

(02-022) - FINANCIAL AND ENVIRONMENTAL STUDY OF MEXICO CITY'S BUS RAPID TRANSIT LINES

Rocha Chiu, Luis Antonio ¹; Jimenez Arguelles, Victor ¹; Casales Hernandez, Luis
Fernando ¹; Perez Reyes, Jose Anselmo ²

¹ UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA, ² UNIVERSIDAD ANAHUAC,
MEXICO

The accelerated expansion of the metropolitan area of Mexico City, close to 2400 square kilometers, has caused most of the 22 million inhabitants to move mainly in private cars, in low-capacity concessioned public transport (vans and minibuses) and in the 230 km long metro network distributed essentially in the central area. These means are insufficient to offer adequate mobility to the inhabitants of urban areas who make more than 23 million trips a day.

Given the insufficient resources to continue with the development of the metro network and to replace the concessioned public transport lines, two decades ago the first bus rapid transit (BRT) line was built, to date 7 lines are in operation in Mexico City in 158 km of total length.

This article conducts a study on the financial profitability of BRT lines in operation. Likewise, the benefits to urban mobility and the environment are presented in terms of the increase in the number of trips, time savings, connectivity and reduction of polluting emissions obtained with the implementation of BRT lines.

Keywords: Transportation; bus rapid transit; Mexico City; urban mobility

ESTUDIO FINANCIERO Y AMBIENTAL DE LAS LÍNEAS DE AUTOBÚS DE TRÁNSITO RÁPIDO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

La acelerada expansión del área metropolitana de la Ciudad de México cercana a 2400 kilómetros cuadrados ha ocasionado que la mayor parte de los 22 millones de habitantes se muevan principalmente en automóviles particulares, en transporte público concesionado de baja capacidad (vagonetas y minibuses) y en la red de metro de 230 km de longitud distribuida esencialmente en la zona central. Medios que son insuficientes para ofrecer una adecuada movilidad a los habitantes del área urbana que efectúan más de 23 millones de viajes al día.

Ante la insuficiencia de recursos para continuar con el desarrollo de la red del metro y para sustituir las líneas de transporte público concesionado, hace dos décadas se construyó la primera línea de autobuses de tránsito rápido (bus rapid transit-BRT), a la fecha están en operación 7 líneas en la Ciudad de México en 158 km de longitud total.

En este artículo se realiza un estudio sobre la rentabilidad financiera de las líneas de BRT en operación. Asimismo, se presentan los beneficios a la movilidad urbana y al ambiente en términos del incremento en el número de viajes, ahorros de tiempo y reducción de emisiones contaminantes obtenidos con la implantación de las líneas BRT.

Palabras clave: Transporte; autobús de tránsito rápido; Ciudad de México; movilidad urbana

Correspondencia: LUIS ROCHA CHIU rcla@azc.uam.mx



©2024 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

La urbanización es un fenómeno que tiene distintas expresiones en cada parte del mundo, mientras que América, Europa y Rusia presentan un nivel de urbanización superior al 70%, Asia y África tienen una población urbana inferior a la media mundial, aunque las actuales tasas de crecimiento llevarán a que ambos continentes superen el 50% de población urbana en los próximos diez años. América Latina es la región más urbanizada del mundo con casi 80% de habitantes en zonas urbanas (Banco Mundial, 2024).

En México la población rural apenas rebasa la quinta parte del total y la que reside en ciudades es de casi cien millones de habitantes. Además, más de un tercio de la población total habita en las diez zonas metropolitanas más grandes del país (INEGI, 2021).

Destaca el área metropolitana de la Ciudad de México, ubicada entre las diez más pobladas del mundo, con una población de casi 22 millones de habitantes distribuidos en una mancha urbana cercana a los 2,400 kilómetros cuadrados, cuyo proceso de conurbación incluye 16 alcaldías de la Ciudad de México, 59 municipios del estado de México y 1 municipio del estado de Hidalgo (SEDATU, 2018).

Las relaciones funcionales y económicas de los municipios conurbados de la Ciudad de México no se han acompañado de políticas públicas para el adecuado funcionamiento y desarrollo de la metrópoli, particularmente en lo que se refiere a la planeación y regulación de su crecimiento físico, la provisión de servicios públicos y el cuidado de su entorno ambiental.

Las primeras líneas de metro comenzaron a operar hace ya más de cinco décadas, la red actual de 230 km de longitud, distribuida esencialmente en la zona central, es insuficiente para ofrecer servicio a los habitantes del área urbana de la Ciudad de México que efectúan más de 23 millones de viajes al día, cuyos tiempos de traslado se han incrementado en las últimas décadas, en especial para los habitantes de las zonas periféricas que en alta proporción laboran en la economía informal.

Hace ya casi 40 años que la falta de apoyo gubernamental al servicio de transporte en autobuses ocasionó un incremento de la participación del transporte concesionado de baja capacidad (vagonetas y minibuses), que aumentó de 6% en 1986 a 54% en 2000 en el reparto modal, mientras que la participación del transporte en autobús pasó en el mismo lapso de 42% a 10% (SETRAVI, 2010).

