

2008-2009

METROBÚS

REPORTE DE REDUCCIÓN DE EMISIONES

Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por el cuarto año de operación del Corredor Metrobús Insurgentes

Reporte de la Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero debido al Cuarto Año de Operación del Corredor Metrobús Insurgentes

País

México

Titular del Proyecto

Organismo Público Descentralizado Metrobús

Proyecto

“Mexico Insurgentes Avenue Bus Rapid Transit Pilot Project.”

Periodo de Acreditación

Periodo de Acreditación de 7 (siete) años el cual podrá ser renovado dos veces para un total máximo de 21 (veintiún) años

Comprador de la reducción de emisiones

International Bank for Reconstruction and Development ("IBRD") en su calidad de fiduciario del Fondo Español de Carbono

Duración del Acuerdo de compra de Reducción de Emisiones (ERPA)

Por un periodo de 10 (diez) años a partir de 2005-11-1

Reporte número

4

Periodo de Monitoreo

Desde: **2008-11-1**

Hasta: **2009-10-31**

Reducción de Emisiones Reportado

Reducción de emisiones de gases invernaderos expresada en toneladas de Bióxido de Carbono equivalente: **44,932**

Incertidumbre expandida con un nivel de confianza del 95% expresada en toneladas de Bióxido de Carbono equivalente: **7,829**

(El factor de cobertura (k) que corresponde al intervalo de confianza inferior de 95% = 1.645)

Límite inferior de la reducción de emisiones de gases invernaderos en toneladas de Bióxido de Carbono equivalente con un nivel de confianza del 95%: **37,103**

CONTENIDO

Introducción	3
Descripción del proyecto	4
Periodo de monitoreo	6
Plan de monitoreo	6
Componentes del proyecto	8
Resultados por componente	8
Componente 1	8
Actividad del Proyecto	8
Línea base	10
Reducción de emisiones por componente 1	14
Conversión de combustible consumido a toneladas equivalentes de CO ₂	14
Componente 2	15
Componente 5	16
Componente 6	17
Fuga 4	19
Emisiones reducidas por el cuarto año de operación del Corredor Metrobús Insurgentes	20
Beneficios Adicionales	21
Anexos	
Kilómetros recorridos	22
Pasajeros transportados	23
Estaciones recorridas	24
Cambio Modal	25

INTRODUCCIÓN

El proyecto de Metrobús en el Corredor Insurgentes fue diseñado e implantado por el gobierno de la Ciudad de México para mejorar los servicios de transporte masivo de pasajeros de superficie, coadyuvar con la calidad del aire en el Distrito Federal y mejorar la calidad de vida de sus habitantes. Inició operaciones en junio de 2005 y después de cuatro años de operación, su eficiencia y eficacia en la transportación de pasajeros, así como los múltiples beneficios ambientales, sociales, de ordenamiento vial y mejora urbana han quedado demostrados, consolidándolo como un exitoso proyecto piloto.

Desde su implementación, el Corredor Insurgentes de Metrobús ha evolucionado, modificando su extensión, flota y modo de operación. Una de las modificaciones más importantes que ha tenido el Corredor Insurgentes es su ampliación en dirección sur, extendiendo el corredor 10 kilómetros con 9 estaciones adicionales, la cual inició operaciones en marzo de 2008; los dos tramos operaron como líneas independientes hasta el mes de noviembre de 2008, siendo la estación Dr. Gálvez el sitio de transferencia de pasajeros de una línea a otra, actualmente opera como una sola línea. La flota de operación también se ha modificado, aumentando el número de autobuses de 134 a 146, incorporando al sistema 12 autobuses biarticulados con capacidad para 240 pasajeros, los primeros en México con certificación EURO IV y también los primeros en el país en utilizar Diesel Ultra Bajo en Azufre (UBA 15 ppm), mismos que entraron en operación a finales de octubre de 2008, mejorando así los beneficios ambientales.

Adicional a las mejoras en el Corredor Insurgentes, el Sistema Metrobús también ha evolucionado. En diciembre de 2008 inició operaciones la Línea 2 de Metrobús: Corredor Eje 4, que está conformado por 34 estaciones y dos terminales, circulando por el Eje 4 Sur, avenida que conecta a lo largo de 20 kilómetros el poniente con el oriente de la ciudad y permite la transferencia entre corredores Metrobús, facilitando así los desplazamientos de los usuarios y la conectividad con otros medios de transporte público.

Este informe sólo contiene lo establecido en el *Spanish Carbon Fund Clean Development Mechanism Emission Reductions Purchase Agreement Mexico City Insurgentes BRT Carbon Finance Project* firmado en octubre de 2005. Sin embargo, se debe considerar elaborar una enmienda a dicho acuerdo toda vez que a partir de noviembre de 2008 el Corredor Insurgentes opera como una sola línea con rutas que conectan distintos puntos y satisfacen la intención de viaje de los usuarios, optimizando los kilómetros recorridos además de utilizar una

tecnología más limpia en cuanto a emisiones se refiere. En el período que se reporta, en el Corredor Insurgentes fueron transportados 75.68 millones de pasajeros, realizando 247 mil viajes por día hábil en promedio, de los cuales casi 35 mil corresponden a cambio modal, es decir, personas que dejaron el vehículo particular estacionado para viajar en transporte público.

DESCRIPCION DEL PROYECTO

Metrobús es un sistema BRT que incluye la asignación de un carril exclusivo para la circulación de los autobuses articulados de alta capacidad, estaciones en puntos definidos con distancia promedio entre estación y estación de 550 metros, sistema de peaje y control de accesos automatizado a través de tarjetas de prepago sin contacto, accesibilidad para personas con discapacidad y sistema de flota centralizado.

Carril exclusivo: la característica principal y una de las que genera los principales beneficios ya que permite tener velocidades homogéneas mayores a las del flujo mixto, control sobre los tiempos de ciclo, programación de servicios en la línea, ahorros considerables de tiempo y ordenamiento vial además de desestimular el viaje en vehículos privados.

Autobuses articulados: los autobuses que se utilizan en Metrobús son vehículos articulados de 160 y 240 pasajeros con certificación ambiental EURO III y IV, los cuales emiten menos del 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero que los vehículos de transporte público de la Ciudad de México y menos del 90% de las emisiones por pasajero de un vehículo particular.

