



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO DE ECONOMÍA
MAESTRÍA EN ECONOMÍA

EVALUACIÓN DEL SISTEMA BUS RAPID TRANSIT DE
LA CIUDAD DE MÉXICO MEDIANTE LA METODOLOGÍA
ANÁLISIS COSTO-EFECTIVIDAD

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN ECONOMÍA

PRESENTA
LIC. JAIR RODRIGO MUÑOZ SOTO

TUTOR PRINCIPAL:
DR. ROBERTO RAMÍREZ HERNÁNDEZ
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS

CIUDAD UNIVERSITARIA, CIUDAD DE MÉXICO, MAYO 2023



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos y dedicatoria:

Agradezco a la vida por permitirme estar en el tiempo y espacio exacto y coincidir con mis padres, Laura y Juan, mi hermana, así como mis maestros y amigos.

Sin ellos este trabajo no hubiera sido lo que es.

Te lo dedico a ti, mi motor y mi fortaleza.

A ti, mi once-once.

<i>Agradecimientos y dedicatoria:</i>	1
EVALUACIÓN DEL SISTEMA BUS RAPID TRANSIT DE LA CIUDAD DE MÉXICO MEDIANTE LA METODOLOGÍA ANÁLISIS COSTO-EFECTIVIDAD (2005-2018).....	3
INTRODUCCIÓN GENERAL	3
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES	4
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	23
2.1 Economías de aglomeración y su impacto en el transporte urbano.....	23
2.2 Teorías de Movilidad urbana. Un enfoque desde Latinoamérica.....	27
2.3 Transporte Público Urbano. El sistema <i>BRT</i> en América Latina.....	35
CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO	40
3.1 Metodología Análisis Costo-Efectividad	40
3.2 Modelos de datos panel.....	46
3.2.1 Modelo de efectos comunes	50
3.2.2 Modelo de efectos aleatorios.....	53
3.2.3 Modelo de efectos fijos	55
CAPÍTULO 4. EVIDENCIA EMPÍRICA.....	56
4.1 Descripción y definición de las variables	56
4.2 Aplicación de la Metodología Análisis Costo-Efectividad	63
CAPÍTULO 5. EXPLICACIÓN DEL MODELO	75
5.1 Modelo de regresión agrupada (efectos comunes o <i>Pooled OLS</i>)	80
5.2 Modelo de efectos aleatorios (<i>random effects</i>)	83
5.3 Modelo de efectos fijos (<i>fixed effects</i>)	84
CONCLUSIONES.....	96
ANEXOS	101
Anexo 1. Costo-Efectividad Medio (anual)	101
Anexo 2. Costo Efectividad Incremental (Nueva Línea).....	101
Anexo 3. Datos empleados para los modelos de regresión	102
Anexo 4. Test de hipótesis.....	104
Anexo 5. Detalle estimación de coeficientes (efectos comunes, aleatorios y fijos) ...	110
Anexo 6. Comparación entre efectividad observada y paramétrica.....	113
Índice de ilustraciones, tablas y ecuaciones	115
Bibliografía.....	116

EVALUACIÓN DEL SISTEMA *BUS RAPID TRANSIT* DE LA CIUDAD DE MÉXICO MEDIANTE LA METODOLOGÍA ANÁLISIS COSTO-EFECTIVIDAD (2005-2018)

INTRODUCCIÓN GENERAL

El presente trabajo aborda la evolución de la efectividad y los costos del Metrobús, un sistema de transporte que recorre la Ciudad de México y su periferia, en el periodo 2005-2018. El análisis de este sistema de transporte en particular resulta pertinente ya que la problemática del tránsito y demás conflictos y caos viales y de movilidad han ido incrementándose de manera paulatina con el pasar desde finales del siglo XX hasta nuestros días.

Este sistema de transporte opera, al momento del presente análisis, con siete de las diez rutas contempladas inicialmente en el plan. Es por lo que este análisis coadyuva a dimensionar los beneficios sociales de movilidad presentes y futuros de la puesta en marcha de las rutas actuales y las faltantes.

En este sentido, el trabajo se comprende de los antecedentes que dieron pie a la puesta en marcha de este tipo de sistemas de transporte en Latinoamérica y, particularmente, en la Ciudad de México.

Posteriormente, se presentan tanto el marco teórico (economías de aglomeración, movilidad y transporte urbanos) como el metodológico (análisis Costo-Efectividad y modelos de datos panel desbalanceados).

Mediante la metodología análisis Costo-Efectividad se escudriñan los elementos que permiten observar la evolución del sistema y la magnitud de los beneficios sociales. Adicionalmente, mediante el modelo de datos panel se estudian los factores que permiten incrementar la efectividad del sistema, factores como los recursos y la capacidad instalados.

Finalmente, se presentan tanto la contribución como las conclusiones.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

Es evidente el reconocimiento que han ganado los sistemas de Autobuses de Tránsito Rápido (BRT, por sus siglas en inglés) a través del tiempo por ser una alternativa efectiva en materia de transporte masivo urbano de alta calidad. Su popularidad ha ido en aumento en los años recientes demostrando su éxito y evolución desde los años sesenta en la ciudad de Curitiba, Brasil, considerada la precursora de este tipo de sistemas BRT.

Resulta lógico que, dadas las consecuencias de un mayor tráfico vehicular con el pasar del tiempo, se optó por alternativas cada vez más eficaces de transporte y traslado. Las consecuencias evidentes de un mayor tráfico vehicular son la congestión, demoras y aumentos en los tiempos de traslado, accidentes y problemas ambientales, fenómenos causados por la facilidad creciente de acceso a automóviles. Las causas de la congestión están relacionadas con "... la facilidad creciente de acceso a automóviles, fruto del aumento del poder adquisitivo de las clases socioeconómicas de medianos ingresos; el mayor acceso al crédito; la reducción del número de habitantes por hogar; y la escasa aplicación de políticas estructuradas en el área de transporte urbano" (Thomson y Bull, 2001). Una peculiaridad de la congestión vehicular es que no sólo afecta a los propietarios de automóviles particulares sino también a usuarios de transporte público ya que ambos tipos de usuarios de transporte coexisten y ocupan los mismos espacios para sus desplazamientos.

El problema se desarrolla principalmente por el uso excesivo de automóviles particulares, ya que su uso se ha extendido y popularizado en América Latina desde la última década del siglo XX. Sin embargo, en la congestión también influyen otros factores (Thomson y Bull, 2001):

- La insuficiente calidad de los autobuses de transporte público.
- Los altos coeficientes de ocupación de los autobuses en hora pico.
- La sensación de inseguridad ante formas temerarias de conducir de algunos operadores de autobuses.

- La posibilidad real o supuesta de ser víctima de la delincuencia a bordo de vehículos de transporte público.

De acuerdo con Thomson y Bull (2001), la actividad de transporte consume aproximadamente el 3.5 por ciento del Producto Interno Bruto en las ciudades de más de cien mil habitantes de países de América Latina y el Caribe, que implica que los recursos destinados a esta actividad se consideren importantes.

Por otro lado, debido a que la demanda de tanto de transporte público como particular se incrementa a tasas mayores que la oferta vial –que permanece casi constante–, es de esperarse que los tiempos de traslado y de viaje sean más largos desde hace unos años y en un futuro. Este problema es generalizado en las redes viales de ciudades de América Latina que están operando, en el mejor de los casos, a su máxima capacidad. Las implicaciones de ello son congestionamientos cada vez más marcados y sensibles a aumentos marginales de flujos automotrices.

Las consecuencias de la congestión vial no solamente implica mayores costos económicos, sino otro tipo de afectaciones que merman las condiciones de vida urbana como la contaminación ambiental y auditiva, así como la irritabilidad causada por la pérdida de tiempo y el aumento del estrés. Condiciones que afectan, principalmente, la salud de los ciudadanos y, secundariamente, la economía. Como mencionan Thomson y Bull (2001), estas consecuencias de la congestión resultan difíciles de cuantificar, pero no deben dejar de ser considerados porque implican agravantes de una situación sensible.

Dejando de lado los efectos negativos a la salud y para simplificar el análisis del presente estudio, es necesario mencionar los efectos directos de la congestión vehicular en términos económicos: mayores tiempos de traslado y mayores costos operacionales de los vehículos. Es evidente que la congestión y su inherente aumento de los tiempos de traslado no es un problema que afecta únicamente a los propietarios de automóviles particulares [los principales causantes] sino a aquellas personas que habitúan realizar viajes y desplazarse en transporte público (los principales afectados) ya que también comparten las vialidades con los

primeros. A pesar de ello, el problema se minimiza porque, de acuerdo con Thomson y Bull (2001), los ingresos de los usuarios de transporte público resulta mucho menor comparado con el de aquellos que se desplazan en automóvil particular y, por ende, su impacto social resulta menos considerable y visible. En otras palabras, la problemática que se genera por el exceso de automóviles particulares en las vialidades se ve opacada gracias a que los principales afectados –dadas sus limitaciones de movilidad y transporte– no poseen el contrapeso social y económico suficiente para exigir que se mejore y/o revierta esta situación.

El tema se vuelve relevante debido a la nueva dinámica económica surgida en los años noventa con la mejora del poder adquisitivo de las familias de ingresos medios que generó un mayor acceso a la adquisición de vehículos automotores acompañado de otros fenómenos económicos como el crecimiento poblacional y el cambio de la estructura familiar, aumento de la demanda de suelo urbano y nuevos tipos de vivienda, aunado a la falta de políticas estructuradas en cuestión de transporte urbano, llegando así a saturación de las vías de comunicación al presentarse un exceso de demanda de este tipo de espacios. Las consecuencias lógicas de esta situación son los accidentes, el aumento de los tiempos de traslado y el exceso en el consumo de combustible y sus inherentes consecuencias; si se valora en términos de Producto Interno Bruto, llega a representar hasta el 3.5 por ciento de éste (Thomson y Bull, 2001).

En la práctica, las ciudades latinoamericanas han implementado simultáneamente dos tipos de soluciones: ampliación de la capacidad vial automovilística, contruyendo y/o ampliando avenidas y autopistas; y ampliación y/o mejora de sistemas de transporte masivo, incluyendo los sistemas BRT. Este tipo de sistemas se consideran esenciales debido a que facilitan la racionalización del espacio vial urbano al reservar carriles de circulación (o confinados) a lo largo de ejes troncales, desasolvando de manera inmediata la congestión (Romero y Lugo-Morín, 2018). Los principales impactos de los sistemas BRT es la eficiencia del transporte público en términos de espacio urbano ya que este tipo de sistema

pueden movilizar hasta 160 pasajeros, mismos que demandarían infraestructura vial para 114 automóviles, considerando que un vehículo transporta 1.4 personas. Por otro lado, genera un mayor acceso a la movilidad urbana de sectores sociales con diversas limitaciones de ingresos, género, edad y discapacidad. Además de generar mejoras en la prevención de delitos contra la vida y propiedad debido a los mecanismos centralizados de control (Lupano y Sánchez, 2009). Es por ello que una ciudad cuyo transporte eficiente funcione en un sistema integrado tiene mejores probabilidades de prosperar como centros de comercio, industria, educación, turismo y servicios de acuerdo con Pardo (2010).

Delgadillo (2014) asume que diversas ciudades en las últimas décadas han implementado políticas públicas, programas urbanos y otras “recetas” similares entre sí. Dentro de esta batería de políticas y programas encontramos “la introducción de carriles confinados para el uso de bicicletas y transporte colectivo rápido (BRT)”. En este sentido, Delgadillo propone la promoción desde un sentido crítico de buenas políticas adaptadas a las condiciones locales que coadyuven a la solución de problemas específicos. Por ello, se enuncian diversas experiencias desarrolladas en una determinada ciudad adaptadas a otras tantas bajo un esquema de aprendizaje mutuo. Tal es el caso de los sistemas BRT, el cual fue ideado en Curitiba, Brasil, y se ha adaptado a diversas ciudades latinoamericanas: Quito, Bogotá, Ciudad de México, Buenos Aires, por mencionar algunas.

Parte del éxito de este tipo de sistemas de transporte público se debe a los relativamente bajos costos (tanto de implementación como puesta en marcha) que representa respecto a otro tipo de transportes que, por sus características, se llegan a considerar equiparables. Tal es el caso de sistemas de transporte urbano como trenes ligeros y metros. Para el primer caso, los costos del sistema BRT tienden a ser entre 4 y 20 veces menores, mientras que para el segundo oscilan entre 10 y 100 veces menos costosos (Wright y Hook, 2010).

Autores como Wright y Hook (2010) y Piccirillo (2012) señalan que existen dos sistemas BRT particulares que, por sus características¹, se consideran ejemplares a lo largo del mundo: la Rede Integrada de Transporte (RIT, en adelante), localizada en Curitiba, Brasil y el Transmilenio de Bogotá, Colombia. Sin embargo, este tipo de sistemas se han implementado desde hace ya algunos años, tanto en ciudades de países subdesarrollados como desarrollados, en más de 40 ciudades dentro de las que destacan Beijin, Yakarta, Nagoya, Seúl, París, Amsterdam, Leeds, Essen, Santiago, Quito, Ottawa, Boston, Sidney y, por supuesto, Ciudad de México. También existen ciudades que tienen sistemas BRT en proceso de construcción y otras tantas en proceso de planificación. Dicho de otro modo, la tendencia a escala mundial sigue siendo la planificación, implementación y puesta en marcha de este tipo de sistemas en, al menos, los próximos años.

Por otro lado, comenzaron a implementarse diversos sistemas BRT en Latinoamérica –además de los ya mencionados casos emblemáticos de Curitiba y Bogotá– el caso del BRT puesto en marcha en 1995 en la ciudad de Quito, Ecuador; además de una serie de casos similares en Latinoamérica como el sistema “Interligado” de São Paulo en Brasil inaugurado en 2003; el Metrobús de la ciudad de Buenos Aires, Argentina, inaugurado en 2011; el Metrobús en el entonces Distrito Federal –ahora Ciudad de México– en 2005, por mencionar algunos.

Ambos sistemas icónicos de Latinoamérica, tanto el RIT como el Transmilenio, comparten características similares, que son consideradas alta calidad de servicio y de tal suerte que han sido casos de estudio en diversos países, por ejemplo, Estados Unidos. Además de que diversas fuentes y literatura reconocen a estos casos como emblemáticos dadas sus características en términos de calidad y vanguardia (Piccirillo, 2012), (Institute for Transportation and Development Policy, 2010) y (López, 2018).

¹ De acuerdo con Wright y Hook (2010) los elementos característicos de los sistemas BRT incluyen infraestructura de alta calidad, operaciones eficientes, un negocio y acuerdos institucionales efectivos y transparentes, tecnología sofisticada y excelencia en mercadeo y servicio al cliente/usuario.

El BRT de Curitiba inició su planeación en 1972, comenzó a construirse en 1973 y se inauguró en 1974 y, si bien es cierto que existieron casos similares en Europa – Reino Unido–, es el caso sui géneris debido a que la operación de los sistemas BRT a nivel internacional maduraron a partir de la implementación de este particular sistema; incluso su desarrollo, mejora e innovación ha continuado durante más de 40 años. Este sistema cuenta con un innovador tipo de corredor denominado sistema trinario, caracterizado por tres corredores principales: el central, de doble sentido enfocado al tránsito exclusivo del sistema BRT; dos corredores, uno en cada costado cuyo flujo es opuesto entre sí, destinado al tránsito mixto; y dos carriles adyacentes a los de tránsito mixto, mismo que funcionan como vías rápidas y cuyo flujo vehicular es el mismo que los anteriores.

Posteriormente, en 1979 se crearon líneas inter-barrios cuya función es complementar el servicio de las líneas principales, permitiendo el transbordo entre éstas. Ya para 1991, se crean líneas directas que funcionan como líneas exprés, que contaban con accesos a los autobuses de nivel mediante estaciones elevadas; un año más tarde –en 1992– se incorporan los autobuses biarticulados y para 1996 la empresa concesionada controla ya toda la zona metropolitana, situación que permitió consolidar las líneas de la RIT.

El BRT de Curitiba surge de la necesidad de implementar un sistema de transporte público sobre rieles; sin embargo, dadas la falta de presupuesto debido a la crisis mundial petrolera que surge en la década de los setenta, se optó por buscar una alternativa menos costosa, pero, al mismo tiempo, con la calidad que utilizarían otras tecnologías de vanguardia.

En la actualidad, el sistema cuenta con estaciones modernas “entubado”, así como con autobuses biarticulados que tienen la capacidad de transportar hasta 270 personas. Actualmente cuenta con seis corredores provenientes del centro de la ciudad. En 2005, el sistema contaba con una extensión total de 57 kilómetros de carriles exclusivos y 340 de servicios de alimentación.

Situación similar ocurrió en Bogotá, Colombia, con la implementación del sistema BRT Transmilenio. Si bien es cierto, como se menciona anteriormente, los

sistemas BRT ya tenían cierta popularidad en ciudades pequeñas y medianas – como en el caso de Curitiba– no fue sino hasta la década de los noventa cuando inició el auge a nivel mundial en ciudades más grandes. Al ser Bogotá una ciudad grande y relativamente densa (de aproximadamente 7 millones de habitantes y con 240 habitantes por hectárea), el éxito del Transmilenio demostró ser capaz de cubrir demandas de ciudades grandes alrededor del mundo (Institute for Transportation and Development Policy, 2010).

Este sistema se inauguró en diciembre del año 2000 y seis años más tarde éste ya contaba con 84 kilómetros de corredores troncales y 420 kilómetros de rutas de alimentación, transportando a más de 1.2 millones de viajes-pasajeros diariamente. De la misma manera, se estimó que para 2015, el sistema contaría con cinco millones de viajes-pasajero al día alimentados por una red de 380 kilómetros.

Aunque, adicionalmente se han implementado diversas medidas complementarias como la creación de 300 kilómetros de nuevas ciclo-rutas, mejoras de espacios para peatones, así como espacios públicos; así como medidas ulteriores como el cierre de 120 kilómetros de calles los domingos y el día sin automóvil más grande del mundo.

El éxito de ambos sistemas BRT son considerados ejemplos catalíticos influyendo en un sinfín de sistemas similares a lo largo del mundo, debiendo éstos “... parte considerable de su <>herencia</> a estas dos ciudades” (Institute for Transportation and Development Policy, 2010).

Desde principios del presente siglo, la Ciudad de México –en aquel entonces llamada Distrito Federal– ya presentaba atisbos de los problemas generados por la ineficiencia del transporte público y privado que imperaba en ese entonces (Gobierno del Distrito Federal, 2002). Acorde con normas internacionales, el Distrito Federal contaba ya con déficits en términos de vialidades provocados por las características topográficas, el crecimiento de asentamientos humanos y por su acelerada conformación como polo generador de viajes. Las vialidades primarias (vialidades que tienen como fin facilitar el tránsito vehicular entre

distintos puntos de la ciudad pudiendo ser o no controladas por semáforos) así como las secundarias (cuya finalidad es permitir el acceso a predios y facultar el flujo vehicular no continuo) eran ya consideradas insuficientes, representando entre el 16% y 19% de la superficie urbana siendo que las recomendaciones internacionales indican que la proporción adecuada es del 25%.

Ambos tipos de vialidades presentan sus respectivas problemáticas para el caso de la Ciudad de México. Por un lado, las vialidades primarias presentan velocidades promedio de circulación que fluctúa entre los 13 y 20 km/hr, sólo un 15% de las vías de acceso controlado presentan velocidades por encima de los 30 km/hr. Asimismo, el alto número de vehículos ha generado que, en horarios pico, las velocidades lleguen a disminuir hasta los 6 km/hr. Por otro lado, las vialidades secundarias presentan problemas de invasión: privatización de las calles, colocación de reductores de velocidad o topes, comerciantes ambulantes y mercados sobre ruedas, maniobras de carga y descarga de mercancías del pequeño comercio sin horario establecido, estacionamiento en vía pública, localización de bases y sitios de servicio público (Gobierno del Distrito Federal, 2002). Además, la media de tiempos de traslado en las zonas metropolitanas es de 57.1 minutos, mientras que la media nacional es 13.5 minutos menor, es decir 43.6 minutos (Aguirre, 2017).

El diagnóstico realizado en 2002 y publicado en la Gaceta Oficial del entonces Distrito Federal, señalaba en su Plan Integral de Transporte y Vialidades “... *discrepancias, desequilibrios e insuficiencias entre la capacidad del sistema de movilidad y la demanda de viajes y servicios de transporte*”. Tales discrepancias, desequilibrios e insuficiencias abarcaban diversos ámbitos. Primero, el crecimiento desmedido de la población había incapacitado al marco jurídico para cubrir los requerimientos de los habitantes en materia de transporte y vialidad. Después, la fragmentación de la estructura organizacional de las distintas dependencias relacionadas con el transporte y la vialidad, dificultaron la coordinación para un mejor desempeño de estas, además de generar duplicidad de funciones y/o ausencia de autoridad y carencias en la aplicación de la ley. Además, se

identificaron problemas relacionados con la infraestructura vial, los sistemas de transporte y de apoyo y control, tales como congestionamientos², ineficiencias y desarticulación de la red vial y el transporte público y privado, excesos en los tiempos de accesos y traslados, contaminación, transporte de carga, entre otros. Por otro lado, se identificaron problemas con los sistemas de apoyo y control, relacionados con aquello que coadyuva a regular la utilización de los recursos como la seguridad en la red vial, los agentes de tránsito, la [falta de] señalización, educación y cultura vial, por mencionar algunas.

En aquellos años, una alternativa para mejorar la movilidad fue la optimización del uso de las redes viales mediante el ordenamiento de flujos de tránsito, así como del diseño y la habilitación de corredores viales, buscando como una de sus prioridades un mejor equilibrio entre la oferta y la demanda en los corredores seleccionados, además de reducir los tiempos de recorrido de los usuarios, los congestionamientos viales y la contaminación asociada a la sobreoferta de vehículos. Los mencionados corredores de transporte se planearon construir de carriles confinados exclusivos para autobuses que operarían con reglas específicas para su uso, con programas y controles de servicio adecuados al comportamiento y horario de la demanda, y con el equipamiento necesario para asegurar su operación eficiente, además de la construcción de estaciones de transferencia en los extremos del corredor y de paradas en puntos seleccionados de la vialidad. Estos corredores, originalmente llamados Corredores Estratégicos de Transporte, fueron planeados para el periodo de 2002 a 2006 contando con infraestructura y equipamiento preferencial para las unidades en servicio (Gobierno del Distrito Federal, 2002). No fue sino hasta 2002 cuando la Secretaría de Transportes y Vialidades (SETRAVI) en conjunto con el Sistema de Transporte Colectivo-Metro (Metro, en adelante), la Red de Transporte de Pasajeros (RTP, en

² Anillo Periférico, Circuito Interior y Viaducto Miguel Alemán (vías de acceso controlado); Línea 1 Pantitlán-Observatorio, Línea 2 Taxqueña-Cuatro Caminos, Línea 3 Indios Verdes-CU (líneas del metro); Autopista México-Pachuca, Autopista México-Puebla, Autopista México-Cuernavaca, Autopista México-Toluca, Autopista México-Querétaro (accesos urbano-regionales); Pantitlán, Indios Verdes, Taxqueña, Chapultepec, Cuatro Caminos (Centros de Transferencia Modal de alta afluencia); Oriente TAPO, Sur Taxqueña, Poniente Observatorio, Norte (Terminales Foráneas de Pasajeros).

adelante) y el Sistema de Transportes Eléctricos (STE, en adelante) desarrollaron estudios de planeación con la finalidad de reestructurar el esquema de rutas actual, con los que se identifica la necesidad de nuevos servicios con el fin de evitar sobreposición de rutas. Ello con la finalidad de considerar incorporar a las rutas en el proyecto de corredores estratégicos de transporte, y se apoye en el Metro para mejorar la captación del sistema (Gobierno del Distrito Federal, 2002).

Los principales propósitos de los corredores, de acuerdo con el Gobierno del Distrito Federal (2002), fueron separar los flujos de vehículos particulares de los servicios de transporte público mediante la construcción de la infraestructura necesaria que permita una operación más ordenada, además de ofrecer una nueva alternativa en asociación con el sector privado.

No fue sino hasta 2005 cuando se materializaron los Corredores Estratégicos de Transporte iniciando las operaciones de la Ruta 1 del Metrobús sobre la Avenida Insurgentes, bajo un esquema de coparticipación entre el entonces Gobierno del Distrito Federal y exconcesionarios que prestaban servicios en ese corredor, mismos que se constituyeron como empresa de transporte. Adicionalmente, se iniciaron estudios para otras líneas que servirán en esos corredores (Secretaría de Transportes y Vialidad, 2010). Este sistema constituye una alternativa de asociación público-privada, creada por decreto publicado en la Gaceta Oficial del Gobierno del Distrito Federal el 9 de marzo de 2005, como organismo público descentralizado de la administración pública del entonces Distrito Federal, sectorizado en la Secretaría de Transportes y Vialidad, misma que posteriormente fue sustituida por la Secretaría de Movilidad. Sus principales características son la operación regulada, carriles reservados para el transporte público; vehículos de mayor capacidad; infraestructura para el servicio (estaciones, carriles, terminales, talleres, encierros, etc.); recaudo centralizado (mediante tarjetas de prepago); operadores con organización empresarial; e integración de subredes locales.

La primera línea del Metrobús inicialmente corría un tramo de 19.7 kilómetros desde Indios Verdes hasta la intersección con Eje 10 Sur, contaba con 80 autobuses articulados, desplazando así más de 260 microbuses y 90 autobuses

con tecnologías obsoletas. Esto significó un cambio modal positivo generando que 15 por ciento de los usuarios que preferían usar el automóvil particular optaran por utilizar el Metrobús, de acuerdo con la Secretaría de Transportes y Vialidad (2010).

Así, la Estrategia General contemplada en el Programa Integral de Transportes y Vialidades 2007-2012 mencionaba la implementación de 10 líneas totales en el Metrobús, contando con un total de 225 kilómetros en total al terminar el gobierno del entonces Distrito Federal en curso³. Sin embargo, hasta el primero de abril de 2012 – fecha en la que se inaugura la Línea 4 del Metrobús – el sistema contaba con únicamente 95 kilómetros.

Adicionalmente, con la implementación de líneas adicionales del Metrobús, se han reducido los viajes en automóvil particular debido a que muchos automovilistas han preferido cambiar de modo de transporte hacia este tipo de transporte. Con la implementación de las dos primeras líneas del Metrobús, por ejemplo, se redujeron más de 22 mil viajes en auto por día, lo que representa un 6 por ciento de personas que utilizaban automóvil y que optaron por desplazarse en Metrobús (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2014).

Entre otros beneficios, también se encuentra el reemplazo de transporte colectivo obsoleto ya que su rapidez de traslado debido al carril confinado así como su bajo costo y rapidez de implementación, limpieza ambiental, ordenamiento de circulación y de espacio público y aprovechamiento de las capacidades ha generado que este tipo de sistemas sea más atractivo para un amplio grueso de la población.

Aun cuando los problemas de movilidad se han ido agravando hasta la actualidad de tal suerte que, de acuerdo con la Gaceta Oficial del Distrito Federal (2014), la mayoría de los viajes que se realizan día a día no se hacen a pie o en transportes limpios (como bicicletas o el sistema BRT), ya que para este año (2014) únicamente se contaba con una superficie de carriles confinados de

³ En ese entonces el jefe de Gobierno del Distrito Federal fue Marcelo Ebrard Casaubón

aproximadamente de 161.9 kilómetros, de 121.26 kilómetros para ciclovías y únicamente 3.27 kilómetros de calles peatonales que cuentan con estándares de accesibilidad y seguridad.

En gran medida, la problemática se debió a la falta de infraestructura funcional así como a la falta de condiciones de seguridad que garanticen la integridad de los usuarios con la finalidad de evitar accidentes de tránsito, atropellamientos y otros problemas no directamente relacionados con éstos como los asaltos. En su momento, la estrategia del Gobierno Federal fue la de mejorar tanto las vialidades primarias como las secundarias garantizando la movilidad de las personas usuarias con criterios de diseño universal y seguridad vial; incorporando sistemas de transporte público colectivo e inclusión peatonal y ciclista y; reestructurando y consolidando la ciudad a través de intervención de imagen y cambios en la norma urbana (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2014).