En este contexto, era necesario revertir el reparto modal del transporte caracterizado por una alta participación de vehículos de baja capacidad hacia medios de transporte sustentable como los trenes en sus distintas modalidades, sistemas BRT y líneas de trolebús. Destacan entre las soluciones de transporte por su bajo costo y menores tiempos de implantación las líneas de autobús de tránsito rápido (bus rapid transit-BRT), que se han extendido de manera exponencial principalmente en las grandes ciudades de países en desarrollo.

La implantación en 1974 de la primera línea BRT en Curitiba, Brasil constituyó el primer caso de éxito de la tecnología BRT, el sistema adoptó carriles exclusivos de circulación y estaciones especialmente diseñadas, se aprovecharon los corredores de transporte de estas líneas para inducir el desarrollo urbano del suelo de alta densidad y usos mixtos, lo que significó la primera experiencia en América Latina del desarrollo orientado al transporte con líneas BRT.

En el año 2000, con la introducción del Transmilenio en Bogotá se mejoró la operación de las líneas BRT, agregando carriles dobles, rutas exprés, sistema de pago anticipado y prioridad de paso en las intersecciones para aumentar la velocidad de los autobuses articulados (Rosas y Chías, 2021). Las estadísticas actuales indican que hay casi 6 mil kilómetros de líneas BRT que transportan diariamente 31.6 millones de pasajeros en 191 diferentes ciudades, los países

que encabezan la mayor longitud de líneas BRT son: Brasil, China y México (BRT excelencia, 2024).

Desde el punto de vista económico, los sistemas de transporte BRT reducen los tiempos de viaje, incrementan la productividad y tienen mayor fiabilidad; en lo social, proporcionan más accesibilidad, reducen los accidentes e incrementan el sentido comunitario; en el aspecto ambiental, reducen las emisiones contaminantes del aire y disminuyen el ruido; y en el contexto urbano, favorecen la densificación a lo largo de los corredores de transporte lo que facilita la introducción de servicios públicos (WRI, 2015).

Debido a la insuficiencia de presupuesto para invertir en medios masivos de transporte como el metro y considerando las características técnicas y menores costos de inversión y operación del sistema BRT, las autoridades de la Ciudad de México iniciaron los estudios previos para identificar los corredores de transporte con el mayor potencial de demanda acorde con esta tecnología y para sustituir el mayor número de unidades del transporte concesionado de baja capacidad.

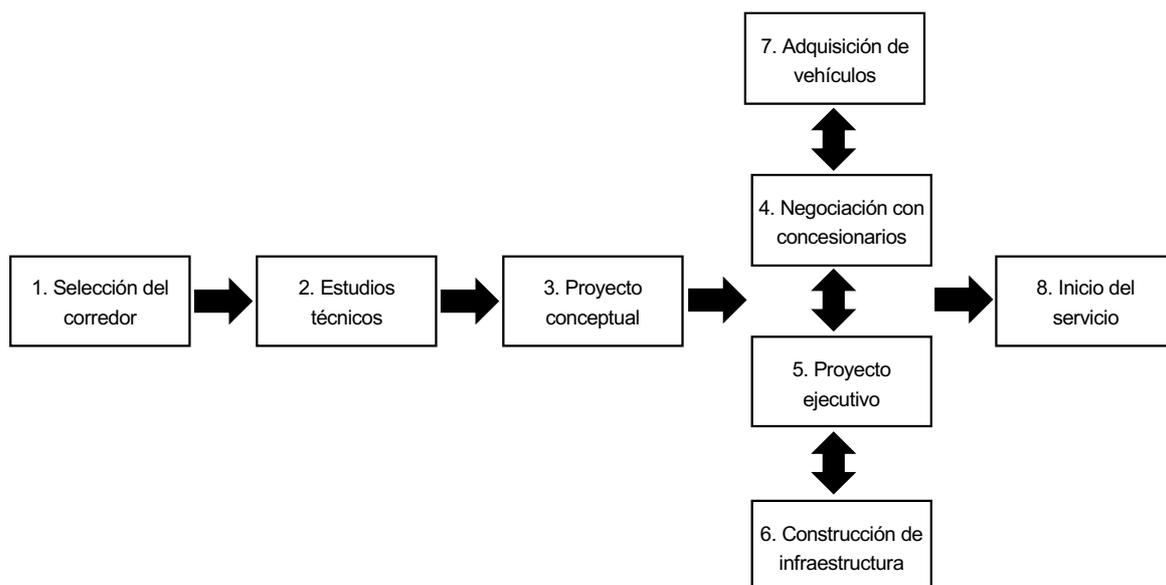
2. Antecedentes

La experiencia nacional en la implantación de sistemas BRT inicia en 2003 en la ciudad de León y en 2005 se replica en la Ciudad de México, utilizando un modelo público-privado en el que el gobierno es quien provee la infraestructura, mientras que la iniciativa privada se encarga principalmente de la operación de los vehículos.