Estaciones: la distancia entre las estaciones permite mantener velocidades y tiempos de recorrido mayores a los de un vehículo particular, además de contribuir a la imagen urbana de la ciudad crea espacios públicos seguros en la vía pública.

Sistema de Peaje y Control de Accesos: en Metrobús el sistema de peaje y control de accesos está basado en la tarjeta de prepago sin contacto la cual se puede adquirir y recargar en todas las estaciones a través de máquinas expendedoras, éste sistema permite conocer los valores de pasajeros en el sistema con referencias geográficas y temporales, así mismo cuenta con un sistema de video-vigilancia en todas las estaciones, el

sistema permite en términos de velocidad de paso a los usuarios realizar la entrada al medio de transporte en segundos y mantener niveles de eficiencia de ingreso mayores al 95%.

Accesibilidad para personas con discapacidad: Actualmente Metrobús es el sistema de transporte más accesible en la Ciudad de México ya que la mayoría de las estaciones cuentan con rampas o elevadores y con puertas de cortesía que cumplen con las normas internacionales en cuanto especificaciones para sillas de ruedas, botones de aviso a los conductores así como espacios exclusivos en los autobuses. El servicio para las personas con discapacidad en Metrobús es gratuito. Anualmente se transportan más de 4 millones de personas con discapacidad o adultos mayores.

Sistema centralizado de flota: con el objetivo de tener control de la flota en operación, Metrobús cuenta con un sistema de control centralizado desde el cual se verifica el cumplimiento de la programación de los servicios por parte de las empresas operadoras, esta herramienta permite conocer los kilómetros en operación ofrecidos por la flota de Metrobús.

El Corredor Metrobús Insurgentes inició operaciones en junio de 2005 a lo largo de 19.06 kilómetros de la Av. Insurgentes, conectando el norte de la ciudad (colindante con el Estado de México) con el sur, a la altura de la Ciudad Universitaria (Fig. 1). Debido al éxito y a la demanda ciudadana, fue expandido 10 kilómetros en dirección sur, hasta el inicio de la carretera con rumbo al Estado de Morelos (Fig. 2), su ampliación inició operaciones en marzo de 2008.

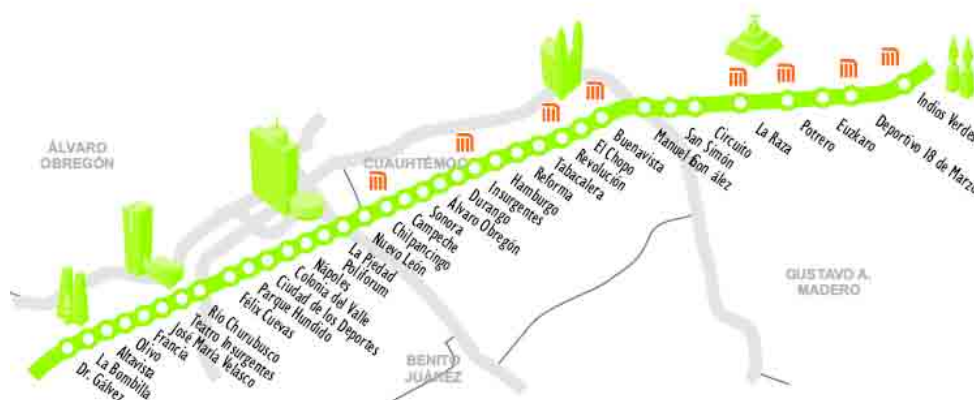


Figura 1. Mapa del Corredor Insurgentes Etapa I

La ruta del Corredor Insurgentes inicia en la terminal Indios Verdes en el norte, y termina en la estación Doctor Gálvez, cerca del paradero de San Ángel en el sur. Este corredor mejora las condiciones del transporte para los viajeros que quieren llegar a las áreas comerciales y de servicios a lo largo de Insurgentes.

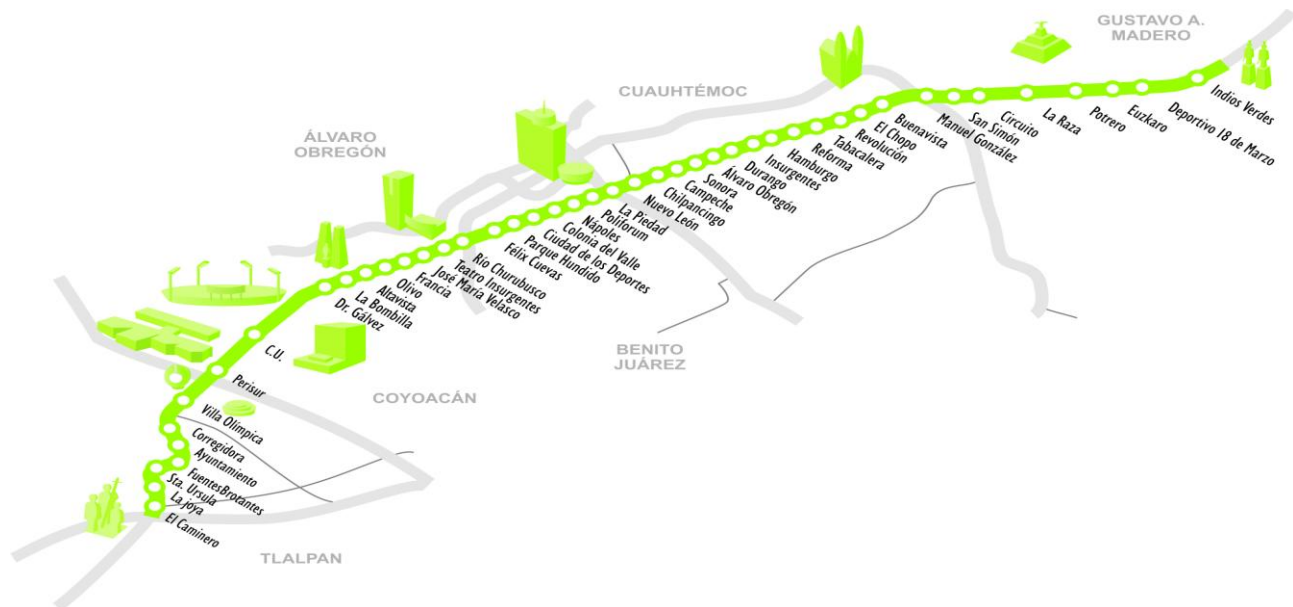


Figura 2. Mapa del Corredor Insurgentes en su longitud actual

PERIODO DE MONITOREO

El periodo reportado en este documento comprende desde el 1° de noviembre de 2008 hasta el 31 de octubre de 2009

