

---

C. Erik Vergel-Tovar <sup>a</sup>

Palabras clave: sistemas de transporte público masivo tipo BRT, número de pasajeros  
demanda de transporte, densidad de población, nivel de estación.

# ¿Es la densidad suficiente? Análisis de la relación entre la densidad poblacional y la demanda de pasajeros en los sistemas de transporte público masivo tipo BRT (Bus Rapid Transit) en Curitiba, Quito y Bogotá

## Abstract

El conocimiento convencional y algunas evidencias basadas en los ferrocarriles sobre el desarrollo orientado al tránsito (TOD, por sus siglas en inglés) postulan que existe una asociación positiva entre la cantidad de pasajeros en tránsito y la densidad de población alrededor de las estaciones. La densidad de población y los modos de tránsito masivo a menudo se han considerado complementarios en cuanto a la eficiencia de la movilidad urbana. Los altos niveles de densidad de población generalmente se consideran una condición necesaria para las inversiones en transporte público en los procesos de toma

---

a. Profesor en el Programa Gestión y Desarrollo Urbanos de la Universidad del Rosario en Bogotá, Colombia. Doctor en Planificación Urbana y Regional en la Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill. Magister en Planificación, Gestión y Desarrollo Urbano del Instituto de Estudios en Vivienda y Desarrollo Urbano IHS de la Universidad Erasmus de Rotterdam. Arquitecto de la Universidad Nacional de Colombia. Email: erik.vergel@urosario.edu.co

de decisiones relacionados con la respuesta a la demanda futura de transporte urbano. Aunque hay pruebas de asociación entre la densidad de población alrededor de las estaciones ferroviarias y el número de pasajeros en tránsito, todavía hay poca evidencia con respecto a esta asociación para los sistemas de tránsito rápido en autobús (BRT).

En este artículo se examina la relación entre la densidad poblacional y la demanda de pasajeros en las estaciones de transporte público masivo tipo BRT en Curitiba, Quito y Bogotá, tres ciudades pioneras en implementar este tipo de sistemas. Los hallazgos sugieren que la elasticidad encontrada en Curitiba y Bogotá son similares a las encontradas en estudios similares para los sistemas de transporte masivo sobre rieles en ciudades de Norte América y Asia. Aunque la asociación positiva encontrada en Curitiba y Bogotá es similar este documento sugiere que la densidad poblacional por sí sola no implica altos niveles de demanda al nivel de la estación<sup>1</sup>. Los resultados buscan profundizar el conocimiento de la influencia de la densidad poblacional en la demanda de pasajeros de los sistemas tipo BRT a nivel de estación, proporcionando algunas implicaciones prácticas para la planeación de las estaciones de los sistemas tipo BRT para los tomadores de decisión y planificadores del transporte.

## Introducción

Los sistemas de transporte público masivo tipo BRT (Bus Rapid Transit por sus siglas en inglés) han sido definidos como un sistema de buses de alta calidad que ofrecen servicios de movilidad urbana eficientes, con

ahorros significativos de tiempos de viaje, gracias a la infraestructura de carriles exclusivos segregados, operaciones con mayor capacidad y frecuencias con servicios enfocados en las necesidades de los usuarios (Wright, 2011). El caso de Curitiba es emblemático a nivel internacional

---

1. En un paper recientemente publicado por el autor, otros atributos relacionados con el medio ambiente construido que explican la demanda de pasajeros en sistemas tipo BRT fueron identificados en una muestra de 120 estaciones en siete ciudades de América Latina: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0966692317303526>. Sin embargo, existe un vacío en la literatura acerca de un análisis de la influencia de la densidad poblacional en la demanda de pasajeros en tres de los sistemas más antiguos de transporte masivo tipo BRT en América Latina.

como ejemplo de la concentración del desarrollo urbano en altura alrededor de las estaciones del sistema de transporte público masivo tipo (Bus Rapid Transit) BRT. Curitiba ha sido descrita como una “ciudad híbrida” debido al resultado de su proceso adaptativo entre el transporte y los usos de suelo a lo largo de los corredores del sistema tipo BRT (Cervero, 1998). Esta ciudad pionera en los sistemas tipo BRT, ha estado organizando su crecimiento urbano a través de un ejercicio de planeación en el cual se han aplicado instrumentos de gestión del suelo a lo largo de los corredores del sistema tipo BRT, con el propósito de concentrar el desarrollo urbano a lo largo de los ejes o corredores con oferta de transporte público masivo, promoviendo altas densidades (concentración de población a través de un aumento en la edificabilidad) a lo largo de los ejes de carril exclusivo del sistema. Como resultado, las densidades tienden a ser más altas en áreas próximas a la red de troncales del sistema tipo BRT. Sin embargo, poco se sabe acerca de las asociaciones entre las densidades y la demanda de pasajeros del sistema BRT, específicamen-

te alrededor de las estaciones y portales en el caso de Curitiba. De igual forma, existe un vacío en la literatura acerca de las posibles asociaciones entre las densidades poblacionales y la demanda de pasajeros en ciudades que han implementado este tipo de sistemas de transporte masivo, teniendo como referencia a Curitiba.

Este artículo comparte los resultados de la línea de investigación que viene desarrollando el autor acerca de las inversiones en transporte masivo en sistemas de buses rápidos tipo BRT en América Latina. Esta investigación se enfoca en el análisis de asociaciones entre las densidades poblacionales y la demanda de pasajeros en las estaciones de los sistemas tipo BRT en tres ciudades, Curitiba (Brasil), Quito (Ecuador) y Bogotá (Colombia), ciudades que representan tres de los sistemas tipo BRT más antiguos y consolidados actualmente en operación en el mundo. Para cada ciudad se probaron hipótesis acerca de la relación en tres niveles. Primero, el artículo presenta resultados de los análisis estadísticos para las estaciones sencillas de los sistemas tipo BRT en cada ciudad (ej. Estación tipo BRT Calle 100 en Bogotá). Segundo, la in-

investigación prueba las hipótesis en el caso de los portales del sistema tipo BRT en las tres ciudades. Finalmente, el artículo presenta resultados de los análisis para todas las estaciones y portales de los sistemas tipo BRT, enfocándose en las dos primeras fases del sistema de la ciudad de Bogotá. Con base en los resultados, el artículo busca comparar las elasticidades encontradas en cada modelo con los hallazgos de otros artículos de investigación que han examinado la misma relación, al nivel de la estación, para sistemas de transporte masivo, pero en modos con base en rieles (Tranvías, Metros o Trenes de cercanías).

## 1. Revisión de Literatura

Diferentes estudios sobre los sistemas de transporte masivo se han enfocado en examinar la influencia de la densidad poblacional en la demanda de pasajeros al nivel de las estaciones y su área de influencia directa. Tal es el caso de los estudios realizados en áreas metropolitanas en Norte América donde se han encontrado asociaciones positivas entre la densidad poblacional y la demanda

en términos del nivel de pasajeros en sistemas de transporte público masivo sobre rieles, como se muestra en la tabla 1 (anexos). Estas investigaciones sobre sistemas sobre rieles han sido motivadas, en parte, por el interés en determinar asociaciones entre la concentración de población, que es una variable clave en la planeación de transporte, y su relación con la demanda, específicamente los niveles de pasajeros esperados en las estaciones de los sistemas de transporte público masivo, que justifican la localización de estas estaciones. Algunas dificultades para la realización de estos estudios de demanda directa han estado relacionadas con la capacidad de recolectar y procesar datos para todas las estaciones y su entorno, debido al limitado acceso a información de las variables que miden las densidades y la demanda de pasajeros.

Existen estudios de modelos de demanda directa para sistemas tipo metro observando los atributos del espacio construido dentro de un área de influencia entre 500 y 100 metros de las estaciones de este tipo de transporte masivo. Un estudio en Taipéi (Taiwán) realizó un análisis

de demanda de pasajeros para 46 estaciones del sistema metro, enfocándose en las características del Desarrollo Orientado al Transporte (DOT), encontrando asociaciones positivas de algunas variables relacionadas a la densidad poblacional tal como el área construida. El análisis determinó que la influencia de la densidad y el diseño amigable para peatones en la demanda difiere significativamente entre días laborales y fines de semana (Lin & Shin, 2008). Otro estudio encontró asociaciones positivas entre la densidad poblacional y la demanda de pasajeros, analizando este tipo de relaciones para 468 estaciones del sistema metro de la ciudad de Nueva York y para 80 estaciones en el sistema de transporte masivo de Hong Kong. El análisis incluye variables relacionadas con la densidad poblacional como parte de las características socioeconómicas y demográficas de las áreas de influencia de las estaciones, tales como el tamaño de la población en relación al área residencial y datos de empleo (Loo, Chen, & Chan, 2010). En Seúl (Corea), dos trabajos de investigación encontraron asociaciones positivas entre las densidades pobla-

cionales y la demanda de pasajeros: uno de ellos utilizó datos de desplazamiento para 251 estaciones del sistema metro, en el que se incluyeron datos de población en los puntos de origen y destino (Choi, Lee, Kim, & Sohn, 2012). El segundo, sobre la ciudad de Seúl, analizó variables del entorno de 214 estaciones de tren incluyendo variables relacionadas con la densidad poblacional como el área total construida para usos residenciales, comerciales y de oficinas (H. Sung & J.-T. Oh, 2011).