En el estudio técnico se define el área de influencia del corredor de transporte para determinar la demanda del servicio, la oferta del transporte público de la nueva línea BRT, los carriles de servicio en las vialidades, la ubicación de las estaciones, la reducción de emisiones contaminantes, el parque vehicular reemplazado y nuevo, las especificaciones de operación y mantenimiento y el sistema de pago.

Las autoridades publicaron los avisos de los estudios técnicos de la primera línea BRT y de la asignación del título de concesión, así como el decreto de creación del organismo público de control del sistema "Metrobús". La planeación de las líneas BRT de la Ciudad de México consideran varias etapas desde la selección del corredor hasta la operación (Figura 1).

Figura 1. Esquema de implantación del BRT en la Ciudad de México



Fuente: Lámbarry (2011)

La administración de la operación se realiza mediante un fideicomiso, constituido por representantes de las empresas operadoras y del gobierno, que concentra los ingresos de la tarifa y distribuye los pagos a los concesionarios, los gastos del ente regulador del sistema y el pago de los créditos. Los transportistas son los responsables de la adquisición de los vehículos, de los costos de operación y mantenimiento de la flota vehicular, mientras que la infraestructura y los sistemas de pago están a cargo del gobierno.

3. Objetivo

Estudiar la rentabilidad financiera de las líneas BRT que operan actualmente en la Ciudad de México, considerando los pasajeros transportados a la fecha y la demanda estimada en el horizonte de proyecto. Los costos de construcción, mantenimiento y operación, así como las características técnicas del parque vehicular se han recopilado a partir de la información publicada por el organismo que regula la operación del sistema BRT (Metrobús). Además, evaluar los beneficios técnicos y ambientales obtenidos con la introducción de las líneas de autobús de tránsito rápido BRT en el área metropolitana de la Ciudad de México en términos de capacidad de transporte y disminución de emisiones contaminantes.

4. Metodología

El gobierno mexicano tiene establecido un marco institucional para el desarrollo de proyectos de inversión en infraestructura, donde se señalan que los indicadores de rentabilidad para definir la conveniencia de realizar los proyectos públicos son: el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR), valorados a la tasa social de descuento establecida actualmente en 10% (SHCP, 2012). Sin embargo, las líneas de sistema BRT de la Ciudad de México fueron desarrolladas mediante una colaboración público-privada por lo que se hace una revisión de la rentabilidad comparando los resultados con las tasas de interés del mercado financiero nacional.

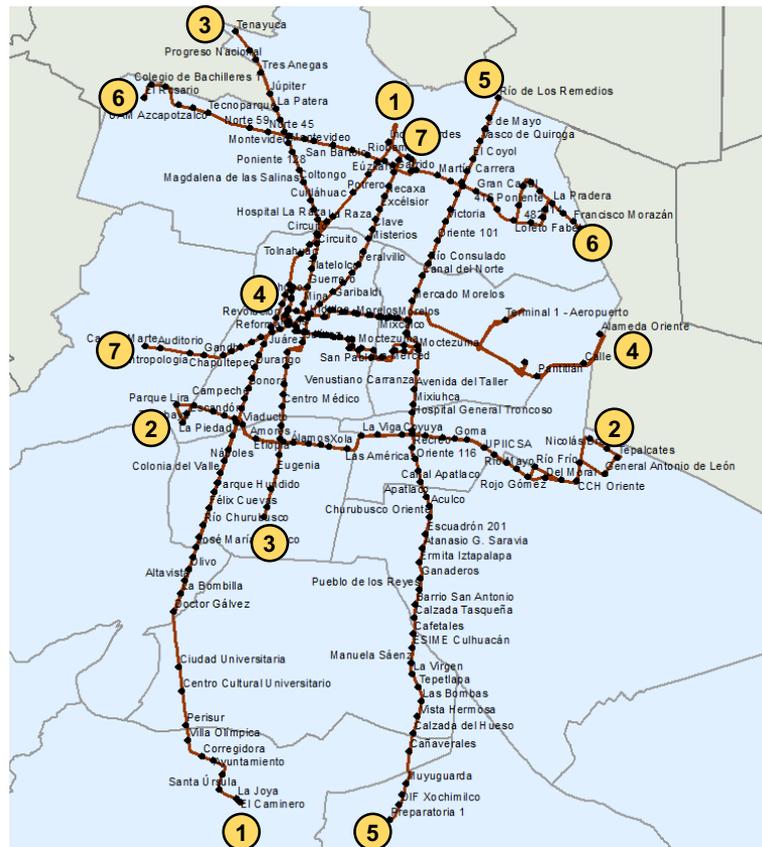
La factibilidad financiera de cada línea BRT se determina con el flujo de efectivo que resulta de la diferencia entre los costos de inversión, operación y mantenimiento y los ingresos de cada una de las 7 líneas BRT, calculando los indicadores de rentabilidad a un horizonte de 30 años. Los principales costos de inversión son: construcción de los carriles exclusivos, estaciones, señalización, sistemas de control y adquisición de autobuses. Los ingresos son los obtenidos por las tarifas de los pasajeros de acuerdo con la demanda histórica y la demanda estimada al horizonte de evaluación a 30 años para cada línea BRT.

