidad
Índice de forma	Índice forma (área servicio por área <i>buffer</i>)	0,29	0,08	0,522	0,157	Parada	SIG
Acera ≤ 1 m	N.º de segmento que tiene acera ≤ 1 m			138	12	Segmento	PEDS

ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS DATOS DE LA SECRETARÍA DE MOVILIDAD, EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE TRANSPORTE DE PASAJEROS (EPMTP)

Cálculo del modelo de regresión múltiple

La regresión múltiple es el último paso del MRD, y se la emplea para estimar la demanda del sistema de transporte en función de las características del entorno urbano. El análisis consiste en incluir los datos del número de entradas totales de cada estación, variable dependiente; y las variables urbanísticas, las cuales se seleccionaron sobre la base de la argumentación teórica explicada en párrafos anteriores sobre los modelos de demanda a nivel de estaciones.

Por ello, en primera instancia, se introduce la densidad de la población, cuyo nivel de significancia –a diferencia de los hallazgos encontrados por Vergel-Tovar y Rodríguez (2014)– resultó de forma inversa, lo que quizá se deba a que en este estudio no se consideraron las terminales y las estaciones de transferencia. Al involucrar la variable distancia al CBD, que –al igual que los estudios previos– mantiene la correlación negativa, el comportamiento de la densidad de la población es el mismo: deja de ser significativa al involucrar otras variables, como ocurre con el número total de usos de las tipologías de cada estación. Luego, se incorpora la variable densidad del viario peatonal, cuya significancia –al igual que en otros estudios– es positiva. Adicionalmente, se incluyen algunas variables poco analizadas, como ocurre con el ancho de la acera, el índice de la forma, ambas significantes, con el signo de coeficiente esperado.

De todo lo expuesto, se concluye que el modelo está formado por dos grupos de variables: i) aquellas que tienen poder explicativo, como ocurre con la distancia al CBD, el número de usos, el índice de la forma y el ancho de la acera; y ii) la variable población y el número de líneas de buses que corresponden al grupo de control. Si bien el modelo de demanda a nivel de estación restringe el número de variables independientes por analizar debido al número de sujetos, las que se emplean en este modelo son suficientes para suponer aquellas que tienen mayor influencia o están correlacionadas con la demanda de las 42 estaciones del BRT en Quito. Por supuesto, estos hallazgos pueden o no ser concurrentes en otro contexto.

Descripción y análisis de resultados

En este apartado se presentan los siguientes aspectos: el análisis estadístico, la discusión de los resultados obtenidos a la luz de los estudios previos y sus implicaciones en el conocimiento sobre la relación del entorno urbano y el número de pasajeros de las estaciones del BRT de Quito. Se retoma la pregunta de investigación, ya esbozada en la introducción: ¿Cuáles son las relaciones entre los atributos del entorno urbano y el número de pasajeros del sistema BRT de Quito?

El análisis estadístico contempla, en primer lugar, los coeficientes de correlación bivariada del método de Pearson (Tabla 2). Dichos coeficientes fueron obtenidos entre cada una de las variables independientes consideradas (calculadas a partir de las áreas de servicio según el procedimiento anteriormente indicado) y los

ingresos peatonales a las estaciones del sistema BRT de Quito. Los coeficientes de correlación mayores a 0,5 corresponden a la mezcla de usos de suelo (0,695), el índice de control de tráfico (0,541) y la intensidad de usos (0,571); mientras que las variables densidad de la red, número de rutas de buses, facilidades peatonales, segmentos de acera con ancho menor a un metro y distancia al centro de negocios se encuentran bajo el 0,5, a pesar de lo cual inciden en el cálculo, porque la mayoría de ellas mantiene significancia cuando el modelo alcanza su máximo poder explicativo.

tabla 2
Correlación de Pearson

	USO DIARIO	DISTANCIA AL CBD	POBLACIÓN / KM2	DENSIDAD DEL VIARIO	ÍNDICE DE LA FORMA	ACERA ≤1M	LÍNEA DE BUSES	NÚMERO DE USOS
Número diario de usuarios	1	-0,494	-0,443	0,183	0,249	-0,334	0,426	0,571
Distancia al CBD	-0,494	1	0,601	0,201	-0,011	0,667	0,033	-0,446
Población/km ²	-0,443	0,601	1	0,321	-0,243	0,639	-0,208	-0,424
Densidad del viario	0,183	0,201	0,321	1	-0,1	0,298	0,288	0,097
Índice de la forma	0,249	-0,011	-0,243	-0,1	1	-0,104	0,466	0,416
Acera ≤1m	-0,334	0,667	0,639	0,298	-0,104	1	-0,194	-0,367
Línea de buses	0,426	0,033	-0,208	0,288	0,466	-0,194	1	0,376
Número de usos	0,571	-0,446	-0,424	0,097	0,416	-0,369	0,376	1