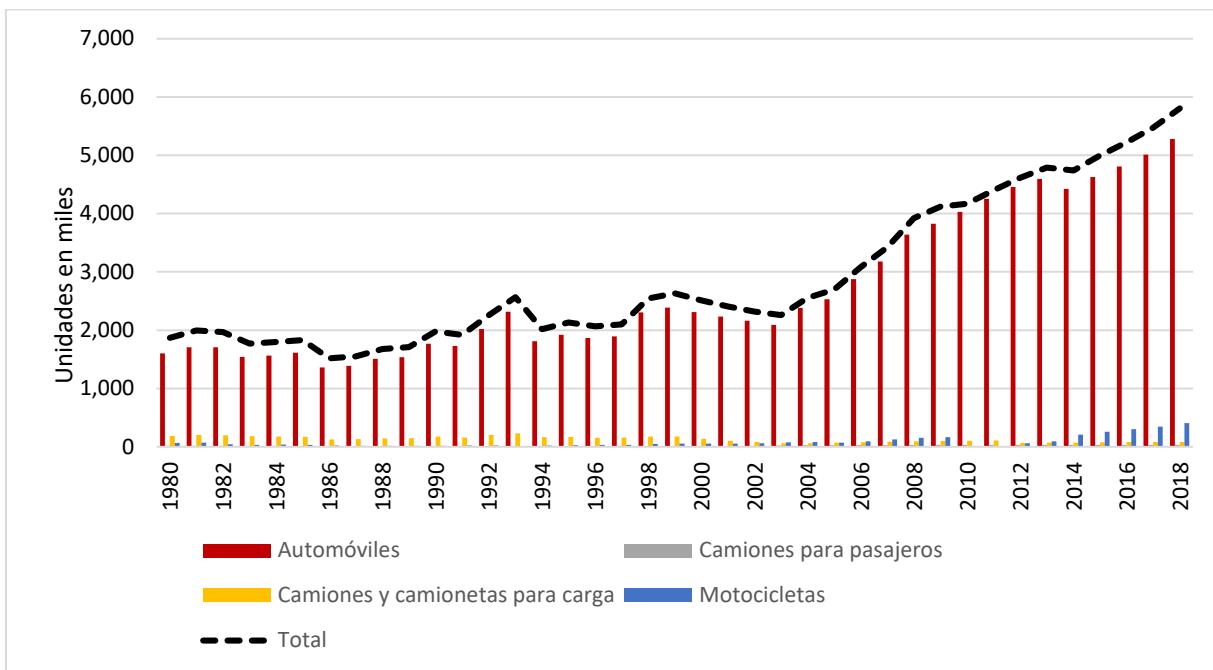
Dentro de esa estrategia se buscó incentivar la movilidad eficiente de las personas disminuyendo el uso del automóvil particular subocupado e incrementando el uso de vehículos compartidos, modos no motorizados y transportes limpios o amigables con el medio ambiente.

No obstante, el uso indiscriminado del automóvil ha ido paulatinamente en aumento de tal suerte que en 1990 los vehículos automotores registrados en el entonces Distrito Federal ascendieron a 1.98 millones de unidades⁴, un aumento del 16 por ciento respecto del año anterior. El 89 por ciento de la flota vehicular (1.77 millones de vehículos) eran automóviles y únicamente el uno por ciento, camiones para pasajeros (0.01 millones de unidades). El diez por ciento restante se reparte entre camiones y camionetas de carga y motocicletas. En la siguiente Ilustración 1. Evolución del parque vehicular en la CDMX, se aprecia cómo ha evolucionado históricamente el parque vehicular en la Ciudad de México, resaltando que la tendencia del mismo ha sido, en la mayor parte del periodo, ascendente. Empero, apartir de 2004 la tendencia ha sido todavía más marcada

⁴ Clasificándose como automóviles, camiones para pasajeros, camiones y camionetas para carga y motocicletas

que los años previos, pasando de 2.26 a 2.56 millones de unidades respecto a 2003, lo que representó un aumento de 13 por ciento del parque vehicular, y un incremento de casi el 30 por ciento del mismo respecto a 1990.

Ilustración 1. Evolución del parque vehicular en la CDMX (1980-2018)



Fuente: Elaboración propia con datos tomados de INEGI

Cabe resaltar que en todo el periodo los automóviles tienen una participación de entre el 85 (año 1981) y el 97 (años 2010 a 2012) por ciento del total del parque vehicular. Mientras que la participación de los camiones de pasajeros siempre ha estado por debajo de los dos puntos porcentuales, siendo los años 1999 y 2000 aquellos en donde la participación ha sido menor con un 0.46 por ciento, y 2003 aquel en el que la participación fue mayor con 1.09 por ciento.

Adicionalmente, en la Ilustración 2. Tasas de crecimiento del parque vehicular, se muestran los incrementos de las unidades de los rubros que componen al total del parque vehicular.

*Ilustración 2. Tasas de crecimiento del parque vehicular
(porcentaje)*

	Total	Automóviles	Camiones para pasajeros	Camiones y camionetas para carga	Motocicletas
1980	-	-	-	-	-
1985	-2.0%	0.8%	-6.0%	-8.0%	-51.1%
1990	7.9%	9.5%	-18.4%	3.5%	-39.7%
1995	7.8%	8.5%	2.4%	-4.0%	56.7%
2000	17.8%	20.3%	2.1%	-20.3%	80.6%
2005	7.4%	9.5%	145.6%	-48.7%	25.5%
2010	54.5%	59.3%	13.6%	51.7%	137.0%
2015	19.9%	14.9%	2.5%	-27.0%	57.9%
2018	16.1%	14.1%	-6.9%	10.4%	56.4%

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de INEGI

De lo anterior se puede inferir que entre los años 2000 y 2005 el ritmo de crecimiento del parque vehicular se desaceleró, en términos generales. Misma situación ocurrió con los automóviles y motocicletas, e incluso los camiones y camionetas para carga tuvieron decrecimiento. Aun así el ritmo de crecimiento de los camiones para pasajeros se incrementó hasta un 145 por ciento para el año 2005 respecto al periodo anterior, 2000. Lo anterior pudo ser resultado de la implementación en materia de movilidad mencionada anteriormente. No obstante, en los periodos posteriores, la tendencia volvió a tomar el curso de los años previos, de tal suerte que para el año 2010, el ritmo de crecimiento del parque vehicular aceleró hasta casi 55 por ciento, 20 por ciento para 2015 y 16 por ciento para 2018. Además, la tasa de crecimiento de los camiones para pasajeros cayó abruptamente y únicamente creció 13.6 por ciento respecto al periodo previo (2005) e incluso para 2018 hubo decrecimiento de casi siete por ciento.

En otras palabras, el parque vehicular y, a la par, los automóviles continúan con tasas de crecimiento por encima de lo observado en 2005; mientras que las tasas de crecimiento de camiones para pasajeros no sólo disminuyeron sino que incluso hubo decrecimiento. En resumen, las políticas actuales en materia de transporte incentivan el uso del automóvil particular y desincentivan el uso del transporte

público generando lo que se conoce como la tragedia de los comunes⁵. Lo anterior se sustenta, además, con lo publicado en Gaceta Oficial del Distrito Federal (2014) donde se menciona que de los 10,403 kilómetros de la red vial, 10.73 por ciento corresponde a redes viales primarias y el 89.27 por ciento a redes viales secundarias, siendo el 85 por ciento de ese espacio ocupado por automóviles que circulan diariamente y el restante 15 por ciento es ocupado por transporte público, además de que dos terceras partes del espacio ocupado por transporte público es utilizado por taxis. La problemática resulta más clara si se toma en cuenta que los automóviles únicamente satisfacen el 30 por ciento de los viajes totales.

Además, desde 2005 – año de la implementación del sistema BRT de la Ciudad de México, el Metrobús – hasta 2018 se han realizado aproximadamente 2,700 millones de viajes totales en las siete líneas que componen al sistema desde marzo de 2018. A continuación, en la Tabla 1. Evolución de los viajes realizados en el Metrobús se muestra cómo han ido evolucionando los viajes en el Metrobús a lo largo del tiempo, desde su implementación hasta 2018. En la misma se destaca que el crecimiento del año 2006 respecto de 2005 es excepcional debido a que la Línea 1 se inauguró en junio de 2019, es decir, los datos de 2005 contemplan únicamente seis meses. Además, el único año en el que hay decrecimiento es en 2013; en todos los demás años, sin excepción, las tasas de crecimiento son positivas, aunque con oscilaciones.

⁵ Se refiere a una situación en la que los individuos no son capaces de ver las consecuencias de sus actos – normalmente se refiere a una situación de explotación de recursos – porque, aparentemente estos actos individuales no llevan un impacto importante; sin embargo, cuando se cuantifican los actos en conjunto las consecuencias tienden a ser catastróficas. Los individuos, motivados cada uno por sus intereses personales, acaban sobre explotando los recursos que son, por cierto, limitados. Situación similar pasa con el uso indiscriminado de vehículos particulares ya que, su uso indiscriminado, implica agotar las vialidades (espacio) y traer consecuencias como velocidades bajas y tránsito y congestión vehicular.

*Tabla 1. Evolución de los viajes realizados en el Metrobús
(miles de viajes)*

Año	Viajes totales	Tasa de crecimiento
2005	2,015	-
2006	71,610	3453.2%
2007	74,960	4.7%
2008	85,722	14.4%
2009	122,603	43.0%
2010	132,538	8.1%
2011	203,829	53.8%
2012	258,547	26.8%
2013	233,710	-9.6%
2014	246,051	5.3%
2015	260,967	6.1%
2016	317,014	21.5%
2017	324,277	2.3%
2018	366,344	13.0%
Total	2,700,188	15.8% ⁶

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de InfoMex

Adicionalmente, se presenta la Tabla 2. Evolución de las unidades en operación para el Metrobús en la que se aprecia el ritmo de crecimiento de incorporación de nuevas unidades al sistema BRT de la Ciudad de México. En ella se aprecia que únicamente del periodo 2016 a 2017 hubo decrecimiento de 2.1 por ciento. Para las demás observaciones, el crecimiento llegó a ser de hasta dos cifras: 51.2 por ciento para 2009, siendo este año el más alto observado y 2.6 por ciento para el año 2010, en el que el ritmo de crecimiento fue menor.

⁶ El 15.8 por ciento corresponde al promedio simple de las tasas de crecimiento desde 2007 hasta 2018. Se excluyó 2006 ya que, debido a que es un crecimiento considerado “outlier”, implicaría un resultado inflado (280 por ciento).

Tabla 2. Evolución de las unidades en operación para el Metrobús

Año	Unidades en operación	Tasa de crecimiento
2006	84	-
2007	94	11.9%
2008	129	37.2%
2009	195	51.2%
2010	200	2.6%
2011	243	21.5%
2012	332	36.6%
2013	342	3.0%
2014	368	7.6%
2015	384	4.3%
2016	479	24.7%
2017	469	(2.1%)
2018	598	27.5%

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de InfoMex

Finalmente, en la Tabla 3. Evolución de los kilómetros recorridos por el Metrobús se muestra la evolución histórica de los recorridos medidos en kilómetros por el total del sistema Metrobús desde su implementación hasta 2018. Cabe resaltar que no hubo años de decrecimiento y además, el promedio simple de los kilómetros recorridos por el sistema asciende a 23.5 por ciento, estando los años 2006, 2008, 2009, 2011 y 2016 por encima de la media, siendo el año 2006 el que mayor ritmo de crecimiento se observó con un total de 80.7 por ciento.

*Tabla 3. Evolución de los kilómetros recorridos por el Metrobús
(miles de kilómetros)*

Año	Kilómetros recorridos	Tasa de crecimiento
2005	3,877	-
2006	7,008	80.7%
2007	7,266	3.7%
2008	10,144	39.6%
2009	16,849	66.1%
2010	17,338	2.9%
2011	21,659	24.9%
2012	26,390	21.8%
2013	28,563	8.2%
2014	31,431	10.0%
2015	33,306	6.0%
2016	41,452	24.5%
2017	41,846	1.0%
2018	48,768	16.5%
Totales	335,899	23.5%

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de InfoMex

No obstante y a pesar de la evolución del sistema en términos de viajes realizados, kilómetros recorridos, unidades operación e inauguración de nuevas líneas, la presente investigación plantea que la efectividad del sistema Metrobús puede mejorarse ya que ésta ha sido insuficiente en materia de mejora de movilidad de los capitalinos debido a la saturación por sobredemanda del servicio. Sin mencionar que sólo existen hasta 2023 siete líneas en operación⁷.

⁷ Se prevé que la Línea 8 comience a construirse a principios de 2021 y se inaugure a finales del mismo año. Inicialmente se planteó la construcción de 10 líneas que compondrían el sistema. Para las Líneas 9 y 10 aún no se tienen programadas fechas de inicio de construcción.

La problemática es clara. Por ello, se requiere contestar las siguientes preguntas en el presente estudio:

- 1) En términos de beneficio social, ¿cómo se ha desempeñado el sistema de transporte Metrobús de la Ciudad de México desde 2005 hasta 2018?
- 2) ¿Qué factores determinan los principales incrementos/decrementos de la efectividad del sistema Metrobús tomando en cuenta los resultados del Análisis Costo-Efectividad en nuestro periodo de análisis?

Las respuestas preliminares a estas preguntas se plantean como sigue:

- 1) El desempeño del sistema BRT (Metrobús) ha sido bueno, aunque insuficiente para resolver la problemática cotidiana de movilidad de la capital debido a la saturación por sobredemanda de servicio.
- 2) Existen cuatro principales factores que inciden (directa o inversamente) en la efectividad del sistema Metrobús: los costos, los kilómetros recorridos por autobuses en operación, los pasajeros transportados totales (pagados y cortesía).

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Economías de aglomeración y su impacto en el transporte urbano

Autores como Edwards (2007) y O'Sullivan (2012) han escrito acerca de las ventajas que genera la proximidad espacial entre agentes económicos, mismas que se potencian cuando éstos interactúan entre sí y que, eventualmente, tenderán a perder paulatinamente debido al incremento insostenible de interacción de los mismos. En este sentido, se puede argumentar que la proximidad de los agentes genera lo que se conoce como **economías de aglomeración**, que se traduce como la concentración de la actividad económica originado por **fuerzas centípetas**.

Estas ventajas pueden desaparecer con el pasar del tiempo una vez que el número de agentes es de tal magnitud que el espacio, por definición limitado, se ve saturado dificultando así la interacción y trayendo consigo **deseconomías de aglomeración**. Este concepto se traduce como una situación en la que los costos de la convivencia e interacción se vuelven mayores a los beneficios generados por las ventajas, permitiendo que los agentes se dispersen del espacio (**fuerzas centrífugas**) donde inicialmente se llevó a cabo la actividad económica.

Existen **dos tipos de economías de aglomeración** de acuerdo con Edwards (2007): **economías de localización** y **economías de urbanización**. Las primeras se refieren a la reducción de costos de las empresas pertenecientes a una industria específica dentro de un área debido a su proximidad espacial; la segunda, a la reducción de los costos de producción de las empresas localizadas en un área urbana particular sin tener en consideración la industria a la que esta pertenezca. Ambos tipos de aglomeración influyen sobre la oferta de trabajo, los recursos especializados y la derrama tecnológica. Además, los clústeres de firmas en las áreas urbanas incrementan la demanda del producto, permitiendo a las firmas localizadas en este tipo de áreas beneficiarse de las economías de escala y beneficiarse, en general, de la disminución de costos del quehacer del negocio o del incremento de su actividad económica.

Por lo anterior, es pertinente mencionar que se desprenden tres tipos de economías externas marshalianas: (1) acceso a trabajo especializado, (2) acceso a recursos especializados y (3) derrama tecnológica (o *spillovers* tecnológicos).

Respecto a la primera economía externa marshaliana – el trabajo especializado – Edwards (2007) menciona que las áreas urbanas tienen la característica de contar con un número de empleadores mayor al que tendrían, por ejemplo, las áreas rurales. Por ello, en las áreas urbanas se tiene mayor probabilidad de mantener a la fuerza laboral plenamente ocupada. En otras palabras, la urbanización disminuye los costos laborales debido a que la demanda de los empleadores por trabajo especializado es más abundante que en áreas rurales.

Referente a la segunda economía externa marshaliana – el acceso de recursos – Edwards señala que las áreas urbanas poseen más infraestructura adecuada y un gran número de servicios públicos a los que difícilmente se puede acceder en áreas menos desarrolladas y que convierten a las áreas urbanas más atractivas para la aglomeración de firmas. Las accesibilidad a estos recursos en áreas urbanas significan menores costos promedio para las firmas de lo que podrían significar en áreas rurales.

Por último, los *spillovers* tecnológicos – la tercera economía externa marshaliana – se refieren a la innovación a través del intercambio de información, conocimiento e ideas debido a la proximidad entre sí de los agentes independientemente de la industria a la que pertenezcan. En este sentido, de acuerdo con O'Sullivan (2012) las ciudades son centros de innovación ya que los conocimientos así como el intercambio de ideas es facilitado por este espacio. De ahí que la mayoría de las patentes, además de procesos de producción innovadores, sean emitidos en las grandes orbes.

Por otro lado, Brueckner (2011) clasifica a las economías de aglomeración como pecuniarias y tecnológicas, originándose las primeras debido a la reducción de costos de los insumos de las firmas sin afectar la productividad de los mismos. Por otro lado, las segundas surgen del incremento de la productividad de los insumos sin disminuir sus costos.

Las economías de aglomeración pecuniarias están íntimamente ligadas, como su nombre lo dice, a cuestiones relacionadas con el dinero. Por lo tanto, su existencia está relacionada con la concentración de mercados de trabajo relativamente amplios, así como la amplia existencia de oferentes de productos y servicios intermedios indispensables para la actividad económica. Ambos factores juegan el rol de disminuir los costos de las empresas que se aglomeran en determinada área, unos vía contratos y otros vía precios de insumos intermedios.

Otra forma de economía de aglomeración está relacionada con la localización estratégica de la(s) firma(s) originada por los costos de transporte. Por un lado, las empresas gastan en servicios de transporte ya sea para adquirir los insumos que, posteriormente, se transforman en productos finales, así como en servicios de transporte para enviar estos últimos a sus mercados destino. Es posible que las empresas se localicen en lugares donde puedan ofrecer su producto y éste, a su vez, pueda ser más fácilmente realizado debido a la existencia de mercados potenciales amplios y, al mismo tiempo, en lugares en los que fácilmente se pueden encontrar empresas proveedoras de insumos relativamente cerca de las primeras, ello con la finalidad de disminuir ambos tipos de costos de transporte. Estos lugares suelen ser aquellas grandes urbes donde es más probable encontrar tanto mercados destinos como empresas proveedoras de insumos.

Por otro lado, Fujita y Thisse (2002) mencionan la crucialidad de las externalidades en la formación de economías de aglomeración, remarcando cuatro tipos de externalidades primordiales: 1) producción masiva; 2) disponibilidad de insumos intermedios (incluyendo servicios) especializados; 3) la alta especialización de fuerza de trabajo y la producción de nuevas ideas (también conocidos como *spillovers*), basados en la acumulación de capital humano y comunicación cara a cara; y 4) la existencia de infraestructura moderna. Esta idea de externalidad proviene, de acuerdo con los autores, del concepto marshaliano que captura la idea del efecto “bola de nieve” en el cual un número creciente de empresas desean congregarse cerca unas de otras para beneficiarse de la amplia diversidad de actividades y mayor especialización.

En este sentido, las externalidades pecuniarias son subproductos de las interacciones de mercado: afectan a las empresas o a los consumidores y a los trabajadores únicamente en la medida en que participan en intercambios mediados por el mecanismo de precios.

Estas ventajas mencionadas tienden a desvancerse cuando las densidad poblacional de estas áreas urbanas sobrepasa cierto umbral lo que dificulta así la interacción de los agentes, fenómeno que se conoce como deseconomías de aglomeración originado por las fuerzas centrífugas que tienden a repeler a los actores hacia otras áreas urbanas y/o rurales disminuyendo el ritmo de la actividad económica y disminuyendo el bienestar que en un inicio se tuvo en el área. Cuando la población del área urbana crece de tal magnitud, comienzan las dificultades que se generan por excesos de demanda o escases de oferta de bienes y/o servicios indispensables para el desarrollo de la actividad económica – tomando en cuenta que el espacio y los otros recursos son limitados. Esta situación trae – entre otras consecuencias⁸– incrementos en los costos de transporte, generando incremento en los costos de vida provocando una posible expulsión de los agentes hacia la periferia, donde teóricamente, el costo de vida es menor.

Esta situación se genera cuando el crecimiento y la concentración del área urbana alcanza un límite. Cuando el tamaño observado de la ciudad es superior al óptimo provoca – de acuerdo con Becker y Henderson (2000) citado en Mendoza-González, et al. (2017) – mayores externalidades negativas en rentas, salarios, transporte, alimentación, menor calidad en los servicios públicos, aumento en las actividades ilícitas, elevados niveles de contaminación y, para fines del presente estudio, **mayor tránsito y congestión vehicular**.

La congestión vehicular se refiere a la obstrucción o entorpecimiento del paso, la circulación o movimiento, en este caso, de los automóviles. No obstante, se han hecho esfuerzos por definir el concepto de una manera más precisa como en el

⁸ Por ejemplo, incrementos en los precios de las rentas tanto para las empresas como para las familias, incremento en los niveles de contaminación e inseguridad.

caso chileno que menciona Thomson y Bull (2001) en el cual se declaraba una vía congestionada si en más de la mitad de su extensión total, considerando tramos no necesariamente consecutivos, la velocidad media espacial del flujo fuese inferior a 40% de la velocidad en régimen libre, condición que debía verificarse en al menos cuatro horas diarias entre martes y jueves, mediante mediciones hechas durante cuatro semanas seguidas entre marzo y diciembre. Sin embargo, la definición de congestión vehicular se refiere a la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta el tiempo de circulación de los demás.

Finalmente, la configuración actual de los diversos sistemas de transporte de aquellas urbes en las que se da prioridad al transporte particular sobre el transporte público ha generado evidentes efectos perniciosos tanto para el medio ambiente como para el ser humano de tal suerte que se ha ido paulatinamente conduciendo a que las instituciones públicas, organizaciones y asociaciones estén planteando, a nivel mundial, políticas alternativas de movilidad, incluyendo aquellas en materia de transporte.

2.2 Teorías de Movilidad urbana. Un enfoque desde Latinoamérica

Resulta evidente enfocarnos en teorías e ideologías referentes a la movilidad urbana específicamente del caso latinoamericano ya que sería poco congruente tratar de adaptar teorías en dos o más espacios diametralmente opuestos en términos políticos, sociales y económicos. Si bien es cierto que las ciudades latinoamericanas han tenido –entre sí y a lo largo de la historia– diferentes geografías, evoluciones demográficas, patrones de ocupación del territorio, procesos económicos, políticos y culturales y políticas territoriales, también es cierto que la diferenciación es mucho mayor entre las sociedades, territorios y ciudades latinoamericanas respecto de aquellas pertenecientes a las potencias hegemónicas en el capitalismo actual (europeas, asiáticas y norteamericanas) por el papel que han jugado a lo largo de la historia como potencias colonizadoras,

imperialistas, explotadoras o dominantes hegemónicas en la fase actual de la mundialización del capital (Pradilla, 2010).

Es pertinente hacer esta distinción porque después del cambio de paradigma debido al agotamiento de modelos económicos con una alta intervención estatal en temas económicos fundamentados en teorías keynesianas, se cedió la batuta a la escuela de Hayek, Friedman y otros. Fue así como “... *las teorías territoriales sustentadas en el keynesianismo, como la de la planeación indicativa, del desarrollo regional equilibrado, de los polos de desarrollo de Perroux, o de la localización industrial, perdieron su centralidad en la acción estatal* (Pradilla, 2010)”.

Como señala Pradilla (2010), los efectos del neoliberalismo en América Latina son diversos pero siempre negativos. Recuperando y resumiendo las ideas principales del autor tenemos:

- La planeación en general y la territorial (urbano-regional) que tuvo plena legitimidad aunque instrumentos muy limitados en el patrón intervencionista de acumulación, la perdió en el [modelo] neoliberal ante el “*libre juego del mercado*” como supuesto mecanismo para lograr los equilibrios económico-sociales y su correlato la desregulación, y declinan o se extinguen como instrumentos de anticipación del futuro y de regulación e intervención estatal sobre la sociedad y el territorio.
- El individualismo ganó terreno en todos los ámbitos de la vida social, en el discurso negó las grandes teorías y las fragmentó en mil pedazos, al tiempo que construía sus mitos ideológicos y su lenguaje: *la globalización, la ciudad global, la competitividad, la conectividad, la movilidad, el tiempo real*, etc. Paradójicamente, construyó así otra “verdad única”, otro *metarelato*, otro “destino manifiesto”: el neoliberalismo.

Pese a que la implantación del neoliberalismo en los países latinoamericanos ha sido distinto, situación que se traduce en diferentes orientaciones de política en los gobiernos nacionales y locales de la región que en un futuro implicaría acciones diversas en cuestiones territoriales y urbanas. Es casi poco probable que dos

ciudades puedan ser explicadas a través de modelos equivalentes o comunes, incluso dentro de un mismo país y no se diga con ciudades de distintos países, incluyendo los de América Latina. Sería lógico mencionar que las brechas se amplían aún más entre estas últimas (ciudades de países dominados) y las ciudades pertenecientes a países hegemónicos europeos, asiáticos y norteamericanos (dominantes hegemónicas). Las principales diferencias, como menciona Pradilla (2010), son los territorios moldeados por el desempleo y la informalidad masiva, la pobreza extensiva, la violencia convertida en hecho social, la desigualdad en las prestaciones de servicios públicos urbanos.

Esta “verdad única” que se menciona tiende a dilucidar y ocultar el papel diferenciado que ocupan realmente los países sobre este nuevo paradigma, dejando de lado y no tomando en cuenta las asimetrías geográficas, culturales, económicas, políticas, sociales, etc. entre regiones, tratándolas de manera igualitaria, como si la implementación de medidas y modelos se tratara de una especie de receta. Asimismo, los esfuerzos teóricos y prácticos en cuestiones territoriales, de acuerdo con Pradilla Cobos, carecen de rigor analítico –aunque con contadas excepciones– donde se establezcan los ejes concretos para hacer frente a ese tipo de problemática, mediando entre lo *global* abstracto y lo *local* concreto.

Esta situación implica hacer caso omiso del desarrollo desigual en lo temporal, económico, social y territorial permitiendo la generalización y aplicación indiscriminada de modelos de una región a otra. Parte de esta generalización indiscriminada está determinada por la escasa o nula utilización investigaciones realizadas en América Latina como material de insumo para los trabajos propios, pareciendo reflejar la incapacidad de explicar nuestra propia realidad.

De manera similar ocurre en el ámbito político, viéndose reflejado a través del lenguaje indiferenciado en términos de proyectos sociales y urbanos e intereses de clase (Pradilla, 2010). En este sentido, la implementación de políticas a nivel internacional tiende a ser muy similar sin importar las diferencias regionales descritas. Es decir, se generan, proponen, promueven, apoyan y/o subsidian

proyectos sin una clara planeación integrada de ciudad a largo plazo tomando en cuenta las características propias de la región. El autor señala una serie de proyectos tendencia a nivel mundial dentro de los cuales se resalta lo siguiente: “... [proyectos que] privilegian al transporte individual sobre el colectivo, a su majestad el automóvil, construyendo subterráneos, distribuidores viales y highways urbanos de cuota o concesionados al capital privado, e impulsan la renovación vehicular... limitando las políticas sociales al asistencialismo focalizado en los “sectores más vulnerables” a la manera del Banco Mundial, dejando de lado la “garantía de los derechos sociales universales y el mejoramiento de la calidad de vida de los sectores populares”.