La reducción de emisiones contaminantes de las líneas BRT se realizan comparando las emisiones del escenario base (parque vehicular del transporte concesionado en minibuses y autobuses) con el escenario de mitigación (parque vehicular de autobuses nuevos de las líneas BRT). Por último, se cuantifica la reducción de tiempo de viaje con base en las velocidades promedio del transporte concesionado de baja capacidad y las velocidades promedio de las nuevas líneas BRT.

4.1 Descripción del sistema BRT de la Ciudad de México

Sistema BRT. En junio de 2005 comenzó a operar la Línea 1 del Metrobús de la Ciudad de México sobre Avenida Insurgentes con una longitud inicial de 20 km que fue construida en un período de 7 meses, en marzo de 2008 se inauguró la ampliación a 30 km. En los siguientes años se construyeron 6 líneas BRT adicionales que conforman una longitud total de 158 kilómetros. La Figura 2 muestra la cobertura geográfica de las 279 estaciones y terminales de la red BRT de la Ciudad de México.

Figura 2. Líneas BRT (Metrobús) de la Ciudad de México



La operación se ha adaptado con la introducción de rutas segmentadas en cada línea BRT para absorber la demanda en las horas de mayor afluencia de pasajeros, así como el diseño de rutas que comparten el trazo de dos líneas diferentes. La flexibilización de la operación, el incremento histórico de la demanda y los usuarios captados de otros modos de transporte ha permitido al sistema BRT de la Ciudad de México incrementar significativamente la cantidad de pasajeros diarios transportados (Tabla 1).

Tabla 1. Líneas BRT de la Ciudad de México (Pasajeros diarios)

No.	Línea BRT	Longitud (km)	Estaciones	Inicio	Afluencia Inicial	Afluencia 2023
1	Avenida Insurgentes	30.0	46	Jun-2005	200,555	395,054
2	Eje 4 Sur	20.0	36	Dic-2009	61,526	204,099
3	Eje 1 Poniente	17.0	38	Feb-2011	96,900	165,390
4	Buenavista-Aeropuerto	28.0	38	Abr-2012	39,994	103,777
5	Eje 3 Oriente	28.5	53	Nov-2013	55,551	237,571
6	Eje 5 Norte	20.0	37	Ene-2016	148,058	177,183
7	Paseo de la Reforma	15.0	31	Mar-2018	101,411	130,344
Total		158.5	279			1,413,417

4.2 Demanda histórica de las líneas BRT

Los ingresos de cada una de las líneas BRT se determinan a partir de la demanda histórica de los pasajeros promedio diario transportados desde el inicio de operaciones al horizonte de

proyecto hasta completar 30 años de servicio para cada línea BRT (SEMOVI, 2024). En los datos se observa para todas las líneas un descenso de la demanda debido a la pandemia del COVID-19, especialmente acentuado en el año 2020, pero que también se manifiesta en los dos años subsecuentes. El estimado de crecimiento consideró esta circunstancia, el porcentaje de incremento de la demanda para los años posteriores a 2023 para cada línea BRT se presenta en la última fila de la Tabla 2.

Tabla 2. Demanda histórica de las líneas BRT (Pasajeros promedio diario)

Año	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Línea 6	Línea 7	Total
2005	200,555							200,555
2006	203,338							203,338
2007	212,745							212,745
2008	243,272	61,526						304,798
2009	255,838	92,476						348,315
2010	270,976	104,136						375,111
2011	307,732	118,335	96,900					522,967
2012	334,302	129,671	109,196	39,994				613,162
2013	341,691	131,521	110,894	37,224	55,551			676,880
2014	348,067	134,100	117,810	50,883	59,487			710,348
2015	365,687	147,446	125,417	56,305	62,563			757,418
2016	394,797	152,611	140,487	58,340	73,403	148,058		967,695
2017	397,403	154,691	148,173	59,090	78,153	171,878		1,009,388
2018	417,522	164,055	152,450	59,543	82,939	184,609	101,411	1,162,530
2019	430,841	170,067	160,116	64,115	85,136	189,814	117,284	1,217,373
2020	212,038	92,792	84,167	37,153	66,038	103,050	63,531	658,769
2021	244,151	112,922	101,770	55,709	136,107	108,280	88,126	847,065
2022	327,902	164,477	133,560	85,348	204,118	150,623	134,332	1,200,359
2023	395,054	204,099	165,390	103,777	237,571	177,183	130,344	1,413,417
%	1.53%	1.26%	1.64%	1.03%	1.03%	1.03%	2.00%	

Los ingresos se calculan con base en los pasajeros diarios, a partir de la tarifa promedio ponderada para todos los años de \$0.37 dólares por viaje, considerando los 365 días por año. Cabe señalar, que el servicio inició en junio de 2005 con una tarifa de \$0.32 dólares, tuvo un aumento en marzo de 2008 a \$0.41 dólares, otro en diciembre de 2008 a \$0.45 dólares y el último en abril de 2013 a \$0.48 dólares.