ELABORACIÓN PROPIA

En segundo lugar, se presenta la descripción de los resultados del modelo de regresión lineal múltiple (Tabla 3). El modelo alcanza su máximo poder explicativo cuando se incluyen las variables explicativas, tales como la distancia al CBD, el número total de usos del suelo de cada tipología, la densidad de la red peatonal, el índice de la forma y el número de segmentos de acera menores a un metro de ancho; y dos variables de control: la densidad de la población y el número de rutas de buses convencionales (como muestra de complementariedad con otros modos de transporte público). Con las variables citadas, el ajuste del modelo logra un coeficiente de determinación R^2 de 0,67, lo que confirma que los cuatro dominios urbanos –densidad, diversidad, diseño y accesibilidad al destino– ejercen influencia sobre el transporte tipo BRT de Quito.

Si se atiende a los signos de los coeficientes, la mayoría de ellos son los esperados. Así, por ejemplo, la densidad de la red peatonal, variable significativa con signo positivo (es decir, si se incrementa segmentos de red peatonales, sería mayor el número de accesos a pie en las paradas BRT en Quito), ratifica los hallazgos de trabajos anteriores sobre la demanda de ferrocarril (Cardozo et al., 2010; Ewing & Cervero, 2010) y los pocos existentes sobre BRT (Cervero et al., 2010; Cervero & Dai, 2014; Estupiñán & Rodríguez, 2008; Vergel-Tovar & Rodríguez, 2018). La distancia al centro de negocios, con signo negativo; es decir, al incrementar la distancia entre el destino (centro de negocios) y la parada, los usuarios estarían seguramente menos motivados a usar el sistema de transporte, lo que confirma lo sugerido en otros estudios (Cardozo et al., 2010; Chan & Miranda-Moreno, 2013; Kuby et al., 2004; Loo et al., 2010). El número de usos del suelo de cada tipología, que corresponde al dominio mezcla de usos del suelo, y el índice de la forma, poseen signo positivo (es decir, si se incrementa cualquiera de ellas, sería mayor el número de usuarios BRT). En cambio, el número de segmentos de acera con un ancho menor a un metro es inversamente proporcional, lo que también se ajusta a lo previsto, pues al disminuir la accesibilidad peatonal (por contar con aceras que miden menos de un metro), podría disminuir el número de ingresos peatonales en las paradas BRT.

Lo que sí podría considerarse imprevisto, tomando como referencia los estudios de países desarrollados realizados en espacios con o sin características DOT, es el comportamiento de la variable densidad de la población: su coeficiente es negativo y, además, no tiene poder explicativo. El nivel de significancia de esta variable confirma los resultados obtenidos por Vergel-Tovar y Rodríguez (2014) en su análisis sobre la demanda de siete ciudades latinoamericanas, pero no se ajusta al signo. Esto podría tener relación con la selección de tipos de paradas, pues en ese estudio se consideraron terminales y estaciones de transferencia, que se caracterizan por ser nodos intermodales en los que predominan las conexiones en buses tipo; por lo tanto, los peatones no tienen contacto con el entorno inmediato a ellas.

tabla 3

Resultados del modelo de regresión lineal múltiple

PARÁMETRO	ESTIMACIÓN	ERROR ESTÁNDAR	ESTADÍSTICO T	VALOR P
Constante	869,570	1647,043	0,528	0,601061
Distancia al CBD	-408,602	83,860	-4,872	2,69e-05 ***
Población/ km ²	-150,941	519,225	-0,291	0,773096
Densidad de la red	188,895	70,225	2,690	0,011126 *
Número de usos	4,887	2,025	2,414	0,021498 *
Índice de forma	7706,044	3155,277	2,442	0,020118 *
Línea de buses	64,949	45,873	1,416	0,166192
Acera ≤ 1 m	-24,364	10,828	-2,250	0,031226 *
Zonas	-2833,547	654,907	-4,327	0,000132 ***

ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS DATOS DE LA SECRETARÍA DE MOVILIDAD

NOTA: MODELO ZONA 5 (NORTE) CON LA VARIABLE POBLACIÓN

* $p < 0,05$

*** $p < 0,001$

$$\text{No.Usuarios}_{\text{BRT}_I} = 869,570 + (-408,602) \text{DIST}_I + (-150,941) \text{POB.}/\text{KM}^2 + 4,887 \text{No.Usos}_I + 188,895 \text{DEN}_{\text{RED}_I} + 7706,044 \text{INDFORMA}_I + (-24,364) \text{ACERA}_I + 64,949 \text{LINEABUSES}_I + E$$

DONDE,

$\text{No.Usuarios}_{\text{BRT}_I}$ = MEDIA GEOMÉTRICA DEL NÚMERO DE INGRESOS DEL AÑO 2015

DIST_I = DISTANCIA DE LA PARADA AL CENTRO DE NEGOCIOS I

$\text{POB.}/\text{KM}^2_I$ = DENSIDAD DE LA POBLACIÓN EN KM^2_I

No.Usos_I = NÚMERO DE USOS DE SUELO I

$\text{DEN}_{\text{RED}_I}$ = DENSIDAD DE LA RED I

INDFORMA_I = ÍNDICE DE LA FORMA I

ACERA_I = NÚMERO DE SEGMENTOS QUE TIENEN MENOS DE UN METRO DE ANCHO DE ACERA I

LINEABUSES_I = NÚMERO DE BUSES I

El modelo matemático descrito cumple con los cuatro supuestos: la linealidad (p -valor 1,93 E-20); la independencia de Durbin-Watson 2,35; la homocedasticidad (p -valor 0,0048); y la normalidad (p -valor 0,5). El nivel de significancia de los supuestos sugiere que cumple de manera satisfactoria.

Conclusiones

En este artículo se ha examinado la asociación entre las características urbanísticas alrededor de 42 estaciones del sistema BRT de Quito mediante el método de estimación directa. Los resultados obtenidos confirman la utilidad de esta metodología en ciudades en desarrollo, como es el caso de Quito, por tres razones principales: 1) el modelo integra las características del entorno urbano, lo cual facilita la recopilación de la data y, además, con estas variables urbanísticas el modelo alcanza un alto poder predictivo; 2) la mayoría de los ingresos a las estaciones se realizan a pie; es decir, en una parte del desplazamiento los usuarios tienen contacto con el contexto urbano; y 3) integra otros modos de desplazamiento más sostenibles, como es la bicicleta (Cardozo et al., 2010; Cervero, 2006). A pesar de estas bondades, el MRD tiene limitaciones importantes en

su proceso; por un lado, no incluye variables que representen características de viaje en vehículo privado (por ejemplo, coste de viaje, tiempo de viaje, etc.); por otro, la cantidad de variables posibles de incluir en el modelo es restringida debido a que se analiza a nivel de estación, lo cual disminuye el número de individuos en la muestra, reduciéndolo a un análisis de causalidad.

Los estudios previos sobre la asociación entre el entorno urbano y el número de pasajeros del sistema BRT han utilizado un umbral de distancia máxima peatonal de 250 metros para las estaciones y 500 metros para las terminales. Sin embargo, el análisis del comportamiento del viaje peatonal registrado en los puntos de salida de las estaciones BRT de Quito, durante el primer semestre del 2016, sugiere la distancia de 600 metros, la cual cubre el 99% de los atractivos de movilidad en la zona próxima a las estaciones, mientras que, si el umbral de distancia máxima es de 250 metros, apenas se cubriría el 46%. En este sentido, con el estudio se aporta un análisis del entorno urbano dentro de un área de servicio que considera un umbral de distancia máxima que, combinado con el método de medición a través de la red, es más cercano a la realidad.

Ahora bien, ya centrándonos en el tema de la relación entre el entorno urbano y el número de pasajeros del transporte público, son numerosas las publicaciones en las que se reconoce la necesidad de integrar el transporte y el contexto inmediato a las estaciones. El presente modelo de demanda confirma que también existe asociación entre las variables urbanísticas y la demanda del sistema BRT de Quito, pero con una importante diferencia respecto al nivel de significancia y al signo del coeficiente de la variable densidad de la población.