En Montreal (Canadá), se realizó un análisis que encontró asociaciones positivas entre la densidad poblacional y la demanda de pasajeros del entorno urbano de 130 estaciones de transporte masivo, determinando el total de población dentro de un área de influencia para cada estación. El estudio mostró que un incremento del 10% de los residentes dentro del área de influencia para cada estación puede elevar los niveles de demanda de pasajeros en un 7,4% (Chan & Miranda-Moreno, 2013). En Nanjing (China), se realizó un trabajo de investigación enfocándose en 55 estaciones del sistema metro, en el cual se hallaron asociaciones positivas

entre las densidades poblacionales con la demanda de pasajeros. Este estudio también se centró en las características de DOT, incluida la población total dentro del área de amortiguamiento de 800 metros para cada estación de tránsito. El estudio sugiere que la población y las variables de DOT asociadas con la concentración de la población, como los usos residenciales y comerciales, son factores importantes que explican los niveles de usuarios de transporte público (Zhao, Deng, Song y Zhu, 2013).

En cuanto a los sistemas de transporte masivo como los trenes ligeros y tranvías, más conocidos en la literatura en inglés como Light Rail Transit (LRT), se han realizado análisis para algunas áreas metropolitanas en Norte América, que examinan la influencia de la densidad poblacional a través de modelos de demanda directa. En el caso de estos estudios, se han encontrado asociaciones positivas con la demanda de pasajeros para la densidad poblacional medida no solo en términos de la población en el área de influencia de la estación (número de personas por hectárea), sino también en términos del número de viviendas dentro del área de

influencia de cada estación (Cervero, 2006; Kuby, Barranda, & Upchurch, 2004; Lane, DiCarlantonio, & Usvyat, 2006; Parsons Brinckerhoff Quade & Douglas, Cervero, Howard/Stein-Hudson Associates, & Zupan, 1996; Upchurch & Kuby, 2014). Estos trabajos de investigación también han encontrado asociaciones positivas entre la densidad poblacional y los niveles de pasajeros para las estaciones de mayor escala de los sistemas de trenes ligeros. En el caso de otro análisis sobre algunas áreas metropolitanas de Norte América, enfocándose en 67 estaciones de sistemas de trenes ligeros o LRT, se determinó una relación positiva entre los usos residenciales y comercios de pequeña escala con la demanda de pasajeros en las estaciones del sistema, como también que la presencia de equipamientos como escuelas y hoteles están relacionados con un mayor nivel de pasajeros (Foletta, Vanderkwaak, & Grandy, 2013). Los resultados de estudios de demanda directa de los sistemas tipo LRT, que incluyen variables como la densidad poblacional y características del espacio construido, confirman que debemos esperar obtener asociaciones positivas entre



la demanda de pasajeros y la densidad poblacional, debido a que estos son lugares que atraen usuarios, residentes y visitantes, es decir, son áreas donde hay una alta concentración de actividades en las ciudades.

Aunque estas investigaciones han examinado las asociaciones entre densidad poblacional y el nivel de demanda de los sistemas de transporte masivo, pocos estudios se han enfocado en este tipo de relaciones para los sistemas de transporte masivo tipo BRT. El análisis de las características a nivel de segmento en torno a una muestra de 62 estaciones de BRT en Bogotá encontró asociaciones positivas entre los factores que miden las densidades de población con el número de BRT. Este estudio determina que elementos del espacio construido como infraestructura amigable para peatones y barreras para el uso de automóviles dentro del área de influencia directa de las estaciones tipo BRT están relacionados con altos niveles de abordaje en las estaciones (Estupiñán & Rodríguez, 2008). Un modelo de demanda directa tomando una muestra de 69 estaciones tipo BRT en Los Ángeles (Estados Unidos) encontró una aso-

ciación positiva entre la densidad poblacional y la demanda en las estaciones del sistema de transporte masivo (Cervero, Murakami, & Miller, 2009). En el caso de los sistemas tipo BRT fuera de los Estados Unidos, la asociación entre demanda de pasajeros y la densidad poblacional solamente ha sido analizada al nivel de ciudad, encontrando asociaciones positivas con una elasticidad de 0.39 (Cervero & Dai, 2014). La tabla 1 resume las investigaciones revisadas y los resultados para propósitos de comparación con los resultados de este documento, que son presentados más a fondo en la sección de discusión.

## 2. Metodología

### 2.1 Pregunta de investigación

Este estudio examina la influencia de la densidad poblacional en el comportamiento de viajes al probar hipótesis acerca de las asociaciones entre el número de pasajeros abordando las estaciones de los sistemas de transporte masivo tipo BRT en todas las estaciones de los sistemas

de las ciudades de Curitiba, Bogotá<sup>2</sup> y Quito. Las estimaciones de la demanda de viajes esperada a futuro para los sistemas tipo BRT están usualmente sustentadas en las características socioeconómicas y demográficas de las áreas urbanas, así como también en los datos generados por los estudios con base en las encuestas origen-destino (Galicía & Cheu, 2013). Sin embargo, algunos especialistas sugieren que los atributos del espacio construido pueden jugar un rol importante en el comportamiento de los viajes (Boarnet, 2001). También existen análisis que sugieren que las características DOT podrían implicar una bonificación en la demanda esperada debido a la concentración del desarrollo urbano alrededor de las estaciones de los sistemas de transporte masivo (Cervero, 2006). Aunque existen este tipo de análisis y reflexiones en la literatura, poco se sabe acerca de la influencia de la densidad poblacional en los modelos de demanda directa para los sistemas tipo BRT, especialmente en las ciudades de América Latina.

Los análisis estadísticos desarrollados se realizan por ciudad con estaciones y terminales de BRT y controla la distancia a los nodos de actividad principal como también el tipo de estación, sencilla o portal del sistema. Como hipótesis de trabajo, además de esperarse una asociación positiva para la densidad poblacional, se espera que también exista este tipo de relación para el caso específico de los portales de los sistemas tipo BRT considerando que estos son los principales nodos de transferencia de la red integrada, debido a que estas estaciones son de mayor escala ya que permiten realizar transferencias a múltiples modos. Los portales facilitan la integración con las rutas alimentadoras que amplían el servicio de transporte más allá de los corredores troncales. El análisis define como hipótesis que la asociación entre la demanda y la distancia a los principales nodos de actividad es negativa, ya que se espera contar con un mayor número de pasajeros en los puntos de mayor atracción de viajes en cada ciudad.

---

2. El estudio incluye todas las estaciones y portales de las fases 1 y 2 del sistema Transmilenio.



## 2.2 Áreas de estudio

Curitiba tiene una población urbana de más de 1.7 millones de habitantes con una densidad de 4.027,04hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). La ciudad ha estado expandiendo su red de transporte masivo tipo BRT desde 1976. Hoy en día, Curitiba tiene una red integrada de transporte masivo que incluye 81 km de longitud a lo largo de 6 troncales con 113 estaciones individuales y 14 portales. Quito, capital del Ecuador, localizada a 2.800 metros sobre el nivel del mar, es el núcleo de un distrito metropolitano de 2.2 millones de habitantes con una densidad de 4.347,98hab/km<sup>2</sup> (INEC, 2012). Teniendo como referencia la experiencia de Curitiba, Quito diseñó e

implementó un sistema tipo BRT con buses eléctricos en su primera etapa conocido como Trolebús. Siguió con una expansión que incluye varios corredores como el “Ecovía”, el “Corredor Suroriental”, el “Corredor Norte” y el “Corredor Suroccidental”. Bogotá, capital de Colombia, localizada a 2.600 metros sobre el nivel del mar, es la ciudad más grande del país con una población de aproximadamente 8 millones de habitantes y una densidad de 21.200hab/km<sup>2</sup> (Bogota, 2017). Bogotá implementó el sistema BRT conocido como “Transmilenio” teniendo como referencias las experiencias de Curitiba y Quito. La Tabla 1 resume la demanda de pasajeros y características de los sistemas tipo BRT en estas tres ciudades.

Tabla 1 Áreas de estudio y sistemas de transporte público masivo tipo BRT

Ciudad	Población*	BRT Inicio operaciones†	Corredores BRT †	longitud corredores carril exclusivo (km) †	Demanda de pasajeros al día†	Estaciones sencillas†	Portales†
Curitiba	1,879,355	1974	7	74	566,500	106	15
Quito	1,619,791	1995	3	71	745,000	126	11
Bogotá	8,181,047	2000	11	113	2,192,009	139	9

†Fuente: <http://www.brtdata.org/>, IBGE (Brasil), INEC (Ecuador), DANE (Colombia)

### 2.3 Datos

Las estaciones tipo BRT incluidas en los análisis estadísticos y la descripción gráfica de las densidades poblacionales y los niveles de demanda de pasajeros se encuentran en las figuras 1, 2 y 3. El área de influencia de las 87 estaciones tipo BRT en Curitiba, las 55 estaciones tipo BRT en Quito y las 106 estaciones tipo BRT en Bogotá, fueron determinadas tomando un radio de 250 metros para estaciones sencillas, y un radio de 500 metros para los portales. El procesamiento de datos incluyó la eliminación de manzanas y estaciones que presentaban traslapes con las manzanas de la estación más próxima. De igual forma, las estaciones sencillas que se encuentran dentro de los 500 metros del área de influencia de un portal BRT fueron excluidas del análisis, para poder estimar el efecto de los principales nodos del sistema.