4.3 Costos de las líneas BRT

La infraestructura considera el pavimento con concreto hidráulico, colocación de separadores de carril, señalamiento, semáforos especiales, de estaciones y talleres. El parque vehicular contempla cuatro tipos de autobuses: biarticulado, articulado, estándar y doble piso. La inversión total en las 7 líneas de Metrobús de la Ciudad de México fue de 1020.3 millones de dólares que incluye infraestructura y adquisición de autobuses, el costo promedio de construcción fue de 5.0 millones de dólares por kilómetro. Los costos de operación y mantenimiento incluyen el gasto en combustibles, mantenimiento y sueldos del personal (Tabla 3).

Tabla 3. Costos de inversión y de operación (Millones de dólares)

Línea	Construcción	Autobuses	Total	Operación (mdd/año) Año 30	No. Autobuses
1	181.3	66.1	247.5	28.0	179
2	115.6	25.2	140.8	12.1	75
3	96.5	20.9	117.5	10.1	54
4	34.2	13.7	47.8	6.8	54
5	168.7	31.3	200.0	11.9	76
6	111.3	26.1	137.4	11.7	75
7	78.0	51.5	129.4	11.3	90
Total	785.6	234.8	1,020.3	158.5	603

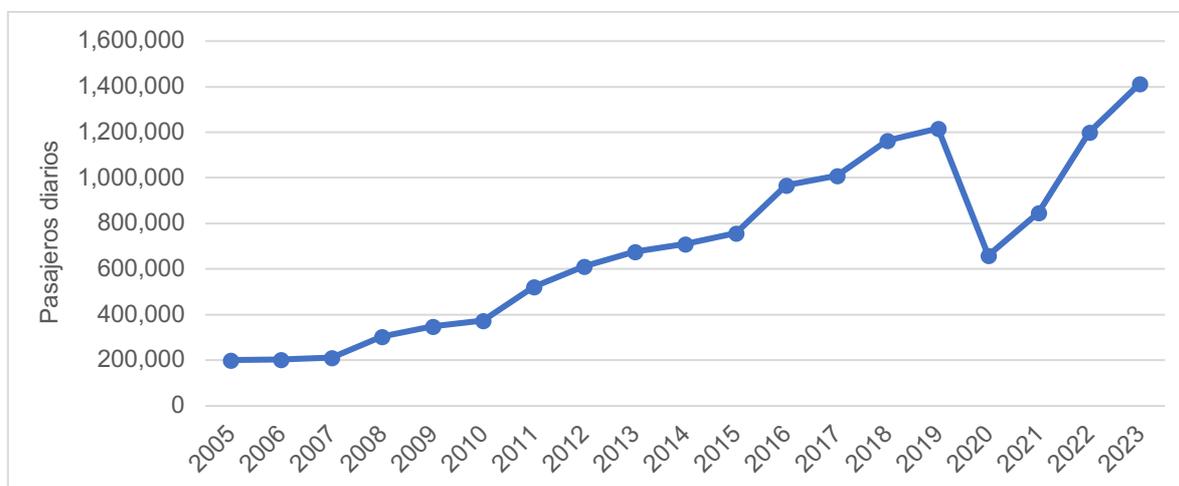
4. Resultados

Capacidad de transporte del sistema. El Metrobús comenzó a operar en la Ciudad de México en junio de 2005 con la línea 1 de Insurgentes con 20 km de recorrido, transportando en promedio 200 mil pasajeros, después se amplió en marzo de 2008 para una longitud total de 30 km por lo que tuvo que incrementarse el parque vehicular en operación y la cantidad de viajeros subió en ese año 25% respecto a los años anteriores. En 2012, se presentaban frecuentemente picos de demanda superior a 400 mil pasajeros diarios en la línea 1, lo que hizo necesario ampliar por segunda vez la flota vehicular.

La apertura de las líneas 2 y 3 incrementó la captación de pasajeros del sistema BRT, en especial la línea 3 Eje 1 Poniente descongestionó en parte a la línea 1, ya que ambas tienen trayectos norte a sur. Además, la empresa estatal controladora del sistema comenzó a programar servicios que conectan los recorridos de la línea 1 con los de las líneas 2 y 3.

La consolidación del sistema BRT se alcanzó con la construcción de las últimas 4 líneas, con lo que se logra un incremento medio anual de 13.1% desde su inauguración hasta 2019, antes de la pandemia del COVID, período en el que hubo una baja a casi la mitad de los valores previos. Sin embargo, una vez que las medidas sanitarias se fueron flexibilizando, en 2022 se recuperaron los valores prepandemia y en 2023 se superaron los valores históricos del sistema BRT, transportando un poco más de un millón 400 mil pasajeros diarios (Figura 3).

Figura 3. Evolución de los pasajeros diarios en las líneas BRT de la Ciudad de México



Evaluación financiera. Con los ingresos y los costos de inversión, operación y mantenimiento se obtiene el flujo de efectivo y se determina la tasa interna de retorno (TIR) de cada una de las líneas BRT. Los ingresos se determinaron con la tarifa promedio ponderada y con la demanda real de cada línea hasta el año 2023, posteriormente se realizan pronósticos de demanda diario en base a las tasas históricas de crecimiento anual. La Tabla 4 presenta los ingresos, los costos, el flujo de efectivo simplificado y la TIR obtenida para cada línea BRT.