A pesar de que no todos estos hallazgos se ajustan a ciertas lógicas encontradas en estudios previos, ellos adquieren la dialéctica propia de una ciudad que, prácticamente, se emplaza de forma lineal en medio de dos cordilleras. Además, la urbe quiteña está sometida a un modelo de planificación que se basa en principios funcionalistas del movimiento moderno, donde la mayor presencia del uso residencial se encuentra en la zona periférica, mientras que los equipamientos y servicios se localizan en las zonas centrales de mayor accesibilidad.

Considerando este contexto, se interpreta las variables que intervienen en el modelo matemático de demanda propuesto. La distancia al CBD, por ejemplo, mantiene una correlación negativa con la demanda, lo que significa que el número de ingresos a pie a las estaciones se registra más en la centralidad y va disminuyendo conforme se aleja del centro; en otras palabras, podría interpretarse que mientras más lejos del CBD viven los usuarios, menos utilizan este transporte. Esto, sin embargo, no representaría la realidad del BRT de Quito, pues en esta ciudad la mayoría de los habitantes vive en la periferia, lejos de las terminales del sistema, por lo cual acceden a ellos en buses conocidos como ‘alimentadores’. En estos nodos los buses BRT se llenan, reduciendo la probabilidad de que otros usuarios ingresen a las paradas localizadas a lo largo de los corredores, por lo cual registran un menor número de ingresos. Al no contar con la

información del número de salidas de las paradas, lo expuesto anteriormente no se puede comprobar, por lo que resultaría importante incluir el dato de salidas de los usuarios en futuros estudios.

Las variables número de usos del suelo, densidad de la red y número de segmentos que tiene ancho de la acera menor a un metro, responden a los principios planteados por el DOT; es decir, la demanda de las estaciones BRT podría ser mayor cuando su entorno próximo dispone de un espacio parcelado con mezcla de usos del suelo y un espacio urbanizado con facilidades peatonales; o sea, una mayor densidad de red peatonal con mayor accesibilidad a través de la misma, cuya característica particular, en este estudio, se representa con que el ancho de la acera incrementa la demanda de las estaciones BRT que registran un mayor número de ingresos a pie en la ciudad de Quito.

Con el fin de profundizar en el dominio diseño, el cual presentó consistencias en los resultados previos, en el modelo propuesto se involucra el índice de la forma; con ello se busca dar importancia a la morfología del tejido viario peatonal. Al respecto, los hallazgos muestran que las estaciones que tienen un tejido vial peatonal de una forma que se ajusta a una retícula podrían registrar un mayor número de usuarios BRT en Quito, que aquellas paradas en las cuales la estructura vial peatonal se asemeje más a formas orgánicas.

A la luz de los resultados presentados, la variable densidad de la población, que ha sido considerada una condición necesaria en un modelo de demanda, en Quito es evidente que no responde a este planteamiento, pues esta variable no se encuentra concentrada a lo largo de los corredores BRT. Otros son los factores que explican los niveles de pasajeros, como ocurre con el proceso de implementación del sistema; en este caso particular, se hizo en áreas ya urbanizadas que responden a una distribución desproporcional de la población, por lo que no es significativa en el modelo de demanda, pero resulta necesaria para explicar que, en las zonas centrales con menor presencia de viviendas, se registra un mayor número de usuarios BRT.

Con los resultados aquí expuestos se profundizan y amplían los conocimientos previos. En términos de planificación, se sugiere, a partir de este estudio, considerar un modelo urbano con varias centralidades que disminuya la distancia entre los lugares de origen y los de destino del desplazamiento, con un sistema de transporte público que integre los asentamientos humanos, con espacios públicos orientados a los peatones. En el ámbito del transporte, se propone involucrar estas variables en el análisis de la demanda, sobre todo la distancia desde la estación hacia la centralidad más cercana; de otro modo, se tiende a sobrestimar o subestimar el número de pasajeros del sistema de transporte.