La localización de las estaciones tipo BRT fue realizada a través de Google Earth y luego los archivos fueron exportados a una plataforma de Sistemas de Información Geográfica (SIG), para examinar la precisión de la localización. El área de influencia de las estaciones define la unidad

de análisis al nivel de la estación tipo BRT. En el caso de los portales del sistema BRT, se definió un área de influencia de 0.79 kilómetros cuadrados. En el caso de las estaciones sencillas, debido a las superposiciones entre algunas áreas de influencia entre estaciones que están localizadas a una distancia menor a los 500 metros entre sí, el área de estudio fue ajustada, removiendo áreas de manzanas que presentaban traslape entre dos áreas de influencia, con el fin de evitar el doble conteo de manzanas en el cálculo de la densidad poblacional al nivel de manzana. Por lo tanto, las áreas de estudio de las estaciones sencillas tipo BRT oscila entre 0.16 y 0.20 kilómetros cuadrados, debido a las variaciones que se pudo establecer en las tres ciudades.

La densidad poblacional se calculó primero al nivel manzana determinando el traslape con datos de los polígonos censales obtenidas del Instituto Brasileño de Geografía y Estadísticas (IBGE) de Brasil para el caso de Curitiba, del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas (INEC) del Ecuador para el caso de Quito, y del Departamento Administrativo de Estadísticas de Colombia (DANE) de

Colombia para el caso de Bogotá. El área de las manzanas que se encuentran en el traslape de dos estaciones fue excluida del análisis para evitar doble conteo de población. La identificación de manzanas dentro de cada área de influencia de las estaciones se sustentó en los datos de lotes y predios obtenidos del Instituto de Investigación y Planeación de Curitiba (IPPUC), y de las Secretarías de Planeación Urbana de las ciudades de Quito y Bogotá.

Los datos a nivel de estación fueron suministrados por las entidades de transporte a cargo de los sistemas tipo BRT en cada ciudad. Los datos censales fueron proporcionados por IBGE, gobiernos locales y agencias gubernamentales. La densidad poblacional fue calculada con base en el traslape de cada manzana y el área del polígono censal en el SIG, y luego se calculó la densidad determinando las personas por hectáreas dentro del área de influencia, de manera que se excluyeran las áreas de espacio público como también las manzanas que no presentan usos residenciales como los parques y zonas vacantes. La distancia a los principales nodos de actividad fue calculada a lo largo de cada corredor

de transporte masivo, de manera que la distancia se estimara con base en el recorrido de los buses a lo largo de los corredores de carril exclusivo. Para el caso de Curitiba, se determinó la estación tipo BRT “*Praça Osorio*” como el punto de mayor actividad al encontrarse en el centro de la ciudad. En el caso de Quito, se tomó el portal del sistema BRT denominada como “*La Marin*” como la localización en el centro de mayor actividad debido a su proximidad con el Centro Histórico como también por tratarse de uno de los puntos de mayor transferencia de pasajeros en la ciudad. En el caso de Bogotá, se calculó la distancia desde cada estación del sistema tipo BRT a uno de los tres puntos de mayor concentración de actividades en el borde oriental de la ciudad (*Calle 100, Calle 72 and Calle 26*).

## 2.4 Análisis de Datos

### 2.4.1 Curitiba

La red integrada de transporte de Curitiba converge en el centro de la ciudad. En la figura 1, se presentan las 87 estaciones (sencillas y portales) del sistema BRT para este es-

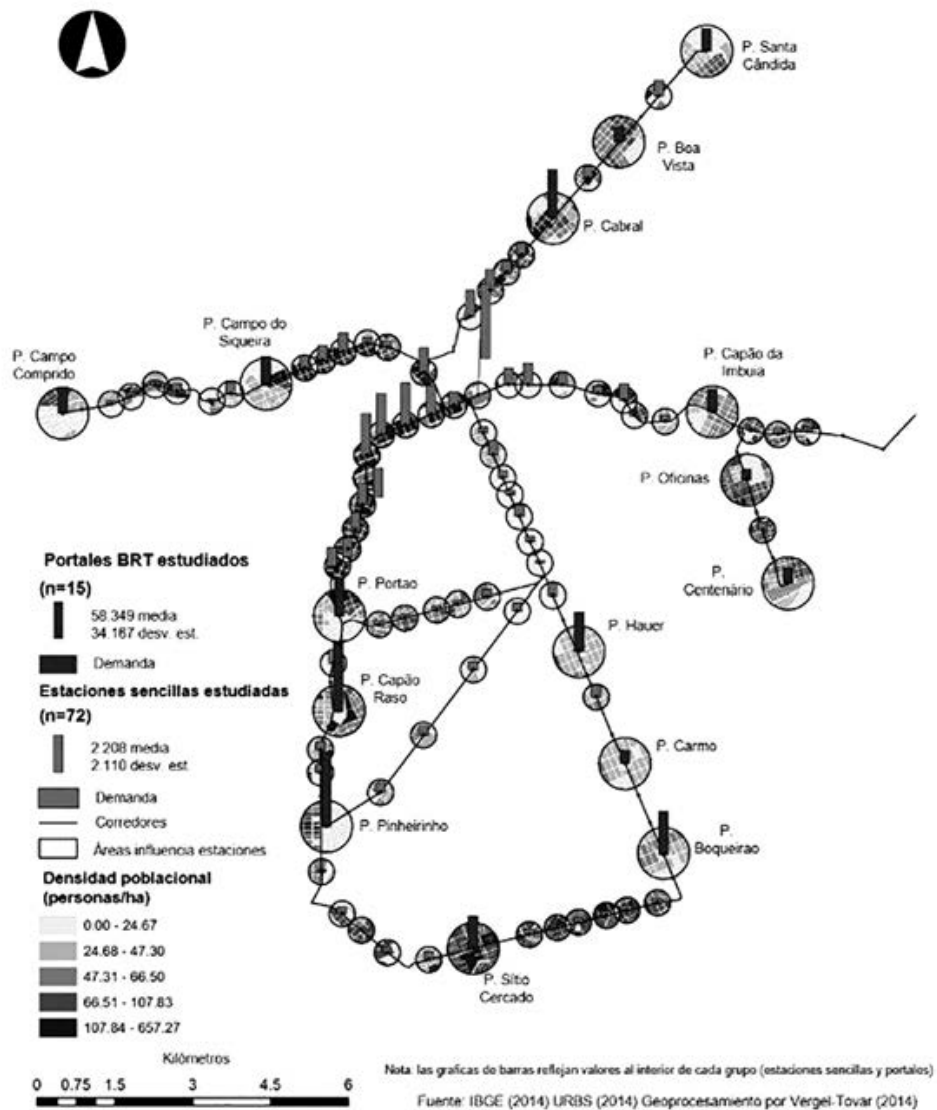


Figura 1 Estaciones BRT estudiadas en Curitiba y niveles de demanda (n=87).

tudio con sus respectivas áreas de influencia. Las estaciones sencillas y los portales del sistema BRT fueron seleccionados tomando su localización a lo largo de los corredores troncales donde hay carriles exclusivos para los buses del sistema, que es uno de los elementos de diseño que ha incrementado la capacidad de los sistemas tipo BRT,

con el fin de alcanzar niveles similares al transporte masivo sobre rieles. Como se muestra en figura 1, la media de pasajeros es más alta en los portales en relación con las estaciones sencillas. No obstante, las estaciones sencillas localizadas entre el Portal “Portão” y el centro de la ciudad también presentan un alto nivel de pasajeros.