Tabla 4. Evaluación financiera de las líneas BRT de la Ciudad de México (mdd)

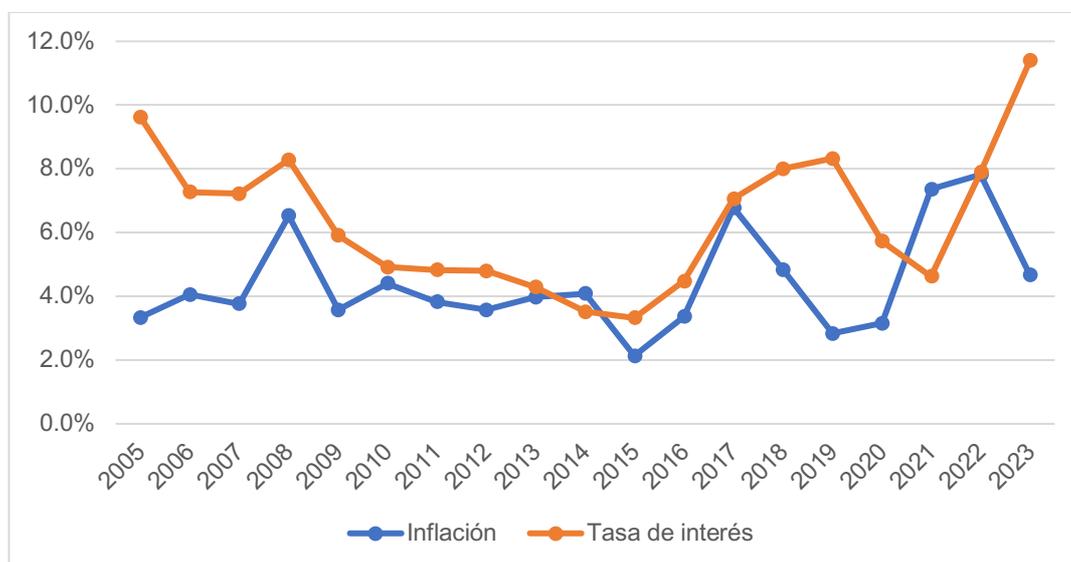
Línea BRT	Año	Ingresos (mdd)		Costos (mdd)			Flujo de efectivo	TIR
		Pasajeros	Total	Inversión	Op. y mtto.	Total		
Línea 1	0			247.5			-247.5	6.6%
	1	14.5	14.5		6.3	6.3	8.2	
	30	63.0	63.0		28.0	28.0	35.0	
Línea 2	0			140.8			-140.8	5.3%
	1	0.3	0.3		0.5	0.5	-0.1	
	30	32.8	32.8		12.1	12.1	20.8	
Línea 3	0			117.5			-117.5	7.3%
	1	11.7	11.7		9.0	9.0	2.7	
	30	29.5	29.5		10.1	10.1	19.4	
Línea 4	0			47.8			-47.8	6.9%
	1	4.1	4.1		5.1	5.1	-1.0	
	30	16.8	16.8		6.8	6.8	10.1	
Línea 5	0			200.0			-200.0	5.7%
	1	1.2	1.2		0.6	0.6	0.6	
	30	38.9	38.9		11.9	11.9	27.0	
Línea 6	0			137.4			-137.4	8.1%
	1	18.8	18.8		11.0	11.0	7.7	
	30	30.0	30.0		11.7	11.7	18.2	
Línea 7	0			129.4			-129.4	5.0%
	1	9.2	9.2		7.5	7.5	1.6	
	30	28.3	28.3		11.3	11.3	17.0	

Los resultados de rentabilidad obtenidos se encuentran por debajo de límite señalado en la normativa mexicana para la tasa social de descuento de 10% en proyectos públicos. Los valores obtenidos fluctúan entre 5.0% y 8.1%, aunque indican que no se requieren subsidios para operar la líneas del sistema BRT de la Ciudad de México.

Las líneas del sistema BRT son empresas donde participa el sector privado, el indicador para estimar la rentabilidad de los proyectos es el costo de capital promedio ponderado (WACC-Weighted Average Cost of Capital). El costo de capital se calcula como una mezcla del costo de la deuda (la tasa de interés) y el costo del capital propio (la tasa de rendimiento de los inversionistas en el capital de la empresa). Debido a que la información financiera de las empresas que operan las líneas del sistema BRT no están disponibles para calcular el costo de capital, se presenta la evolución de la tasa de interés que se utiliza para determinar el costo financiero de las deudas de las empresas en México. El promedio de la tasa de interés en el

período 2005-2023 fue de 6.4%, mientras que la inflación en el mismo lapso fue de 4.4% (Figura 4).