Referencias bibliográficas

- Barrera, A. (2013, enero 14). Sistema Integrado de Transporte de pasajeros de Quito. World Resources Institute. <https://wrirosscities.org/media/sistema-integrado-de-transporte-de-pasajeros-en-quito>
- Calthorpe, P. (1993). The next American metropolis: Ecology, community, and the American dream. Princeton Architectural Press.
- Canepa, B. (2007). Bursting the bubble: Determining the transit-oriented development's walkable limits. *Transportation Research Record*, 1992(1), 28-34. <https://doi.org/10.3141/1992-04>
- Cardozo, O. D., Gutiérrez, J. & Palomares, G. (2010). Influencia de la morfología urbana en la demanda de transporte público: Análisis mediante SIG y modelos de regresión múltiple. *Geofocus*, 10(4), 80-100. <https://geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/193>
- Cervero, R. (2006). Alternative approaches to modeling the travel-demand impacts of smart growth. *Journal of the American Planning Association*, 72(3), 285-295. <https://doi.org/10.1080/01944360608976751>
- Cervero, R. & Dai, D. (2014). BRT TOD: Leveraging transit oriented development with bus rapid transit investments. *Transport Policy*, 36, 127-138. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.08.001>
- Cervero, R., Murakami, J. & Miller, M. (2010). Direct ridership model of bus rapid transit in Los Angeles County, California. *Transportation Research Record*, 2145(1), 1-7. <https://doi.org/10.3141/2145-01>
- Chan, S. & Miranda-Moreno, L. (2013). A station-level ridership model for the metro network in Montreal, Quebec. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 40(3), 254-262. <https://doi.org/10.1139/cjce-2011-0432>
- Choi, J., Lee, Y. J., Kim, T. & Sohn, K. (2012). An analysis of Metro ridership at the station-to-station level in Seoul. *Transportation*, 39(3), 705-722. <https://doi.org/10.1007/s11116-011-9368-3>
- Clifton, K. J., Livi Smith, A. D. & Rodríguez, D. (2007). The development and testing of an audit for the pedestrian environment. *Landscape and Urban Planning*, 80(1-2), 95-110. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.06.008>
- Deng, T. & Nelson, J. D. (2011). Recent developments in bus rapid transit: A review of the literature. *Transport Reviews*, 31(1), 69-96. <https://doi.org/10.1080/01441647.2010.492455>
- Ding, C., Cao, X. & Liu, C. (2019). How does the station-area built environment influence Metrorail ridership? Using gradient boosting decision trees to identify non-linear thresholds. *Journal of Transport Geography*, 77, 70-78. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.04.011>

- Durning, M. & Townsend, C. (2015). Direct ridership model of rail rapid transit systems in Canada. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2537(1), 96-102. <https://doi.org/10.3141/2537-11>
- Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros (EPMTP). (2016). Informe de Rendición de cuentas. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. <https://www.trolebus.gob.ec/index.php/rendicion-de-cuentas-2016>
- Estupiñán, N. & Rodríguez, D. A. (2008). The relationship between urban form and station boardings for Bogotá's BRT. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(2), 296-306. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2007.10.006>
- Ewing, R. & Cervero, R. (2010). Travel and the built environment: A meta-analysis. *Journal of the American Planning Association*, 76(3), 265-294. <https://doi.org/10.1080/01944361003766766>
- Foletta, N., Vanderkwaak, N. & Grandy, B. (2013). Factors that influence urban streetcar ridership in the United States. *Transportation Research Record*, 2353(1), 92-99. <https://doi.org/10.3141/2353-09>
- García-Palomares, J. C., Gutiérrez, J. & Cardozo, O. D. (2013). Walking accessibility to public transport: An analysis based on microdata and GIS. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(6), 1087-1102. <https://doi.org/10.1068/b39008>
- Guerra, E. & Cervero, R. (2013). Is a half-mile circle the right standard for TODs? *Access*, (42), 17-22. <https://www.accessmagazine.org/spring-2013/half-mile-circle-right-standard-tods>
- Gutiérrez, J. G., Cardozo, O. D. & García, J. C. (2008). Modelos de demanda potencial de viajeros en redes de transporte público: aplicaciones en el Metro de Madrid. *Proyección*, 4(7), 1-25. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/60200>
- Haggett, P. (1976). *Análisis locacional en la geografía humana*. Gustavo Gili.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), Ecuador. (2010). Censo de Población y Vivienda. Información geográfica. http://gobiernoabierto.quito.gob.ec/descarga-informacion-geografica/?page_id=1122
- Jiang, Y., Zengras, P. & Mehndiratta, S. (2012). Walk the line: Station context, corridor type and bus rapid transit walk access in Jinan, China. *Journal of Transport Geography*, 20(1), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.09.007>
- Kuby, M., Barranda, A. & Upchurch, C. (2004). Factors influencing light-rail station boardings in the United States. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 38(3), 223-247. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2003.10.006>