Además, la movilidad urbana ha sido desde siempre un tema trascendente en la vida urbana dentro y fuera de Latinoamérica; sin embargo, ha tomado relevancia desde el último cuarto del siglo pasado con el advenimiento del modelo de *ciudad global* (Lange, 2011). Esta transformación dio paso a grandes centros urbanos que se consolidaron como centros para la coordinación, el control y el servicio del capital global. No solamente en términos económicos sino también políticos y culturales. En otras palabras, los conceptos de centralidad y movilidad son considerados un requisito fundamental para la organización, funcionamiento y expansión de los sistemas urbanos. Se entiende por movilidad a “...[la] posibilidad, causa, necesidad y fortaleza del hombre moderno y destruye la noción de sedentarismo típicamente presente en muchos estudios de geografía, antropología y sociología” (Sheller y Urry, 2006).

Una característica *sui generis* de este nuevo modelo urbano es la proliferación de centros polifuncionales que permiten la articulación de actividades productivas en amplios entornos territoriales circundantes, lo que resulta en la necesidad de una eficiente movilidad urbana de recursos (humanos, materiales, financieros o informacionales).

De esta manera, los modos de vida se ven sensiblemente afectados gracias a las transformaciones originadas por la movilidad urbana. En ese sentido se ha hecho

el esfuerzo de proponer diversos marcos teóricos sobre la movilidad urbana que han resultado tan diversos como contrastantes.

La propuesta de Venturi y Scott (1978), por ejemplo, trata sobre la propuesta que parte de un nuevo estilo de vida urbano donde el actor urbano busca su libertad personal a través de la posibilidad de circular y desplazarse libremente por el territorio. En contraste, la propuesta de Sennet (2002) versa sobre el aislamiento social entre las personas que trae consigo el declive del espacio público como ámbito abierto a la expresión de la diversidad sociocultural a raíz de la transformación de las calles, avenidas estaciones, entre otros, en áreas de paso y no de permanencia. Por otro lado, Hall (1996) menciona que esta nueva estructura de movilidad incrementa los tiempos invertidos en los trasladados hacia los centros de trabajo, educación y recreación, así como la ausencia de formas urbanas delimitadas y reconocibles culturalmente para los habitantes de la urbe.

Además, visto desde una perspectiva territorial, la movilidad tiene una clara influencia en la calidad de vida de las personas de determinada urbe. Es decir, el desplazamiento tanto de las personas (movilidad) como de los bienes (transporte) debe caracterizarse por ser digno, oportuno, confiable y económico para así atender las necesidades básicas de vivienda, educación y salud, a través de una sólida infraestructura de transporte urbano (Lupano y Sánchez, 2009). Asimismo, los factores que afectan la movilidad de acuerdo con Litman (2017) son la accesibilidad regional, densidad, mezcla de usos de suelo, centralización, conexión con carreteras y caminos, diseño de carreteras, condiciones de transporte peatonal y en bicicleta, calidad del transporte público, disponibilidad y manejo de estacionamientos, diseño de los sitios, administración de la movilidad y programas integrados de crecimiento inteligente.

El impacto del automóvil en el cambio de los hábitos de los habitantes de las grandes urbes no fueron considerados por la sociología urbana tradicional, de tal suerte que, de acuerdo con Sheller y Urry (2006) se han observado en Latinoamérica patrones de asentamiento de la población de magnitudes como en Europa, lo que ha generado que la movilidad se convierta en un componente

fundamental de la cultura urbana ya no únicamente por la cuestión de la accesibilidad entre las distintas áreas de la urbe sino también como factor de desarrollo económico, político y sociocultural como recurso para la consolidación entre centralidad y movilidad de las grandes urbes (Lange, 2011).

Por otro lado, de acuerdo con Lupano y Sánchez (2009) en los países en desarrollo, como los latinoamericanos, se ha incrementado la demanda de infraestructura social a raíz del incremento de los ingresos desde 2003, generando mayor accesibilidad a los automóviles particulares manifestándose así el fenómeno de la motorización.

En ciudades de Latinoamérica resulta evidente la preferencia del uso del automóvil sobre el transporte público debido a factores como la muestra de poder económico por parte de los propietarios de los automóviles particulares, la poca calidad de los autobuses destinados al transporte público y su saturación en horarios pico, así como las conductas temerarias de los operadores de autobuses o la posibilidad de ser víctima de la delincuencia a bordo de éstos (Thomson y Bull, 2001).

Por otro lado, de acuerdo con Islas-Rivera, et al. (2002), la movilidad es la variable que explica el origen de la demanda de transporte reflejando el impacto de la oferta –las velocidades o nivel de servicio–, como variables internas y como variables externas –urbanísticas y sociodemográficas– que pueden tener más influencia que las internas, siendo las urbanísticas las que explican o no la utilización del transporte público.

Por otro lado, la relación crecimiento económico y movilidad se puede explicar a través de la disminución de costos que implica el crecimiento económico vía economías de escala lo cual favorece el aumento de la productividad y competitividad, trayendo mayor requerimiento de transporte, forma inherente a la movilidad (Lupano y Sánchez, 2009). El cambio originado por la mayor demanda de transporte ha derivado en la modificación de la infraestructura de las ciudades vinculado con el planeamiento urbano.

De manera similar Lupano y Sánchez (2009), mencionan que estudiar la movilidad y sus costos implica necesariamente observar de reojo a las externalidades tanto positivas como negativas. En este sentido, las primeras surgen de los beneficios extraordinarios asociados con el incremento de volumen del mercado local, incluyendo nuevas tecnologías, mayor alcance de los negocios actuales y surgimiento de nuevas alternativas rentables, el acceso a fuentes de ahorro y financiamiento, oportunidades más abundantes de empleo, educación y cultura. De esta forma, las externalidades negativas en términos de costo de movilidad están en función de las limitaciones físicas de la urbe obligando a planes de ordenamiento urbano, incluyendo derechos de paso y movilidad, congestión de tránsito como manifestación inmediata de la infraestructura de transporte para la movilidad, contaminación ambiental, accidentalidad y aspectos distributivos, ya que la congestión refleja un mayor impacto económico a los sectores de menores ingresos.

Para estudiar la movilidad es necesario estudiar también su contraparte: la congestión. Se entiende por congestión a la fricción entre vehículos en el flujo de tránsito. Es decir, dadas las condiciones espaciales, geométricas y normativas de una determinada urbe, a partir de un volumen determinado de vehículos, cada uno adicional estorba o entorpece el desplazamiento de los demás originando el fenómeno de la congestión reduciendo así las velocidades de circulación (Thomson y Bull, 2001).

El problema de la congestión radica en que no sólo afecta a aquellos quienes mayormente la provocan –conductores dueños de vehículos particulares– sino también a aquellos que utilizan transporte menos invasivos en relación unidades de vehículos de pasajeros. En general, los ciudadanos pertenecientes a esa urbe se ven afectados por la contaminación acústica y medioambiental, lo que trae un impacto negativo a la salud y eficiencia económica, misma que perjudica la calidad de vida de los habitantes de dicha urbe. Las causas de la congestión se pueden dividir en físico-espaciales y de transporte. Las primeras se refieren “*a problemas de diseño y conservación de las vialidades por falta de marcas de pavimento,*

anchos irregulares, paraderos de autobuses que invaden los carriles, entre otros; fallas y deterioros en el pavimento; poca educación vial; semáforos no coordinados; deficiente señalización vial y desconocimiento básico de la red provocando recorridos largos, innecesarios y repetitivos; y gestión inapropiada de las autoridades competentes, fragmentada en jurisdicciones y rebasada por la expansión de flotas de vehículos particulares". Las segundas se refieren a la "demanda obligada por la necesidad de traslado de personas; vías de transporte con capacidad físicamente limitada; mayores incentivos para el uso del transporte particular; y ejecución de obras de infraestructura vial con costos elevados".

La problemática es generalizada en América Latina, de tal suerte que el diagnóstico de movilidad en la región es parecido en los distintos países pertenecientes siendo los siguientes puntos comunes una constante: urbanización desordenada; aumento explosivo del parque de automóviles privados; sistemas de transporte colectivo de baja calidad y alto precio; operadores públicos de sistema de transporte con tecnología desactualizada y/o con servicios mal estructurados en relación a la demanda; operadores privados atomizados y con organización artesanal compitiendo por el mercado; sistemas con déficits operativos crecientes y programas de inversión desfinanciados; falta de coordinación de las políticas de movilidad; y aislamiento relativo de las políticas de transporte con respecto al planeamiento urbano general (Lupano y Sánchez, 2009).

Adicionalmente, de acuerdo con Thomson y Bull (2001) la congestión y sus efectos pueden medirse en términos de costos económicos y aumento del tiempo de traslado; sin embargo, también podrían medirse en términos de afectaciones sociales debido al cambio de hábitos de personas que adaptan sus horarios y lugares de residencia basados en los efectos de la congestión.

Para dar solución a los problemas de movilidad, Thomson y Bull (2001) proponen el cambio de enfoque de las autoridades hacia el transporte urbano con mejor capacidad y calidad de respuesta a través de la intervención de especialistas en el manejo de tránsito incluyendo un manejo interrelacionado e integral de las instituciones involucradas. Dado que se considera que la movilidad de las

personas seguirá en aumento –y subsecuentemente la congestión, las emisiones y contaminantes–, además de los efectos relacionados con la seguridad, costo, tecnología, equidad social y accidentalidad, se requiere que la planeación de la movilidad se pueda enfocar tanto en objetivos diversos como complementarios. Entre ellos se encuentran la reducción de la congestión, de los costos de viaje y estacionamiento, mejora de la salud pública, protección del hábitat y mejora de la calidad de vida de la comunidad (Litman, 2017).

2.3 Transporte Público Urbano. El sistema *BRT* en América Latina

Dadas las características actuales del incremento de congestión vial, diversas autoridades latinoamericanas han implementado y adaptado sistemas de transporte urbano innovadores, donde se ha puesto por delante la mejora de la capacidad y calidad de respuesta del servicio. De acuerdo con Zamora-Colín, et al. (2013), en Latinoamérica la urbanización y el desarrollo del transporte público se ha gestado de manera paralela comparado con otras partes del mundo a lo largo del siglo XX, en donde los sistemas de transporte han evolucionado paulatinamente. Sin embargo, en las ciudades de esta región dan cabida a dos tipos de transporte principalmente: el privado, adquirido por particulares (personas o empresas) cuyo uso queda restringido a sus dueños; y el público, cuyos pasajeros son servidos por terceros. En este sentido, el sistema de transporte público (constituido por infraestructuras y vehículos) puede ser suministrado por empresas privadas o públicas. El transporte público en Latinoamérica ha sido frecuentemente objeto de estudios que no toman en cuenta las particularidades socioeconómicas y espaciales, situación que ha agravado el problema de transporte.

El desarrollo de un transporte público es, de acuerdo con Galindres, et al. (2016), una de las prioridades de la administración pública y, también, una de las vías más eficaces para resolver problemas de movilidad, por lo que resulta pertinente pensar en mecanismos de planificación que permitan mejorar ciertas condiciones cotidianas poco favorables para los usuarios del transporte público (espera

excesiva y saturación del sistema por la demanda acumulada en las estaciones) porque ello implicaría un impacto positivo en la calidad y el costo del servicio, además de aumentar la confianza en los usuarios y disminuir la posibilidad de preferir otro tipo de transporte.

Las alternativas de transporte público históricamente han sido diversas⁹; y no fue sino hasta el último tercio del siglo XX cuando se implementó el sistema BRT en Latinoamérica. De acuerdo con Zamora-Colín, et al. (2013), este sistema BRT tiene las siguientes características que hacen del sistema innovador:

- Utilización de buses de gran capacidad y múltiples puertas
- Acceso al servicio de estaciones dedicadas a nivel, donde se paga el acceso antes de abordar.
- Control centralizado, habilitando el uso de tecnologías modernas de monitoreo e información permanente a los pasajeros.

A pesar de ello, el sistema posee otras características que tienen relación con la infraestructura, vehículos y servicio del mismo. Transitan generalmente por carriles de uso exclusivo ubicados en medio de la carretera y son ubicados principalmente en zonas urbanas. Su acceso es controlado por medio de torniquetes ubicados en las estaciones de ascenso y el derecho al ingreso es pagado previamente por los pasajeros, a diferencia por ejemplo del acceso a los autobuses convencionales. Las estaciones están normalmente construidas en plataformas a la altura del piso del bus con la intención de facilitar el acceso al mismo, por lo que se considera un transporte incluyente ya que su diseño también pretende facilitar el acceso a personas con discapacidades físicas o con movilidad reducida o limitada.

Los vehículos empleados son autobuses de gran capacidad que suelen poseer ciertas características tecnológicas “amigables” con el ambiente que reduzcan tanto la contaminación auditiva como ambiental. En este sentido, las tecnologías que equipan a los vehículos comúnmente son denominados “cero emisiones” o, en

⁹ En México han existido esfuerzos para mejorar los desplazamientos de los individuos a través de proyectos como el Tren Ligero, Autobuses concesionados, la Red de Transporte de Pasajeros (RTP), los Trolebuses, Taxis, el Sistema de Transporte Colectivo-Metro y más recientemente el Metrobús

su defecto, “de baja emisión”, además de ser silenciosos comparándolos con otros sistemas de transporte.

Además de ser un sistema con las características descritas también posee una relación favorable en términos de costo-beneficio derivado de los bajos costos que implica su implementación, puesta en marcha y mantenimiento comparado, por ejemplo, con proyectos como los transportes subterráneos o metros. Es decir, tiene las características funcionales de transportes como el tren ligero y el metro, pero operando con menores costos.

Dadas las características de confinamiento exclusivo del carril, su operación es prácticamente independiente del tránsito vehicular de la ciudad. De esto se deriva la reducción y fiabilidad de los tiempos proyectados en tiempo real entre arribos de los autobuses entre estaciones.

Por otro lado, en cuestión de paradas también se presentan beneficio en dos sentidos. En primer lugar, los autobuses, al poseer diversas puertas de ascenso y descenso cuyas dimensiones permiten un movimiento más fluido de pasajeros, requieren de un tiempo de espera menor, agilizando el tráfico del sistema mismo. Por otro lado, dadas las características de la infraestructura del sistema, los autobuses únicamente permiten abordar y desabordar a los usuarios en las estaciones preestablecidas, haciendo más eficiente al sistema BRT y con ello a los desplazamientos.

El sistema es descrito como “*un transporte de alta calidad basado en autobuses que entregan un servicio rápido y eficiente que puede incluir carriles exclusivos, señales de prioridad de tránsito, plataformas elevadas y estaciones mejoradas... una combinación de instalaciones, sistemas y vehículos; ...[cuyas] inversiones convierten los servicios convencionales de autobús en un servicio de tránsito de instalaciones fijas [que], en gran medida, aumentan su eficiencia y eficacia*

(Administración Federal de Tránsito, 2002 y 2017).

Otra definición realizada por el Programa Cooperativo de Investigación de Transporte (2003), citada en Zamora-Colín, et al. (2013), es la siguiente:

“Bus Rapid Transit es descrito como un sistema flexible con ruedas de goma de tránsito rápido, que combina el modo de estaciones, vehículos, servicios, modos de funcionamiento, los elementos en un sistema integrado con una identidad fuerte y positiva que evoca una imagen única”.

Vuchic (2007) [citado en López (2018)] define al sistema como “[un] Autobús de tránsito diseñado como un sistema integrado de autobuses distintivos y con una infraestructura separada con considerable independencia del resto del tránsito, permitiendo mayor velocidad, confiabilidad y seguridad que un autobús”.

Tovar (2013) lo describe como “*un sistema de transporte público de alta calidad basado en autobuses, que ofrece una movilidad urbana rápida, confortable y económica*”.

Además, de acuerdo con Piccirillo (2012), un sistema BRT es aquel que por sus características, ofrece la posibilidad de construir cada sistema a medida, a veces con el aprovechamiento de la infraestructura y los vehículos existentes.

Este tipo de definiciones parecen ambiguas, situación que complica limitar y definir qué es y qué no es un sistema BRT. Piccirillo, reconoce esta problemática y propone tomar con cautela la definición porque no siempre se puede hablar de sistemas BRT sino cuando cumplen una serie de características que parecieran ser tomadas de dos casos emblemáticos e ideales, de acuerdo con el autor, así como el *Institute for Transportation and Development Policy* (2010): el caso del RIT, en Curitiba y el caso del Transmilenio, en Bogotá.

“La experiencia de estas dos ciudades, cada una con sus particularidades, despiertan admiración a nivel mundial y se han convertido en modelos a seguir”.

Por ende y tomando en cuenta las distintas definiciones así como variedades de sistemas BRT, se propone la siguiente definición para este tipo de sistemas:

- Utilizan vehículos automotores de tipo autobús (muchas veces bi-articulados) operando en carriles con derecho de paso exclusivo, con la finalidad de aumentar la velocidad comercial, mejorar la confiabilidad de los tiempos de operación y el confort del pasajero.
- Tiende a incorporar tecnologías e infraestructura con la finalidad de maximizar la eficiencia de la operación y reducir la resistencia del pasajero a su utilización.
- El uso de los carriles exclusivos no necesariamente debe hacerse en la totalidad del recorrido de los buses, pudiendo admitirse que circulen en tráfico mixto, antes, durante o después del trayecto en el corredor BRT.
- Los carriles exclusivos admiten la circulación de vehículos de emergencia.
- El sistema requiere la publicidad suficiente como para poder distinguirlo de los sistemas de buses tradicionales de manera de imponer la idea de que la política pública se está llevando a cabo.

CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Metodología Análisis Costo-Efectividad

Dentro de la evaluación económica, existe una metodología que se denomina Análisis Costo-Efectividad (ACE, en adelante) que, a diferencia de la metodología Análisis Costo-Beneficio (ACB, en adelante), determina de forma numérica la relación entre los costos de una intervención dada y los efectos de esta. En otras palabras, tiene como finalidad realizar un estudio completo de evaluación económica el cual identifique, cuantifique y valore los costos de alternativas para alcanzar un objetivo (Ramírez, et al., 2013).

De esta manera, este tipo de análisis permite identificar los factores implicados, así como su combinación e interacción para determinar el valor de la intervención, es decir, si mediante ésta se reducen los costos o si se incrementa la efectividad.

Actualmente, esta metodología tuvo auge en cuanto a intervenciones sanitarias, haciendo énfasis en que los beneficios en este tipo de cuestiones no necesariamente pueden o deben ser medidos en términos pecuniarios (Prieto, et al., 2004). Diversos autores adoptan esta metodología en escritos relacionados a intervenciones sanitarias:

“Por medio del análisis costo-efectividad de la iniciativa 2015 se evalúa si los beneficios obtenidos al prestar el conjunto de intervenciones de salud contempladas en la iniciativa justifican sus costos”. (Misas, 2011).

“Es importante aclarar que las evaluaciones económicas en salud se enfocan en las mediciones de efectividad y no de eficacia, ya que lo relevante es la magnitud del efecto de una determinada intervención al ser implementada en condiciones rutinarias” (Zárate, 2010).

“... la evaluación económica debe considerar como beneficio sanitario la ganancia en la salud y esto requiere medir la efectividad de los programas y de los tratamientos sanitarios” (Pinto-Prades, et al., 2001).

“Uno de los métodos más utilizados de evaluaciones económicas en el ámbito de la salud es el Análisis de Costo-Efectividad (ACE) que es una técnica de evaluación del costo de acciones alternativas para un mismo objetivo, lo que permite evaluar la vida en términos distintos al monetario, lo cual constituye una ventaja respecto a otros tipos de análisis dada la dificultad que representa valorar la vida humana” (Ministerio de Salud de Chile, 2010).

“Los estudios de costo-efectividad miden los resultados en medidas específicas de la enfermedad o en unidades naturales de resultados en salud, tales como: niveles de colesterol reducidos, infecciones prevenidas, vidas salvadas o años de vida ganados” (Ministerio de Salud de Chile, 2011).

“En el presente trabajo se presenta una metodología para la evaluación de la relación costo-efectividad en centros de Atención Primaria de Salud basados en el modelo de atención familiar promovido por el Ministerio de Salud de Chile...” (Peñalosa, et al., 2010).

“El Análisis Costo-Efectividad es una ayuda potencial importante para la toma de decisiones en salud pública, pero, con algunas notables excepciones, su uso e impacto es limitado en los países” (Hutubessy, et al., 2003).

Además, también sugiere la evaluación de asignación de recursos dentro del sector, así como redistribuciones que incrementen la eficiencia de dichos recursos. Así, para llevar a cabo esta metodología se necesita construir una medida adecuada para la efectividad de la intervención, programa o política (Ramírez, et al., 2013).

La efectividad debe ser entendida como los resultados obtenidos por las intervenciones en situaciones concretas y reales y depende de tres factores: eficacia (resultados obtenidos); penetración o cobertura (la capacidad de la intervención de alcanzar a la población objetivo); y comportamiento (observancia

de los beneficiarios potenciales en relación al cumplimiento de las relaciones técnicas) (Ramírez, et al., 2013).

No obstante, también es una metodología que originalmente se utiliza en áreas como transporte (Zárate, 2010) debido a que es difícil cuantificar monetariamente los beneficios que trae consigo la implementación de la intervención.

“Los dos métodos principales para evaluar las medidas de seguridad en carreteras son el Análisis Costo-Efectividad (ACE) y el Análisis Costo-Beneficio (ACB). En el método ACE dos o más medidas de seguridad vial pueden ser evaluadas y jerarquizadas en función de sus costos y efectividad en alcanzar un objetivo en particular” (Rivera y Mendoza, 2009).

“... [en México] se llevó a cabo una evaluación denominada “Evaluación de Costo-Efectividad” para tres programas presupuestarios (Proyectos de infraestructura económica de carreteras, Proyectos de infraestructura económica de carreteras alimentadoras y caminos rurales y Conservación de infraestructura de caminos rurales y carreteras alimentadoras)” (Mejía, 2016).

“El análisis costo-efectividad se emplea cuando hay una medida genérica que puede capturar todos los efectos relevantes. El método compara esta medida con los costos y sugiere aplicar las alternativas con menores costos por unidad de efecto conseguido” (Lupiañez y Faulí, 2017).

De acuerdo con Lupiañez y Faulí (2017), el modelo de evaluación de análisis costo-efectividad puede ser empleado para proyectos relacionados con el transporte en el sentido de que pueden ser adaptados para cuantificar el impacto del número de trayectos en transporte público por año, los vehículos compartidos, la eficiencia de determinado transporte (tiempo de viaje), la seguridad (víctimas relacionadas con el transporte), entre otros.

También, de acuerdo con la “Guía para establecer los términos de referencia para las evaluaciones en materia de costo-efectividad” publicada por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público la evaluación de costo-efectividad se refiere al análisis que compara dos o más intervenciones u opciones en términos de los costos de

implementación y del logro de los resultados previstos o de los impactos obtenidos, por lo que el análisis se centra en los costos y los resultados y si los últimos excedieron o no a los primeros. La evaluación suele utilizarse para comparar los resultados de manera *ex post* o *ex ante*.

La metodología ACE tiene como finalidad promover el uso más eficiente de los recursos en situación de escasez y es más útil – para el presente estudio – que la metodología ACB porque muchos proyectos sociales no pueden ser valorados en moneda (Cohen y Franco, 1988) como es el caso de los proyectos de transporte público.

En otras palabras, la metodología ACB compara los beneficios y los costos de un proyecto en particular, concluyendo que sí los primeros exceden a los segundos, el proyecto se considera viable. De manera análoga, la metodología ACE compara la efectividad y los costos, entendiéndose como efectividad a la potencialidad de alcanzar más eficientemente los objetivos (tratándose de un proyecto *ex-ante*) o con la eficiencia diferencial real que las distintas formas de implementación han mostrado en la consecución de sus metas (tratándose de un proyecto *ex-post*) (Cohen y Franco, 1988). A diferencia de la metodología ACB, la ACE contempla alternativas de decisión de tal suerte que todos los efectos se hacen comparables en términos de unidades no monetarias y se comparan los impactos de las alternativas. Contrastando los efectos no monetarios con los costos monetarios es como se obtiene el ACE. Dicho de otro modo, el ACE puede definirse como “*dado un monto de recursos, debería asignárselos de forma tal que permita obtener el mayor número de unidades de resultado o beneficio, cualquiera sea el valor de la unidad*” (Thompson y Fortess, 1980, 551 [citado en Cohen y Franco, 1988]).

A continuación se describen las etapas que, de acuerdo con Cohen y Franco, 1988, caracterizan esta metodología:

- 1) *Identificar con precisión los objetivos del proyecto:* como primer lugar hay que identificar las necesidades existentes de satisfacer a un segmento de la población mediante el proyecto o bien los objetivos traducidos en actividades de un proyecto que ya en marcha o finalizado.
- 2) *Traducir los objetivos en dimensiones operaciones o metas:* En ocasiones es necesario transformar los objetivos en metas con el fin de expresarlos en términos cuantitativos. En otras palabras, se requiere establecer condiciones que determinen los diferentes grados en el cumplimiento de los objetivos
- 3) *Especificación las alternativas que serán evaluadas:* una vez identificada si se trata de un evaluación ex-ante o ex-post, se procede a analizar ya sea el diseño (ex-ante) o verificación (ex-post) del o los sistemas.
- 4) *Medir los recursos afectados en valores monetarios:* Es necesario contemplar los distintos tipos de costos que están implicados en el sistema, así como la estructura de los mismos ya que ésta está relacionada con los recursos que cada implementación supone.
- 5) *Medir el grado de logro de objetivos:* Para este punto es necesario determinar en qué medida los objetivos son alcanzables o fueron alcanzados; sin embargo, en ocasiones también es necesario plantear objetivos secundarios, para así poder analizar el “saldo neto” del proyecto.
- 6) *Comparar las alternativas:* Finalmente se comparan las alternativas dividiendo los costos monetarios por los efectos expresados en unidades de producto.

Cabe señalar que el presente estudio lleva a cabo un análisis ex-post ya que el sistema Metrobús es un proyecto en ejecución e inacabado porque se considera implementar e inaugurar al menos tres líneas más. Así, se presentarán elementos de juicio para decisiones interrelacionadas entre sí de tipo cualitativo y cuantitativo. De acuerdo con Cohen y Franco (1988) “... *lo cualitativo tiene que ver con la escogencia entre si continuar con el proyecto o no proseguir con el mismo, sobre la base de los resultados obtenidos hasta el momento*”. Mientras que lo cuantitativo, en caso de decidir continuar con el proyecto, “... *presenta dos*

opciones: i) mantener la formulación original; ii) introducir modificaciones en la programación para ayudar a mejorarla”.

Además, dentro de este tipo de análisis, existen dos alternativas dadas las características del tipo de sistema: de procesos y de impacto. La diferencia entre ambas reside en que la primera pretende mejorar la eficiencia operacional del proyecto y la segunda, determinar los cambios que éste ha producido en la población beneficiaria. Asimismo, el tipo de análisis ex-post es de procesos ya que mediante este estudio se pretende mejorar la eficiencia operacional del sistema BRT de la Ciudad de México, el Metrobús.

En conclusión, la metodología ACE determina de forma numérica la relación entre los costos de una intervención dada y sus consecuencias. Así, el valor relativo de la intervención se expresa habitualmente como el cociente de dividir el costo neto de la intervención y la efectividad (llamado Costo-Efectividad Medio).

Adicionalmente, esta metodología se complementa con el indicador llamado Costo-Efectividad Incremental (CEI) mediante el cual se comparan los costos y efectos de dos tiempos (por ejemplo, un sistema sin intervención y otro con intervención o la implementación de un sistema nuevo versus una situación en la que no existía el sistema).

Se calcula como sigue:

$$CEI = \frac{C_{t-1} - C_t}{E_{t-1} - E_t}$$

Donde C_{t-1} es el costo del tiempo $t-1$; C_t el costo en el tiempo t . E_{t-1} es la efectividad en el tiempo $t-1$ y E_t , la efectividad en el tiempo t .