Figura 4. Inflación y tasa de interés 2005-2023



El costo de capital generalmente está por encima de la tasa de interés y se encontró que en el sector de telecomunicaciones el costo de capital para dos empresas diferentes del sector fue en el año 2022 de 11.34% y 11.05% (IFT, 2023). Considerando los valores anteriores de costo de capital representativos de las empresas privadas de México, resulta que la TIR obtenida en las líneas del sistema BRT está por debajo de estos valores.

Emisiones contaminantes. La introducción del sistema BRT de la Ciudad de México se fundamenta en la cancelación de rutas de transporte concesionado y el reemplazo de vehículos obsoletos por autobuses nuevos, esto ha permitido en un período de 13 años sustituir más 3 mil unidades obsoletas por una flota de 600 unidades nuevas integrada por autobuses, articulados y de doble piso. La relación de sustitución de vehículos obsoletos del transporte concesionado por autobuses nuevos en las líneas BRT fue en promedio de 5 a 1, pero en las líneas de Insurgentes y Reforma donde circulaban principalmente autobuses la proporción fue de solamente 2 a 1, mientras que para la línea 4 donde transitaban minibuses la relación alcanza hasta 14 a 1 (Tabla 5).

Tabla 5. Sustitución del parque vehicular en las líneas BRT de la Ciudad de México

Línea de Metrobús	Vehículos sustituidos			Parque vehicular nuevo			
	Autobús (90 pax)	Minibús (40 pax)	Total	Articulado (160 pax)	Autobús (100 pax)	Doble piso (130 pax)	Total
1 Insurgentes	307	45	352	179			179
2 Eje 4 Sur	65	585	650	75			75
3 Eje 1 Poniente	251	317	568	54			54
4 Buenavista	50	716	766		54		54
5 Eje 3 Oriente	101	413	514	76			76
6 Eje 5 Norte	186	109	295	75			75
7 Reforma	179		179			90	90
Totales	1,139	2,185	3,324	459	54	90	603

La metodología para implementar acciones de mitigación con sistemas BRT (INECC, 2020) indica la cuantificación de emisiones del escenario base (flota mixta de autobuses, minibuses y vehículos privados) y del escenario de mitigación (autobuses del sistema BRT) en función de un factor de emisión. El factor de emisión del escenario base es de 1,263 gCO₂ por pasajero y el del escenario de mitigación es de 810 gCO₂, los cuales se multiplican por los pasajeros anuales y la reducción de emisiones se obtiene por diferencia (Tabla 6).

Tabla 6. Reducción de emisiones contaminantes en las líneas BRT (Ton CO_{2eq})

Año	Pasajeros	Escenario base	Escenario de mitigación	Reducción de emisiones
2005	73,202,446	92,455	59,257	33,197
2006	74,218,369	93,738	60,080	33,658
2007	77,652,053	98,075	62,859	35,215
2008	111,251,299	140,510	90,058	50,452
2009	127,134,909	160,571	102,916	57,656
2010	136,915,678	172,925	110,833	62,091
2011	190,882,910	241,085	154,520	86,565
2012	223,804,127	282,665	181,169	101,495
2013	247,061,235	312,038	199,996	112,042
2014	259,276,927	327,467	209,885	117,582
2015	276,457,411	349,166	223,792	125,373
2016	353,208,764	446,103	285,922	160,180
2017	368,426,604	465,323	298,241	167,081
2018	424,323,580	535,921	343,490	192,431
2019	444,341,163	561,203	359,694	201,509
2020	240,450,747	303,689	194,645	109,044
2021	309,178,873	390,493	250,280	140,213
2022	438,131,175	553,360	354,667	198,692
2023	515,897,164	651,578	417,619	233,959
Totales	4,891,815,434	6,178,363	3,959,925	2,218,438

El procedimiento de mitigación ambiental se fundamenta porque los sistemas BRT movilizan un mayor número de pasajeros con una menor cantidad de autobuses a mayor velocidad, de forma que su traslado se vuelve más eficiente por lo que se disminuye la generación de emisiones contaminantes y se mejora la movilidad urbana.

Con base en esta metodología, se obtuvo que la reducción anual de emisiones en 2005 fue de 33,197 toneladas CO_{2eq} solamente con la entrada en operación de la Línea 1, mientras que el promedio anual de reducción de emisiones de 2018 a 2023 con todas las líneas en operación fue de 179,308 toneladas CO_{2eq} y el total de disminución de emisiones en los 19 años de operación de la red BRT es un poco mayor a 2 millones 200 mil toneladas de CO_{2eq}. Además, los resultados de reducción de emisiones reales obtenidos durante los primeros 7 años de operación de la Línea 1 de Avenida Insurgentes permitieron obtener una compensación de 2.4 millones de dólares en bonos de carbono (World Bank, 2017).

Tiempos de viaje. Los estudios previos elaborados para determinar la demanda de transporte y las especificaciones de cada línea BRT indicaban una velocidad promedio de 21 km/h mientras que la velocidad promedio del transporte concesionado (autobuses y minibuses)

fluctuaba entre 12 km/h y 17 km/h, dependiendo de cada línea. Además, se comprobó que la velocidad del transporte particular en automóvil es semejante al servicio de BRT y la captación de usuarios de automóvil en las líneas BRT ha sido de 13% (INE, 2008; World Bank, 2017).