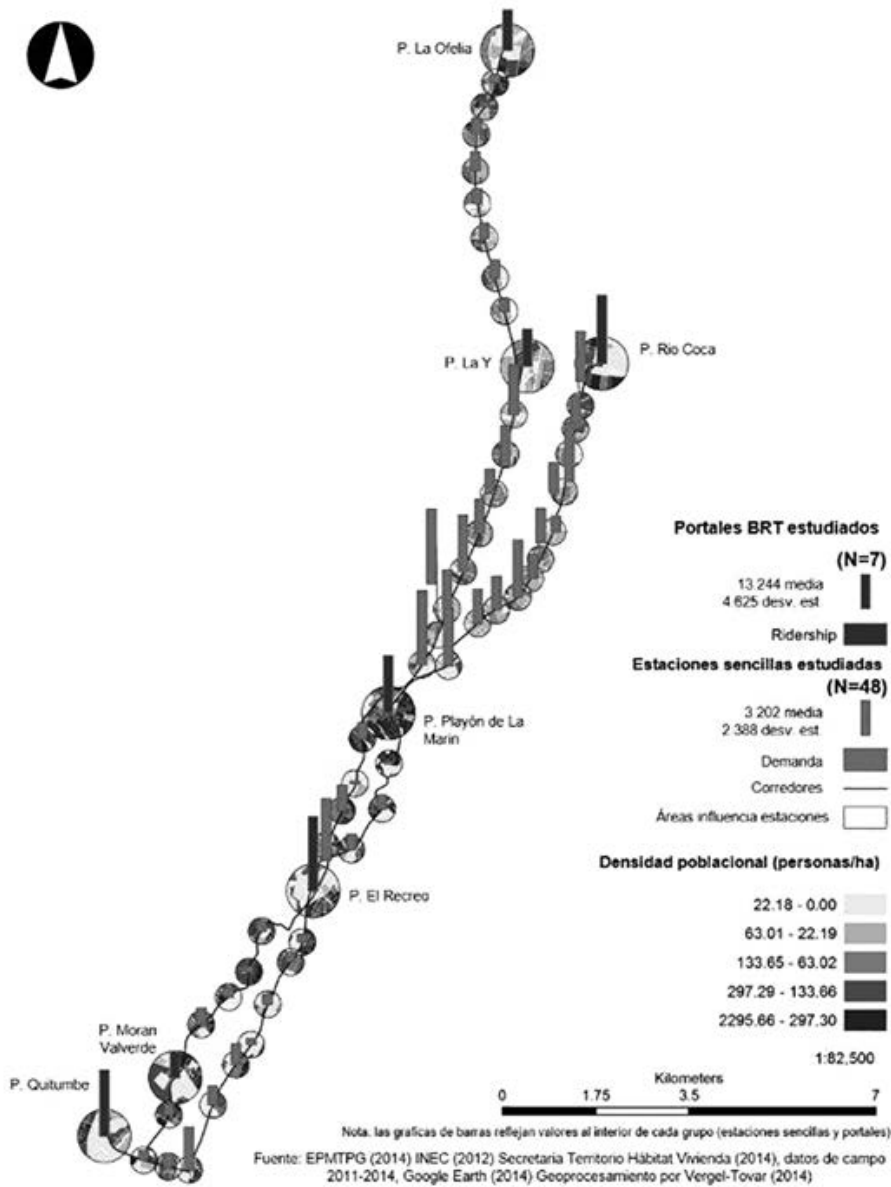


Figura 2 Estaciones BRT estudiadas en Quito y niveles de demanda (n=55).

### 2.4.1 Quito

La red del sistema BRT de Quito es el resultado de la geografía y la estructura espacial urbana de la ciudad, la cual se caracteriza por ser longitudinal desde el sur hasta el norte, mientras que el área urbanizada presenta un área estrecha entre el este y el oeste. Las 55 estaciones (sencillas y portales) para este estudio y sus áreas de

influencia, incluyendo las características de la densidad población y el nivel de pasajeros por estación, se muestran en la figura 2. Las estaciones fueron seleccionadas tomando aquellas localizadas en los corredores troncales que tienen carriles exclusivos, como en Curitiba, una característica del diseño que ha permitido aumentar la capacidad. Como se muestra en la fi-



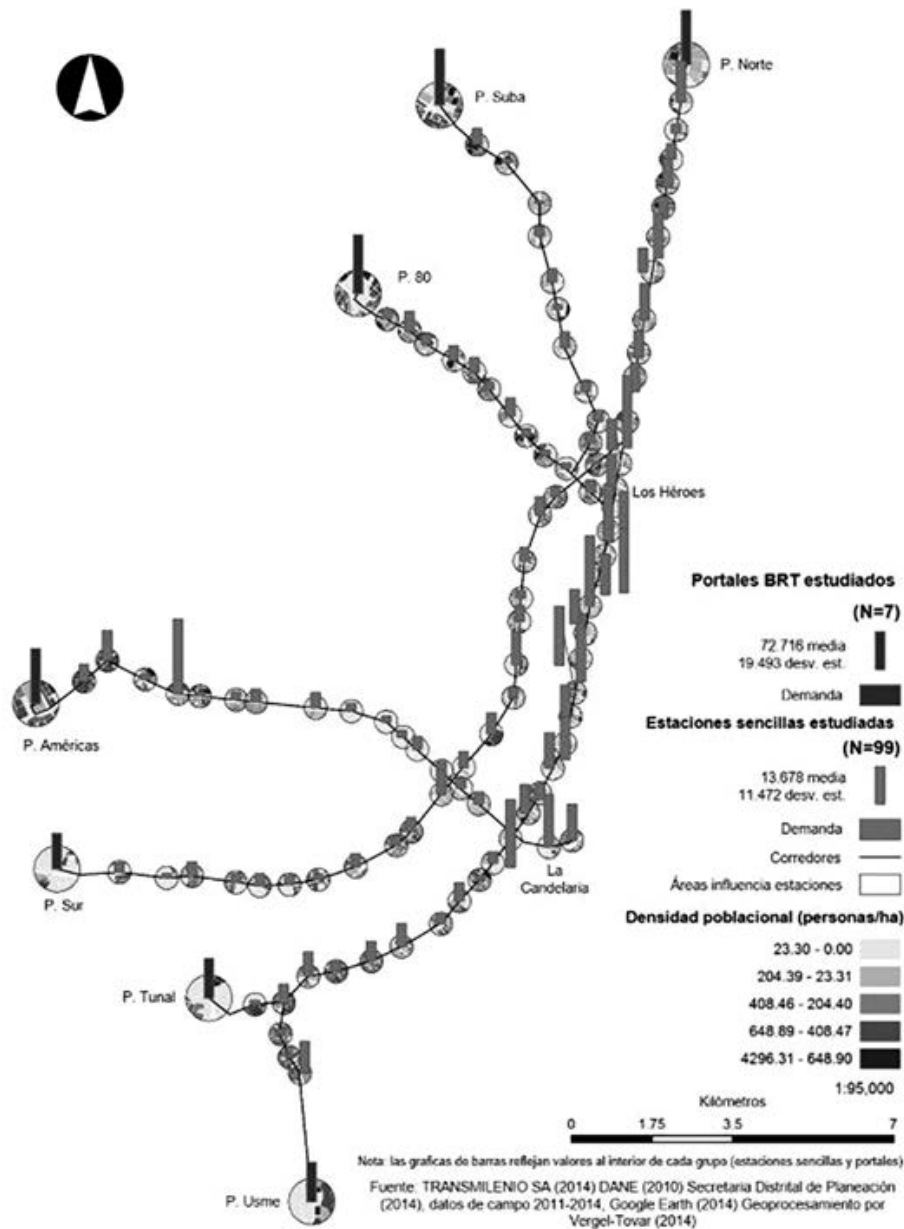


Figura 3 Estaciones BRT estudiadas en Bogotá y niveles de demanda (n=106)

gura 2, la media del nivel de pasajeros es más alta en los portales que en las estaciones sencillas. Sin embargo, las estaciones localizadas entre el Portal “Playón de La Marin” y los Portales “Rio Coca” y “La Y” presentan una demanda superior en relación con las estaciones localizadas al sur del Portal El Recreo.

### 2.4.2 Bogotá

La red del sistema BRT de Bogotá ha sido construida en tres fases. El presente artículo se enfoca en las estaciones y portales de las fases uno y dos, que más tiempo llevan en operación y para los cuales fue posible acceder a información secundaria. Las 106 estaciones (sencillas y por-



tales) para este estudio y sus áreas de influencia son presentadas en la figura 3. Todos los portales del sistema BRT son parte del análisis y las estaciones sencillas fueron seleccionadas tomando su localización en los corredores troncales con carriles exclusivos. Como se muestra en la figura 3, los portales presentan un alto volumen de pasajeros frente a las estaciones sencillas. Sin embargo, las estaciones localizadas en el borde oriental, entre el centro tradicional de “La Candelaria” y el sector de “Los Héroes” presentan niveles superiores de pasajeros que las estaciones de otras troncales.”

#### 2.4.3 Análisis Estadístico

La asociación entre la demanda de pasajeros en el sistema BRT con la densidad poblacional, la centralidad de la localización y el tipo de estación (sencilla o portal) se estimó para Curitiba, Quito y Bogotá con base en la siguiente ecuación:

Donde:

$y$  = demanda BRT en la estación  $i$

$\beta_0$  = intercepto

$\beta_1$  = coeficiente estimado

PopDen = densidad poblacional alrededor de parada  $i$

$\beta_2$  = coeficiente estimado

Centr = Centralidad (distancia al centro de actividad) desde parada  $i$

$\beta_{type}$  = coeficiente estimado

Type = es una variable binaria (portal BRT=1; sencilla= 0)

$\varepsilon$  = término de error

### 3. Resultados

Los tres modelos de regresión logarítmica-lineal se desarrollaron para cada ciudad debido a que los modelos lineales (MOC) fueron heteroscedásticos. Para el presente análisis las variables de demanda (dependiente) y densidad poblacional (independiente) fueron transformadas tomando su logaritmo natural, para así estimar las elasticidades de la relación entre demanda de pasajeros en los sistemas tipo BRT y las densidades poblacionales.