En otras palabras, el indicador muestra los costos adicionales por unidad adicional de efectividad. Una vez calculado este indicador se procede a plasmar el resultado en un gráfico con cuatro cuadrantes conocido como Plano Costo-Efectividad, donde el eje horizontal representa la efectividad, mientras el eje vertical representa

los costos. El indicador CEI informa acerca de la toma de decisiones/criterios acerca de la relación costo-efectividad del sistema analizado, donde las posibles soluciones sean: 1) sistema más costoso, más efectivo; 2) sistema menos costoso, menos efectivo; 3) sistema más costoso, menos efectivo y; 4) sistema menos costoso, más efectivo. Resulta claro que la toma de decisión cuando el CEI cae dentro de los cuadrantes 3 y 4 es bastante más sencilla que cuando cae en los cuadrantes 1 y 2, ya que la relación no resulta tan clara de definir y depende mucho del tipo de objetivos y políticas que se estén llevando a cabo en ese contexto determinado.

3.2 Modelos de datos panel

En el presente estudio se opta por la estimación de un modelo de datos panel desbalanceado por encima de modelos de corte transversal y modelos de series de tiempo debido a la naturaleza de los datos obtenidos. De acuerdo con Rosales (2010) este tipo de modelos tiene la ventaja de tomar en cuenta explícitamente la heterogeneidad, reduciendo así posibles sesgos; además, mejora la calidad de la información al poseer mayor variabilidad, grados de libertad y eficiencia y menos problemas de colinealidad; adicionalmente, permite estudiar dinámicas de ajuste, relaciones inter temporales, etc.; identifica y cuantifica efectos no posibles de detectar con datos transversales o de series de tiempo; permite construir y probar modelos de comportamiento relativamente más complejos sin recurrir a muchas restricciones; reduce el sesgo de agregación al recoger información de micro unidades; además de favorecer al logro de algunas propiedades estadísticas de los estimadores, como la consistencia y la eficiencia.

Este tipo de modelos se caracterizan por ser un conjunto de datos que constan de una serie temporal para cada miembro del corte transversal en el conjunto de los mismos. Así, cuando las observaciones de los datos de corte transversal y de series temporales están completas (todos los datos disponibles), se dice que el panel está balanceado. En otras palabras, cada unidad de sección transversal

tiene los mismos periodos de tiempo disponibles. El caso contrario, se denomina como panel está desbalanceado. En este sentido, los paneles desbalanceados o no balanceados pueden presentarse así por diversas situaciones: el diseño de la muestra; la intermitencia de presencia de las unidades transversales en el periodo de estudio o bien cuando determinadas variables no se observan en algún periodo.

Como menciona Baltagi y Wu (1999), algunos modelos de datos panel poseen información incompleta en algunos periodos o intervalos de tiempo de los individuos del modelo. Lo anterior se debe a causas diversas (como la dificultad de su compilación o recolección o simplemente por su inexistencia). Esta situación ha sido ya estudiada por autores como Wansbeek y Kapteyn (1989) o Baltagi y Chang (1994) [citados en (Baltagi & Wu, 1999)]. Sin embargo, y como se verá más adelante, no se había contemplado el problema de correlación serial en modelos de datos panel con espacios desbalanceados. En estos casos, autores como Wansbeek y Kaptyen han propuesto la estimación de un AR(1) para este tipo de modelos para la corrección de dichas perturbaciones.

Otra alternativa para corregir el problema de autocorrelación, como se verá más adelante, de acuerdo con Baltagi y Wu (1999) así como Beck y Katz (1995), se propone la estimación de modelos mediante el método de mínimos cuadrados generalizados factibles (FGLS, por sus siglas en inglés) para paneles desbalanceados que permiten patrones de variación de ausencia de datos y errores de tipo AR(1) serialmente correlacionados.

Adicionalmente, de acuerdo con Wooldridge (2010), cuando el modelo no cuenta con un panel balanceado, resulta más pertinente la estimación de modelos de datos panel desbalanceados con efectos fijos como se menciona a continuación, para cada i :

$$y_{it} = x_{it}\beta + c_i + u_{it}, \quad t = 1, \dots, T$$

Donde x_{it} es $1 \times K$ y β es la $K \times 1$ vectores de interés. Así, se asume que la observación transversal N está disponible y el análisis asintótico de N tiende a infinito; c_i está correlacionada con x_{it} tal que cada elemento de x_{it} varía en el tiempo. Así, $t = 1$, es el primer periodo para cada dato de cada uno disponible y $t = T$, el último periodo de tiempo.

Este tipo de paneles desbalanceados, de acuerdo con Wooldridge, tienen su origen en diversos factores. Por ejemplo, en situaciones en las que los individuos en el $t=0$ son diferentes en $t=2$; o bien, si en $t=3$ se han añadido o eliminado individuos de los datos panel. Así, también existen situaciones en las que no todos los datos son capturados o se perdieron.

Uno de los problemas estadísticos recurrentes en los modelos de datos panel desbalanceados es la existencia de heterocedasticidad y autocorrelación a través de un proceso autorregresivo de orden 1 AR(1). Esta transformación, denominada Regresión de Prais-Winsten (Tinoco-García y Guzmán-Anaya, 2020) permite conservar la primera observación con una estimación de parámetros más eficientes. Adicionalmente, este tipo de regresiones tiene una ventaja sobre el método FGLS ya que, a pesar de que este último también corrige los problemas de autocorrelación y heterocedasticidad, el primero corrige la correlación contemporánea aun cuando el panel de datos no esté desbalanceado (Gutiérrez de Benito, 2017). El modelo de regresión de panel Prais-Winsten con estimadores de errores estándar corregidos asume que los errores son heterocedásticos y correlacionados contemporáneamente en el panel.

Así, la especificación general de un modelo con datos panel se muestra a continuación.

Considerando una regresión en el que y_{it} es una función lineal de K variables explicativas x_k donde $k=1, 2, \dots, K$:

$$y_{ti} = \beta_0 + \beta_1 x_{1it} + \beta_2 x_{2it} + \cdots + \beta_K x_{Kit} + u_{it}$$

con $i=1, \dots, N; t=1, \dots, T$

donde i se refiere a las Líneas del Sistema y t a la dimensión en el tiempo y con u_{it} se refiere al término de error que representa los efectos de todas las variables omitidas en el modelo.

De acuerdo con Rosales (2010) existen varios supuestos que permiten la estimación del panel por mínimos cuadrados ordinarios como el modelo de regresión lineal múltiple estándar:

$$E(u_{it}) = 0 \quad \text{para toda } i \text{ (Línea del Sistema)}$$

$$Var(u_{it}) = \sigma^2 \quad \text{para toda } i \text{ y para todo periodo } t$$

$$Cov(u_{it}u_{js}) = 0 \quad \text{para todo agente } i \neq j \text{ y para todo instante } t \neq s$$

$$Cov(u_{it}X_{kit}) = 0 \quad \text{para todo } i \text{ y } t$$

$$u_i \text{ sigue una distribución normal con media 0 y } Var(u_{it}) = \sigma^2$$

Además, el término de error u_{it} puede analizarse como:

$$u_{it} = \alpha_i + \Phi_t + \varepsilon_{it}$$

donde α_i representa los efectos no observables que difieren entre los individuos, pero no en el tiempo; Φ_t se identifica con efectos no cuantificables que varían en el tiempo, pero no entre individuos; y ε_{it} se refiere al término de error puramente aleatorio. De esta manera los residuos u_{it} dejan de ser aleatorios, lo que permite la existencia de tres posibilidades:

1. Cuando $\alpha_i = 0$ que implica la ausencia de heterogeneidad entre las Líneas del Sistema, asimilándose a los supuestos del modelo lineal general, por lo cual el método de estimación de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO, en adelante) genera los mejores estimadores lineales e insesgados.

2. Cuando α_i es tratado como una variable aleatoria no observable que varía entre individuos, pero no en el tiempo.
3. Cuando α_i posee un efecto fijo y distinto para cada línea, por lo que se dice que la heterogeneidad no observable se incorpora a la constante del modelo.

3.2.1 Modelo de efectos comunes

El modelo de coeficientes constantes (estimación mediante MCO) asume que los coeficientes son los mismos para cada uno de los agentes sociales en la muestra.

$$y_{it} = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k x_{kit} + u_{it}$$

Donde:

β_k es el efecto del coeficiente k-ésimo sobre Y dado un incremento en una unidad de x_{kit} , manteniendo fijos los otros predictores.

β_0 es la ordenada al origen, es decir, el valor esperado de Y cuando los coeficientes son cero.

u_{it} los residuales o término de error del modelo, es decir, la diferencia entre lo observado y lo estimado.

De manera similar a los modelos de regresión lineal simple, los coeficientes para este tipo de modelos se estiman mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios:

$$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_{i1} - \hat{\beta}_2 x_{i2} - \cdots - \hat{\beta}_p x_{ip})^2$$

Para determinar la precisión de los coeficientes se asocian con el término de error u_{it} del modelo con la finalidad de saber cuánto difiere cada punto individual de la recta de regresión observada. En ese sentido, mediante el error estándar se estima la precisión de los estimadores y cómo difieren del valor observado. Asimismo, mediante el intervalo de confianza se puede saber la exactitud de la estimación de los coeficientes para el valor medio de Y dado un valor en X. También mediante el intervalo de predicción se puede saber la posición de futuras observaciones con una probabilidad determinada, dado que ya se ha observado.

Así, para estimar los predictores se hace el *test de hipótesis* para determinar si los coeficientes son iguales o distintos de cero. Con ello, la hipótesis alternativa implica que al menos uno de los coeficientes β_k es diferente de cero. Adicionalmente, se requiere el uso del estadístico F (o *F test*) mediante el cual se obtiene el p-valor a partir de una distribución F como sigue a continuación:

$$F = \frac{(TSS - RSS)/p}{RSS/(n - p - 1)}$$

Donde:

$$TSS = \sum (y_i - \hat{y})^2$$

$$\frac{(TSS - RSS)}{p} = \text{intervarianza o media de variabilidad entre grupos}$$

$$\frac{RSS}{(n - p - 1)} = \text{intravarianza o estimación de la varianza residual no explicada}$$

Mediante este estadístico se reduce que por azar se acepte una asociación falsa entre los predictores y la variable respuesta. En otras palabras, se espera que este estadístico se encuentre alejado de la unidad porque ello reflejaría evidencia de que al menos uno de los predictores del modelo es útil. Normalmente se emplean

valores asociados menores a 0.05; de manera contraria –si el estadístico resulta no significativo– no se puede aceptar al modelo como válido.

Además, se realizan pruebas de bondad de ajuste (R^2 y $R^2_{ajustado}$) mediante las cuales se mide la correlación entre las variables respuesta y el predictor. A continuación, se muestra la manera de estimar el R^2 :

$$R^2 = \text{Cor}(Y, \hat{Y})^2$$

En cierto modo, el $R^2_{ajustado}$ penaliza a cada predictor introducido en el modelo, por lo que éste último ofrece una mejor estimación. En otras palabras, un $R^2_{ajustado}$ cercano a uno indica que el modelo es capaz de explicar gran parte de la varianza de la variable respuesta:

$$R^2_{ajustada} = 1 - \frac{\text{RSS}/(n - d - 1)}{\text{TSS}/(n - 1)}$$

Adicionalmente, mediante el error residual estándar (RSE) se estima la desviación estándar de la respuesta en relación a la recta de regresión poblacional:

$$RSE = \sqrt{\frac{1}{n - p - 1} \text{RSS}}$$

Así, de acuerdo con Rosales (2010) se parte del supuesto de que la varianza de los términos de error es la misma para cada observación (homocedasticidad) y que éstos no se encuentran correlacionados.

Si bien, presentar heteroscedasticidad y/o autocorrelación no implica afectaciones a la estimación de los parámetros por MCO, se corre, en cambio, el riesgo de aceptar hipótesis falsas.

Para estimar el modelo de coeficientes constantes con datos panel se opta por emplear el método de mínimos cuadrados generalizados (MCG o *GLS*, por sus siglas en inglés). Mediante este método se obtienen estimadores lineales insesgados con varianza mínima, siendo el comportamiento de los errores como sigue:

$$Var(u_{it}) = \sigma_u^2$$

$$Cov(u_{it}u_{jt}) = \sigma_{ijts}^2$$

Con ello se asegura que la varianza es diferente para cada unidad i (Línea del Sistema) y que también puede variar a través del tiempo: además, la covarianza ahora es diferente de cero y varía dependiendo de las Líneas y los momentos del tiempo en el que se calcule tal covarianza t y s .

En caso de presentarse heteroscedasticidad y autocorrelación, entonces se procede a imponer alguna hipótesis referente al comportamiento intertemporal y/o transversal del término de error. Si únicamente se asume heteroscedasticidad se asume:

$$Var(u_{it}) = \sigma_t^2$$

$$Cov(u_{it}u_{js}) = 0 \quad \forall \text{ agente } i \neq j, \text{ y } \forall \text{ instante } t \neq s$$

La sola presencia de autocorrelación serial en los términos de error supone la necesidad de un proceso autorregresivo de primer orden AR(1).

3.2.2 Modelo de efectos aleatorios

De acuerdo con Rosales (2010), este tipo de modelos no considera a los efectos individuales independientes entre sí, más bien, éstos se encuentran distribuidos aleatoriamente alrededor de un valor dado. Este modelo utiliza un error aleatorio

en las unidades i (Líneas del Sistema), así como un error que depende del tiempo y de las unidades i pero que es aleatorio, con el objetivo de estimar coeficientes de regresión insesgados.

El modelo se especifica como sigue:

$$y_{it} = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k x_{kit} + u_{it}$$

donde y_{it} es una función lineal de K variables predictivas, mientras que u_{it} (término de error) se estructura: $u_{it} = \alpha_i + \Phi_i + \varepsilon_i$

El término de error tiene tres componentes: componente individual aleatorio invariable a través del tiempo, α_i ; componente temporal aleatorio invariable a través de los individuos, Φ_i ; y un componente aleatorio, ε_i . Cada una de estas componentes poseen distribución normal con media cero, no están correlacionados consigo mismas, son homocedásticos y no están correlacionadas con las variables X .

Por lo tanto, la estructura de la varianza del error total se presenta como sigue:

$$Var(u_{it}) = \sigma_\alpha^2 + \sigma_\phi^2 + \sigma_\varepsilon^2$$

La covarianza entre los errores para dos unidades i (Líneas del Sistema) queda:

$$Cov(u_{it}u_{jt}) = \sigma_\phi^2$$

Y, por último, la covarianza entre los errores para una misma unidad i (Línea del Sistema) en dos momentos del tiempo es:

$$Cov(u_{it}u_{is}) = \sigma_\alpha^2$$

En este caso, es preferible utilizar el método de *GLS* porque las estimaciones son eficientes comparadas con las del método de MCO.

3.2.3 Modelo de efectos fijos

Para este tipo de modelos se considera un término constante diferente para cada individuo o momento del tiempo, además de suponer que los efectos individuales son independientes entre sí, por ende, permite investigar la variación intertemporal y/o transversal mediante diversos términos independientes.

El modelo se especifica como sigue:

$$y_{it} = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k x_{kit} + u_{it}$$

donde y_{it} es una función lineal de K variables predictivas, mientras que u_{it} (término de error) se estructura: $u_{it} = \alpha_i + \Phi_i + \varepsilon_{it}$

y donde

$$\alpha_i = \sum_{i=1}^{N-1} \alpha_i \delta_i \quad y \quad \Phi_i = \sum_{t=1}^{T-1} \Phi_t t_t$$

Donde α_i incorpora N-1 variables dicotómicas en el modelo que controlan el efecto de cada línea del Sistema en la variable dependiente y donde Φ_t que implica T-1 variables dicotómicas para controlar el tiempo.

Aquí, la componente ε_{it} es aleatoria con distribución normal con media cero, no correlacionado consigo mismo, homocedástico, no correlacionado con las variables x y no correlacionado con los efectos temporales transversales.

Entonces el modelo a estimar sería como se muestra a continuación:

$$y_{it} = \beta_0 + \sum_{i=1}^{N-1} \alpha_i d_i + \sum_{t=1}^{T-1} \Phi_t t_t + \sum_{k=1}^K \beta_k x_{kit} + u_{it}$$

Este modelo es estimado por el método de MCO; por otra parte, se necesita la exogeneidad estricta de x_{it} y ε_{it} .

CAPÍTULO 4. EVIDENCIA EMPÍRICA

Este apartado presenta los hechos estilizados y la evaluación del desempeño – en términos de costo y eficacia – que ha tenido el sistema BRT de la CDMX a lo largo del periodo de estudio. El periodo que abarca la presente investigación se realiza para los años 2006 hasta 2018. Se definió este rango debido a la disponibilidad de datos, ya que, como se menciona con anterioridad, la implementación del sistema se realizó en 2005 con la construcción y puesta en marcha de la Línea 1 del Metrobús, por un lado. Por el otro, los datos disponibles, completos, suficientes, homogéneos y equiparables se encuentran disponibles para el año 2018, ya que los del año 2019 aún se encuentran en proceso de elaboración.

Los datos que se utilizaron para el presente capítulo fueron obtenidos mediante la Plataforma Nacional de Transparencia a través del portal llamado “*INFOMEXDF*” en donde se realizaron diversas solicitudes de información al Sujeto Obligado (o Metrobús). El Metrobús – de acuerdo a lo establecido en la Ley de Transparencia, Acceso a la Información Pública y Rendición de Cuentas de la Ciudad de México en el Artículo 233 primer párrafo – tiene la obligación de dar respuesta a la solicitud en un plazo no mayor de nueve días hábiles o 16 en caso de que haya recibido notificación de ampliación de plazo. La información se recibió de manera oportuna por dos vías: a través del portal “*INFOMEXDF*” y mediante correo electrónico, ambos sin costo alguno.

4.1 Descripción y definición de las variables

A continuación, se enuncian las variables que se emplearon para el estudio, así como la descripción tanto del método como de la metodología empleados para la obtención de los resultados.

- 1. Presupuesto Anual Asignado.** Se refiere a la asignación presupuestaria anual establecida en el Decreto por el que se expide el presupuesto de egresos de la Ciudad de México, en este caso particular, para el Metrobús.

El Metrobús está obligado a publicar la información financiera sobre el presupuesto, sus programas operativos anuales y de trabajo en los que se refleje de forma desglosada la ejecución del presupuesto asignado, para verificar el monto ejercido de forma parcial y total. Asimismo, se obtuvieron los presupuestos anuales originales, modificados, programados, ejercidos y, en su caso, devengado y comprometido. La información se recibió desagregada y anual para los períodos 2005-2018.

Cada uno de estos conceptos supone distintas fases del presupuesto. A saber:

- a) **Presupuesto Original Autorizado:** se refiere a las asignaciones presupuestarias anuales comprendidas en el Presupuesto de Egresos de la Federación para el ejercicio fiscal correspondiente.
- b) **Presupuesto Modificado Autorizado:** refleja la asignación presupuestaria que resulta de incorporar, en su caso, las adecuaciones al presupuesto original autorizado.
- c) **Presupuesto Comprometido:** refleja la aprobación por la autoridad competente de un acto administrativo u otro instrumento jurídico que formaliza una relación jurídica con terceros para la adquisición de bienes y de servicios a recibirse durante varios ejercicios, el compromiso será registrado por la parte que se ejecutará o recibirá, durante cada ejercicio.
- d) **Presupuesto Devengado:** refleja el reconocimiento de una obligación de pago a favor de terceros por la recepción de conformidad de bienes, servicios y obras oportunamente contratados; así como de las obligaciones que derivan de tratados, leyes, decretos, resoluciones y sentencias definitivas.
- e) **Presupuesto Ejercido:** refleja la emisión de una cuenta por liquidar certificada debidamente aprobada por la autoridad competente.

Si bien el término de presupuesto implica una herramienta de planificación que brinda un curso de acción para el control de los costos, dadas las limitaciones de información disponible, se procede a equiparar al **Presupuesto Ejercido** con la variable de **Costo** de funcionamiento del servicio – que será utilizado para el cociente del Análisis Costo-Efectividad. Es necesario hacer esta aclaración ya que, por definición, el primero refleja una cuenta por liquidar, mientras que el segundo es dinero que se invertirá en la producción de un bien o servicio, que si bien es cierto que los conceptos presupuesto y costo son dos términos totalmente distintos e intentar equipararlos resulta indudablemente incorrecto, hacer esta adecuación “*... probablemente se acerca más a la realidad que el hecho de no hacer ninguna corrección en absoluto*” (Solow, 1957).

Además, para descontar la variación de los precios en el tiempo se utilizó el deflactor del Producto Interno Bruto con la finalidad de obtener valores comparables ante cambios en el tiempo, tomando como base los precios de 2013, tomado del sitio web del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Debido a que únicamente se contaba con datos anuales a nivel totalidad del sistema, fue necesario estimar el presupuesto ejercido anualmente por línea del Metrobús. Para ello, se tomaron en cuenta las estaciones de las que consta cada línea, generando un ponderador en términos porcentuales y reasignando un porcentaje del presupuesto ejercido con base en este ponderador. De manera que se obtuvieron 48 observaciones, mismas que se utilizarán para cada una de las variables empleadas para esta fase del estudio con la intención de homogeneizar los datos.

Adicionalmente, se mencionan las variables empleadas en el estudio sucedidas de su descripción, como se muestra a continuación.

2. **Kilómetros Realizados.** Se refiere al recorrido medido en kilómetros anualizados realizados por cada una de las líneas que integran el sistema. Es decir, los primeros años del periodo de análisis (2006 a 2008) el sistema se componía únicamente por la Línea 1, por ende, los kilómetros recorridos de esta línea y los totales del sistema son exactamente los mismos.

Posteriormente, en 2009 se incorpora al sistema la Línea 2, entonces los kilómetros recorridos totales se componen por los kilómetros recorridos de las líneas 1 y 2. Mismo caso para 2010. Y así sucesivamente, conforme se van incorporando líneas al sistema se van incorporando los kilómetros recorridos al análisis.

Se resalta que esta variable comprende el periodo 2006 hasta 2018, y no es sino hasta el cuarto periodo (2009) cuando se incorpora al análisis la Línea 2 del Metrobús. Esta acotación es necesaria porque la Línea 2 fue inaugurada en diciembre de 2008 y, para efectos prácticos, fue necesario tomar los datos como parte de la Línea 1 por dos razones. La primera, porque era necesario equiparar los datos con las demás variables (para tener 48 observaciones) y la segunda, porque los kilómetros realizados en ese periodo tan acotado representaban menos del 2% del total de kilómetros realizados en ese año. En otras palabras, se sumaron los kilómetros realizados tanto de la Línea 1 como de la Línea 2 (9,956,069.41 y 188,070.48 kilómetros, respectivamente, mismos que representaban el 1.88% del total de kilómetros para diciembre de 2018).

Para homogeneizar los datos, se fueron incorporando los kilómetros recorridos por línea conforme a la fecha de su inauguración. Es decir, de 2006 (hasta 2018) se presentan los datos de la Línea 1; de 2009 (hasta 2018) se presentan los datos de la Línea 2; y así sucesivamente hasta 2018, fecha en la que se inaugura la Línea 7, obteniendo 48 observaciones, en concordancia con las otras variables.

3. **Unidades en Operación.** Esta variable refleja el total de autobuses articulados utilizados anualmente para dar servicio al total del sistema. Para adecuar esta variable respecto a las demás se obtuvieron las unidades en operación de manera anual de todo el sistema (es decir, 13 datos correspondientes al periodo 2006-2018). Al no obtenerse información desglosada por cada una de las líneas se procedió a estimar el número de

unidades destinadas a cada una de las líneas como se detalla a continuación. Para ello es necesario señalar que se cuenta con el número de autobuses en operación para los meses de noviembre¹⁰ programados por año. Además de contar con información de los autobuses programados por línea para los días hábiles de 2018. Con esa información y teniendo en cuenta el porcentaje de la distribución de las unidades programadas por cada una de las líneas para 2018, se distribuyeron los autobuses programados como se muestra a continuación:

$$X_{i,j} = \frac{\text{Unidades en operación del año } i}{\sum \text{Porcentaje de las unidades por Línea } j} * \text{Porcentaje de Unidades por Línea } j$$

Así, para homogeneizar los datos se estimaron las unidades en operación anuales de acuerdo con un ponderador porcentual de unidades en operación por línea. Para exemplificar lo anterior, se consideran la Tabla 4. Unidades en operación y la Tabla 5. Líneas, porcentaje de participación y estaciones.

¹⁰ Correspondiente al mes en el que se tiene mayor demanda en el año

Tabla 4. Unidades en operación (histórico)

Año	Unidades en operación
2006	84
2007	94
2008	129
2009	195
2010	200
2011	243
2012	332
2013	342
2014	368
2015	384
2016	479
2017	469
2018	598

Tabla 5. Líneas, porcentaje de participación y estaciones¹¹

Líneas	Unidades en operación en día hábil	Porcentaje de Unidades en operación por Línea	Número de estaciones
Línea 1	168	28%	41
Línea 2	100	17%	34
Línea 3	71	12%	29
Línea 4	62	10%	34
Línea 5	28	5%	17
Línea 6	88	15%	37
Línea 7	79	13%	28
Total	596	100%	220

¹¹ Autobuses en operación del periodo del 17 al 23 de junio de 2019 para pronta referencia

Por ejemplo, para el año 2006 – donde únicamente estaba en funcionamiento la Línea 1 – suponemos que todas las unidades en operación están destinadas a la Línea 1:

$$X_{2006,L1} = \left(\frac{84}{28\%} \right) * 28\% = 84$$

Misma situación para 2007 y 2008. Para los años posteriores se realizó la ponderación de acuerdo con el porcentaje de unidades en operación en día hábil por línea como se muestra en el siguiente ejemplo:

$$X_{2009,L1} = \left(\frac{195}{28\% + 17\%} \right) * 28\% = 122$$

Así, como en 2018 se incorpora finalmente la Línea 7 al sistema, la distribución de unidades en operación para la Línea 1 se calcula de la siguiente manera:

$$X_{2018,L1} = \left(\frac{598}{100\%} \right) * 28\% = 169$$

De esta manera se obtuvieron un total de 48 observaciones para esta variable, teniendo en cuenta que la Línea 2 se incorpora en 2009; la Línea 3 en 2011; Línea 4 en 2012; Línea 5 en 2013; Línea 6 en 2016; y finalmente la Línea 7 en 2018.

4. **Boleto pagado, boleto de cortesía.** Estas variables reflejan los usuarios que hicieron uso del servicio mes con mes desagregado a nivel de líneas. Se diferencia porque el primero hace referencia a los usuarios que pagaron para poder acceder al servicio, mientras que los segundos se refieren a los usuarios cuyo servicio no representó costo alguno para éstos debido a su

edad y/o condición socioeconómica. Estas variables se obtuvieron desagregadas a nivel mensual por la línea de Metrobús, por lo que fue necesario generar los datos a nivel anual y por línea con la finalidad de obtener una serie de datos homogénea con las demás variables. Para ello se sumaron mes con mes los datos por línea para así obtener un total de 48 observaciones para la variable Boleto pagado, así como 48 observaciones para la variable Boleto de cortesía. Adicionalmente, cabe señalar que la suma individual de cada una de las observaciones de ambas variables compone una variable extra que llamaremos **Boleto total**, que se utilizará para crear el **Indicador de Efectividad**.

4.2 Aplicación de la Metodología Análisis Costo-Efectividad

Posteriormente, se definieron las variables propuestas para realizar el Análisis Costo-Efectividad. Como se menciona anteriormente se supone al **Presupuesto Ejercido** como símil a la variable **Costos**, ya que la primera implica adecuaciones a los presupuestos original, modificado, comprometido y devengado porque supone que los recursos se incrementan¹² o se reducen¹³ de acuerdo las necesidades del ejercicio observado del Metrobús.

Así, se distingue entre efectividad, eficacia y eficiencia tomando en consideración lo siguiente. Primero, se entiende por efectividad y eficacia a la capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera sin tomar en cuenta los recursos empleados. Segundo, se entiende por eficiencia a la capacidad de disponer de alguien o algo para conseguir un efecto determinado. Por lo tanto, las definiciones tomadas de la Real Academia de la Lengua Española, de efectividad como

¹² Para destinarse, por ejemplo, a conceptos como pago a subrogaciones, seguro de estaciones y terminales, conciliaciones de juicios laborales, adquisición de bienes muebles e intangibles consistentes en muebles de oficina, de estantería, sistema de aire acondicionado y licencias de antivirus

¹³ Porque se devuelven a la Secretaría de Finanzas para la ejecución de proyectos como ampliaciones de Líneas o creación de corredores

eficacia se refieren al grado de cumplimiento de un objetivo; mientras que la eficiencia se refiere a la relación entre el objetivo y los recursos empleados para la realización de este.