PLAN DE MONITOREO

El sector transporte genera cerca del 25% de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel planetario, sin embargo las herramientas para demostrar la reducción de emisiones son insuficientes lo cual ha generado una desvalorización del sector en cuanto a reducción de emisiones se refiere dentro del mercado del Mecanismo de Desarrollo Limpio. Metrobús por cuarto año consecutivo muestra que es posible implementar un Plan de Monitoreo de Reducción de Emisiones debido al cambio tecnológico, de vehículos altamente

contaminantes a vehículos que cuentan con una estricta certificación ambiental y operación regulada, así mismo el método de aproximación de las encuestas permite tener información confiable sobre la reducción de emisiones asociadas a cambio modal.

El plan de monitoreo está basado en la metodología de línea base (NMB) y la metodología de monitoreo (NMM) 0158 titulados “GHG emissions in urban transportation projects that affect specific routes or bus corridors or fleets of buses including where fuel usage is changed”. Su aplicación se deriva directamente del PDD denominado “Mexico, Insurgentes Avenue Bus Rapid Transit Pilot Project”. En el caso de alguna duda sobre el contenido o interpretación de este sistema de monitoreo, se dará razón al contenido del PDD citado. Los procedimientos aplicables son los contenidos en el Manual de Procedimientos para la Reducción de Emisiones de Carbono de Metrobús código MPDG(01).

Procedimiento 01 - MPDG01(00). Integración de información para el cálculo de reducción de emisiones por el Corredor Insurgentes.

- Anexo 1. Componentes aplicables dentro del proyecto Corredor Insurgentes.
- Anexo 2. Fugas que afectan la reducción de emisiones dentro del proyecto Corredor Insurgentes.

Procedimiento 02 - MPDG02(01). Cálculo de reducción de emisiones de carbono del Corredor Insurgentes.

- Anexo 1. Cálculo de la reducción de emisiones generadas por las componentes relacionadas con la operación del Corredor Insurgentes.
- Anexo 4. Cálculo de la generación de emisiones por las fugas relacionadas con los autobuses en operación en el Corredor Insurgentes.

Procedimiento 03 - Código: MPD001(00). Registro de kilometrajes en operación de la flota de Metrobús.

Procedimiento 04 - Código: MPDPE01(00). Control y registro de pasajeros anuales transportados.

Procedimiento 05 - Código: MPDPE02(00). Cuantificación de pasajeros que cambiaron de vehículos particulares a Metrobús.

Procedimiento 10- Código: MPDG07(01). Cálculo de las emisiones generadas por los kilómetros recorridos en vacío por la flota de Metrobús.

COMPONENTES DEL PROYECTO

De acuerdo con la metodología aplicable al periodo que se reporta, los componentes y las fugas que deben monitorearse y ser evaluadas para este reporte se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Componentes aplicables a las mediciones 2008-2009.

Componente/Fuga	¿Afecta Insurgentes?	Actividad	Vehículos Afectados
C1	Si	Vehículos en cada ruta principal dentro del límite del proyecto	Autobuses (consumo de combustible)
C2	Si		Resto de vehículos (cambio en consumo de combustible por diferencia en tiempos de recorrido)
C5	Si	Cambio modal a los autobuses de coches privados y otras formas de transporte	Disminución en el uso de coches privados
C6	Si		Incremento de autobuses para cubrir la demanda adicional
F4	Si	Kilómetros en vacío	Autobuses

Resultados por componente.

Componente 1. *Mejoras en las condiciones de operación y/o la sustitución de una cantidad de autobuses que operaban sobre el Metrobús Corredor Insurgentes.*

Actividad del proyecto.

En este componente se monitorean los kilómetros recorridos en el periodo que se reporta, los cuales provienen de la operación diaria de Metrobús y el rendimiento de combustible de los autobuses articulados, proveniente de la computadora del vehículo, para calcular el consumo anual de combustible (Diesel Ultra Bajo en Azufre) por la actividad del proyecto, posteriormente se convierten los litros de combustible a toneladas de dióxido de carbono equivalente.

El combustible consumido por el servicio de los autobuses de la actividad del proyecto sobre la ruta, expresado en litros por año es dado por ecuación:

$$\text{NNVAn} * \text{AKTNn} / \text{FENn}$$

Donde:

NNVAn = Número de vehículos en el servicio

El proyecto BRT de Metrobús Insurgentes en el periodo 2008-2009 operó con una flota de 106 autobuses, utilizando en promedio 98 autobuses en día hábil, 66 en sábado y 42 en domingo y días festivos (Cuadro 2). Se asignan 85 autobuses a este componente con un promedio ponderado de kilómetros diarios calculado de 237.68 Km.

Cuadro 2. Programación mensual de autobuses en operación por día tipo.

MES	Día Hábil	Sábado	Domingo
Nov-08	98	63	40
Dic-08	98	66	42
Ene-09	98	66	42
Feb-09	98	66	42
Mar-09	98	66	42
Abr-09	98	66	42
May-09	98	66	42
Jun-09	98	66	42
Jul-09	98	66	42
Ago-09	98	66	42
Sep-09	98	66	42
Oct-09	98	66	42
Promedio	98	66	42

AKTNn = Kilómetros anuales recorridos por cada autobús.

Los kilómetros totales operados por los autobuses durante el período reportado son 9,195,825.76 kilómetros de los cuales 8,957,120.60 kilómetros corresponden a operación en la ruta y la diferencia (238,705.16 kilómetros) debido al mantenimiento y a los recorridos de sus patios al inicio de la ruta y de vuelta a sus patios. Estos datos se obtienen de los expedientes operacionales de Metrobús, basado en las lecturas de odómetro de cada unidad y los kilómetros en operación en ruta pagados a las empresas operadoras. Los kilómetros anuales

recorridos por la flota de Metrobús se presentan en el Anexo 6.1. El promedio ponderado de kilómetros en servicio para los autobuses en el Metrobús Corredor Insurgentes por día basado en 106 autobuses es de 237.68 Km/día. La desviación estándar asociado con los kilómetros diarios por vehículo se estima en 1.