Los resultados de los análisis son presentados en las tablas 2 y 3. Las estadísticas descriptivas para estaciones sencillas en Curitiba (N=72), Quito (N=48) y Bogotá (N=99) son presentadas en la tabla 2. En las tres ciudades muestran una alta variación en el nivel de pasajeros y la densidad

Tabla 2 Estadísticas descriptivas para demanda BRT y variables independientes por ciudad (estaciones individuales y portales)

Estaciones Sencillas	Curitiba (N=72)			Quito (N=48)			Bogotá (N=99)		
	Mediana	Min	Max	Media	Min	Max	Media	Min	Max
<b>Variables</b>									
<b>Definición</b>	(Desv. Est.)			(Desv. Est.)			(Desv. Est.)		
<b>Variable dependiente</b>									
<b>Demanda pasajeros</b>	2,208.17	387	13,283	3,202.67	241	9,129	13,678.81	1,537	48,559
Número de pasajeros que abordan la estación por día	(2,110.73)			(2,388.41)			(11,472.99)		
<b>Ln demanda BRT</b>	7.38	6	9	7.76	5	9	9.21	7	11
Logaritmo natural del número de pasajeros que abordan la estación por día	(0.77)			(0.86)			(0.81)		
<b>Variables independientes</b>									
<b>Densidad poblacional</b>	56.26	1	200	93.94	14	455	156.16	0	583
Población por área de influencia de la estación (personas/hectáreas)	(44.08)			(92.17)			(108.99)		
<b>Ln densidad poblacional</b>	3.67	0	5	4.22	3	6	4.66	-2	6
Logaritmo natural de la población por área de influencia de la estación	(1.00)			(0.78)			(1.26)		
<b>Centralidad</b>	6.05	0	15	6.13	1	13	5.13	0	12
Distancia a los principales centros de actividad (Km)	(3.98)			(3.34)			(3.08)		

poblacional (figuras 1, 2 y 3), lo cual está relacionado con la heterogeneidad de la concentración de población en el territorio, con excepción de Curitiba que ha tenido una política de largo plazo enfocada en concentrar mayores densidades de población en los corredores de transporte masivo.

Los resultados de los modelos de regresión log-lineal sugieren algunas diferencias entre las tres ciudades. En Curitiba, existe una asociación positiva entre la densidad poblacional y la demanda de pasajeros, con una elasti-

cidad de 0.26 controlando por centralidad (coeficiente -0.1068), que es un fuerte predictor en la demanda de pasajeros. El resultado se sustenta en el hecho de que Curitiba es bien conocida por sus corredores altamente densos a lo largo de las líneas del sistema de transporte masivo, conocido como el sistema trinario. En Quito y Bogotá los modelos de regresión logarítmica-lineal para las estaciones sencillas muestran que no hay asociación entre la densidad poblacional y la demanda de pasajeros. Sin embargo, la asocia-

Tabla 3 Resultados análisis de regresión Log-lineal para demanda, densidad poblacional, y centralidad, por ciudad (estaciones-portales)

Estaciones Sencillas	Curitiba (N=72)		Quito (N=48)		Bogotá (N=99)	
	Asociación básica	Modelo ajustado	Asociación básica	Modelo ajustado	Asociación básica	Modelo ajustado
<b>Ln densidad poblacional</b>	<b>0.2750***</b> (0.0789)	<b>0.2642***</b> (0.0688)	<b>-0.3601</b> (0.2224)	<b>-0.3287</b> (0.2336)	<b>0.0211</b> (0.0488)	<b>0.0735</b> (0.0452)
<b>Centralidad</b>		<b>-0.1068***</b> (0.0157)		<b>-0.0715</b> (0.0368)		<b>-0.1152***</b> (0.0284)
<b>Constante</b>	<b>6.3739***</b> (0.2979)	<b>7.0598***</b> (0.2938)	<b>9.2800***</b> (0.9932)	<b>9.5863***</b> (1.0869)	<b>9.1090***</b> (0.2296)	<b>9.4564***</b> (0.2259)
<b>N</b>	72	72	48	48	99	99
<b>r<sup>2</sup></b>	0.1253	0.4260	0.1085	0.1854	0.0011	0.1877
<b>Adj-r<sup>2</sup></b>	0.1128	0.4094	0.0891	0.1492	-0.0092	0.1708
<b>F</b>	12.1649	29.4025	2.6207	2.6276	0.1874	8.7921
<b>VIF (mean)</b>	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00	1.04
<b>Portales BRT</b>	Curitiba (N=16)		Quito (N=7)		Bogotá (N=7)	
<b>Variable</b>	<b>Asociación básica</b>	<b>Modelo ajustado</b>	<b>Asociación básica</b>	<b>Modelo ajustado</b>	<b>Asociación básica</b>	<b>Modelo ajustado</b>

ción es negativa para la variable que mide la centralidad en Bogotá (coeficiente -0.1152), lo cual indica que la accesibilidad en términos de la distancia al destino es un factor importante que explica el nivel de demanda.

Los resultados de los análisis estadísticos para todas las estaciones BRT (sencillas y portales) son presentados en las tablas 4 y 5. A pesar de existir una alta variación entre las estaciones de las tres ciudades, la densidad poblacional alrededor de los portales en Bogotá es más alta que en los portales

de los sistemas de BRT en Curitiba y Quito. Los resultados de los modelos de regresión logarítmica-lineal indican una fuerte asociación positiva entre la demanda de pasajeros (variable dependiente) y la densidad poblacional para las estaciones sencillas, más que para los portales, en Curitiba. En el caso de Bogotá, los resultados muestran un efecto opuesto al de Curitiba, en donde los portales son los que presentan un coeficiente estadísticamente significativo (coeficiente 0.2521), es decir, una elasticidad

Tabla 4 Estadísticas descriptivas para demanda BRT y variables independientes por ciudad (estaciones sencillas y portales BRT)

Variable y definición	Curitiba (N=87)			Quito (N=55)			Bogotá (N=106)		
	Media (Desv. Est.)	Min	Max	Media (Desv. Est.)	Min	Max	Media (Desv. Est.)	Min	Max
<b>Variable dependiente</b>									
<b>Demanda pasajeros</b>	11,887.62	387	130,310	4,480.69	241	18,688	17,577.54	1,537	105,298
Número de pasajeros que abordan la estación por día	(25,469.07)			(4,330.08)			(19,015.49)		
<b>Ln demanda BRT</b>	7.98	6	12	7.97	5	10	9.34	7	12
Logaritmo natural del número de pasajeros que abordan la estación por día	(1.50)			(0.99)			(0.92)		
<b>Variables independientes</b>									
<b>Densidad poblacional</b>	52.86	1	200	94.13	14	455	158.53	0	583
Población por área de influencia de la estación (personas/hectáreas)	(41.30)			(93.21)			(108.45)		
<b>Ln densidad poblacional</b>	3.66	0	5	4.22	3	6	4.69	-2	6
Logaritmo natural de la población por área	(0.92)			(0.77)			(1.23)		

dad de 0.25 para la relación de interés en este artículo. Estos hallazgos están relacionados con el hecho de que los portales del sistema tipo BRT en Bogotá están localizados en la periferia de la ciudad donde la concentración de población y su densidad tienden a ser altas debido a las dinámicas de crecimiento urbano informal.

Los resultados de los análisis estadísticos, presentados en la tabla 5, para todas las estaciones (sencillas y

portales) de los sistemas BRT para el caso de Curitiba, sugieren que la elasticidad es positiva, donde un aumento que duplique la densidad de población estaría asociado con un incremento del 26% en la demanda de pasajeros a nivel de estación. Los hallazgos para Quito son opuestos, los resultados sugieren que no hay asociación entre el aumento de densidad y el incremento de demanda de BRT. Mientras que, en el caso

Tabla 5 Resultados análisis de regresión modelo log-lineal para demanda de pasajeros, densidad poblacional, centralidad y portales BRT por ciudad (estaciones sencillas y portales BRT)

Variable	Curitiba (N=87)			Quito (N=55)			Bogotá (N=106)		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
<b>Ln densidad poblacional</b>	<b>0.1755</b> (0.1168)	<b>0.1725</b> (0.1206)	<b>0.2616***</b> (0.0684)	<b>-0.3061</b> (0.2433)	<b>-0.3093</b> (0.2475)	<b>-0.3169</b> (0.2128)	<b>0.0611</b> (0.0531)	<b>0.0779</b> (0.0524)	<b>0.0752</b> (0.0447)
<b>Centralidad</b>		<b>-0.0238</b> (0.0404)	<b>-0.0959***</b> (0.0151)		<b>-0.0426</b> (0.0440)	<b>-0.0710*</b> (0.0315)		<b>-0.0302</b> (0.0351)	<b>-0.1138***</b> (0.0275)
<b>Portal</b>			<b>3.6708***</b> (0.1796)			<b>1.7949***</b> (0.1723)			<b>2.5899***</b> (0.1948)
<b>Constante</b>	<b>7.3356***</b> (0.4807)	<b>7.4992***</b> (0.5518)	<b>7.0038***</b> (0.2894)	<b>9.2653***</b> (1.0527)	<b>9.5495***</b> (1.1216)	<b>9.5333***</b> (1.0341)	<b>9.0499***</b> (0.2392)	<b>9.1381***</b> (0.2626)	<b>9.4412***</b> (0.2234)
<b>N</b>	87	87	87	55	55	55	106	106	106
<b>r2</b>	0.0116	0.0155	0.8411	0.0578	0.0808	0.4455	0.0066	0.0183	0.4156
<b>Adj-r2</b>	0.0000	-0.0080	0.8354	0.0400	0.0454	0.4129	-0.0030	-0.0008	0.3984
<b>F</b>	2.2571	1.3211	161.8845	1.5827	1.2297	39.7881	1.3228	1.2896	126.5134
<b>VIF (mean)</b>		1.00	1.03	1.00	1.00	1.02	1.00	1.04	1.18

Errores estándar en paréntesis \* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001  
Modelo completo (M3) test de heterocedasticidad: i) Curitiba:  $\chi^2(1) = 0.68$ , Prob >  $\chi^2 = 0.4091$ ; ii) Quito:  $\chi^2(1) = 0.76$ , Prob >  $\chi^2 = 0.3847$ ; iii) Bogotá  $\chi^2(1) = 1.71$ , Prob >  $\chi^2 = 0.1904$

de Bogotá, sugieren que un aumento que duplique la población en el área de influencia de los portales permitiría esperar un aumento del 25% en número de pasajeros. Sin embargo, cuando se incluyeron todas las estaciones en el modelo de análisis estadístico en Bogotá, no se encontraron asociaciones. En relación con

la variable centralidad, encontramos una asociación negativa entre la demanda de pasajeros y la distancia al centro de mayor actividad en las tres ciudades. Esto confirma el papel clave que juegan las centralidades en los niveles de pasajeros como resultado de la estructura espacial urbana de la ciudad BRT.