Se considera, entonces, que se puede emplear la definición de efectividad propuesta por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, en adelante) como la medición del grado de cumplimiento de un objetivo sin tomar en cuenta los recursos asignados para ello, y se puede expresar como la relación entre las unidades destinadas a transportar pasajeros y los pasajeros transportados. Es decir:

$$Efectividad_{i,j} = \frac{\text{Personas transportadas por la Línea } i \text{ en el año } j}{\text{Total de Autobuses destinados a la Línea } i \text{ en el año } j}$$

Lo que implica que, al incrementar el número de personas transportadas, la efectividad incrementa debido a que se considera que la oferta de autobuses destinados es prácticamente constante. Por lo tanto, la efectividad atendería a una mejor asignación de autobuses en términos de frecuencia de recorrido. Entonces, tanto los costos como la efectividad se arreglan y presentan como se muestran a continuación en la Tabla 6. Efectividad y Costo:

Tabla 6. Efectividad y Costo

Línea	Efectividad	Presupuesto	Línea	Efectividad	Presupuesto
L1 2006	852,500	110,952,734	L3 2012	1,261,635	24,774,802
L1 2007	797,446	106,068,148	L3 2013	1,050,030	29,248,899
L1 2008	825,131	74,825,121	L3 2014	645,478	34,766,734
L1 2009	735,255	73,405,174	L3 2015	653,063	31,792,654
L1 2010	760,661	83,432,791	L3 2016	671,117	65,891,511
L1 2011	906,157	54,725,597	L3 2017	711,554	96,798,135
L1 2012	828,107	35,026,444	L3 2018	643,167	132,111,854
L1 2013	844,393	41,351,892	L4 2012	104,169	29,046,320
L1 2014	862,926	49,152,968	L4 2013	256,450	34,291,813
L1 2015	870,163	44,948,235	L4 2014	297,712	40,760,998
L1 2016	882,505	93,156,964	L4 2015	301,553	37,274,146
L1 2017	882,339	136,852,536	L4 2016	296,729	77,252,117
L1 2018	851,023	186,778,828	L4 2017	299,540	113,487,469
L2 2009	449,784	60,872,583	L4 2018	284,071	154,889,760
L2 2010	498,105	69,188,168	L5 2013	127,086	17,145,906
L2 2011	575,049	45,382,203	L5 2014	837,607	20,380,499
L2 2012	771,243	29,046,320	L5 2015	849,336	18,637,073
L2 2013	572,946	34,291,813	L5 2016	882,423	38,626,058
L2 2014	541,249	40,760,998	L5 2017	915,795	56,743,734
L2 2015	565,160	37,274,146	L5 2018	888,072	77,444,880
L2 2016	569,179	77,252,117	L6 2016	525,347	84,068,480
L2 2017	584,486	113,487,469	L6 2017	636,926	123,501,069
L2 2018	573,208	154,889,760	L6 2018	619,164	168,556,504
L3 2011	1,050,910	38,708,349	L7 2018	280,970	127,556,273

Con estos datos se procede a medir el Costo-Efectividad Medio (CEM). Adicionalmente y con la finalidad de homogeneizar estas variables y graficarlas en un plano de cuadrantes de Costo-Efectividad, se procede a reescalarlas linealmente ya que “... es una de las técnicas más utilizadas en la construcción de números índices sintéticos sociales y económicos” misma que fue definida por Drewnowski y Scott en 1966. Esta técnica utiliza valores máximos y mínimos de los indicadores y el rango, en vez de la media y/o desviación estándar. Se calcula como el cociente de la diferencia entre el valor del indicador X_i y el valor mínimo X_{\min} dividido entre el rango absoluto ($X_{\max} - X_{\min}$):

$$I_i = \frac{(X_i - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})}$$

La técnica se realizó mediante el paquete estadístico RStudio (R o RStudio, en adelante) donde se reescalaron los valores en el rango [-1,1], con la finalidad de exponer más claramente los datos, acorde a la metodología utilizada. A continuación, en la Tabla 7. Costo-Efectividad (reescalado) se muestran los datos tanto de costos como de efectividad reescalados entre el rango -1 a 1.

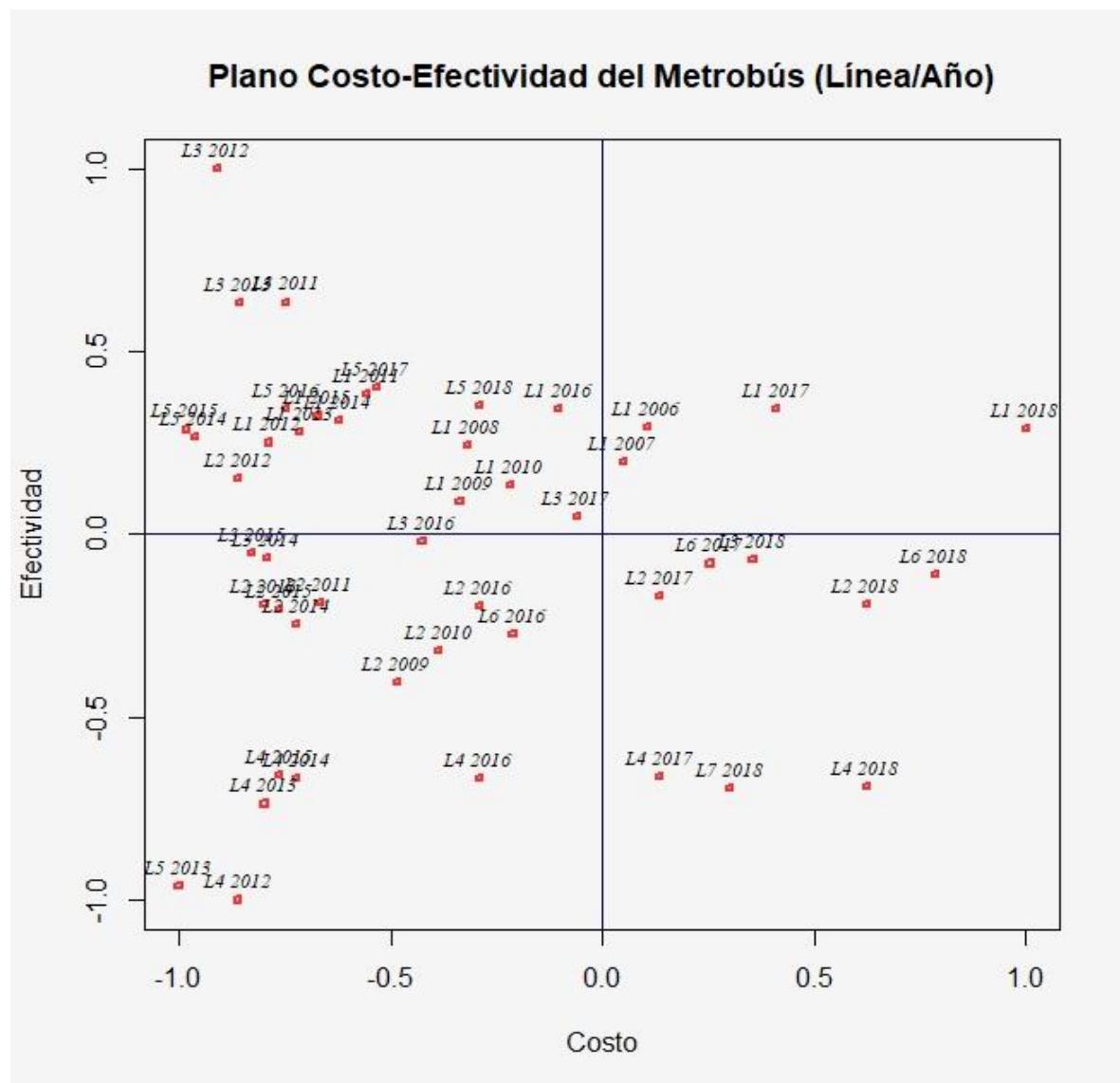
Tabla 7. Costo-Efectividad (reescalado)

Línea	Costo	Efectividad	Línea	Costo	Efectividad
Linea 1 2006	0.11	0.29	Linea 3 2012	-0.91	1.00
Linea 1 2007	0.05	0.20	Linea 3 2013	-0.86	0.63
Linea 1 2008	-0.32	0.25	Linea 3 2014	-0.79	-0.06
Linea 1 2009	-0.34	0.09	Linea 3 2015	-0.83	-0.05
Linea 1 2010	-0.22	0.13	Linea 3 2016	-0.43	-0.02
Linea 1 2011	-0.56	0.39	Linea 3 2017	-0.06	0.05
Linea 1 2012	-0.79	0.25	Linea 3 2018	0.36	-0.07
Linea 1 2013	-0.71	0.28	Linea 4 2012	-0.86	-1.00
Linea 1 2014	-0.62	0.31	Linea 4 2013	-0.80	-0.74
Linea 1 2015	-0.67	0.32	Linea 4 2014	-0.72	-0.67
Linea 1 2016	-0.10	0.34	Linea 4 2015	-0.76	-0.66
Linea 1 2017	0.41	0.34	Linea 4 2016	-0.29	-0.67
Linea 1 2018	1.00	0.29	Linea 4 2017	0.14	-0.66
Linea 2 2009	-0.48	-0.40	Linea 4 2018	0.62	-0.69
Linea 2 2010	-0.39	-0.32	Linea 5 2013	-1.00	-0.96
Linea 2 2011	-0.67	-0.19	Linea 5 2014	-0.96	0.27
Linea 2 2012	-0.86	0.15	Linea 5 2015	-0.98	0.29
Linea 2 2013	-0.80	-0.19	Linea 5 2016	-0.75	0.34
Linea 2 2014	-0.72	-0.24	Linea 5 2017	-0.53	0.40
Linea 2 2015	-0.76	-0.20	Linea 5 2018	-0.29	0.35
Linea 2 2016	-0.29	-0.20	Linea 6 2016	-0.21	-0.27
Linea 2 2017	0.14	-0.17	Linea 6 2017	0.25	-0.08
Linea 2 2018	0.62	-0.19	Linea 6 2018	0.79	-0.11
Linea 3 2011	-0.75	0.64	Linea 7 2018	0.30	-0.69

Una vez presentados los resultados, se procedió a graficarlos en el “Plano Costo-Efectividad Medio” mediante pares ordenados – en intervalos de [-1, 1] – donde en el eje de las abscisas se colocan los puntos correspondientes a los costos y en el de las ordenadas, los correspondientes a la efectividad.

A continuación, en la Ilustración 3. Plano Costo-Efectividad Medio (Línea/Año) se muestran los resultados, mismos que son explicados más adelante.

Ilustración 3. Plano Costo-Efectividad Medio (Línea/Año)
(2006-2018)



Adicionalmente, en la Tabla 8. Resumen Plano Costo-Efectividad Medio se resume los resultados obtenidos mediante el Análisis Costo-Efectividad.

Tabla 8. Resumen Plano Costo-Efectividad Medio

Plano Costo-Efectividad			
Cuadrante I	Línea/Año	Cuadrante III	Línea/Año
Más costoso, más efectivo	L1 2006	Menos costoso, menos efectivo	L2 2009
	L1 2007		L2 2010
	L1 2017		L2 2011
	L1 2018		L2 2013
Cuadrante II	Línea/Año	Más costoso, menos efectivo	L2 2014
Menos costoso, más efectivo	L1 2008		L2 2015
	L1 2009		L2 2016
	L1 2010		L3 2014
	L1 2011		L3 2015
	L1 2012		L3 2016
	L1 2013		L4 2013
	L1 2014		L4 2014
	L1 2015		L4 2015
	L1 2016		L4 2016
	L2 2012		L5 2013
	L3 2011		L6 2016
	L3 2012	Cuadrante IV	Línea/Año
	L3 2013	Más costoso, menos efectivo	L2 2017
	L3 2017		L2 2018
	L5 2014		L3 2018
	L5 2015		L4 2012
	L5 2016		L4 2017
	L5 2017		L4 2018
	L5 2018		L6 2017
			L6 2018
			L7 2018

De los anteriores resultados se observa que 4 puntos (Línea/Año) se encuentran en el cuadrante I, 19 puntos en el cuadrante II, 16 en el cuadrante III y 9 en el IV, que suman 48 observaciones del análisis Costo-Efectividad Medio. La interpretación es como se señala a continuación. Los puntos que se encuentran en el cuadrante I son aquellos correspondientes a determinada línea de determinado año que resultan más costosas y efectivas en términos absolutos. En otras palabras, son aquellas cuyo funcionamiento resulta costoso y efectivo en términos

de pasajeros transportados en relación con las unidades en operación. De manera análoga, los puntos que se encuentran en el cuadrante III son aquellos que resultan menos costosos y efectivos en términos absolutos. Es decir, su funcionamiento no implica una generosa erogación de recursos a la vez que tampoco resulta tan efectivo en relación de pasajeros transportados y unidades en operación. De la misma forma, los puntos que se encuentran en el cuadrante II son aquellos cuyo ejercicio resulta menos costoso y más efectivo, es decir, la puesta en marcha de las líneas correspondientes a estos puntos tiene una relación más beneficiosa en términos sociales. En contraste, las líneas correspondientes de los puntos que se encuentran en el cuadrante IV poseen la particularidad de ser más costosas y menos eficaces, situación que representa una deficiente aplicación de los recursos a estas líneas/año, las menos beneficiosas en términos sociales.

De los resultados, se observa que las líneas 4, 6 y 7 resultan relativamente costosas y no efectivas para los años 2017 y 2018. En conjunto, estas tres líneas concentran 99 estaciones del total de las estaciones del sistema, que representa un 45% de las mismas. En contraste, la Línea 1 para los años 2006, 2007, 2017 y 2018 resulta ser la más efectiva a pesar de los altos costos. En este mismo sentido, la Línea 1 parece siempre tener la característica de ser relativamente efectiva, ya que en todos los años se mantiene en los cuadrantes que representan mayor efectividad (cuadrante I y II). En adición, la Línea 5 – un año posterior a su puesta en marcha – también parece tener este patrón de costos bajos y efectividad alta. Estas dos líneas en conjunto suman un total de 58 estaciones que representan un 26% del total de estaciones del sistema. Caso contrario ocurre con las líneas 2 y 3, cuya aparición en los cuadrantes no parece seguir patrón alguno.

En resumen, en términos relativos resulta más costoso y menos efectivo asignar recursos (dinero o unidades en operación) de la manera que se asignaron en los últimos años a las líneas 2, 3, 4, 6 y 7. En contraste, la asignación de recursos (dinero o unidades en operación) resultó en mayor efectividad y/o menos costos para las líneas 1 y 5. No obstante, escudriñando con mayor profundidad, se

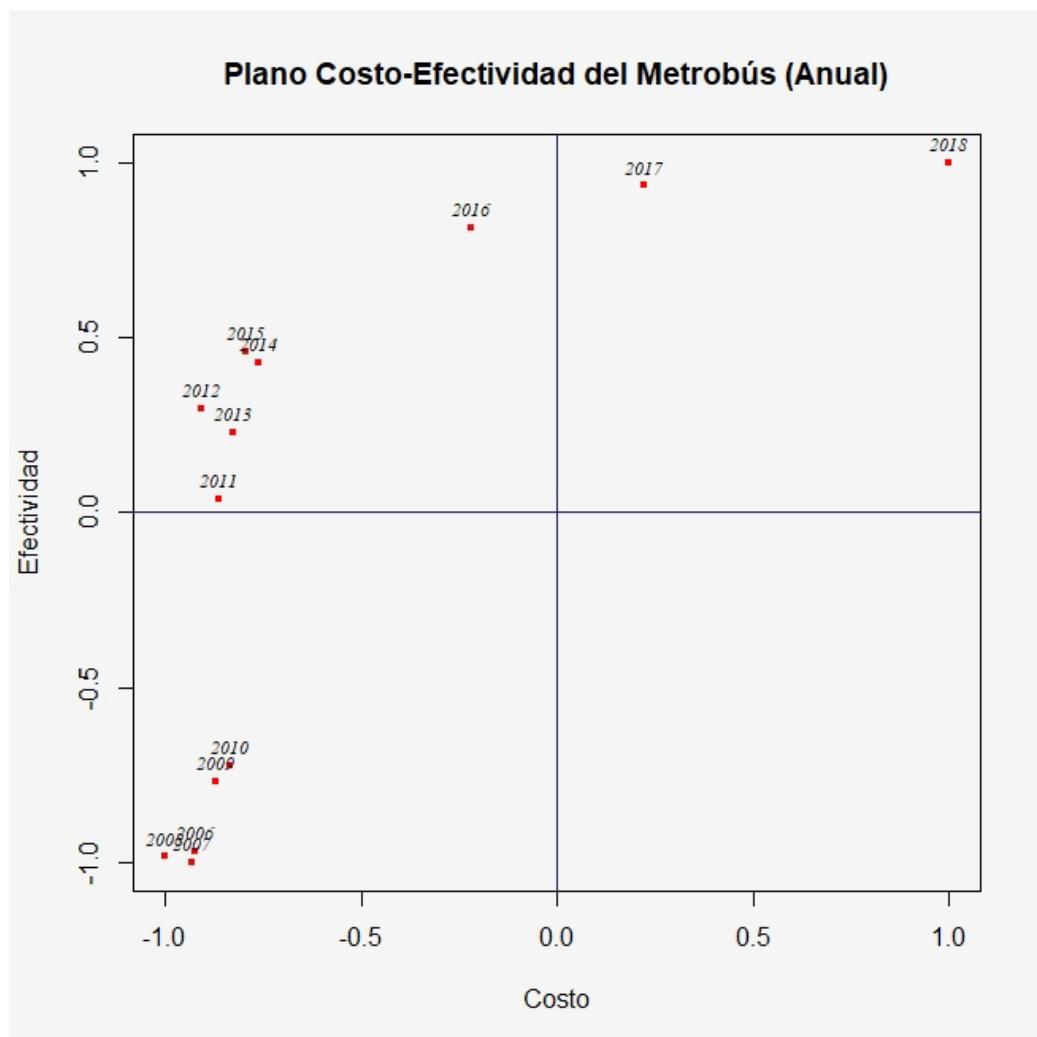
observa que, en 2018, una parte considerable de las unidades en operación del sistema se destinan a la Línea 1 – aproximadamente el 19% de las mismas –, mientras que el 8% de las unidades en operación se destinan a la Línea 5. En términos de viajes realizados la Línea 1 es considerada la de mayor importancia, mientras que la Línea 5 la de menor importancia. Concluyéndose que la mayor efectividad está determinada por una adecuada correspondencia en la asignación de las unidades en operación destinadas a cada una de las líneas conforme a su importancia relativo en términos porcentuales de viajes realizados o, dicho de otro modo, a mayor número de viajes realizados por Línea mayor número de unidades destinadas a esa Línea se deberían destinar.

En conclusión, si medimos la relación costo-efectividad de manera individual (es decir, línea por Línea de manera anualizada), existirán algunas líneas que, por su importancia, deberían ser prioritarias en términos de asignación tanto de presupuesto como de mayor asignación de unidades en operación. Tal es el caso de las líneas 1 y 5 ya que estas han demostrado ser las más efectivas en los años recientes, independientemente de la magnitud de los costos. Sin embargo, las líneas 2, 3, 4, 6 y 7 resultan ser más costosas y menos efectivas en el último año de estudio, e incluso para años previos en determinadas ocasiones.

En cierta medida, estos resultados son incompletos si se contemplan de manera individual –a nivel de línea–. Por ello, se propone un análisis integral del sistema.

El siguiente análisis resulta más generalizado que el anterior, ya que este contempla tanto costos como efectividad totales del sistema de manera integral anualmente. En otras palabras, se emplearon los costos del año i y la efectividad del año i , reescalados en el rango [-1,1], para graficar pares ordenados año con año desde 2006 hasta 2018 (13 puntos) en el Plano Costo-Efectividad. La Ilustración 4. Plano Costo-Efectividad Medio (Anual) muestra dicha situación.

Ilustración 4. Plano Costo-Efectividad Medio (Anual)



Se observa que, a nivel sistema integral, durante los primeros cinco años (2006-2010) tanto los costos como la efectividad eran, en términos relativos, bajos. Con el transcurso del tiempo a partir de 2011 y hasta 2015 los costos incrementaron paulatinamente a la par de incrementos en la efectividad. El punto del año de 2016 tuvo un movimiento relevante debido al incremento de un 156% y 18% respecto de los costos y la efectividad del año previo, respectivamente. Por otra parte, para 2017 y 2018 los costos relativos incrementaron a una tasa muy por encima del incremento de la efectividad (49% y 56% los costos para 2017 y 2018, respectivamente y 5% y 3% para la efectividad para los mismos años).

En resumen, la efectividad ha incrementado en menor proporción que los costos de la puesta en marcha del sistema, ya que en un inicio (periodo 2006-2010) el sistema no era tan efectivo como los años posteriores, pero los costos bajos justifican los beneficios en términos sociales. En una etapa intermedia (periodo 2011-2016), la efectividad incrementó en promedio 24% mientras que la efectividad tuvo incrementos por 29%. Es decir, en proporciones no tan disparadas una variable respecto de la otra. Sin embargo, en la etapa actual (2017-2018) se observa que tanto los costos del servicio como la efectividad son altos, aunque el promedio porcentual del incremento de los costos está muy por encima respecto del incremento porcentual promedio de la efectividad (52% para los costos y 4% para la efectividad). En otras palabras, en el periodo de análisis los costos han incrementado en mayor proporción que la efectividad (28% de incremento del primero versus 17% de incremento del segundo). Eso explica la forma ascendente pero decreciente de los puntos CEM de la Ilustración 4.

Tanto la efectividad como los costos han incrementado año con año y ello se debe al incremento de líneas que se traduce en el aumento de unidades destinadas a transportar pasajeros. Es decir, implica el incremento de viajes realizados, pero también el incremento de los costos del sistema.

En conclusión, resulta benéfico en términos sociales la apertura de líneas adicionales al sistema, tomando en consideración que éstas se han ido agregando al sistema con el paso del tiempo y la última fue inaugurada en el año 2018. Resulta necesario mencionar que la tasa de crecimiento de los costos está muy por encima de la tasa de crecimiento de la efectividad, de ahí la tendencia marginal decreciente de los puntos correspondientes a los años más actuales. A pesar de ello y tomando en consideración la tendencia anterior, seguirá siendo benéfico la apertura y puesta en marcha las tres líneas que completarían las diez propuestas inicialmente en el plan. Incluso, a quince años de la inauguración del sistema, ya se tiene contemplada la elaboración del proyecto ejecutivo de la construcción de la Línea 8.

Finalmente, mediante la Ilustración 5. Plano Costo-Efectividad Incremental del Metrobús (Nueva línea) se observa la evolución de la implementación de una nueva línea al sistema. En otras palabras, refleja el cociente del incremento de los costos del tiempo t menos los costos del tiempo $t-1$ y del incremento de la efectividad del tiempo t menos los costos del tiempo $t-1$. Ejemplificando, la Línea 1 era la única que componía el sistema en el año 2009, cuyos costos y efectividad en dicho año fueron 110.95 millones de pesos y 852 mil unidades, respectivamente. Posteriormente en ese año se añadió la Línea 2 cuyos costos y efectividad fueron 134.27 millones de pesos y 1,185 miles de unidades, respectivamente¹⁴. El cociente queda como se muestra a continuación:

$$\frac{134.27 - 110.95}{1,185 - 852} = \frac{23.32}{333} = 0.07$$

Donde 0.07 es el Costo-Efectividad Incremental correspondiente a la transición de la Línea 1 a Línea 2 (L1 L2, en el gráfico).

Misma lógica se sigue hasta llegar a la implementación de la Línea 7 (L6 L7, en el gráfico) donde el cociente queda como sigue:

$$\frac{1,002.22 - 436.25}{4,139 - 3,827} = \frac{565.97}{312} = 1.81$$

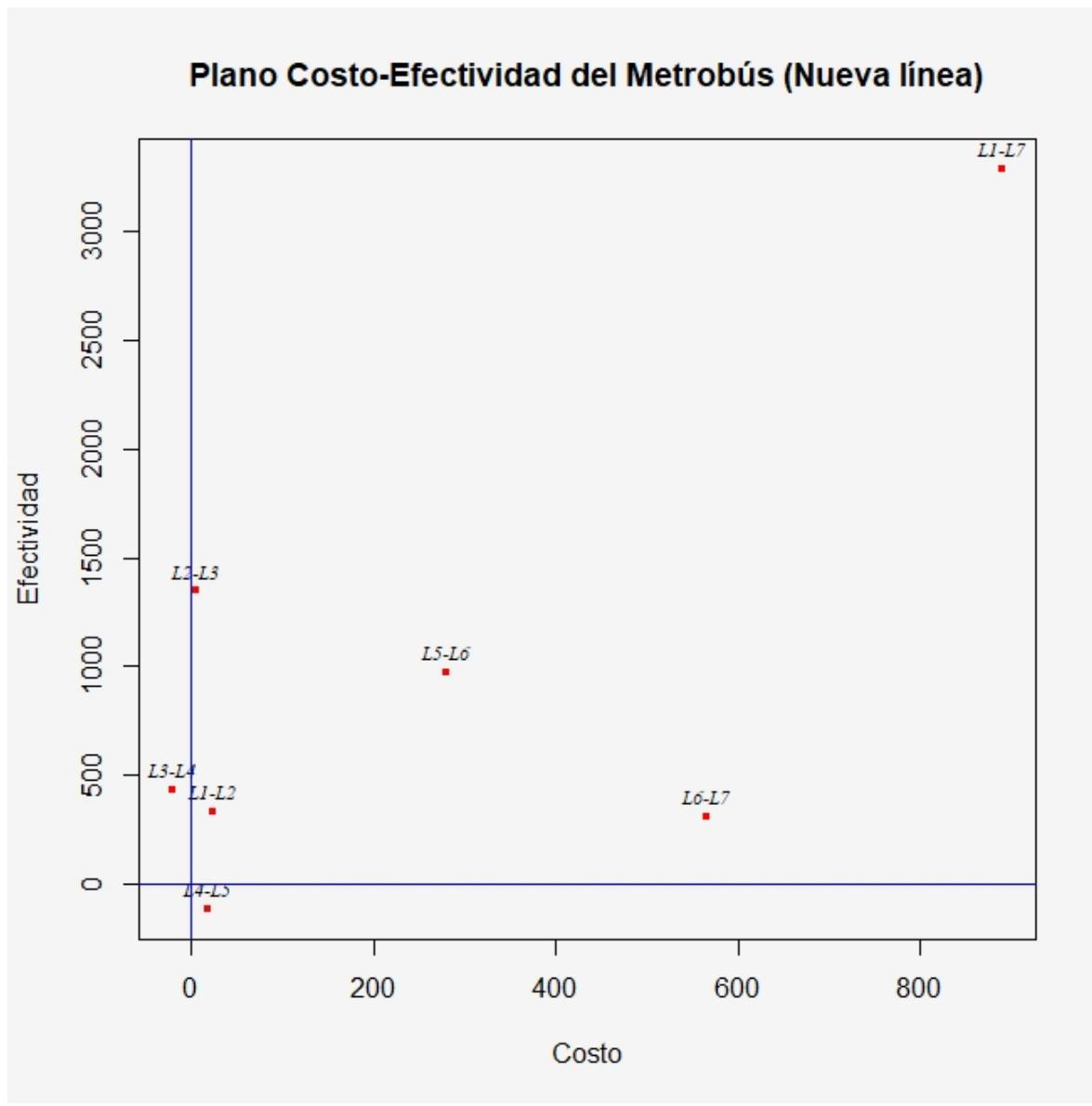
Adicionalmente, se realizó el mismo ejercicio tomando en cuenta los costos y efectividades más antiguos y más recientes, es decir, los de la Línea 1 y la Línea 7 (L1 L7, en el gráfico), donde el cociente es el que se muestra a continuación:

$$\frac{1,002.23 - 110.95}{4,139 - 852} = \frac{891.27}{3,287} = 0.27$$

Con los resultados obtenidos para cada adición al sistema, se procedió a reescalar los resultados en un rango de [-1,1], graficándose como sigue:

¹⁴ Para mayor detalle revisar el Anexo

Ilustración 5. Plano Costo-Efectividad Incremental del Metrobús (Nueva línea)



En conclusión, se observa que la transición de implementación de L1-L2, L2-L3, L5-L6, L6-L7 y L1-L7 resultó más costosas, y más efectivas. La implementación de la L4-L5 resultó menos efectiva y más costosa encontrándose el CEI en el cuadrante IV. Finalmente, la implementación de la L3-L4 resultó la mejor evaluada al encontrarse en el cuadrante II (más efectiva y menos costosa). Por ende, la implementación de una nueva línea, en general, implica un aumento de costos a la vez de un incremento en la efectividad del sistema.