FENn = Eficiencia de combustible en autobuses del proyecto

El consumo de combustible de los vehículos fue determinado de los kilómetros totales de operación y de los litros totales de combustible consumidos, de acuerdo a la economía de combustible determinados por las computadoras de los vehículos que es de 1.2556 km/L. El consumo anual de combustible es de 5,872,906.98 litros en el período del informe.

La actividad del proyecto genera un consumo anual de:

5,872,907 litros de Diesel Ultra Bajo en Azufre con un error estándar de **73,544** litros.

Línea base

Para la determinación de emisiones generadas en la línea base, que son las condiciones en las que se hubiera mantenido Insurgentes en caso de no construir y operar el Corredor de Metrobús, se considera únicamente la componente tecnológica. Para ello a partir del inventario de emisiones de la Secretaría de Medio Ambiente (SMA) se determinan los kilómetros que recorren en promedio autobuses, microbuses y combis anualmente. Asimismo, se considera que el Programa de Chatarrización de la Secretaría de Transporte y Vialidades del Distrito Federal (SETRAVI) incorporaría el 10% de la flota original para sustitución por flota nueva. Con los datos de nueva flota, kilómetros anuales recorridos y rendimientos de combustible por tipo de vehículo se obtiene el consumo anual total de combustible por tipo de vehículo y posteriormente se convierten los litros de combustible a toneladas de dióxido de carbono equivalente.

El combustible consumido por los vehículos asociados a la línea base, en litros por año es dado por la ecuación:

$$AKTOn * NOVRn / FEOn$$

Donde:

$AKTO_n$ = Kilómetros anuales por autobús de la línea base sobre la ruta

Para este informe fueron utilizados los datos del Inventario de Emisiones, 2006 en su tabla 4.3.10 Actividad de la flota vehicular de la ZMVM.

Tipo	Km/día
Autobús	229
Minibús	223
Microbús	200

$NOVR_n$ = Número de autobuses removidos del servicio en 2008-2009

El número anualizado de autobuses en la línea base se habría cambiado en el tiempo debido a los cambios en pasajeros-kilómetro dentro de la ciudad. También habría evolucionado de acuerdo con las consideraciones de reparación, reemplazo y conversión determinadas. Por lo anterior, el número de vehículos debe ser ajustado durante el transcurso del proyecto para tomar en cuenta estos cambios. El número de unidades removidas de Insurgentes ($NOVR_0$) en el arranque del proyecto fue medido ex-post directamente de los expedientes de la flota y registros oficiales. Un total de 368 unidades fueron removidas de servicio en Insurgentes como se muestra en cuadro 3. Este cuadro no incluye los efectos de las consideraciones de reparación, reemplazo o conversión. Debe ser modificado para incluir el efecto del reemplazo del 10% de vehículos por año. El cuadro 4 demuestra cómo esta sustitución de vehículos en la línea base modifica el número de los vehículos que habrían funcionado en Insurgentes y cuantos se habrían desechado.

Cuadro 3 – número de autobuses removidos de servicio en año 0 ($NOVR_0$)

Tipo de Vehículo	Total removido $NOVR_0$	Número chatarrizados	Número desensamblado
RTP – Autobús Diesel	106	0	106
Ruta 2 – Autobús Diesel	29	29	
Ruta 2 – Microbús Gasolina	174	174	
Ruta 2 - Microbús LPG	52	52	
Ruta 2 - Microbús CNG	7	7	
Total	368	262	106

Cuadro 4 - Número de autobuses removidos de servicio en año 4 (NOVR₄) con RRC

Tipo de Vehículo	Flota original sin proyecto	Flota original menos reemplazo	Flota nueva 2008-2009
RTP – Autobús Diesel	106	70	36
Ruta 2 – Autobús Diesel	29	20	9
Ruta 2 – Minibús Diesel	--	--	31
Ruta 2 – Microbús Gasolina	174	111	--
Ruta 2 - Microbús LPG	52	52	--
Ruta 2 - Microbús CNG	7	7	--
Total	368	336	

Consideraciones de reparación, reemplazo y conversión:

Autobuses: el 10% de los autobuses de Ruta 2 y RTP se retirarán de servicio y serán sustituidos con el mismo número de la nueva especificación de autobuses.

Microbuses: el 10% de Microbuses de Ruta 2 se retirarán de servicio y serán sustituidos con la mitad de ese número de minibuses a diesel de la nueva especificación y con el doble de capacidad. Los Microbuses a retirarse de servicio serán éstos con las emisiones más altas de gases de efecto invernadero.

FEO_n = Eficiencia de combustible de los autobuses removidos del servicio (km/L)

Las consideraciones de reparación, reemplazo o conversión [RRC] requieren modificar el combustible de la línea base en los años futuros para tomar en cuenta la introducción de los vehículos nuevos y más económicos en consumo de combustible. El promedio combinado de consumo de combustible de los autobuses de la línea base se debe calcular para la ruta por tipo de combustible durante la vida del proyecto.

Los valores que deben ser utilizados para determinar el parámetro FEO de los autobuses viejos están contenidos en el cuadro 5. Los datos en este cuadro son tomados de la Tabla 7.2 del informe titulado “Assessment of the Comparative Environmental Performance of Alternative Bus Technologies – Mexico City”, preparado para el Banco Mundial por SENES Consultants Limited y el Environmental Technology Centre,

septiembre 2005 y son publicados en la tabla 14a del informe final de SENES “Baseline Measurements for the Insurgentes Corridor, Mexico City” preparada para el Banco Mundial, febrero 2006.