#### 4. Discusión

La investigación encontró asociaciones positivas entre la densidad poblacional y la demanda de pasajeros del sistema BRT en el análisis de datos para 72 estaciones en Curitiba con una elasticidad de 0.27. Sin embargo, no encontró ninguna asociación en los análisis de las 48 estaciones sencillas en Quito y las 99 estaciones sencillas en Bogotá. En cuanto a los portales de los sistemas BRT, la investigación encontró una asociación positiva para los 7 portales del sistema en Bogotá, con una elasticidad de 0.25. Este hallazgo puede estar relacionado con algunos cambios alrededor de las áreas servidas por los portales del sistema BRT en Bogotá, aumento que ha sido identificado en estudios que observan el impacto de este tipo de sistemas en los usos del suelo y las densidades (Bocarejo, Portilla, & Pérez, 2012). Aunque el análisis en este artículo ha sido realizado dentro de un área de influencia de 500 metros desde los portales de los sistemas tipo BRT, investigaciones previas también han encontrado impactos en el desarrollo del suelo alrededor de los portales BRT en Bogotá dentro de áreas de influen-

cia sim. (Rodríguez, Vergel-Tovar, & Camargo, 2014; Suzuki, Cervero, & Luchi, 2013). Esto sugiere que las densidades de población podrían haber aumentado alrededor de los portales del sistema BRT, como resultado de la inversión en transporte masivo. Para el caso específico de Bogotá se tiene conocimiento acerca del aumento en las densidades en áreas de influencia de los portales donde existían oportunidades de desarrollo debido a la presencia de suelo vacante (Vergel-Tovar & Camargo, 2019). Por consiguiente, la asociación positiva encontrada en el presente artículo para los portales del sistema BRT en Bogotá puede estar relacionada con la alta concentración de población en áreas de proximidad a los portales del sistema BRT en Bogotá.

La presente investigación también encontró una asociación positiva entre la demanda de pasajeros y la densidad poblacional en el análisis de las 87 estaciones del sistema tipo BRT en Curitiba con una elasticidad de 0.26, después de controlar por distancia al centro de la ciudad y a los portales del sistema. Sin embargo, esta investigación no ha encontrado asociación entre la densidad de población y el número de usuarios de



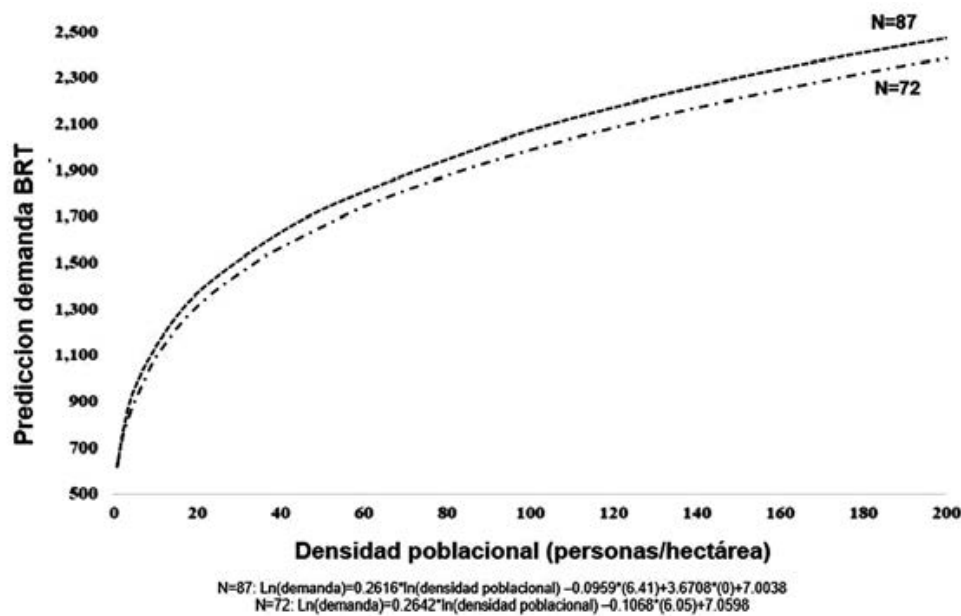


Figura 4 Predicciones demanda BRT y densidad poblacional en Curitiba

BRT en las muestras de 55 y 106 estaciones de BRT en Quito y Bogotá, respectivamente. Los resultados en Curitiba muestran que la densidad de población se asocia positivamente a la cantidad de usuarios de BRT con una elasticidad de 0.26, luego de controlar Centralidad y BRT Terminals (figura 4). Este resultado se acerca al coeficiente de 0.393 encontrado por Cervero y Dai pero con valores a nivel de ciudad en una muestra de 119 ciudades (Cervero y Dai, 2014).

Los resultados sugieren que la relación entre la densidad poblacional y la demanda de pasajeros BRT en Curitiba es la única de las tres ciudades que presenta una asociación similar a las encontradas en estudios

sobre sistemas de transporte masivo sobre rieles. Este resultado puede estar relacionado no solo con la antigüedad del sistema sino también con la política de usos del suelo de Curitiba que ha promovido un aumento de las densidades a lo largo de los corredores. El resultado de la asociación entre densidad poblacional y la demanda de pasajeros para los portales el sistema BRT en Bogotá también se encuentra en niveles similares a los encontrados en los sistemas sobre rieles (ver figura 5). La elasticidad de 0.26 encontrada en Curitiba y la elasticidad de 0.25 encontrada en Bogotá (únicamente para los portales), son cercanas a las encontradas para las estaciones de tren pesado en

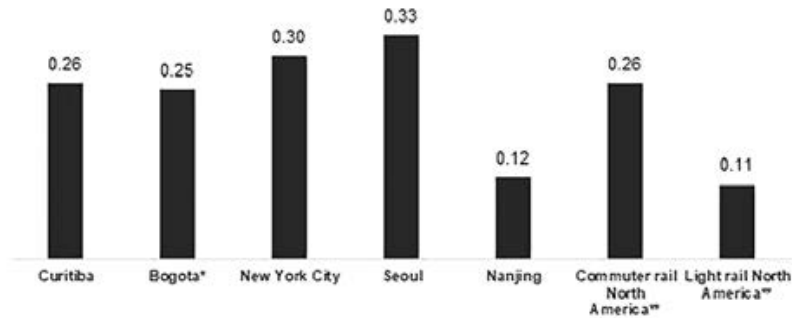


Figura 5 Comparación de elasticidades para densidad poblacional y demanda

Nueva York, (0.30) (Loo et al., 2010) así como para el caso de Seúl (0.33) (H. Sung & J. T. Oh, 2011); pero es más alta que la elasticidad encontrada en el caso de Nanjing (0.15) (Zhao et al., 2013). El hallazgo en Curitiba (0.26) también es similar a las elasticidades encontradas para algunos sistemas de trenes de cercanías en Norte América (0.26) (Lane et al., 2006); pero el hallazgo en Curitiba es más alto que aquella encontrada para algunos sistemas de tren ligero en Norte América (0.140 (Kuby et al., 2004), (0.18) (Lane et al., 2006), y (0.19) (Cervero, 2006). Esto tiene algunas implicaciones políticas. Los hallazgos sugieren que los sistemas tipo BRT concebidos como corredores de alta densidad, como es el caso de Curitiba, o como generadores de nodos de actividad, como es el caso de los portales en Bogotá, concen-

trando la demanda potencial de pasajeros, pueden alcanzar asociaciones similares que los sistemas sobre rieles. Por lo tanto, los resultados de esta investigación permiten recomendar a los tomadores de decisión y planificadores de los sistemas tipo BRT promover políticas de usos del suelo que concentren la demanda de los sistemas a través de un aumento de las densidades en el área de influencia de las estaciones. Sin embargo, los hallazgos en este documento sugieren que hay diferencias entre Curitiba y Bogotá, específicamente entre estaciones sencillas y portales de sus respectivos sistemas de transporte masivo. Efectivamente el factor tiempo incide en esta diferencia, ya que el sistema de transporte de masivo de Curitiba tiene más tiempo en operación. No obstante, cabe resaltar que Curitiba ha implementa-

do por varias décadas una política de uso del suelo que busca concentrar la demanda a lo largo de los corredores mientras que, en el caso de Bogotá, los portales son las áreas en donde se ha observado un impacto más significativo en términos de desarrollo de suelo y concentración de población.