CAPÍTULO 5. EXPLICACIÓN DEL MODELO

En el presente capítulo se presenta los resultados obtenidos, de acuerdo con las metodologías para modelos de datos panel. Los datos panel o longitudinales constan de una serie temporal para cada miembro del corte transversal en el conjunto de datos. Además, dado que algunas de las observaciones de series temporales no se encuentran disponibles para algunas observaciones de corte transversal, se considera que el panel es *no balanceado*. La ventaja de los modelos de datos panel es que toman en cuenta de manera explícita la heterogeneidad, ya que considera los efectos invariantes en el tiempo y/o espacio, pero que, a su vez, afecten la variable endógena; además de permitir analizar el efecto de cada individuo y controlar *outliers* sin recurrir a variables dicotómicas. Por otro lado, también mejora la calidad de información ya que permite mayor variabilidad, grados de libertad y eficiencia, además de menos problemas de colinealidad. Adicionalmente, permite estudiar dinámicas de ajuste, relaciones intertemporales, modelos de ciclo de vida e intergeneracionales. Los modelos de datos panel también permiten identificar y cuantificar efectos no posibles de detectar con datos de series de tiempo, además de permitir construir y probar modelos de comportamiento más complejos sin recurrir a muchas restricciones. Finalmente, favorece el logro de algunas propiedades estadísticas de los estimadores, como la consistencia y la eficiencia, sabiéndose usar apropiadamente.

Los parámetros obtenidos para el modelo se estiman de acuerdo los datos observados de las variables obtenidas¹⁵. Para los distintos tipos de modelos econométricos las variables quedan especificadas como sigue: la variable dependiente o variable respuesta (endógena) está representada por la Efectividad (*efec*) que, como se menciona anteriormente, ésta refleja la relación existente entre los usuarios transportados por cada línea y autobuses destinados a la

¹⁵ Los datos se trataron mediante transformación logarítmica a efectos de reducir la sensibilidad de las estimaciones respecto de las observaciones atípicas para las variables independientes y dependientes. Para mayor detalle, remitir al Anexo 3.

misma. Adicionalmente, las variables exógenas Presupuesto Ejercido (*presu*), los Kilómetros Recorridos (*kilom*), los Boletos de Cortesía (*boleco*) y los Boletos Pagados (*bolepa*).

En otras palabras, la efectividad está en función de:

$$efec = f(presu, kilom, boleco, bolepa)$$

Así, la forma simple e inicial para analizar datos tipo panel es omitiendo las dimensiones espaciales y temporales de los datos agrupados a través de la estimación por medio de una regresión de mínimos cuadrados ordinarios.

$$Y_{it} = \alpha + \beta_1 x_{1it} + e_{it}$$

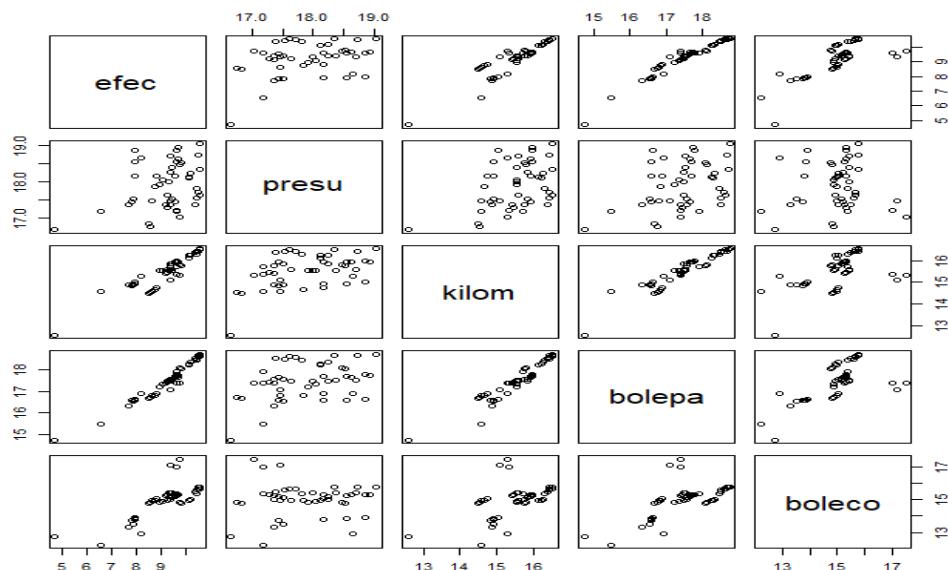
Donde i significa la i -ésima unidad transversal (línea) y t el tiempo t (año).

Para la estimación de tales parámetros se utilizaron datos expresados en logaritmos con el fin de aportar estabilidad en los regresores, reducir las observaciones atípicas y establecer la interpretación típica de elasticidad de la variable dependiente respecto a las variables independientes, esto es, un incremento en una unidad porcentual de X_n genera un cambio en Y en β_n . Además, como se menciona anteriormente, se emplea el método de mínimos cuadrados ordinarios y, posteriormente, se llevaron a cabo pruebas estadísticas – mismas que se detallan más adelante – para comprobar el nivel de significancia estadística de los parámetros. Lo anterior con la finalidad de medir la precisión de los coeficientes de regresión, minimizando las diferencias entre las variables observadas y las estimadas para el modelo, llevando a cabo pruebas de bondad de ajuste, utilizando el método de máxima verosimilitud.

Inicialmente, se lleva a cabo el análisis visual de las variables. Los resultados visuales preliminares sirven como apoyo con la finalidad de conjeturar y facilitar la especificación del modelo. Primero, mediante la matriz de gráficos de dispersión de las variables – mostrada en la Ilustración 6. Matriz de gráficos de dispersión de las variables – se observa la correlación uno a uno entre variables. La interpretación es como sigue: si la relación entre variables es dispersa (sin tendencia aparente), quiere decir que existe poca o nula correlación entre ellas. Sin embargo, y como se menciona anteriormente, esta ilustración únicamente sirve como apoyo, por lo que se requiere de un análisis estadístico más detallado para poder obtener una conclusión robusta. En un primer acercamiento, se observa que la variable dependiente (*efec*) mantiene cierta correlación con las variables explicativas, salvo con la variable *presu*. De hecho, no resulta complicado observar que esta variable no mantiene una marcada correlación con otras variables explicativas.

Adicionalmente, los Boletos de Cortesía (*boleco*) tienen poca correlación con otras variables; no obstante, al no ser tan acentuada como la variable *presu*, razón por la cual será necesario incluirla dentro del análisis preliminar del modelo para así inferir un modelo y parámetros estadísticamente significativos.

Ilustración 6. Matriz de gráficos de dispersión de las variables



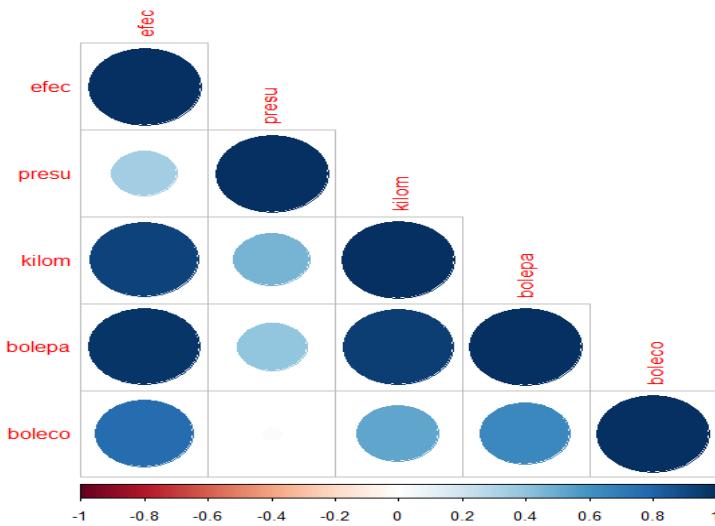
En la Tabla 9. Matriz de correlación entre predictores se obtienen resultados equiparables a los anteriores, pero con la diferencia que últimos son más fácilmente comparables porque los coeficientes son cuantificables (varían en el rango [0, 1]). La interpretación muestra que, si el coeficiente es cercano a cero, la correlación es nula; a medida que el coeficiente se va acercando a la unidad, la correlación es mayor y, evidentemente, si éste es igual a uno, la correlación es total.

Con ello sólo se refuerzan las conclusiones del análisis previo del gráfico de dispersión: baja correlación entre la variable *presu* y las demás variables y correlación no tan clara entre la variable *boleco* y otras variables. Misma conclusión se puede observar en la Ilustración 7. Correlación entre predictores.

Tabla 9. Matriz de correlación entre predictores

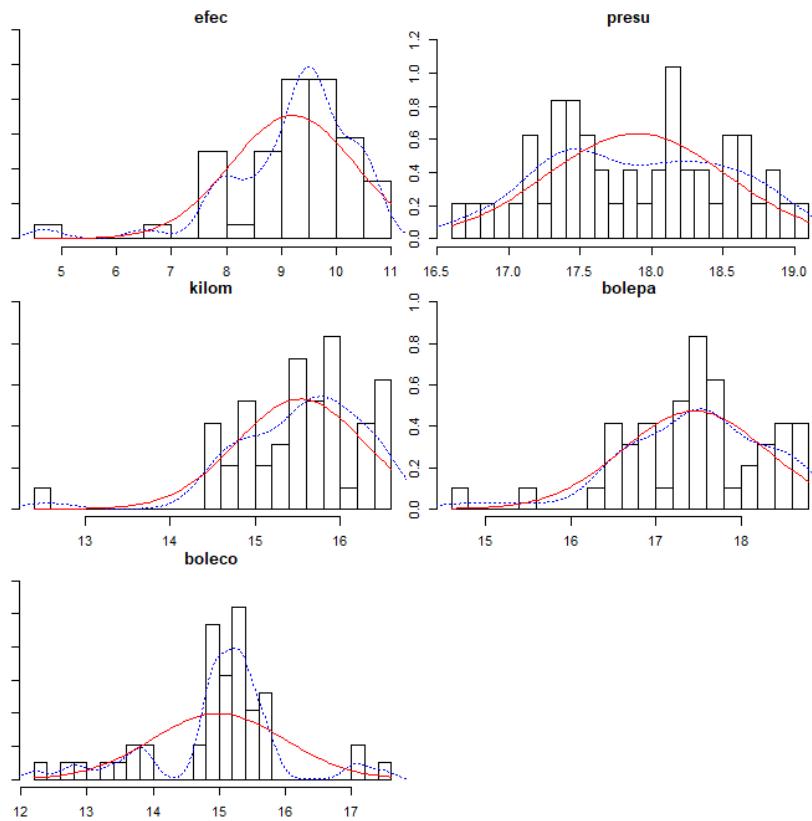
	efec	presu	kilom	bolepa	boleco
efec	1.00	0.34	0.92	0.97	0.76
presu	0.34	1.00	0.46	0.39	0.03
kilom	0.92	0.46	1.00	0.95	0.53
bolepa	0.97	0.39	0.95	1.00	0.64
boleco	0.67	0.03	0.53	0.64	1.00

Ilustración 7. Correlación entre predictores



Por otro lado, en la Ilustración 8. Distribución de densidad de las variables del modelo, se observa la distribución de las observaciones de cada una de las variables, tanto empírica como paramétricamente. En este análisis se concluye que las variables se encuentran heterogéneamente distribuidas ya que la línea roja representa el comportamiento de los datos ajustados a una distribución normal; mientras que la línea azul representa los datos ajustados a la distribución observada. En conclusión, la distribución paramétrica y la observada presentan diferencias entre sí lo que podría representar la violación al supuesto de distribución normal de los residuales. Mediante la función de densidad se describe la probabilidad de que una variable aleatoria tome determinado valor, por lo tanto, su dominio siempre es positivo la integral sobre el espacio es de valor unitario.

Ilustración 8. Distribución de densidad de las variables del modelo



Con los resultados del análisis preliminar, se procede a realizar la regresión agrupada para determinar los coeficientes de regresión. A continuación, se muestran los resultados.

5.1 Modelo de regresión agrupada (efectos comunes o *Pooled OLS*)

Como mencionan Aparicio y Márquez (2005) el enfoque más simple para analizar datos tipo panel es omitiendo tanto la dimensión espacial como la temporal de los datos agrupados y calculando la regresión mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios. Dichos resultados se obtuvieron mediante el programa de análisis estadístico RStudio así como el software STATA 14.0, estimándose los parámetros de la regresión agrupada mediante el método *Pooled OLS* (efectos comunes estimados mediante mínimos cuadrados ordinarios). Para el modelo de regresión agrupada con p predictores se utiliza el test de hipótesis para la determinación de los coeficientes. Es decir, la hipótesis nula y la alternativa están definidas como sigue:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \cdots = \beta_p = 0$$

$$H_a: \text{al menos un } \beta_j \text{ es diferente a } 0$$

Para la especificación del modelo se empleó el Método *Backward* que consiste en partir de la estimación inicial incorporando el total de los predictores y, progresivamente, se van descartando aquellas variables que resulten no significativas para el mismo, hasta que se satisfagan las condiciones y/o supuestos que dan robustez estadísticamente significativa.

A continuación, se presentan los resultados preliminares del modelo.

El modelo está representado por *efec* como variable endógena y como variables exógenas *presu*, *kilom*, *bolepa* y *boleco* (los coeficientes que se muestran en la *Tabla 13. Coeficientes del modelo de regresión lineal (efectos comunes)*, en la sección de Anexos).

Ecuación 1. Modelo de regresión lineal (efectos agrupados preliminar)

$$y = -14.15 - 0.00564 + 0.33147 \text{ kilom} + 0.79656 \text{ bolepa} + 0.2939 \text{ boleco}$$

El modelo se interpreta como sigue. La variable *efec* representa, como se menciona anteriormente, la variable explicada. Las variables independientes están representadas por todas las restantes (*presu*, *kilom*, *bolepa* y *boleco*).

La estimación del intercepto resultó estadísticamente significativo a niveles de confianza de 99.9 por ciento debido a tener asociado un *p-value* de 0.00 por ciento, aceptándose la hipótesis alternativa (coeficiente significativo a los niveles de confianza comúnmente utilizados). En el mismo sentido, los subsecuentes estimadores son significativos *p-values* asociados cercanos al cero por ciento (nivel de confianza al 99.9 por ciento o superior), con excepción de la variable presupuesto, siendo consistente con los resultados observados en el análisis visual.

La R-cuadrada – estadístico que representa la correlación entre la variable respuesta y las variables explicativas – presenta un coeficiente cercano a uno implicando que hay indicios de correlación robusta; si bien, en ocasiones puede implicar un sesgo en la estimación respecto a la variabilidad explicada por el modelo debido a que es común que este valor sea mayor entre más variables sean incluidas en el modelo. Por ello, se suele recurrir a la R-cuadrada ajustada, ya que ésta implica una penalización a la sobreestimación de los coeficientes. En otras palabras, estos coeficientes explican la varianza observada, con la única diferencia que el segundo penaliza la posible sobreestimación causada por el exceso de variables añadidas al modelo. Para el presente estudio, este modelo cuenta con 0.9793 y 0.9774 de R-cuadrada y R-cuadrada ajustada, respectivamente. Además, dado que el *p-value* es cercano a cero, se infiere que el modelo es útil ya que los predictores mantienen correlación con la variable explicada.

Adicionalmente, mediante el método denominado *Stepwise* se seleccionaron variables con la finalidad de seleccionar variables útiles y estadísticamente

significativas. Este método se basa en la combinación de inclusión o exclusión de las variables en el modelo con la característica de hacerlo de manera secuencial.

Los resultados obtenidos mediante el citado método no significaron cambios relevantes ya que, desde un inicio, tres de las cuatro variables independientes fueron estadísticamente significativas y, por ende, únicamente se descartó la variable *presu*. Ver Tabla 14. Selección de predictores (*stepwise*)

Con la evidencia presentada se procede a modelar los parámetros quedando la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Modelo de regresión lineal (efectos agrupados)

$$y = -14.22 + 0.3283 \text{ kilom} + 0.7967 \text{ bolepa} + 0.2949 \text{ boleco}$$

Al ser los estimadores para cada una de las variables, así como el intercepto, estadísticamente significativos, se obtiene los intervalos de confianza que dan idea de la exactitud de los estimadores obtenidos. En otras palabras, muestran el intervalo para el valor medio de *Y* dado un valor de *X*. Intuitivamente, como el nivel de confianza y la amplitud del intervalo varían en conjunto, se infiere que un intervalo más amplio tendrá mayores probabilidades de acierto; caso contrario, sucede si el intervalo es más pequeño, ya que la estimación es más precisa al mismo tiempo que la probabilidad de error incrementa. Ver Tabla 15. Intervalos de confianza (efectos comunes)

Adicionalmente, para medir la robustez del modelo de regresión agrupado se llevaron a cabo las pruebas de distribución normal de los residuos, detección y visualización de observaciones influyentes, así como de puntos con alta influencia, variabilidad no constante en los residuos, no autocorrelación y no multicolinealidad. Para mayor detalle observar la sección del Anexo.

En conclusión, el modelo no se considera robusto porque no existe evidencia de distribución normal de los residuales, existen indicios de autocorrelación y multicolinealidad, además de no ser concluyente en la prueba de no homocedasticidad.

5.2 Modelo de efectos aleatorios (*random effects*)

A diferencia del modelo de regresión agrupado, el modelo de efectos aleatorios controla el carácter individual de cada Línea del Sistema. Así, el modelo de efectos aleatorios supone que cada unidad transversal posee un intercepto diferente. Por ende el modelo se expresa:

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_1 x_{1it} + e_{it}$$

Donde $\alpha_i = \alpha + u_i$. En otras palabras, α no se considera fija sino variable aleatoria con un valor medio α y una desviación aleatoria u_i de este valor medio. Sustituyendo $\alpha_i = \alpha + u_i$, obtenemos:

$$Y_{it} = \alpha + \beta_1 x_{1it} + u_i + e_{it}$$

Los parámetros y estadísticos de bondad de ajuste iniciales del presente modelo se muestran a continuación (para mayor detalle ver Tabla 16. Coeficientes del modelo de efectos aleatorios y Tabla 17. Intervalos de confianza (efectos aleatorios)):

Ecuación 3. Modelo de efectos aleatorios

$$\text{efectividad} = -14.15 + 0.331\text{kilom} - 0.294\text{boleco} + 0.797\text{bolepa}$$

Analizando las ecuaciones del modelo de regresión agrupada y el modelo de efectos aleatorios, se infiere que si la varianza de u_i es igual a cero ($\sigma_u^2 = 0$), entonces no existe ninguna diferencia estadísticamente significativa entre ambos modelos.

En cierto modo, para saber cuál de los dos modelos ajusta mejor a los datos observados entre ambos modelos, se procede a llevar a cabo la prueba de Breusch y Pagan denominada la *Prueba del multiplicador de Lagrange para efectos aleatorios*. Para este *test* la hipótesis nula implica que $\sigma_u^2 = 0$, de manera contraria, si se acepta la hipótesis alternativa se infiere que existen diferencias significativas entre ambos modelos, siendo preferible utilizar el modelo de efectos aleatorios.

Los resultados obtenidos tanto en el software RStudio como en STATA 14.0 arrojan un p-valor = 0.5423 aceptando la hipótesis nula y demostrando que no existen efectos significativos. Por lo tanto no existe diferencia relevante entre emplear un modelo u otro.

5.3 Modelo de efectos fijos (*fixed effects*)

Alternativamente, otra manera de modelar el carácter individual de cada Línea del Sistema es mediante el modelo de efectos fijos, para lo que es necesario estimar una variable dicotómica para cada línea, v_i . Para ello es necesario emplear la técnica de las variables dicotómicas de intersección diferencial (Aparicio y Márquez, 2005). A continuación se muestra la forma funcional:

$$Y_{it} = \beta_0 + v_i + \beta_1 X_{1it} + e_{it}$$

Donde v_i es un vector de variables dicotómicas para cada Línea del Sistema.

El vector de variables dicotómicas expresa la diferencia para cada una de las líneas del sistema capturadas a través del término constante. Es decir, para la Línea “n”, corresponde la variable dicotómica v_n , al mismo tiempo que para las otras líneas diferentes a “n” las variables dicotómicas son iguales a cero. Como se menciona en Ramoni Perazzi y Orlandoni Merli (2013), estas variables estimadas recogen la heterogeneidad a través de un conjunto de $n-1$ variables dicotómicas.

Se observa que la inclusión de los coeficientes v_i en el modelo de regresión captan la variación en la constante β_0 . Los parámetros y estadísticos de bondad de ajuste del modelo de efectos fijos, así como el vector de variables dicotómicas para cada Línea, se detallan en la Tabla 18. Coeficientes del modelo de efectos fijos y Tabla 19. Intervalos de confianza (efectos fijos):

Ecuación 4. Modelo de efectos fijos

$$\text{efectividad} = -18.66 + v_i + 0.725\text{kilom} + 0.262\text{boleco} + 0.749\text{bolepa}$$

Donde v_i es el vector de coeficientes dicotómicos para cada Línea del Sistema.

Por ende, un criterio estadístico para demostrar qué modelo entre el de efectos comunes versus el de efectos fijos es mejor es mediante la prueba *F restrictiva*, donde la hipótesis nula es que $v_1 = v_2 = \dots = v_i = 0$ (donde todas las variables dicotómicas son iguales a cero). En otras palabras, si se acepta la hipótesis nula implica que ninguna de las variables dicotómicas pertenece al modelo, por ende, el modelo de efectos comunes es más adecuado. Así, si se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa, significa que al menos una variable dicotómica pertenece al modelo, por lo que será necesario utilizar el método de efectos fijos.

Los resultados arrojados por los softwares empleados demuestran mediante el p-valor de la prueba *F restrictiva* que se rechaza la hipótesis nula, por lo que se acepta la hipótesis alternativa, ya que hay evidencia de efectos estadísticamente significativos, por lo que, de los tres modelos propuestos, es estadísticamente mejor utilizar usar el modelo de datos panel con efectos fijos.

Adicionalmente, para corroborar qué modelo es preferible entre el modelo de efectos fijos y el modelo de efectos aleatorios, se observa la posible correlación entre el componente del error individual u_i y las variable X. Para ello se lleva a cabo la prueba de Hausman, mediante la cual la diferencia de los coeficientes de efectos fijos y aleatorios ($\beta_{ef} - \beta_{ea}$) puede ser usada para probar la hipótesis nula de que u_i y las variables X no están correlacionadas. En otras palabras, esta hipótesis asegura que los estimadores de los efectos aleatorios y los estimadores de los efectos fijos no difieren sustancialmente. En cambio, si se rechaza la hipótesis nula (aceptándose la hipótesis alternativa) se concluye que los estimadores sí difieren de manera significativa y, por lo tanto, el modelo de efectos fijos es más conveniente que el modelo de efectos aleatorios.

A continuación se muestran los resultados:

	Coeficientes		
	(b) FIJOS	(B) ALEATORIOS	(b-B) Diferencia
presu	-0.0379	-0.0056	-0.0323
kilom	0.7252	0.3315	0.3937
boleco	0.2619	0.2939	-0.0320
bolepa	0.7495	0.7966	-0.0471
$b = \text{consistente bajo } H_0 \text{ e } H_a$			
$B = \text{inconsistente bajo } H_a, \text{ eficiente bajo } H_0$			
p-valor > chi2 = 0.0000			

Debido a que el p-valor es cero se rechaza la hipótesis nula por lo que existe evidencia suficiente para asegurar que la diferencia entre los coeficientes de efectos aleatorios y de efectos fijos es sistemática. En ese caso es conveniente usar el método de efectos fijos.

Una vez elegido el mejor modelo mediante la prueba de Hausman y eliminado a través de ello el problema de homogeneidad temporal y espacial, es necesario corroborar que éste se encuentra correctamente especificado. En este sentido, se verifica que los estimadores cumplan el criterio de Mejor Estimador Lineal Insesgado (MELI) cuando se logren las condiciones de errores independientes entre sí y distribuidos idénticamente con varianza constante (Aparicio y Márquez, 2005). Debido a que estas condiciones son frecuentemente incumplidas en modelos de datos panel, se procede a corroborar que los errores de diferentes unidades no se encuentren correlacionados, que los errores dentro de cada unidad se correlacionen temporalmente o, bien, cuando la varianza no sea constante.

Posteriormente se realizan las pruebas para corroborar que el modelo cumple con los supuestos que se listan a continuación:

- 1) Autocorrelación
- 2) Heteroscedasticidad
- 3) Correlación contemporánea

Autocorrelación

En esta prueba se requiere corroborar que los errores e_{ti} son independientes con respecto al tiempo. Para diagnosticar el problema de autocorrelación, Wooldridge desarrolló una prueba que, con supuestos mínimos, detecta el problema de autocorrelación, donde la hipótesis nula implica que no existe autocorrelación; de manera contraria, si se rechaza, hay evidencia de la existencia de autocorrelación.

A continuación se muestran los resultados:

Test Wooldridge para autocorrelación en datos panel		
Chisq = 10.773	grados de libertad = 1	p-valor = 0.00

Dado que el p-valor no es significativo estadísticamente, será necesario corregir el modelo mediante uno de efectos fijos con término (ρ) autorregresivo de grado 1 AR(1) controlando así la dependencia de t respecto a $t-1$.

Heteroscedasticidad

Adicionalmente, el problema de heteroscedasticidad se presenta cuando la varianza de los errores de cada unidad transversal no es constante. Así, mediante la prueba del multiplicador lagrangiano de Breusch y Pagan o, bien, mediante el test modificado de Wald para heteroscedasticidad. La diferencia entre ellos, es que el primero es sensible al supuesto de normalidad de los errores; mientras que el segundo no (Aparicio y Márquez, 2005).

Los resultados se muestran a continuación:

Test modificado de Wald para heteroscedasticidad en modelos de regresión de efectos fijos
H0: $\sigma(i)^2 = \sigma^2$ para todo i
chisq (7) = 438.57
Prob>chisq = 0.00

La hipótesis nula implica que no existe problema de heteroscedasticidad. En otras palabras, $\sigma_i^2 = \sigma^2$ para toda $i=1\dots N$, donde N se refiere al número de unidades transversales (o Líneas del Sistema). Dado que los resultados muestran que la H_0 se rechaza, entonces se dice que existe evidencia de heteroscedasticidad en el modelo debido a que la varianza es no constante.

Correlación contemporánea

Finalmente, cuando las observaciones de ciertas unidades (Líneas del Sistema) están correlacionadas con las observaciones de otras Líneas en el mismo periodo, se dice que existe el problema de correlación contemporánea. En otras palabras, se refiere a la correlación de los errores de al menos dos o más unidades en el mismo tiempo t . Así, para identificar problemas de correlación contemporánea en los residuales de un modelo de efectos fijos, se recurre a la prueba de Breusch y Pagan, donde la hipótesis nula implica la existencia de independencia transversal, que se traduce en errores independientes entre las unidades. Al rechazar la H_0 , se dice que hay evidencia de correlación contemporánea.