Cuadro 5. Resumen del uso de combustible por tipo de vehículo

VEHICULOS ESTUDIADOS	VEH 1	VEH 2	VEH 3	VEH 4	VEH 5	VEH 6	VEH 7	VEH 8	VEH 9	AVG	Max	Min	SD	n	StdErr	AVG	Max	Min	SD	n	StdErr
AUTOS (00 -04) Km/Lt (gasolina)	11.99	9.70	5.42	12.41	12.16					10.34	12.41	5.42	2.96	5	1.32	7.87	12.41	3.64	2.85	14	0.76
AUTOS (96 -00) Km/Lt (gasolina)	6.54	5.80	7.65	3.64	6.54	5.80	9.19	5.05	8.30	6.50	9.19	3.64	1.70	9	0.57						
TAXIS (96 -04) Km/Lt (Gasolina)	6.39	12.64	12.75	10.12						10.48	12.75	6.39	2.98	4	1.49						
VEHICULOS MENORES A 3 TONELADAS A DIESEL	5.76	6.29	4.69	4.86	4.79					5.28	6.29	4.69	0.71	5	0.32						
AUTOBUSES DEL TRANSPORTE PÚBLICO (DIESEL)	1.00	1.76	1.51	1.19	1.64	1.74				1.47	1.76	1.00	0.31	6	0.13						
COMBIS TIPO EUROVAN PARA TRANSPORTE PÚBLICO (GASOLINA)	7.40	7.10	7.16	5.27	8.67					7.12	8.67	5.27	1.22	5	0.54						
MICROBUSES DEL TRANSPORTE PÚBLICO (A GAS LP)	1.16	1.92	1.11	1.92	0.89					1.40	1.92	0.89	0.48	5	0.22						
MICROBUSES DEL TRANSPORTE PÚBLICO (A GASOLINA)	2.34	2.28	2.06	1.03	2.06					1.95	2.34	1.03	0.53	5	0.24						
MOTOCICLETAS (Gasolina)	16.98	33.47	16.40	8.93	29.16					20.99	33.47	8.93	10.06	5	4.50						
CAMIONES DE CARGA 2 EJES A GASOLINA	2.71	3.67	1.98	2.20	2.14					2.54	3.67	1.98	0.69	5	0.31						
CAMIONES DE 5 Y 6 EJES A DIESEL	1.96	1.83	2.13	1.35	1.20					1.69	2.13	1.20	0.40	5	0.18						
AUTOBUSES DEL TRANSPORTE PÚBLICO (GAS LICUADO DEL PETROLEO)	2.04	1.50	3.68	1.13	2.79					2.23	3.68	1.13	1.03	5	0.46						
CAMIONETAS TIPO PICK UP A GASOLINA	5.19	2.96	9.24	6.66	2.84					5.38	9.24	2.84	2.69	5	1.20						
CAMIONETAS TIPO PICK UP A GAS LICUADO DEL PETROLEO	6.30	3.91	6.60	4.71	6.36					5.58	6.60	3.91	1.19	5	0.53						

	Part 1
	Part 2

Las consideraciones por reparación, reemplazo o conversión de la línea base modifican el consumo de combustible de la flota de autobuses de la misma como sigue:

Cuadro 6. Economía de combustible modificado de los autobuses en km/L

Tipo de Vehículo	Combustible	Promedio km/L	Error estándar
Autobús	Diesel	1.47	0.13
Microbús	Gasolina	1.95	0.24
Microbús	LPG	1.40	0.22

La economía de combustible medido sobre la ruta de Insurgentes en km/L, es dado en el informe “*Componente III Pruebas de tecnología de Autobuses*” publicado por la SMA en 2006 en la tabla 5.7. En esta tabla, el consumo de combustible se expresa en g/km y la densidad del combustible para el combustible diesel normal D2 tiene un valor de 0.8376 g/ml

Cuadro 7- Economía de combustible para los autobuses nuevos de reemplazo en km/L

Tipo de Vehículo	Designación de prueba	Combustible	Ruta	Promedio g/km	Error estándar	Promedio km/L	Error estándar
OMC1626/51LA	MB12	Diesel	Corredor	368	13	2.276	0.080
MBO1219/52	MB10	Diesel	Corredor	206	4	4.066	0.079

El impacto de este reemplazo de unidades de la línea base se presenta en el cuadro 8.

Cuadro 8 - Economía combinada de combustible con RRC para 2008-2009.

Tipo de Vehículo	Especificación Original	Especificación de Reemplazo 2005-2009	Economía combinada (km/L)
RTP – Autobús Diesel	70 x 1.47	36 x 2.276	1.7439
Ruta 2 – Autobús Diesel	20 x 1.47	9 x 2.276	1.7201
Ruta 2 – Minibús Diesel		31 x 4.066	4.066
Ruta 2 – Microbús Gasolina	111 x 1.95		1.95
Ruta 2 - Microbús LPG	52 x 1.40		1.40
Ruta 2 - Microbús CNG	7 x 1.40		1.40

De esta forma, el combustible consumido por los vehículos asociados a la línea base, en litros por año es:

La actividad de línea base generaría un consumo anual de:

4,969,844	litros de Diesel con un error estándar de 392,822 litros.
4,155,385	litros de Gasolina con un error estándar de 528,353 litros.
2,711,429	litros de LPG con un error estándar de 437,217 litros.
365,000	litros de CNG con un error estándar de 78,318 litros.

Reducción de emisiones por componente 1

$$(\text{NOVRn} * \text{AKTON} / \text{FEON}) - (\text{NNVAN} * \text{AKTNn} / \text{FENn})$$

Parámetro	Descripción	Unidades
NOVRn	Número de autobuses removidos del servicio	Autobuses
NNVAN	Número de vehículos en el servicio del proyecto	Autobuses
AKTON	Kilómetros anuales por autobús de la línea base	Kilómetros
AKTNn	Kilómetros anuales recorridos por autobús del proyecto	Kilómetros
FEON	Eficiencia de combustible de los autobuses removidos	Km/lt
FENn	Eficiencia de combustible en autobuses del proyecto	Km/lt

Conversión de combustible consumido a toneladas equivalentes de CO₂

Los factores de emisiones utilizados son tomados de los valores caloríficos más bajos del IPCC, 1996 ajustados según los valores caloríficos de los combustibles disponibles en México según información de la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (SMA) y los procedimientos y referencias contenidos en el NMB sección I.4.1. Los factores en el cuadro 9 corresponden al combustible disponible en la Ciudad de México y han sido elaborados tomando en cuenta los valores caloríficos locales más bajos y cualquier requisito legal sobre mezcla de combustible junto con la mezcla en la Ciudad de México por los tipos de motor y la distribución de tecnologías de control de emisiones instalada en la flota vehicular.