Algunas implicaciones políticas de estos hallazgos están relacionadas con el hecho de que la densidad poblacional es un fuerte predictor de la demanda de pasajeros en los análisis estadísticos para las estaciones sencillas del sistema tipo BRT en Curitiba, pero no para los portales en dicha ciudad. Los hallazgos son opuestos para el caso de Bogotá, donde la densidad poblacional es un fuerte predictor de la demanda de pasajeros en los portales del sistema tipo BRT, pero no se encontró asociación en los análisis de las estaciones sencillas. Por lo tanto, el enfoque del corredor en Curitiba con altas densidades como parte de la forma urbana lineal sugiere que las asociaciones con niveles de pasajeros son fuertes cuando la densidad es homogénea a lo largo de los corredores de los sistemas tipo BRT. Por otra parte, los portales en Bogotá se convirtieron en oportunidades para

el desarrollo de suelo que han incrementado las densidades. Estos portales generan importantes nodos para la red de transporte y concentración de población. Aunque se encontraron asociaciones positivas en los casos de Curitiba y Bogotá, las implicaciones de política de estos hallazgos sugieren que la densidad poblacional no es factor suficiente para alcanzar altos niveles de pasajeros, a nivel de estación, en los sistemas tipo BRT. Como se ha demostrado en otros estudios en América Latina, hay otros factores del espacio construido que influyen en los niveles de demanda tales como la intensidad del desarrollo de suelo, la mezcla de usos, la presencia de equipamientos, espacios públicos de alta calidad y una morfología urbana con alta conectividad (Vergel-Tovar & Rodríguez, 2018).

Una limitación del presente estudio es la definición del área de influencia para el análisis. Aunque en todos los casos el cálculo de la densidad poblacional busca evitar superposiciones con estaciones vecinas, determinar el área de influencia basada en una distancia caminable a cada estación podría ser un nuevo enfoque para implementar en investigaciones futuras.

Dada la proximidad entre las estaciones en los sistemas tipo BRT, en comparación con los sistemas sobre rieles, la definición de áreas de influencia para estudios a nivel de estación para sistemas tipo BRT implica tomar una decisión entre incluir un área más grande con manzanas adicionales, pero enfrentando el reto de la superposición de manzanas con el área de influencia de la siguiente estación; o, capturar un área de influencia menor con el fin de aumentar el tamaño de la muestra para las estaciones que puedan ser parte del procesamiento de datos. Adicionalmente, el tipo de datos agregados al nivel de la estación para el análisis estadístico del aumento o disminución esperado en la demanda de pasajeros en los sistemas tipo BRT sugiere asociaciones positivas o negativas, pero no se puede pretender una relación causal.

## 5. Conclusiones

Los hallazgos han mostrado que la densidad poblacional está asociada con la demanda de pasajeros BRT solo en Curitiba con una elasticidad positiva (0.26). El hallazgo en Curiti-

ba es cercano a los hallazgos de análisis similares para sistemas de metro y trenes de cercanías. La comparación con sistemas ferroviarios sugiere que la estrategia de Curitiba de concentrar densidad poblacional ciertamente contribuye a lograr que el BRT sea más sostenible. Sin embargo, los hallazgos sugieren que ciudades como Quito y Bogotá, que siguiendo a Curitiba en la introducción de sistemas BRT, no han concentrado densidades poblacionales a lo largo de los corredores BRT como una estrategia para concentrar la demanda de transporte. Esto muestra los retos de introducir sistemas BRT en áreas ya urbanizadas y consolidadas en ciudades de rápido crecimiento urbano como Quito y Bogotá, que son ciudades que han implementado este tipo de sistemas de transporte masivo con un enfoque diferente al de Curitiba, una ciudad que ha guiado su crecimiento urbano a lo largo de los corredores BRT.

Basado en los resultados del análisis estadístico, las predicciones con respecto al número de pasajeros para el caso de Curitiba sugieren que los niveles de pasajeros podrían alcanzar máximo 2.500 pasajeros por día (ver figura 4). Lo anterior plantea que la densidad

poblacional podría hacer al BRT más sostenible en términos de alcanzar altos niveles de demanda, pero ciertamente hay otros factores que explican los niveles de pasajeros, especialmente en ciudades como Quito y Bogotá, donde los sistemas BRT fueron implementados en áreas ya urbanizadas. Por ejemplo, poco se sabe acerca de la influencia del espacio construido en la demanda de pasajeros BRT. En Curitiba, los portales BRT han jugado un rol importante para facilitar el cambio entre diferentes modos de transporte, especialmente en cuanto al acceso a los buses alimentadores. En el caso específico de los portales, en algunos casos se han desarrollado equipamientos y generación de espacios públicos con el propósito de convertirlos en lugares de atracción para algunos usuarios. Otras ciudades en Latinoamérica han seguido el mismo enfoque de usar portales BRT como centros que integran diferentes modos de transporte, particularmente a través de la extensión del servicio con buses alimentadores. Esta investigación sugiere que los portales BRT podrían estar asociados al desarrollo de proyectos urbanos caracterizados por elementos DOT como entropía (mezcla de usos del suelo que apoyan al transporte masi-

vo como los usos comerciales, residenciales e institucionales), desarrollos en altura, la presencia de facilidades, y una mezcla de usos de suelo institucional, comercial y residencial.

Otro aspecto importante de esta investigación es la diferencia entre las estaciones sencillas y los portales BRT. La asociación entre la densidad poblacional y los pasajeros BRT es positiva solo para los 7 portales BRT en Bogotá. En contraste a Quito y Curitiba, Bogotá desarrolló portales solo en las periferias (final de los corredores troncales). Esto sugiere que los portales BRT en Curitiba y Quito son puntos de conmutación que reciben muchos usuarios a través de las rutas alimentadoras o transferidos desde otros modos de transporte, mientras que en Bogotá los portales BRT se están convirtiendo en nodos de desarrollo donde la densidad poblacional es uno de los factores que explican los niveles de pasajeros. Esta situación podría plantear incrementos en las densidades de población a futuro como resultado de los desarrollos de suelo alrededor de los portales BRT en Bogotá. Se recomienda adelantar futuras investigaciones observando cambios en el tiempo entre la densidad poblacional y el uso del sistema BRT.



En las tres ciudades, los hallazgos de la investigación mostraron el rol predominante que tienen los portales BRT en la relación entre pasajeros y densidad poblacional. Los portales BRT son importantes dados los beneficios de accesibilidad. No obstante, poco se sabe acerca del comportamiento de viajes de los residentes que viven en la proximidad de los portales de sistemas BRT en comparación con aquellos que viajan tomando primero rutas alimentadoras hacia estos puntos de integración modal. Se recomienda realizar investigación a futuro que analice los comportamientos de viajes en los portales, incluyendo análisis de los cambios en el tiempo en cuanto a las densidades de población como también en las características del entorno urbano construido.

Finalmente, esta investigación sugiere que la densidad poblacional es un predictor relevante de la demanda de pasajeros BRT en Curitiba, así como en los terminales en Bogotá. Considero que no solo es fundamental continuar realizando investigación acerca de la influencia del entorno urbano en esta relación, sino también la realización de estudios sobre la influencia del entorno urbano en el comportamiento

de viajes, incluyendo análisis de carácter longitudinal, que permitan profundizar en los cambios en el tiempo, no solo en Curitiba, sino también en otras ciudades que han implementado sistemas tipo BRT, estudios que podrían proporcionar una mirada más amplia de la influencia de otros atributos en la demanda de pasajeros BRT.

### **Agradecimientos**

Este proyecto de investigación fue patrocinado y recibió apoyo de la beca Lee Schieper Memorial, del World Resources Institute (WRI) y del Instituto de Estudios de las Américas y el Departamento de Planeación Urbana y Regional de la Universidad de Carolina del Norte en Chapel Hill. El autor agradece a las siguientes agencias en Curitiba, Quito y Bogotá por el apoyo brindado en este proyecto: URBS, IP-PUC en Curitiba; EPQ y la Secretaria de Territorio Hábitat y Vivienda STHV en Quito; TRANSMILENIO SA y la Secretaria Distrital de Planeación SDP en Bogotá. También al profesor Daniel A. Rodríguez, a Ramón Muñoz-Raskin, a Sam Zimmerman y Darío Hidalgo y a la traductora Maryfely Rincón.