Los resultados se muestran a continuación:

Test de Breusch-Pagan para dependencia transversal en datos panel		
chisq = 57.412	grados de libertad = 15	p-valor = 0.00
hipótesis alternativa: dependencia transversal		

El p-valor muestra el rechazo de la hipótesis nula, por lo que existe evidencia estadísticamente significativa de correlación contemporánea, situación que debe ser corregida para el modelo propuesto.

Se concluye que el modelo de efectos fijos presenta problemas de correlación contemporánea, heteroscedasticidad y autocorrelación. Por ende, se procede a solucionarse mediante el método de **Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles** (*FGLS*, por sus siglas en inglés) o, alternativamente, mediante el modelo de regresión lineal Prais-Winsten de **Errores Estándar Corregidos para Panel** (*PCSE*, por sus siglas en inglés), siendo éstos últimos más precisos que los primeros (Beck y Katz, 1995).

Así, los problemas se corrijen mediante el modelo de regresión lineal Prais-Winsten en el cual las variables son dependientes del tiempo, los errores estándar están correlacionados y se asume que siguen un proceso autorregresivo de primer orden, en otras palabras, lo que pasa en t se correlaciona con lo que pasó en $t-1$.

El modelo se especifica a continuación:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_t + u_t$$

donde el término de error u_t sigue un proceso autorregresivo AR(1):

$$u_t = \rho u_{t-1} + e_t$$

y los errores e_t son independientes e idénticamente distribuidos $N(0, \sigma^2)$

Los resultados se muestran a continuación en la Tabla 10. Coeficientes del modelo efectos fijos corregidos y, adicionalmente, también se muestran los respectivos niveles de confianza – en la

Tabla 11. Intervalos de confianza (efectos fijos corregidos) – que reflejan el nivel de precisión de la estimación de los coeficientes.

Tabla 10. Coeficientes del modelo efectos fijos corregidos

Regresión Prais-Winsten Paneles correlacionados con errores estándar corregidos (PCSEs)			
Variable	Coef	Std. Err	P> z
presu	-0.045	0.069	0.512
kilom	0.847	0.799	0.000
boleco	0.275	0.310	0.000
bolepa	0.702	0.081	0.000
constante	-19.84	1.105	0.000
Intercepto L2	0.169	0.051	0.001
Intercepto L3	0.347	0.080	0.000
Intercepto L4	0.511	0.091	0.000
Intercepto L5	0.969	0.108	0.000
Intercepto L6	0.201	0.070	0.004
Intercepto L7	0.523	0.091	0.000

Tabla 11. Intervalos de confianza (efectos fijos corregidos)

	2.50%	97.50%	Coeficiente
kilom	0.691	1.004	0.847
bolepa	0.214	0.336	0.275
boleco	0.543	0.861	0.702
constante	-22.00	-17.67	-19.84
v L2	0.068	0.269	0.169
v L3	0.189	0.504	0.347
v L4	0.332	0.690	0.511
v L5	0.757	1.181	0.969
v L6	0.063	0.339	0.201
v L7	0.346	0.700	0.523

Dado que la variable *presupuesto* no resultó ser estadísticamente significativa se eliminó de la forma funcional propuesta reestimando los parámetros del modelo cuyos resultados finales se observan en la *Tabla 12. Comparación de coeficientes de los modelos*. Además, en ella se muestran los coeficientes estimados para cada uno de los modelos propuestos, donde se observa que los coeficientes guardan el mismo sentido para cada una de las variables. Empero, existen diferencias si se comparan los coeficientes de cada modelo.

Tabla 12. Comparación de coeficientes de los modelos

Variable/ Coeficiente	Modelo efectos comunes	Modelos efectos aleatorios	Modelo efectos fijos	Modelo efectos fijos corregido
intercepto	-14.22	-14.15	-18.66	-20.644
kilom	0.328	0.331	0.725	0.8770
bolepa	0.797	0.797	0.749	0.6653
boleco	0.295	0.294	0.262	0.2869

En este sentido, la ecuación estadísticamente significativa que cumple con los criterios anteriormente mencionados además de no presentar problemas de autocorrelación, heteroscedasticidad y correlación contemporánea es la Ecuación 5. Modelo de efectos fijos corregido.

Ecuación 5. Modelo de efectos fijos corregido

$$\text{efectividad} = -20.644 + v_i + 0.8770\text{kilom} + 0.2869\text{boleco} + 0.6653\text{bolepa}$$

donde v_i es el vector de variables dicotómicas para cada Línea del Sistema:

v_i	coeficiente
$v L1$	-
$v L2$	0.1620
$v L3$	0.3438
$v L4$	0.5078
$v L5$	0.9967
$v L6$	0.1598
$v L7$	0.5015

Además, para corroborar la robustez del modelo se incluye la tabla que compara la efectividad observada respecto de la efectividad estimada teniendo en cuenta el modelo de efectos fijos corregidos propuesto. En ella se puede observar que la diferencia entre la efectividad observada y la estimada es en promedio 0.0037, respecto de las 48 observaciones empleadas (para mayor detalle consultar el Anexo 5).

Finalmente, de acuerdo con la *Ecuación 5. Modelo de efectos fijos corregido* se puede inferir lo siguiente:

- La *efectividad* está en función de los kilómetros recorridos, de los viajes con boleto de cortesía y de los viajes con boleto pagado, tomando en cuenta que cada línea posee efectos individuales independientes entre sí. En otras palabras, es necesario analizar línea por línea cada uno de los efectos que tendrán las variables sobre la efectividad. Además, se infiere que el presupuesto no tiene relación respecto a variaciones en la *efectividad*, debido a la ausencia de evidencia estadísticamente significativa.
- Para generar el incremento de un punto porcentual de efectividad –teniendo en cuenta que cada línea del sistema es independiente de las otras– se debe incrementar los siguientes porcentajes por línea (considerando un parámetro de 0.877041 para la variable Kilómetros Recorridos, manteniendo lo demás constante):

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
kilom	24.68	24.5	24.29	24.1	23.55	24.5	24.11

Es decir, en promedio se requiere el incremento de 24.25 por ciento de kilómetros recorridos para incrementar en un punto porcentual la efectividad del sistema, que representaría un aumento de 11.8 millones de kilómetros anuales por todo el sistema, tomando en cuenta los kilómetros recorridos observados en 2018.

- De manera análoga, para el incremento de un punto porcentual de efectividad la variable de Boletos de Cortesía debe incrementar en los siguientes porcentajes por línea (considerando un parámetro para dicha variable de 0.286932, manteniendo lo demás constante):

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
boleco	75.45	74.87	74.25	73.67	71.96	74.88	73.69

En otras palabras, se requiere en promedio el incremento de 74.11 por ciento de boletos de cortesía para incrementar en un punto porcentual la efectividad del sistema, que representaría un aumento de 19 millones de boletos de cortesía anuales por todo el sistema, tomando en cuenta los boletos de cortesía observados en 2018.

- Finalmente, para el incremento de un punto porcentual de la efectividad del sistema la variable de Boletos Pagados debe incrementar en los siguientes porcentajes por línea (considerando un parámetro para dicha variable de 0.665269, manteniendo lo demás constante):

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
bolepa	32.54	32.3	32.02	31.78	31.04	32.3	31.79

- En otras palabras, se requiere en promedio el incremento de 31.9 por ciento de boletos pagados para incrementar en un punto porcentual la efectividad del sistema, que representaría un aumento de 108.8 millones de viajes con boletos pagados anualmente por todo el sistema, tomando en cuenta los viajes realizados con boleto pagado observados en 2018.
- La línea que resulta más sensible a incrementos porcentuales es la Línea 5, ya que se requiere un incremento de 23.55%, 71.96% o 31.04% de kilómetros recorridos, viajes con boleto de cortesía o con boleto pagado, respectivamente, para generar un incremento de un punto porcentual en la *efectividad*, para dicha línea. Lo que representaría un incremento de 0.59 millones de kilómetros recorridos, 2.5 millones más de viajes con boleto de cortesía y 6.6 millones de viajes adicionales con boleto pagado, respecto de los datos observados para 2018.

- La línea cuya sensibilidad es menor es la Línea 1, ya que se requieren mayores incrementos de kilómetros recorridos, viajes con boleto de cortesía o con boleto pagado (24.68%, 75.45% o 32.54%, respectivamente) para generar un incremento de un punto porcentual en la efectividad, para esta línea. Lo que representaría un incremento de 3.8 millones de kilómetros recorridos, 5.2 millones de viajes con boleto de cortesía y 44.4 millones de viajes adicionales con boleto pagado, respecto de los datos observados para 2018.

CONCLUSIONES

Dadas las carencias actuales de movilidad de la Ciudad de México es necesario tomar medidas inmediatas que permitan mejorar los sistemas de transporte público. En este sentido, los sistemas *Bus Rapid Transit (BRT)* son una opción atractiva derivado de sus bajos costos de implementación y puesta en marcha respecto a sistemas públicos alternativos como los trenes metropolitanos subterráneos o terrestres (metro) y/o trenes ligeros.

Así, una vez que el fenómeno de las deseconomías de aglomeración se materializa, se vuelve imperioso tomar medidas al respecto si se desea revertir dicha situación. En este sentido, una vez que el tránsito vehicular y la movilidad se ven entorpecidos por la congestión derivada del exceso vehicular en los espacios –por definición limitados– de los grandes orbes, resulta pertinente encontrar alternativas que permitan una más eficiente asignación de recursos, en este caso el espacio y las alternativas de transporte. Tal es el caso del *BRT*, cuyas características permiten mejorar la asignación de recursos, llámese espacio, tiempos de traslado, recursos de implementación y puesta en marcha, entre otros.

Dada la evolución cada vez más intensa del parque vehicular, en las calles y avenidas de la Ciudad de México, fue y ha sido necesario contar con alternativas de transporte masivo cada vez más eficientes y menos costosas, cuya implementación implique una reducción significativa de recursos, pero igualmente equiparable a sistemas como el metro y similares. El Metrobús de la Ciudad de México cumple con tales características y permite disminuir cuantiosamente los efectos perniciosos (menores tiempos de traslado, menores costos de implementación y mantenimiento, menor contaminación ambiental y auditiva, menor congestión de vías primarias y secundarias, disminución de accidentes viales directos e indirectos, reducción de inseguridad, entre otros) que el grueso de automóviles tanto particulares como públicos y concesionados generan en este espacio.

A pesar de que los resultados han sido positivos desde la implementación del Metrobús en 2005, resulta pertinente cuantificar la magnitud de los mismos en términos de la evolución de la implementación del sistema *BRT*, con la finalidad de predecir más precisamente los beneficios sociales en términos de movilidad en caso de continuar con la apertura de una o más líneas adicionales al sistema integral. Los resultados del presente estudio mostraron que, resulta más beneficioso adicionar una ruta o línea al sistema, no omitiendo señalar que, en términos de pecuniarios, también resulta más costoso. Es por lo anterior que se vuelve necesario acotar qué factores permiten incrementar la efectividad del sistema. Estos factores son la distancia que recorren los autobuses (kilómetros recorridos) y los viajes totales que se realizan (viajes con boleto pagado y viajes con boleto de cortesía). Dicho de otra forma, si se requiere incrementar la efectividad del sistema, bajo el supuesto de que los costos son constantes, es necesario:

- 1) optimizar la frecuencia de los recorridos que realizan cada uno de los autobuses en términos de paradas de ascenso y descenso de pasajeros. Sin embargo, también es necesario una mejor coordinación con factores más allá del sistema (sincronización de la semaforización de las avenidas por las que circula y cruza este sistema de transporte, por ejemplo).
- 2) incrementar la afluencia de los usuarios en este transporte, que implica un aumento de los incentivos para el uso de este sistema de transporte (que se traduce en la mejora de la percepción de los viajes en términos de tiempo, comodidad y seguridad).
- 3) optimización de la oferta y la demanda en tiempo real, lo que obedece a una mejor asignación de autobuses respecto los usuarios potenciales. Es decir, incrementar la oferta de autobuses en horas pico y disminuirla cuando la demanda así lo exija, o bien, generar incentivos que permitan que usuarios potenciales utilicen el sistema de transporte con la finalidad de evitar la subocupación de los autobuses, generando así que la preferencia de este medio de transporte por encima de transportes particulares.

En la actualidad el sistema *BRT* de la Ciudad de México cuenta con un total de siete líneas en funcionamiento y se tiene contemplada la construcción y apertura de tres líneas más para los años venideros, dando un total de 10 líneas integrales a nivel sistema que recorrerían dicha urbe y parte de la periferia Estado de México. Con los resultados obtenidos en este estudio, resulta viable e imprescindible la culminación del resto de las líneas del sistema, ya que, a medida que se incrementa el presupuesto en infraestructura con la adición de nuevas líneas, la efectividad del Metrobús se incrementa. En este sentido, resulta pertinente hacer la distinción entre presupuesto en infraestructura (construcción e implementación de nuevas líneas) respecto de presupuesto ejercido (gasto corriente en servicios personales, materiales y suministros, servicios generales e inversión pública), ya que este último no tiene relación estadísticamente significativa con variaciones en la efectividad.

Así, tomando en cuenta los parámetros obtenidos, se infiere que la mayor sensibilidad a variaciones en kilómetros recorridos y viajes totales se presenta en la Línea 5, Línea 4 y Línea 7, respectivamente. Lo que se traduce como incrementos marginales porcentuales traducidos en mayores incrementos en la efectividad del sistema. No obstante, se observan líneas cuya sensibilidad es menor respecto a variaciones en las variables mencionadas. Tal es el caso de la Línea 1, Línea 2 y Línea 6; sin embargo, éstas resultan importantes en términos de viajes realizados ya que las dos primeras representan el 54.85 por ciento de los viajes realizados en 2018.

Además, derivado de los tres factores ya descritos que generan variaciones en la efectividad del sistema (los kilómetros recorridos, los viajes con boleto pagado y los viajes con boleto de cortesía), es pertinente generar políticas que incentiven el uso y promoción del Metrobús, encaminadas a mejorar la experiencia de viajes en este tipo de transportes:

- Mejorar la calidad de los autobuses del Metrobús con unidades eficientes, cómodas y amigables con el ambiente y de vanguardia tecnológica.

- Mejorar la gestión de oferta y demanda de autobuses en horarios determinados.
- Mejorar la percepción de los usuarios respecto al servicio del sistema (adiestramiento y conducción de los operadores; calidad, comodidad, rapidez).
- Mejorar la percepción de la seguridad de las y los usuarios (ofreciendo espacios seguros en temas de delincuencia, acoso y hostigamiento derivado de comportamientos inapropiados, por mencionar algunos).

Las citadas políticas se deben implementar de manera integral en el sistema Metrobús, es decir, en cada una las líneas en operación y en las futuras por igual. En cierta medida, es pertinente resaltar que algunas líneas generan mayores incrementos en la *efectividad*, sin tomar en cuenta la importancia relativa de kilómetros recorridos y viajes realizados. Además, las políticas están encaminadas a mejorar la experiencia de viaje en los usuarios, generando incentivos para el incremento de los viajes totales, el incremento de las distancias recorridas por los autobuses y, derivado de ello, de la efectividad del Metrobús

Finalmente, se plantean algunas medidas adicionales con la finalidad de reforzar y mejorar la movilidad de los transportes de la Ciudad de México:

- 1) Establecer paradas autorizadas y exclusivas a los camiones de transporte concesionado, con la finalidad de evitar la obstrucción de carril o carriles que entorpezcan el flujo constante de vehículos. Éstas deberán estar estratégicamente implementadas y localizadas a fin de maximizar los resultados.
- 2) Fortalecer la legislación actual mediante medidas preventivas y correctivas hacia los conductores de automóviles en general donde se desincentive la obstrucción de carriles al estacionarse en doble y hasta en triple fila. Adicionalmente, debe evitarse a toda costa el estacionarse en vías rápidas y avenidas con afluencia automovilística fluida.

- 3) Explorar, con el fin de disminuir la congestión vehicular en horarios determinados, la implementación de un sistema de jornadas de trabajo escalonado permitiendo horarios de entrada y salida diferenciados que evite la sobreocupación de las vialidades en horarios específicos, evitando gasto excesivo de recursos, como en los tiempos de traslado.
- 4) Aunado al punto previo, se debe explorar la migración a sistemas de trabajo híbrido (semi-presencial o de *HomeOffice*) disminuyendo el uso de vehículos particulares y evitando así la sobreocupación de espacios y del transporte público y concesionado.
- 5) Mejorar la gestión de señalizaciones de tránsito (semáforos, zonas de estacionamiento, topes, límites de velocidad) con el fin de optimizar los tiempos de traslado, disminuir excesivos e innecesarios tiempos de espera, desincentivar el uso del automóvil en zonas específicas y estratégicas, así como optimizar los límites de velocidad en vialidades primarias y secundarias.
- 6) Finalmente, elaborar planes inter-sexenales de programas integrales de movilidad donde se contemple el tema de la construcción y remodelación de Centros de Transporte Multimodales (CETRAM), integración de los diferentes sistemas de transporte (Metrobús, Sistema de Transporte Colectivo Metro, Ruta de Transporte de Pasajeros, Sistema de Transporte Eléctrico, por mencionar algunos). Así como la renovación, mantenimiento y chatarrización de flotas de autobuses de transporte concesionado. Además de la capacitación de los chóferes de los diferentes sistemas de transporte público y concesionado y de los conductores de automóviles particulares mediante el robustecimiento y promoción de la legislación aplicable.

ANEXOS

Anexo 1. Costo-Efectividad Medio (anual)

	Costo	Efectividad	Costo (reescalado)	Efectividad (reescalado)
2006	110,953	852,500	-0.92	-0.97
2007	106,068	797,446	-0.93	-1.00
2008	74,825	825,131	-1.00	-0.98
2009	134,278	1,185,039	-0.87	-0.77
2010	152,621	1,258,766	-0.83	-0.72
2011	138,816	2,532,116	-0.86	0.04
2012	117,894	2,965,154	-0.91	0.30
2013	156,330	2,850,904	-0.82	0.23
2014	185,822	3,184,972	-0.76	0.43
2015	169,926	3,239,275	-0.79	0.46
2016	436,247	3,827,300	-0.22	0.81
2017	640,870	4,030,641	0.22	0.93
2018	1,002,228	4,139,675	1.00	1.00

Anexo 2. Costo Efectividad Incremental (Nueva Línea)

	Líneas	Δ Costo	Δ Efectividad	CEI
2009	L1-L2	23.32	333	0.070
2011	L2-L3	4.53	1,347	0.003
2012	L3-L4	-20.92	433	-0.048
2013	L4-L5	17.51	-114	-0.336
2016	L5-L6	279.92	976	0.286
2018	L6-L7	565.98	312	1.812
2019	L1-L7	891.28	3,287	0.271

Anexo 3. Datos empleados para los modelos de regresión

Datos empleados para el modelo de regresión (parte I)

id	t	efec	presu	kilom	bolepa	boleco
1	1	9.79776606	18.5246149	15.7625487	18.0499516	14.7659898
1	2	9.76720481	18.4795924	15.7987466	18.0951778	14.8247644
1	3	10.1349928	18.1306642	16.1324068	18.2297818	14.9470107
1	4	10.1215069	18.111505	16.2342458	18.2796278	14.9248524
1	5	10.1878603	18.239552	16.266629	18.3371107	15.0345019
1	6	10.410031	17.8178421	16.3137743	18.4643106	15.3554372
1	7	10.3957662	17.3716139	16.3895802	18.5140635	15.5010006
1	8	10.4652698	17.5376287	16.4396085	18.4901479	15.589765
1	9	10.4943029	17.7104478	16.4469299	18.5884379	15.6226529
1	10	10.5779636	17.6210221	16.5222392	18.6403093	15.6547395
1	11	10.5751061	18.3497964	16.5052978	18.6872912	15.7339589
1	12	10.5182908	18.7344145	16.4486709	18.664577	15.7396588
1	13	10.5772253	19.0454357	16.5437427	18.7322077	15.7471411
2	4	8.93723787	17.9242934	15.5414276	17.2129802	14.8587567
2	5	9.06032724	18.0523404	15.5624734	17.349768	14.8810596
2	6	9.22977093	17.6306306	15.5882727	17.4564212	14.9448974
2	7	9.63843927	17.1844024	15.7033925	17.8973474	15.3414153
2	8	9.38900287	17.3504172	15.7511676	17.5618591	15.012253
2	9	9.443372	17.5232363	15.8624483	17.5712147	15.1142096
2	10	9.55680094	17.4338105	15.9326486	17.6580621	15.1875546
2	11	9.58118997	18.1625849	15.9499518	17.6936105	15.2975832
2	12	9.61150261	18.547203	15.9537253	17.7041294	15.2455117
2	13	9.63053892	18.8582242	15.9922471	17.7862603	15.3171082
3	6	9.34375672	17.4715659	15.0993013	17.0796094	17.1234328
3	7	9.7432839	17.0253377	15.3160765	17.3892572	17.466502
3	8	9.60091646	17.1913525	15.3572991	17.3742346	17.0065954
3	9	9.15946466	17.3641716	15.4024306	17.3749345	15.2433057
3	10	9.2346931	17.2747458	15.4659764	17.4286687	15.3018195
3	11	9.32928999	18.0035202	15.5333029	17.4820048	15.4314268
3	12	9.41985566	18.3881383	15.5653603	17.5281791	15.3979694
3	13	9.36167908	18.6991595	15.6082303	17.5266857	15.4080639

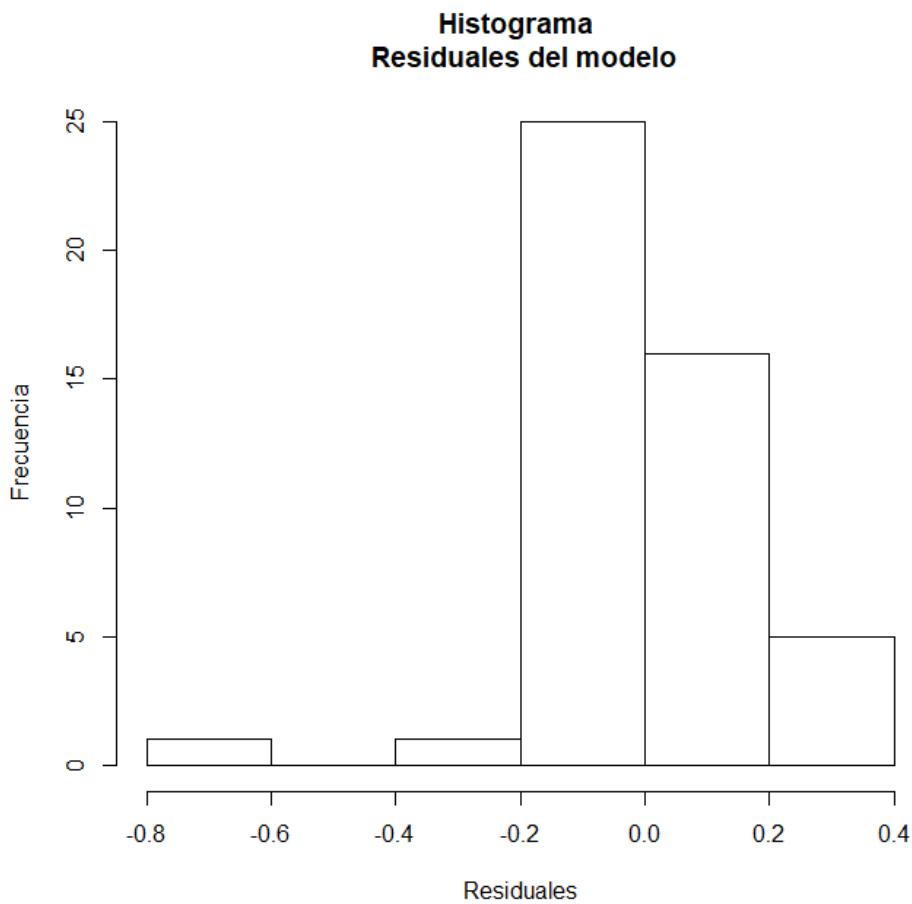
Datos empleados para el modelo de regresión (parte II)

id	t	efec	presu	kilom	bolepa	boleco
4	7	6.52849832	17.1844024	14.5954393	15.4530225	12.2298575
4	8	7.70848284	17.3504172	14.8745059	16.3067439	13.3034809
4	9	7.88019604	17.5232363	14.8970249	16.530083	13.5081984
4	10	7.83829844	17.4338105	14.8423082	16.575899	13.742047
4	11	7.91329969	18.1625849	14.9334354	16.5921649	13.7951313
4	12	7.90560716	18.547203	14.9163142	16.5758224	13.8571274
4	13	7.96082696	18.8582242	15.0245587	16.6235917	13.9048338
5	8	4.69538989	16.65727	12.563486	14.7307363	12.7350024
5	9	8.50374366	16.8300891	14.4861514	16.6770455	14.7824298
5	10	8.54879949	16.7406633	14.5173013	16.7324544	14.8458933
5	11	8.63753944	17.4694377	14.5678243	16.8000081	14.9518139
5	12	8.75016477	17.8540558	14.6433288	16.814662	14.9764843
5	13	8.80726121	18.165077	14.7311652	16.883767	15.0524551
6	11	9.38402408	18.2471423	15.8329213	17.4777161	15.1727378
6	12	9.68691068	18.6317604	15.943214	17.6542781	15.2919826
6	13	9.66923656	18.9427816	15.9538223	17.7315023	15.3130021
7	13	8.20067696	18.6640682	15.2753862	16.9005891	12.9039934

Anexo 4. Test de hipótesis

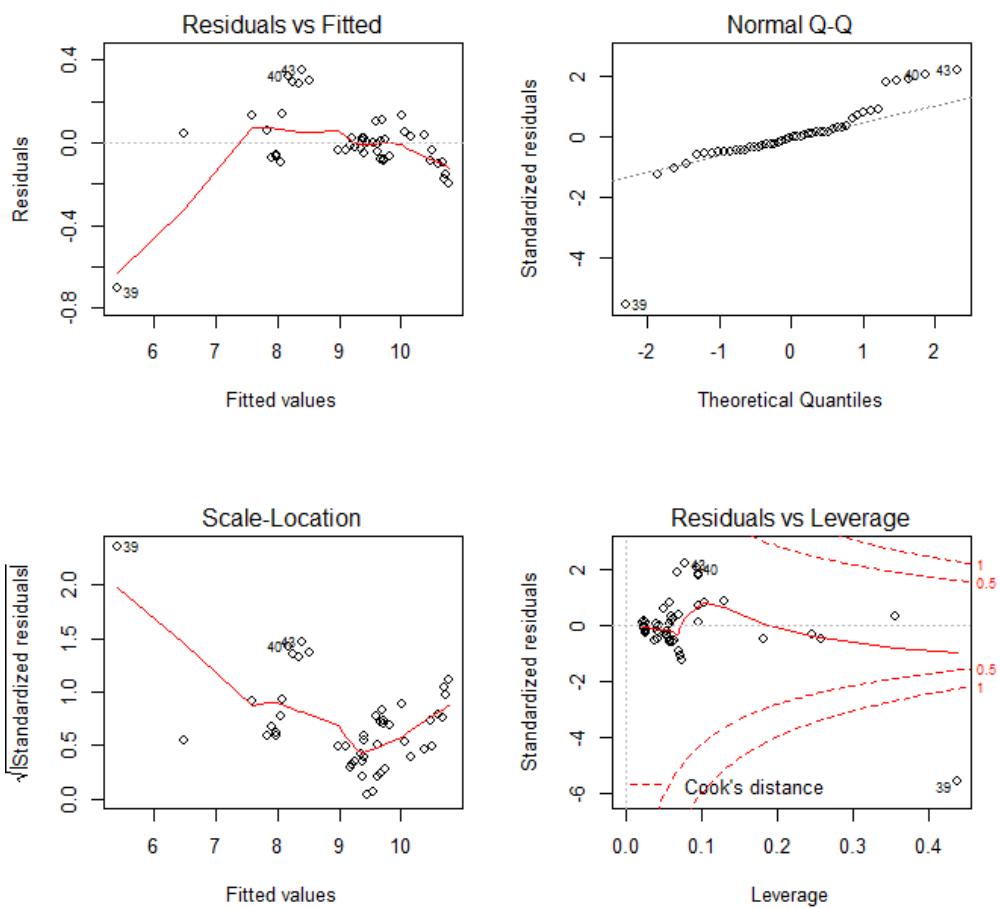
A continuación se muestran a detalle las pruebas empleadas en los modelos de regresión. En el *Histograma de los residuales del modelo agrupado* se observa la distribución de los residuales. Se observa que no hay evidencia de la distribución normal de los residuales.