Cuadro 9 – Factores de emisión para el combustible utilizado en la Ciudad de México

Emisiones por litro de combustible	Kg CO ₂ /l	Kg CH ₄ /l	Kg N ₂ O/l
Parámetro	F _{CO2}	F _{CH4}	F _{N2O}
Gasolina	2.1796	6.29E-04	1.89E-05
Diesel	2.5648	1.73E-04	2.08E-05
CNG (gases a condiciones atmosféricas)	0.0019	1.72E-06	3.44E-09
CNG (gases a 2000 psig)	0.2604	2.36E-04	4.71E-07
LPG (liquido)	1.4738		
Equivalente a CO ₂ (100 year Global Warming Potential)	1	21	310

Usando estos parámetros las emisiones de CO_{2eqiv} (en toneladas) se calculan del combustible consumido (FC en litros) con la ecuación:

$$CO_{2eqiv} = FC \times [(F_{CO2} \times 1) + (F_{CH4} \times 21) + (F_{N2O} \times 310)] / 1000$$

Emisiones línea base:	26,061	ton CO _{2eq} /año
Emisiones por el proyecto:	15,118	ton CO _{2eq} /año
Emisiones reducidas	10,943	ton CO _{2eq} /año

Componente 2. *Mejorar las condiciones de funcionamiento para todos los vehículos en Insurgentes.*

Las campañas para la medición de flujo de vehículos particulares y sus tiempos de viajes se vieron afectadas en el periodo que se reporta ya que debido a la construcción de la línea 12 del Metro de la Ciudad de México, se ha cerrado la circulación en importantes vialidades, entre ellas, Av. Félix Cuevas, Eje 7, ortogonal a la Avenida Insurgentes, modificando algunas rutas de los particulares y afectando en términos generales la circulación. Por este motivo, en el periodo 2008 - 2009 Metrobús no contará con los beneficios de los créditos generados por componente 2 en Av. Insurgentes.

Componente 5. *Efecto del cambio modal de automóviles en la ruta a los autobuses.*

El cambio modal crea una reducción en emisiones cuando los pasajeros cambian de vehículos privados a los autobuses y estos vehículos privados no circulan. Debido a esto se deja de consumir una importante cantidad de combustible, para determinar el número de vehículos particulares que dejan de circular es necesario monitorear, a través de encuestas a bordo de los autobuses, la cantidad de usuarios que manifiestan tener automóvil particular y haberlo dejado estacionado para realizar su traslado en Metrobús.

Con el Proyecto

La reducción en litros de combustible consumido debido al cambio modal de esos vehículos privados se expresa por la ecuación:

$$(NPSVn / APPVn) * AKAVn / VFCUn$$

Donde:

APPVn = Número promedio de pasajeros en vehículo privado.

En base a estudios de flujo y aforo vehicular es posible determinar el grado de ocupación para vehículos particulares, para este reporte se emplearon datos de los estudios realizados en el periodo que se reporta en el cruce de Av. Insurgentes y Eje 4 Sur. En día hábil se registró una ocupación de 1.58 personas por vehículo.

NPSV = Número de personas que cambian de vehículos privados a autobuses.

Como se mencionó anteriormente, este parámetro es determinado mediante encuestas a bordo de los autobuses de Metrobús y en las estaciones del mismo sistema. Para el periodo que se reporta, se realizaron dos encuestas de opinión sobre la percepción del servicio y equidad de género, en base a los resultados obtenidos, se determinó que 26% de los usuarios tienen auto particular, 5% manifestó que lo utiliza otra persona, 5% que está descompuesto y 16% que lo dejó estacionado. Considerando que en el periodo que se reporta se realizaron 75,676,401 de viajes, que equivalen a 207,333 viajes por día, a este porcentaje le corresponden 33,173 viajes al día.

AKAVn = Kilómetros anuales evitados por vehículo privado cuyo usuario haya cambiado a los autobuses. Este dato es la longitud del corredor de Insurgentes (19.058 kilómetros) multiplicado por los 365 días por año. El error estándar estimado para la longitud es de 0.028 km.

VFCUn = Eficiencia de combustible de los vehículo privados en (km/L)

El consumo de combustible para estos automóviles de pasajeros será considerado igual al promedio de la actividad de flujo-libre del proyecto de Insurgentes calculada como 8.55 km/l para los automóviles.

Reducción de emisiones por componente 5

Debido al cambio modal de autos particulares se obtiene un ahorro anual de:

17,081,725 litros de Gasolina con un error estándar de **2,015,803** litros.

Haciendo uso de los parámetros para la gasolina, presentados en el cuadro 9, se convierten estos litros de combustible a toneladas de CO_{2eq}, obteniéndose así las reducciones por cambio modal de vehículos particulares a automóviles o componente 5.

Emisiones reducidas componente 5

37,723

ton CO_{2eq}/año

Componente 6. Autobuses adicionales requeridos debido al cambio modal, efecto rebote y nueva creación de viajes.

Es posible que debido al cambio modal de automóviles, metro u otra forma de transporte, el efecto rebote, donde hay usuarios que viajaban en los medios de transporte sustituidos y la nueva creación de viajes en autobuses, sea necesario incrementar el número de unidades en operación. Si el cambio modal es significativo, el proyecto de Insurgentes tendría que ampliar el servicio de autobuses para cubrir esta demanda adicional. El cálculo asume que el nivel de ocupación de los autobuses no debe aumentar debido al cambio modal, al rebote o a la nueva creación de viajes y que el aumento en pasajeros requerirá un aumento en el número de autobuses en operación.