- Lin, J.-J. & Shin, T.-Y. (2008). Does transit-oriented development affect Metro ridership?: Evidence from Taipei, Taiwan. *Transportation Research Record*, 2063(1), 149-158. <https://doi.org/10.3141/2063-18>
- Liu, C., Erdogan, S., Ma, T. & Ducca, F. W. (2016). How to increase rail ridership in Maryland: Direct ridership models for policy guidance. *Journal of Urban Planning and Development*, 142(4), 04016017. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000340](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000340)
- Liu, Y., Yang, D., Timmermans, H. J. P. & de Vries, B. (2020). Analysis of the impact of street-scale built environment design near metro stations on pedestrian and cyclist road segment choice: A stated choice experiment. *Journal of Transport Geography*, 82, 102570. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102570>
- Loo, B. P. Y., Chen, C. & Chan, E. T. H. (2010). Rail-based transit-oriented development: Lessons from New York City and Hong Kong. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 202-212. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.06.002>
- Murray, A. T., Davis, R., Stimson, R. J. & Ferreira, L. (1998). Public transportation access. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 3(5), 319-328. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(98\)00010-8](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(98)00010-8)
- O'Neill, W., Ramsey, D. & Chou, J. (1992). Analysis of transit service areas using geographic information systems. *Transportation Research Record*, 1364, 131-138. <https://trid.trb.org/view/371490>
- O'Sullivan, S. & Morrall, J. (1996). Walking distances to and from light-rail transit stations. *Transportation Research Record*, 1538(1), 19-26. <https://doi.org/10.1177/0361198196153800103>
- Rodríguez, D. A. & Joo, J. (2004). The relationship between non-motorized mode choice and the local physical environment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 9(2), 151-173. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2003.11.001>
- Rodríguez, D. A. & Vergel-Tovar, C. E. (2017). Urban development around bus rapid transit stops in seven cities in Latin-America. *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, 11(2), 175-201. <https://doi.org/10.1080/17549175.2017.1372507>
- Sohn, K. & Shim, H. (2010). Factors generating boardings at Metro stations in the Seoul metropolitan area. *Cities*, 27(5), 358-368. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2010.05.001>
- Suzuki, H., Cervero, R. & Luchi, K. (2014). Transformando las ciudades con el transporte público: Integración del transporte público y el uso del suelo para un desarrollo urbano sostenible. Universidad de los Andes.
- Tu, W., Cao, R., Yue, Y., Zhou, B., Li, Q. & Li, Q. (2018). Spatial variations in urban public ridership derived from GPS trajectories and smart

card data. *Journal of Transport Geography*, 69, 45-57. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.04.013>

Vergel-Tovar, E. & Rodríguez, D. (2014). Examining the relationship between BRT ridership and the built environment in Latin America. https://www.slideshare.net/EMBARQNetwork/moving-beyond-streets-for-cars-madeline-brozen?next_slideshow=1

Vergel-Tovar, E. & Rodríguez, D. A. (2018). The ridership performance of the built environment for BRT systems: Evidence from Latin America. *Journal of Transport Geography*, 73, 172-184. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.06.018>

Wright, L. & Hook, W. (2010). *Guía de Planificación de Sistemas BRT (Autobuses de Tránsito Rápido)*. Fundación William y Flora Hewlett / Fondo Global del Ambiente / Global Environment Facility / Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.

Zhao, J., Deng, W., Song, Y. & Zhu, Y. (2013). What influences Metro station ridership in China? Insights from Nanjing. *Cities*, 35, 114-124. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.07.002>

Notas

1 En el primer semestre del 2018, se realizó un análisis de las rutas peatonales de los usuarios de las 42 paradas del sistema BRT de Quito mediante el método del rastreo, que consistió, literalmente, en registrar los itinerarios peatonales desde la salida de las paradas hasta su primer destino. Para ello, se emplearon herramientas digitales, tales como el GPS de los celulares de los auditores y una aplicación conocida como Wikiloc, que es una *mashup* donde se puede almacenar y compartir rutas georreferenciadas y puntos de interés. Los resultados del análisis descriptivo porcentual se distribuyen de la siguiente forma: 46% dentro de los 250 metros; 49% dentro del rango de 250 a 500 metros; y el 5% entre 500 y 600 metros.