Histograma de los residuales del modelo agrupado



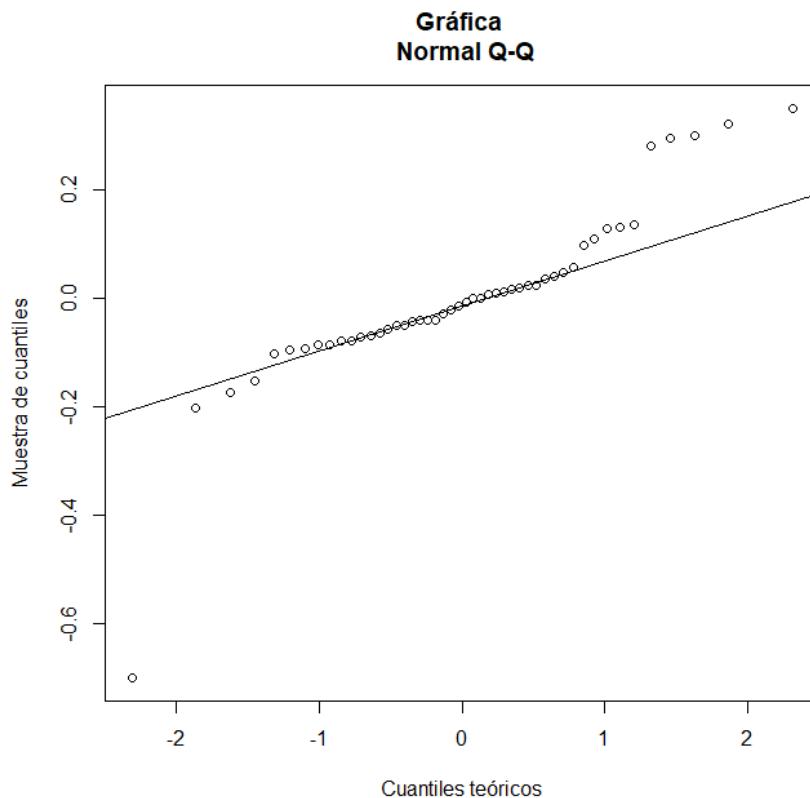
Mediante el *Análisis de los residuos* se observa el comportamiento de los residuales y los valores ajustados. La gráfica de los Residuos vs Ajustados (*Residuals vs Fitted*) se utiliza para comprobar sesgos en los residuos.

Análisis de los residuos



Mediante el gráfico Normal cuantil-cuantil (*Normal Q-Q*), se compara la distribución de los residuos con la distribución normal teórica mediante la dispersión de los puntos respecto la línea que se muestra. Adicionalmente en la Gráfica *Normal Q-Q* se muestra la distribución de los residuales.

Gráfica Normal Q-Q



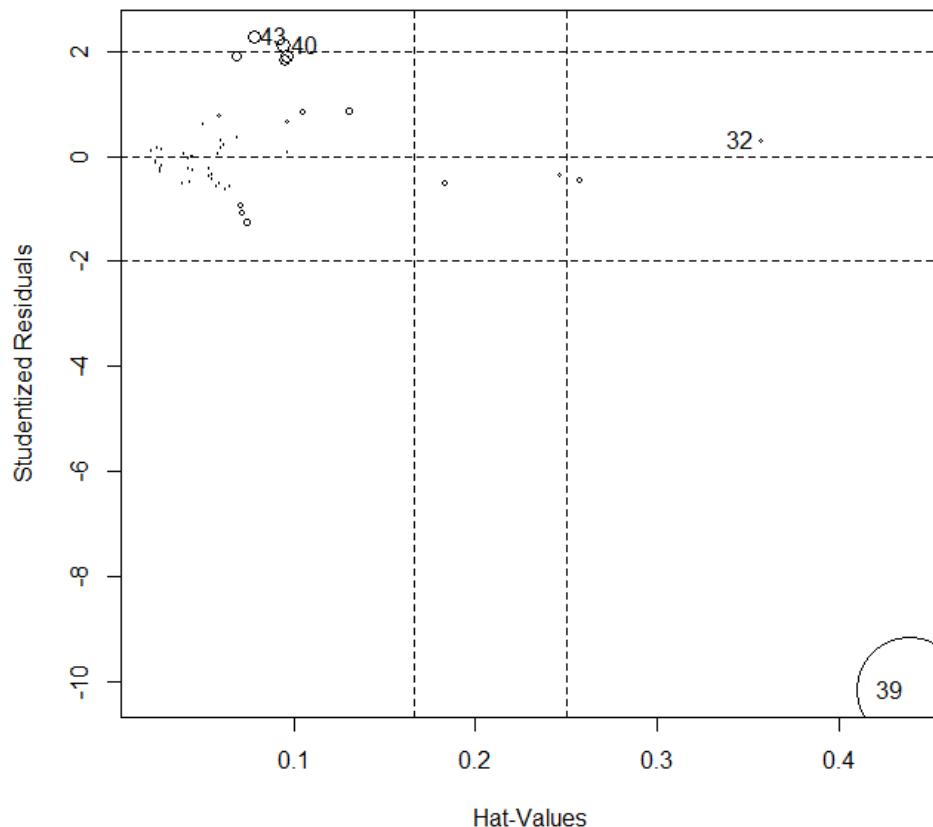
Mediante las pruebas de normalidad se verificó si los residuos se distribuyen de manera normal (si el *p-value* es mayor o igual al 5 por ciento correspondiente al nivel de confianza del 95 por ciento).

Pruebas de normalidad de los residuos

Prueba	p-value	Conclusión
Shapiro-Wilk	0.000	$H_a = \text{se acepta hipótesis alternativa}$
Anderson-Darling	0.000	$H_a = \text{se acepta hipótesis alternativa}$
Cramer-von Mises	0.000	$H_a = \text{se acepta hipótesis alternativa}$
Lilliefort	0.000	$H_a = \text{se acepta hipótesis alternativa}$
Pearson	0.003	$H_a = \text{se acepta hipótesis alternativa}$
Shapiro-Francia	0.000	$H_a = \text{se acepta hipótesis alternativa}$
Jarque-Bera	0.000	$H_a = \text{se acepta hipótesis alternativa}$

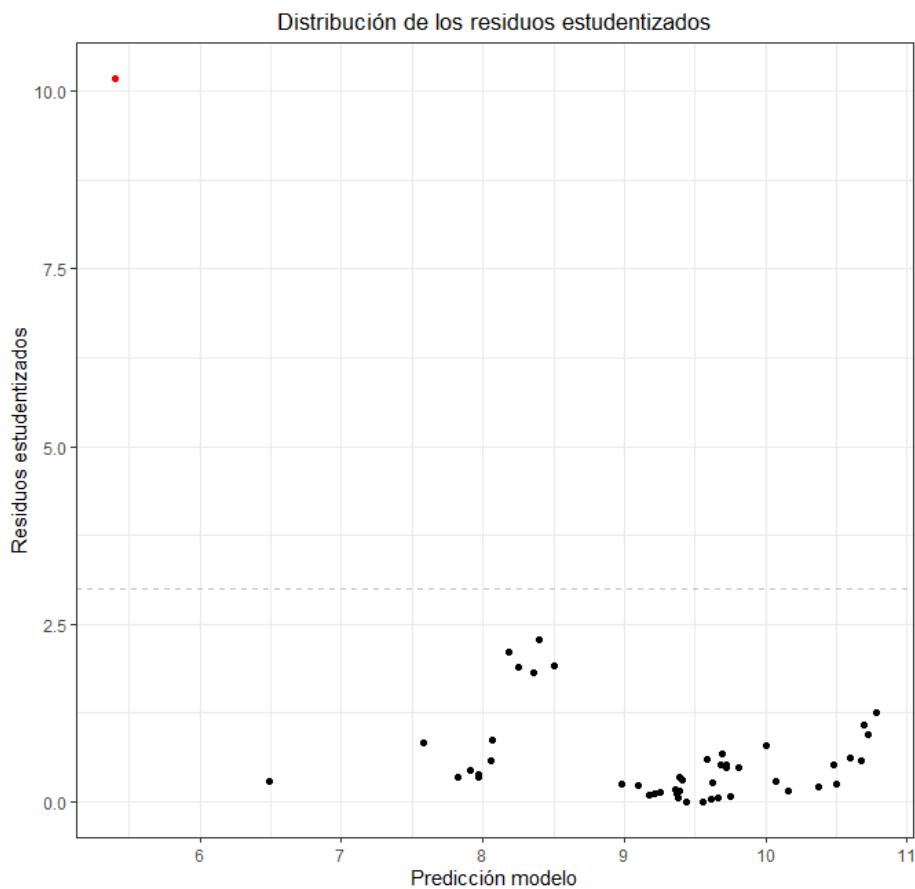
A través de la *Detección y visualización de observaciones influentes* se encontraron los valores con mayor discrepancia predichos por el modelo.

Detección y visualización de observaciones influentes



Mediante el *Gráfico de los residuos estudentizados* se muestran los puntos con alta influencia (*high leverage*).

Gráfico de los residuos estudentizados



El test de homocedasticidad Breusch-Pagan es utilizado para corroborar la evidencia de homocedasticidad (o igualdad de varianzas); La hipótesis nula asume la existencia de heterocedasticidad cuando el *p-value* asociado es menor a determinado nivel de confianza (95 por ciento en el presente estudio).

Test de homocedasticidad

Test Breusch-Pagan	
BP=31.878	P-valor = 0.000

Adicionalmente, para comprobar la ausencia de autocorrelación en los errores, se emplea el estadístico Durbin-Watson. En caso de existir autocorrelación, el método de regresión agrupada podría implicar que las estimaciones se encuentren alejadas de los datos observados.

El estadístico Durbin-Watson utiliza la tabla de Savin y White. Si el estadístico Durbin-Watson es mayor que el límite superior no hay indicios de correlación. Si el estadístico es menor que el límite inferior, existe correlación positiva. Si el estadístico se encuentra entre ambos límites la prueba es no concluyente. Los límites son los siguientes:

$$D_L = 1.4064 \text{ y } D_U = 1,67076$$

Dado que el estadístico $D = 1.3783$, la prueba no se considera concluyente ya que el estadístico se encuentra entre ambos límites.

Finalmente se corroboró la presencia de multicolinealidad a través del estadístico llamado Factor de Inflación de la Varianza (VIF, por sus siglas en inglés). Mediante este estadístico se puede inferir qué variables guardan colinealidad respecto de las otras. La interpretación varía entre autores; de esta manera, se emplea el criterio basado en Neter, et al. (2004). Si el VIF es menor o igual a 10 no se considerará que hay evidencia de multicolinealidad.

Test de no multicolinealidad

Factor de Inflación de la Varianza		
kilom	bolepa	boleco
10.96	13.50	1.92

Anexo 5. Detalle estimación de coeficientes (efectos comunes, aleatorios y fijos)

Tabla 13. Coeficientes del modelo de regresión lineal (efectos comunes)

Variable	Estimador	Error estándar	P-valor	Significación estadística
(Intercepto)	-14.15	0.788	0.000	***
presu	-0.00564	0.04634	0.904	
kilom	0.33147	0.11202	0.005	**
bolepa	0.79656	0.10788	0.000	***
boleco	0.29390	0.03526	0.000	***
Significación estadística: 0 **** 0.001 ** 0.01 * 0.05 . 0.1 ' 1				
R-cuadrada: 0.9793, R-cuadrada ajustada: 0.9774				
P-valor: < 2.2e-16				

Tabla 14. Selección de predictores (stepwise)

Criterio de Información	Variables
Inicio: AIC=165.64	Efec ~ presu + kilom + bolepa + boleco
Paso: AIC=167.62	Efec ~ kilom + bolepa + boleco

Tabla 15. Intervalos de confianza (efectos comunes)

	2.50%	97.50%	Coeficiente
Intercepto	-15.27	-13.17	-14.22
Kilom	0.1110	0.5456	0.3283
bolepa	0.5818	1.011	0.7967
boleco	0.2267	0.3632	0.2949

Tabla 16. Coeficientes del modelo efectos aleatorios

Variable	Estimador	Error estándar	P-valor	Significancia estadística
(Intercepto)	-14.15	0.788	0.000	***
presu	-0.00564	0.04634	0.903	
kilom	0.33147	0.11202	0.003	**
bolepa	0.79656	0.10788	0.000	***
boleco	0.29390	0.03526	0.000	***
Significancia estadística: 0 **** 0.001 ** 0.01 * 0.05 .' 0.1 '' 1				
R-cuadrada: 0.9793, R-cuadrada ajustada: 0.9774				
P-valor: < 2.2e-16				

Tabla 17. Intervalos de confianza (efectos aleatorios)

	2.50%	97.50%	Coeficiente
Intercepto	-15.69	-12.61	-14.15
kilom	0.112	0.551	0.331
bolepa	0.585	1.008	0.797
boleco	0.225	0.363	0.294

Tabla 18. Coeficientes del modelo efectos fijos

Variable	Estimador	Error estándar	P-valor	Significancia estadística
presu	-0.038	0.379	0.323	
kilom	0.725	0.152	0.000	***
bolepa	0.749	0.157	0.000	***
boleco	0.262	0.045	0.000	***
constante	-18.66	1.037	0.000	***
v L2	0.156	0.086	0.076	*

v L3	0.306	0.114	0.011	*
v L4	0.425	0.139	0.004	*
v L5	0.837	0.143	0.000	***
v L6	0.205	0.120	0.096	.
v L7	0.444	0.168	0.012	*
Significancia estadística: 0 *** 0.001 ** 0.01 * 0.05 . 0.1 '' 1				
R-cuadrada: 0.9901, R-cuadrada ajustada: 0.9874				
P-valor: < 2.2e-16	v L1 es omitido por <i>default</i> ya que corresponde al valor más pequeño de la variable			

Tabla 19. Intervalos de confianza (efectos fijos)

	2.50%	97.50%	Coeficiente
kilom	0.426	1.024	0.725
bolepa	0.441	1.058	0.749
boleco	0.173	0.361	0.262
constante	-18.66	-16.56	-20.76
v L2	0.330	-0.017	0.156
v L3	0.537	0.074	0.306
v L4	0.706	0.144	0.425
v L5	1.126	0.548	0.837
v L6	0.447	-0.038	0.205
v L7	0.786	0.104	0.444

Anexo 6. Comparación entre efectividad observada y paramétrica

Comparación entre efectividad observada y paramétrica (parte I)

Línea	tiempo/año	Efectividad observada	Efectividad estimada	Diferencia	Diferencia porcentual
1	1	9.798	9.425	-0.3725	-3.80%
1	2	9.767	9.504	-0.2632	-2.69%
1	3	10.135	9.921	-0.2137	-2.11%
1	4	10.122	10.037	-0.0841	-0.83%
1	5	10.188	10.135	-0.0524	-0.51%
1	6	10.410	10.354	-0.0565	-0.54%
1	7	10.396	10.495	0.0991	0.95%
1	8	10.465	10.548	0.0831	0.79%
1	9	10.494	10.630	0.1353	1.29%
1	10	10.578	10.739	0.1614	1.53%
1	11	10.575	10.778	0.2034	1.92%
1	12	10.518	10.715	0.1970	1.87%
1	13	10.577	10.846	0.2686	2.54%
2	4	8.937	8.863	-0.0740	-0.83%
2	5	9.060	8.979	-0.0812	-0.90%
2	6	9.230	9.091	-0.1388	-1.50%
2	7	9.638	9.599	-0.0394	-0.41%
2	8	9.389	9.323	-0.0657	-0.70%
2	9	9.443	9.456	0.0130	0.14%
2	10	9.557	9.597	0.0400	0.42%
2	11	9.581	9.667	0.0860	0.90%
2	12	9.612	9.663	0.0510	0.53%
2	13	9.631	9.772	0.1410	1.46%
3	6	9.344	9.218	-0.1254	-1.34%
3	7	9.743	9.713	-0.0304	-0.31%
3	8	9.601	9.607	0.0062	0.06%
3	9	9.159	9.141	-0.0183	-0.20%
3	10	9.235	9.249	0.0148	0.16%
3	11	9.329	9.381	0.0519	0.56%
3	12	9.420	9.430	0.0105	0.11%
3	13	9.362	9.470	0.1082	1.16%

Comparación entre efectividad observada y paramétrica (parte II)

4	7	6.528	6.454	-0.0743	-1.14%
4	8	7.708	7.575	-0.1336	-1.73%
4	9	7.880	7.802	-0.0782	-0.99%
4	10	7.838	7.852	0.0133	0.17%
4	11	7.913	7.958	0.0443	0.56%
4	12	7.906	7.949	0.0439	0.55%
4	13	7.961	8.090	0.1290	1.62%
5	8	4.695	4.825	0.1299	2.77%
5	9	8.504	8.394	-0.1099	-1.29%
5	10	8.549	8.476	-0.0725	-0.85%
5	11	8.638	8.596	-0.0416	-0.48%
5	12	8.750	8.679	-0.0712	-0.81%
5	13	8.807	8.824	0.0165	0.19%
6	11	9.384	9.383	-0.0012	-0.01%
6	12	9.687	9.631	-0.0556	-0.57%
6	13	9.669	9.698	0.0287	0.30%
7	13	8.201	8.201	0.0000	0.00%

Índice de ilustraciones, tablas y ecuaciones

Ilustración 1. Evolución del parque vehicular en la CDMX (1980-2018)	16
Ilustración 2. Tasas de crecimiento del parque vehicular	17
Ilustración 3. Plano Costo-Efectividad Medio (Línea/Año).....	67
Ilustración 4. Plano Costo-Efectividad Medio (Anual).....	71
Ilustración 5. Plano Costo-Efectividad Incremental del Metrobús (Nueva línea)	74
Ilustración 6. Matriz de gráficos de dispersión de las variables	77
Ilustración 7. Correlación entre predictores.....	78
Ilustración 8. Distribución de densidad de las variables del modelo.....	79
Tabla 1. Evolución de los viajes realizados en el Metrobús	19
Tabla 2. Evolución de las unidades en operación para el Metrobús.....	20
Tabla 3. Evolución de los kilómetros recorridos por el Metrobús	21
Tabla 4. Unidades en operación (histórico).....	61
Tabla 5. Líneas, porcentaje de participación y estaciones	61
Tabla 6. Efectividad y Costo	65
Tabla 7. Costo-Efectividad (reescalado).....	66
Tabla 8. Resumen Plano Costo-Efectividad Medio.....	68
Tabla 9. Matriz de correlación entre predictores	78
Tabla 10. Coeficientes del modelo efectos fijos corregidos.....	90
Tabla 11. Intervalos de confianza (efectos fijos corregidos)	91
Tabla 12. Comparación de coeficientes de los modelos.....	91
Tabla 13. Coeficientes del modelo de regresión lineal (efectos comunes).....	110
Tabla 14. Selección de predictores (stepwise)	110
Tabla 15. Intervalos de confianza (efectos comunes)	110
Tabla 16. Coeficientes del modelo efectos aleatorios	111
Tabla 17. Intervalos de confianza (efectos aleatorios)	111
Tabla 18. Coeficientes del modelo efectos fijos	111
Tabla 19. Intervalos de confianza (efectos fijos)	112
Ecuación 1. Modelo de regresión lineal (efectos agrupados preliminar).....	81
Ecuación 2. Modelo de regresión lineal (efectos agrupados)	82
Ecuación 3. Modelo de efectos aleatorios.....	83
Ecuación 4. Modelo de efectos fijos	84
Ecuación 5. Modelo de efectos fijos corregido	92

Bibliografía

- Aguirre Quezada, J. P., 2017. *Movilidad urbana en México*, Ciudad de México: s.n.
- Aparicio, J. & Márquez, J., 2005. *DIAGNÓSTICO Y ESPECIFICACIÓN DE MODELOS PANEL EN STATA 8.0*, México: CIDE.
- Aparicio, J., Martínez Mayoral, A. & Morales, J., 2004. *Modelos Lineales Aplicados en R*. s.l.:Dpto. Estadística, Matemáticas e Informática. Universidad Miguel Hernández.
- Baltagi, B. & Wu, P., 1999. Unequally spaced panel data regressions with AR(1) disturbances. *Econometric Theory*, Volumen 15, pp. 814-823.
- Beck, N. & Katz, J., 1995. What to do (and Not to Do) with time series cross-section. *American Political Science Review*, Volumen 89.
- Brueckner, J. K., 2011. *Lectures on Urban Economics*. Massachusetts: MIT.
- Cohen, E. & Franco, R., 1988. Capítulo XI. La medición de la eficiencia. En: *Evaluación de proyectos sociales*. Buenos Aires: Grupo Editor Latinoamericano, pp. 237-270.
- Delgadillo, V., 2014. Urbanismo a la carta: teorías, políticas, programas y otras recetas urbanas para ciudades latinoamericanas. *Cadernos Metrópole*, 16(31), pp. 89-111.
- Edwards, M. E., 2007. En: *Regional and Urban Economics and Economic Development*. Boca Ratón: Taylor & Francis Group , pp. 19-20.
- Fujita, M. & Thisse, J.-F., 2002. *Economics of agglomeration*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2014. *Acuerdo por el que se aprueba el Programa Integral de Movilidad 2013-2018*, Distrito Federal: s.n.
- Galindres Guancha, D. A., Soto Mejía, J. A. & Estrada Mejía, S., 2016. Asignación de frecuencias apropiadas a través de un modelo multiobjetivo para un sistema BRT. *Revista EIA*, 13(26), pp. 141-152.
- Gobierno del Distrito Federal, 2002. *Programa Integral de Transporte y Vialidad 2001-2006*, Distrito Federal: s.n.
- Gutiérrez de Benito, R., 2017. *Desempeño financiero y responsabilidad empresarial*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Hall, P., 1996. *Ciudades del mañana. Historia del urbanismo del siglo XX*. Barcelona: Ed. del Serval.
- Hutubessy, R., Chisholm, D. & Tan-Torres Edejer, T., 2003. *Costo-efectividad y asignación de recursos*, s.l.: OMS.
- Institute for Transportation and Development Policy, 2010. *Guía de Planificación de Sistemas BRT*, Nueva York: ITDP.
- Islas-Rivera, V., Rivera-Trujillo, C. & Torres-Vargas, G., 2002. Estudio de la demanda de transporte. *Instituto Mexicano del Transporte*, p. 213.

- Lange Valdés, C., 2011. Dimensiones culturales de la movilidad urbana. *Revista INVÍ*, 26(71), pp. 87-106.
- Litman, T., 2017. Land use impacts on transport. How Land Use Factors affect travel behavior. *Victoria Transport Policy Institute*.
- López Gutiérrez, M. A., 2018. *Comparativa entre dos sistemas de transporte urbano de capacidad media: autobuses de tránsito rápido y tren ligero..* Ciudad de México: UNAM (tesis).
- Lupano, J. & Sánchez, R., 2009. Políticas de movilidad urbana e infraestructura urbana del transporte. *Colección documento de proyecto, Publicación de las Naciones Unidas*.
- Lupiañez, F. & Faulí, C., 2017. *Evaluación social de proyectos de Smart Cities*, Montevideo: Centro de Estudios de telecomunicaciones de América Latina.
- Mejía Sánchez, C., 2016. *Modelo conceptual en la evaluación de desempeño de un proyecto carretero*. Ciudad de México: UNAM.
- Mendoza-González, M. Á., Mejía-Reyes, A. & Quintana-Romero, L., 2017. Deseconomías de aglomeración, contaminación y sus efectos en la salud de la Zona Metropolitana del Valle de México. Un análisis con econometría espacial. *Atlantic Review of Economics*, Volumen 2, p. 33.
- Ministerio de Salud de Chile, 2010. *Estudio Costo-Efectividad de Intervenciones en Salud*, Santiago de Chile: s.n.
- Misas, J. D., 2011. *Análisis de costos de la iniciativa SM 2015-México*, México: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Neter, J., Wasserman, W. & Kutner, M. H., 2004. *Applied linear statistical models*. 5th ed. New York: McGraw-Hill.
- O'Sullivan, A., 2012. *Urban Economics*. NY: McGraw-Hill.
- Pardo, C., 2010. *Sustainable Urban Transport*. Nueva York: United Nations.
- Peñalosa, B. y otros, 2010. *Metodología para la evaluación de la relación costo-efectividad en centros de atención primaria en Chile*, Santiago de Chile: Panam Salud Pública.
- Piccirillo, J. M., 2012. *Qué es un BRT, o la implementación del Metrobús en la ciudad de Buenos Aires, Argentina*, Buenos Aires: CEPAL.
- Pinto-Prades, J. L., Ortún Rubio, V. & Piug-Junoy, J., 2001. *El análisis coste-efectividad en sanidad*, Barcelona: Centro de investigación en economía y salud.
- Pradilla Cobos, E., 2010. Teorías y Políticas Urbanas. *R.B. Estudos Urbanos e Regionais*, 12(2), pp. 9-21.
- Prieto, L. y otros, 2004. Análisis coste-efectividad en la evaluación económica de intervenciones sanitarias. *Med Clin*, 122(13), pp. 505-510.
- Quintana Romero, L. & Mendoza González, M., 2016. Error de especificación. En: *Econometría aplicada utilizando R*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, p. 89.

Ramírez Hernández, R. y otros, 2013. *Evaluación en materia de costo-efectividad 2010-2012*, México: UNAM-IIEc.

Ramoni Perazzi, J. & Orlandoni Merli, G., 2013. Modelos de regresión de datos panel y su aplicación en la evaluación de impactos de programas sociales. *Revista de estudios interdisciplinarios en ciencias sociales*, 15(1), pp. 119-127.

Rivera Trujillo, C. & Mendoza Díaz, A., 2009. *Análisis Costo-Beneficio y Costo-Efectividad de las medidas de seguridad implementadas en carreteras mexicanas*, Querétaro: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Romero, G. & Lugo-Morín, D., 2018. El estado del arte de la movilidad del transporte en la vida urbana en ciudades latinoamericanas. *Revista Transporte y Territorio*, Volumen 19, pp. 133-157.

Rosales García, L., 2010. *Técnicas de Medición Económica*. Piura: Universidad Nacional de Piura.

Secretaría de Transportes y Vialidad, 2010. *Programa Integral de Transporte y Vialidad 2007-2012*, Distrito Federal: s.n.

Sennet, R., 2002. *Carne y piedra. El cuerpo y la ciudad en la civilización occidental*. Madrid: Alianza.

Sheller, M. & Urry, J., 2006. The new mobilities paradigm. *Environment & Planning A*, pp. 207-226.

Solow, R., 1957. Technical change and the aggregate production function. *The review of economics and statistics*, 39(3), pp. 312-320.

Thomson, I. & Bull, A., 2001. La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales. *CEPAL - SERIE Recursos naturales e infraestructura*, Issue 25, p. 33.

Tinoco-García, M. J. & Guzmán-Anaya, L., 2020. Factores regionales de atracción de inversión extranjera directa en México. *Análisis Económico*, XXXV(88), pp. 89-117.

Venturi, R. & Scott Brown, 1978. *Learning from Las Vegas*. Barcelona: Gustavo Gili.

Wooldridge, J., 2010. *Econometric analysis of cross section and panel data*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.

Wright, L. & Hook, W., 2010. *Guía de Planificación de Sistemas BRT*, Nueva York: Institute for Transportation & Development Policy.

Zamora-Colín, U., Campos-Alanís, H. & Calderón-Maya, J. R., 2013. *Bus Rapid Transit (BRT) en ciudades de América Latina, los casos de Bogotá (Colombia) y Curitiba (Brasil)*. [En línea] Available at: <https://www.redalyc.org/html/401/40128395007/> [Último acceso: 26 marzo 2019].

Zárate, V., 2010. Evaluaciones económicas en salud: Conceptos básicos y clasificación. *Revista Médica de Chile*, Volumen 138, pp. 93-97.