La reducción de tiempos de viaje se calcula considerando que los usuarios de transporte concesionado ahorran 5 minutos en un recorrido promedio de 7 km en el sistema BRT y que los usuarios de la red captados del transporte particular no tienen ahorros de tiempo, para calcular el beneficio económico de la reducción de tiempos de viajes anuales se utiliza el valor social del tiempo (Hernández, et al, 2023) de \$2.68 dólares por hora (Tabla 7).

Tabla 7. Ahorro de tiempos de viajes en las líneas BRT

Año	Pasajeros			Ahorro en tiempo (Horas)	Valor del tiempo (mdd)
	Totales	Automovil	Tpte Público		
2018	424,323,580	55,162,065	369,161,515	28,953,844	77.6
2019	444,341,163	57,764,351	386,576,812	30,319,750	81.3
2020	240,450,747	31,258,597	209,192,150	16,407,227	44.0
2021	309,178,873	40,193,253	268,985,620	21,096,911	56.5
2022	438,131,175	56,957,053	381,174,122	29,896,010	80.1
2023	515,897,164	67,066,631	448,830,532	35,202,395	94.3

5. Conclusiones

En forma similar que muchas urbes del mundo y del país, el área metropolitana de la Ciudad de México ha experimentado un crecimiento desordenado y disperso acompañado de una insuficiente planeación territorial y de movilidad, generando un entorno urbano que limita la calidad de vida de sus habitantes. Los tiempos de traslado se han incrementado en todos los casos, particularmente para los habitantes de las zonas periféricas.

Es necesario revertir el reparto modal del transporte de la Ciudad de México, que se caracteriza por una alta participación de transporte concesionado de baja capacidad, hacia medios de transporte sustentable masivo. Los sistemas BRT se presentan como soluciones idóneas para proveer medios de transporte con tiempos de construcción reducidos a bajo costo en comparación con el tren ligero y el metro.

Las autoridades de la Ciudad de México lograron poner en operación en un plazo de 15 años 7 líneas BRT que abarcan de 158 km de longitud, 279 estaciones y que con un poco más de 600 autobuses nuevos, principalmente articulados, prestan servicio diariamente a cerca de un millón 400 mil pasajeros, mediante una inversión total superior a mil millones de dólares en infraestructura y equipo.

El sistema BRT ha cambiado en forma notoria el esquema de transporte de superficie mediante autobuses nuevos de bajas emisiones y mayor capacidad, estaciones dedicadas, carriles exclusivos, pago sistematizado y operación regulada.

El beneficio social y económico de la introducción del sistema BRT en la Ciudad de México es incuestionable en términos de ahorro en tiempos de viaje, disminución de accidentes, reducción de emisiones contaminantes, menores costos de operación, mejoramiento de la imagen del transporte público y aumento de la actividad económica alrededor de los corredores de transporte.

Referencias

- Banco Mundial - World Bank (2024), consultado el 18 de febrero de 2024, <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview#1>
- BRT Centre of excellence, (2024), consulta 4 de marzo de 2024 <https://brtdata.org/>
- Hernández, S, Cruz, G., Alvarado, G. y Arroyo, J. A. (2023), Estimación del valor del tiempo de los ocupantes de los vehículos que circulan por la red carretera de México, Notas No. 201, Instituto Mexicano del Transporte
- Instituto Federal de Telecomunicaciones, (2023), Metodología para el cálculo del costo de capital promedio ponderado (CCPP)
- Instituto Nacional de Ecología, (2008), The Benefits and Costs of a Bus Rapid Transit System in Mexico City
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, (2020), Metodología para la identificación y cuantificación de acciones de mitigación por implementación de sistemas de transporte masivo
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2018), Encuesta origen-destino en hogares de la zona metropolitana del Valle de México 2017, México
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2021), Censo de población y vivienda 2020, México
- Lámbarry, F., Rivas, L. y Peña, M., (2011), Planeación de los sistemas BRT y consensos entre transportistas y autoridades de gobierno durante su implementación: el caso de Metrobús y Mexibús, Administración & Desarrollo vol. 39 no. 54 pp. 133-150
- Metrobús (2023), consultado el 11 de abril de 2023 <https://www.metrobus.cdmx.gob.mx>
- Rosas, J. y Chías, L., (2021), Los BRT ¿nuevo paradigma de la movilidad urbana mundial?, Investigaciones Geográficas no. 103, pp. 46-60
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, (2018), Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015, México
- Secretaría de Movilidad (2024), consultado el 19 de febrero de 2024 <https://datos.cdmx.gob.mx/dataset/afluencia-diaria-de-metrobus-cdmx>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público, (2012), Metodología global de las etapas que componen el ciclo de inversiones, México
- Secretaría de Transportes y Vialidad, (2010), Programa Integral de Transporte y Vialidad 2007-2012, México
- World Bank, (2017), Mexico City Insurgentes bus rapid transit system carbon finance project
- World Resources Institute, (2015), Social, environmental and economic impacts of BRT systems

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