**ANEXO**

**TABLA 1.** Estudios seleccionados relación entre espacio construido y demanda al nivel de la estación

Ciudad (País)	Autores	Análisis	Datos	Área influencia	Resultados		R-square
					Variables seleccionadas	Elasticidades*	
<b>Sistemas en rieles tipo Metro</b>							
<b>Taipéi (Taiwán)</b>	(Lin, Shin, 2008)	MCO (CS)	N=46	500m	Densidad residencial	0.0017	M1: 0.709 M2: 0.426
					Densidad área construida	8.12 (-08)	
					% comercio/servicios primer nivel	-6.47 (-06) **	
					Variación usos del suelo	-6.10 (-06) **	
<b>New York City (USA) Hong Kong</b>	(Loo, Chen, Chan, 2010)	MCO (CS)	N=80	500m	Área construida comercial y residencial (Hong Kong)	0.01***	M1: 0.74 M2: 0.59 M3: 0.64
					Área de estacionamientos (Hong Kong)	0.02***	
					Tamaño población (NYC)	0.30***	
					Área construida comercial (NYC)	0.00***	
<b>Seúl (Corea)</b>	(Sung, Oh, 2011)	Log-LR (CS)	N=214	500m	Densidad de usos residenciales	0.10***(1)	M1: 0.779 M2: 0.700
					Densidad usos de oficina	0.03***(1)	
					Mezcla usos del suelo	0.15***	
<b>Seúl (Corea)</b>	(Choi, Lee, Kim, et.al., 2012)	Modelo multi-plicativo (CS)	N=251	500m	Población origen	0.33***	M1: 0.769 M2: 0.793 M3: 0.772
Montreal (Canadá)	(Chan, Miranda-Moreno, 2013)	MCO / Log-LR (CS)	N=130	1000m	Población en área de influencia**	0.74***	M1: 0.679 M2: 0.552
					Densidad de hogares	No significativo	
					Área uso comercial (área)	0.52***	
					Área uso institucional (área)	0.67***	
Nanjing (China)	(Zhao, Deng, Song, Zhu, 2013)	MCO (CS)	N=55	800m	Población en área influencia	0.15**	M1: 0.979
					Área oficinas	0.08**	
					#equipamientos educación	0.17**	
					#centros comerciales	0.03**	

Sistemas en rieles livianos (Light-rail transit - LRT)							
11 Áreas metropolitanas (USA, Canadá)	Parsons, Brinkerhoff, et.al., 1996)	Log-LR	N=261	1/2 milla	Densidad poblacional -LRT	0.59***	M1: 0.536 M2: 0.343
		Log-log (CS)	LRT	2 millas ††††	Centralidad - LRT	-0.60***	
					Densidad poblacional - tren de cercanías	0.25***	
9 Áreas metropolitanas (USA)	(Kuby et. al., 2004)	MCO (CS)	N=268	1 ½ milla	Población dentro de distancia caminable	0.11*	M1: 0.727
					Centralidad	-0.95***	
11 Áreas metropolitanas (USA, Canadá)	(Cervero, 2006)	Log-LR (CS)	N=225	1/2 milla	Densidad poblacional†††	0.19**	M1: 0.771
					Centralidad	-0.21**	
11 Áreas metropolitanas (USA, Canadá)	(Lane et.al., 2006)	Log-LR (CS)	N=348	1/4 milla	Ln (Hogar ½ milla) - LRT	0.18***	M1: 0.760 M2: 0.571
				1/2 milla	Ln (población 2 millas) -tren cercanías	0.26***	
				1 milla 2 millas			
Seattle, Portland, & Tacoma (USA)	(Folleta, Vanderkwaak, Grandy, 2013)	MCO (CS)	N=67	1/4 milla	Residencial	NA	M1: 0.78 M2: 0.79 M3: 0.77
					Comercio local	NA	
					Equipamiento educativo	NA	
Bus rapid transit BRT							
Bogotá (Colombia)	(Estupiñan, Rodríguez, 2008)	2SLS (CS)	N=68	250m	Factor entorno construido: Barreras uso vehículos††	0.14**(2)	M1: 0.45
Los Ángeles County (USA)	(Cervero, Murakami, Miller, 2009)	MCO (CS)	N=69	1/2 milla	Densidad poblacional	0.32***	M1: 0.952
Global (119 ciudades)†	(Cervero, Dai, 2014)	Log-LR (CS)	N=119	Nivel ciudad	Densidad poblacional	0.39***	M1: 0.286

Para información más detallada, por favor remitirse a cada estudio

Modelo 1 (M1) Modelo 2 (M2) y Modelo 3 (M3) corresponden a un modelo incluido dentro de cada estudio

MCO=mínimos cuadrados ordinarios / Log-LR=regresión logarítmica lineal.

2SLS=mínimos cuadrados en dos fases / CS=estudio con datos transversales / HK=Hong Kong. / NYC=Ciudad de Nueva York.

\*Las elasticidades fueron calculadas con base en los coeficientes y valores de la media reportados por los autores en sus respectivos artículos, excepto para uno de los estudios sobre Seúl (Choi, Lee, Kim, et al., 2012). Algunas de las elasticidades para los estudios en 11 áreas metropolitanas de Estados Unidos y Canadá (Kuby et al., 2004; Cervero, 2006) fueron obtenidas del artículo "Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis" (Ewing, Cervero, 2010).

\*\*La elasticidad brindada por el autor corresponde a la población en el área de influencia (1000s) no se refiere a la densidad poblacional. La variable sobre densidad de hogares no fue significativa.

(1) Valor de la media ajustado a kilómetros cuadrados.

(2) Supuesto: valor de la media del factor del espacio construido es igual a uno.

†Incluido para el ejercicio comparativo ya que incluye la densidad poblacional como punto de referencia en el análisis para sistemas tipo BRT

†† El factor del entorno construido incluye la densidad poblacional como una de las siete variables que lo conforman

††† Después de controlar por estaciones localizadas en el nodo de mayor actividad

†††† Área de influencia alargada

## Bibliografía

- Bocarejo, J. P., Portilla, I., & Pérez, M. A. (2012). Impact of Transmilenio on density, land use, and land value in Bogotá. *Research in Transportation Economics*(0). doi: 10.1016/j.re-trec.2012.06.030
- Bogota. (2017). *Monografías Localidades Bogota*. Bogota. Cervero. (1998). *The transit metropolis : a global inquiry*. Washington, D.C.: Island Press.
- Cervero. (2006). Alternative Approaches to Modeling the Travel-Demand Impacts of Smart Growth. *Journal of the American Planning Association*, 72(3), 285-295. doi: 10.1080/01944360608976751
- Cervero,& Dai. (2014). BRT TOD: Leveraging transit oriented development with bus rapid transit investments. *Transport Policy*, 36(0), 127-138. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.08.001>
- Cervero, Murakami, & Miller. (2009). Direct ridership model of Bus Rapid Transit in Los Angeles County. UC Berkeley Center for Future Urban Transport.
- 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. doi: 10.1007/s11116-011-9368-3
- 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. doi: 10.1016/j.tra.2007.10.006
- Foletta, Vanderkwaak, & Grandy. (2013). Factors That Influence Urban Streetcar Ridership in the United States. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2353, 92-99.
- Galicia, L. D., & Cheu, R. L. (2013). Geographic information system-system dynamics procedure for bus rapid transit ridership estimation. *Journal of Advanced Transportation*, 47(3), 266-280. doi: 10.1002/atr.1188
- IBGE. (2010). *Cidades Panorama*, from <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/curitiba/panorama>
- INEC. (2012). *Censo Poblacion*. In E. Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC (Ed.). Quito.
- 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. doi: 10.1016/j.tra.2003.10.006
- Lane, C., DiCarlantonio, M., & Usvyat, L. (2006). *Sketch Models to Forecast Commuter and Light Rail Ridership: Update to TCRP Report 16*. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 198-210.
- Lin, J. J., & Shin, T. Y. (2008). Does Transit-Oriented Development Affect Metro Ridership? Evidence from Taipei, Taiwan. *Transportation Research Record*(2063), 149-158. doi: 10.3141/2063-18
- 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. doi: 10.1016/j.landurbplan.2010.06.002
- Parsons Brinckerhoff Quade & Douglas, I., Cervero, Howard/Stein-Hudson Associates, & Zupan. (1996). *Commuter and Light Rail Transit Corridors: The Land Use Connection* Transit Cooperative Research Program TCRP. Washington DC: Transportation Research Board TRB.
- Rodriguez, D., Vergel-Tovar, C., & Camargo, W. (2014). *BRT-oriented development in Quito and Bogota* Lincoln Institute of Land Policy.
- Sung, H., & Oh, J.-T. (2011). Transit-oriented development in a high-density city: Identifying its association with transit ridership in Seoul, Korea. *Cities*, 28(1), 70-82. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2010.09.004>
- Sung, H., & Oh, J. T. (2011). Transit-oriented development in a high-density city: Identifying its association with transit ridership in Seoul, Korea. *Cities*, 28(1), 70-82. doi: 10.1016/j.cities.2010.09.004
- Suzuki, H., Cervero, R., & Luchi, K. (2013). *Transforming Cities with Transit: Transit and Land-Use Integration for Sustainable Urban Development* Urban Development. Washington DC: The World Bank.
- Upchurch, C., & Kuby, M. (2014). Evaluating light rail sketch planning: actual versus predicted station boardings in Phoenix. *Transportation*, 41(1), 173-192. doi: 10.1007/s11116-013-9499-9
- Vergel-Tovar, C. E., & Camargo, W. (2019). *Urban development impacts of bus rapid transit in Colombia: challenges and opportunities* Developing Bus Rapid Transit: The Value of BRT in Urban Spaces. UK: Edward Elgar Publishing.
- Vergel-Tovar, C. E., & Rodriguez, D. A. (2018). The ridership performance of the built environment for BRT systems: Evidence from Latin America. *Journal of Transport Geography*, 73, 172-184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.06.018>
- Wright, L. (2011). Bus rapid transit: a review of recent advances. In H. T. Dimitriou & R. A. Gakenheimer (Eds.), *Urban transport in the developing world: a handbook of policy and practice*. Cheltenham, UK; Northampton, MA: Edward Elgar.
- Zhao, J. B., Deng, W., Song, Y., & Zhu, Y. R. (2013). What influences Metro station ridership in China? Insights from Nanjing. *Cities*, 35, 114-124. doi: 10.1016/j.cities.2013.07.002