Rebote y creación de viajes

Es causado por pasajeros que cambian de otra ruta o modo de transporte (con excepción de automóviles privados) a los autobuses nuevos; y los nuevos viajes creados en los autobuses por ser un medio de transporte más favorable, se incluyen directamente en el cálculo de la operación del autobús. El número de pasajeros en los autobuses asociado a estas causas es dado por:

$$MSN_n = PKD_n * (Mm_n + N_n)$$

Parámetro	Descripción	Unidades
MSN _n	Número de pasajeros adicionales	Pasajeros
PKD _n	Número anualizado de pasajeros-km	Pas-km
Mm _n	Cambio modal de modo de transporte menos contaminante	%
N _n	Porcentaje de viajes adicionales	%

Donde:

PKD_n = Número anualizado de pasajeros-km en los autobuses

El número anualizado ex-post de pasajeros en los autobuses en el corredor de Insurgentes determinado de los expedientes de la flota. En el periodo que se reporta se realizaron 75,676,401 de viajes, que equivalen a 207,333 viajes por día, basado en 365 días por año.

$(Mm_n + N_n)$ = Porcentaje de cambio modal de un modo de transporte menos contaminante + viajes adicionales creados.

Los porcentajes de cambio modal de una forma de transporte menos contaminante, tal como no-motorizado o metro y el correspondiente a creación de nuevos viajes, fueron determinados manteniendo los porcentajes de pasajeros de encuestas a bordo de los autobuses para el tercer año de operación, una vez que el Corredor Metrobús Insurgentes tiene más de tres años en operación, el incluir este reactivo en la encuesta le hace perder validez. Se asigna un valor de 10.5%. De esta forma, considerando los pasajeros transportados en este periodo equivalen a 21770 viajes al día este valor corresponde a 21,770 viajes al día.

El aumento en el consumo de combustible asociado a este efecto se calcula mediante:

$$\frac{(NPSV_n + MSN_n) * TLSV_n * ANNB_n * AKTN_n \div FEN_n}{PKD_n}$$

Parámetro	Descripción	Unidades
MSNn	Número de pasajeros adicionales	Pasajeros
NPSVn	Número de pasajeros cambio modal	Pasajeros
TLSVn	Longitud media de viaje	kilómetros
PKDn	Número anualizado de pasajeros-km	Pas-km
ANNBn	Número promedio anualizado de autobuses en servicio	Autobuses
AKTNn	Kilómetros anuales recorridos por autobús del proyecto	Kilómetros
FENn	Eficiencia de combustible en autobuses del proyecto	Km/lt

TLSVn = Longitud media de viaje de pasajeros que cambiaron de vehículo privados a autobuses.

La longitud promedio ex-post del viaje para las personas que cambian de los vehículos privados a los autobuses determinada de los controles operacionales de Metrobús es 7.605 kilómetros.

Pasajeros Transportados	75,676,401
Total pasajero-Km.	575,519,031
Longitud media de viaje (km)	7.605

ANNBn = número promedio anualizado de autobuses en servicio

En el componente 1, los kilómetros promedio por día por autobús fueron calculados en base a una flota total de 106 autobuses en operación mientras que 85 autobuses fueron asignados a la componente 1.

De acuerdo a la ecuación, se genera un aumento en consumo de combustible de 1,450,953 litros por año con error estándar de 7,255 litros. Se requieren 21 autobuses para manejar estos pasajeros adicionales.

Los 21 autobuses adicionales se asignan a la componente 6, al igual que en el componente 1, los kilómetros recorridos al día por autobús son 237.68 Km/día, con un rendimiento de 1.2556 Km/lt, la desviación estándar asociada al kilometraje diario por vehículo se estima en 1.

Haciendo uso de los parámetros para Diesel, presentados en el cuadro 9, se convierten estos litros de combustible a toneladas de CO_{2eq}, obteniéndose así las emisiones generadas por el componente 6.

Emisiones generadas componente 6	3,735	ton CO _{2eq} /año
----------------------------------	--------------	----------------------------

Fuga 4. *Los autobuses tienen que viajar vacíos de su resguardo hasta la ruta.*

Los autobuses desplazados o introducidos por la actividad del proyecto tienen que viajar vacíos de su base o resguardo para llegar a la ruta de operación por lo que el combustible adicional consumido se toma en cuenta

en los cálculos y ha sido incluido en el kilometraje total por año, parámetro AKTN, por lo que este componente no debe ser incluido en la sección de “fuga” ya que ha sido considerado dentro de los cálculos de la actividad del proyecto.

Emisiones reducidas por el cuarto año de operación del Corredor Metrobús Insurgentes.

El total de emisiones reducidas se obtiene del balance entre emisiones reducidas y emisiones generadas, en este caso se sigue el siguiente esquema:

$$\text{Reducción de emisiones} = \text{Línea Base} - \text{Proyecto} + \text{Cambio Modal} - \text{Efecto Rebote}$$

Línea base	26,061 ± 1,673 ton CO _{2eq} /año
Proyecto	15,118 ± 189 ton CO _{2eq} /año
Cambio Modal	37,723 ± 4,452 ton CO _{2eq} /año
Efecto Rebote	3,735 ± 19 ton CO _{2eq} /año

Reducción Total	44,932 ton CO_{2eq}/año
Incertidumbre expandida 95%	7,829 ton CO_{2eq}/año
Nivel Inferior con 95% de incertidumbre	37,103 ton CO_{2eq}/año

BENEFICIOS ADICIONALES

Durante cuatro años de operación Metrobús ha demostrado sus beneficios en la movilidad transportando a más de 250 millones de pasajeros, los cuales en las diferentes encuestas de opinión realizadas cada año, han manifestado que con Metrobús el tiempo de viaje se ha reducido en más del 30%, también consideran que infraestructura de estaciones y los autobuses son de buena calidad, y han evaluado al sistema con una calificación superior a 8 sobre 10.

También se ha demostrado generar beneficios sociales, al incorporar en las empresas operadoras del servicio de transporte a los concesionarios originales. Es importante mencionar la atención a adultos mayores y personas con discapacidad, los cuales tienen derecho de gratuidad y acceso preferencial, actualmente la mayoría de las estaciones incluyen rampas de acceso y guía táctil, beneficiando a más de 4 millones de usuarios al año mediante estos programas. Otro de los beneficios es la mejora urbana y creación de zonas seguras en la vía pública ya que en su totalidad, las estaciones de Metrobús cuentan con elementos de seguridad y sistemas de video vigilancia, se ha mejorado la iluminación y el tránsito en general.

En materia ambiental los beneficios también han sido demostrados, no sólo los generados por el cambio tecnológico que representa la sustitución de vehículos con más de 15 años de antigüedad a vehículos con tecnología que cumple con las normas EURO III y EURO IV, sino también por el número de personas que han dejado de utilizar su vehículo privado para transportarse en Metrobús, en el periodo que se reporta corresponde al 16% de los pasajeros, siendo esta la mayor contribución a la reducción total de emisiones.

ANEXOS

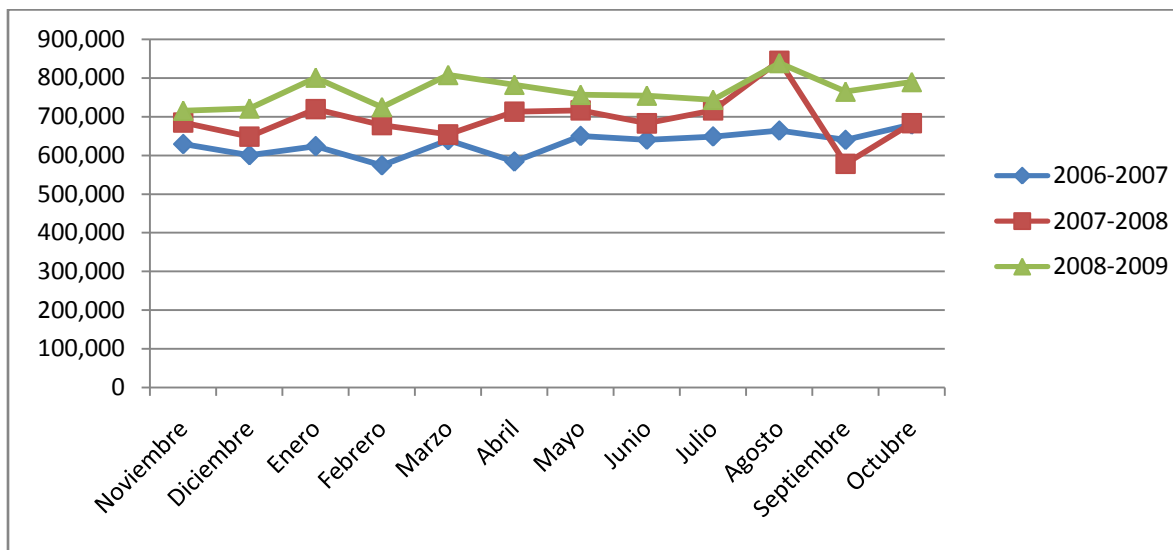
KILOMETROS RECORRIDOS POR LA FLOTA DE METROBÚS EN 2008-2009

Kilómetros recorridos periodo 2006-2007	
Mes	Kilometraje
Nov-06	628,779.00
Dic-06	599,966.00
Ene-07	623,383.00
Feb-07	573,692.00
Mar-07	638,844.00
Abr-07	583,497.00
May-07	649,728.00
Jun-07	640,049.00
Jul-07	648,354.00
Ago-07	663,526.00
Sep-07	639,571.00
Oct-07	679,311.00
TOTALES	7,568,700.00

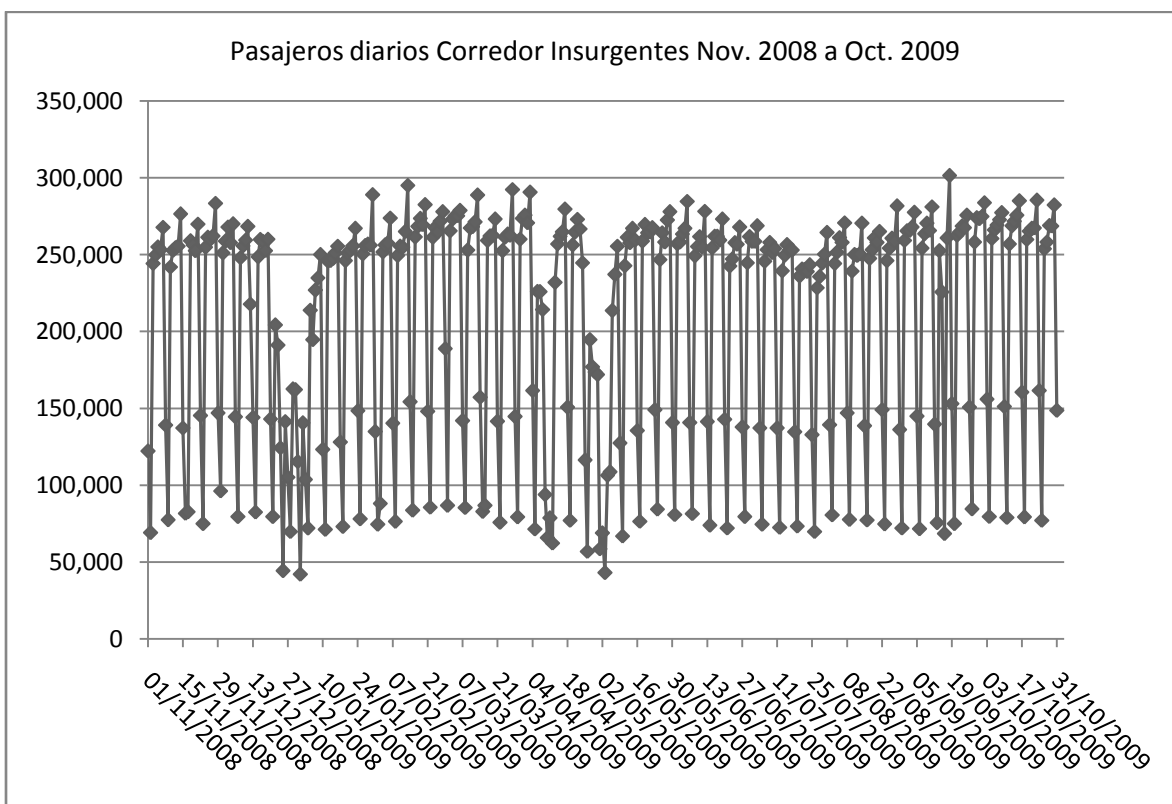
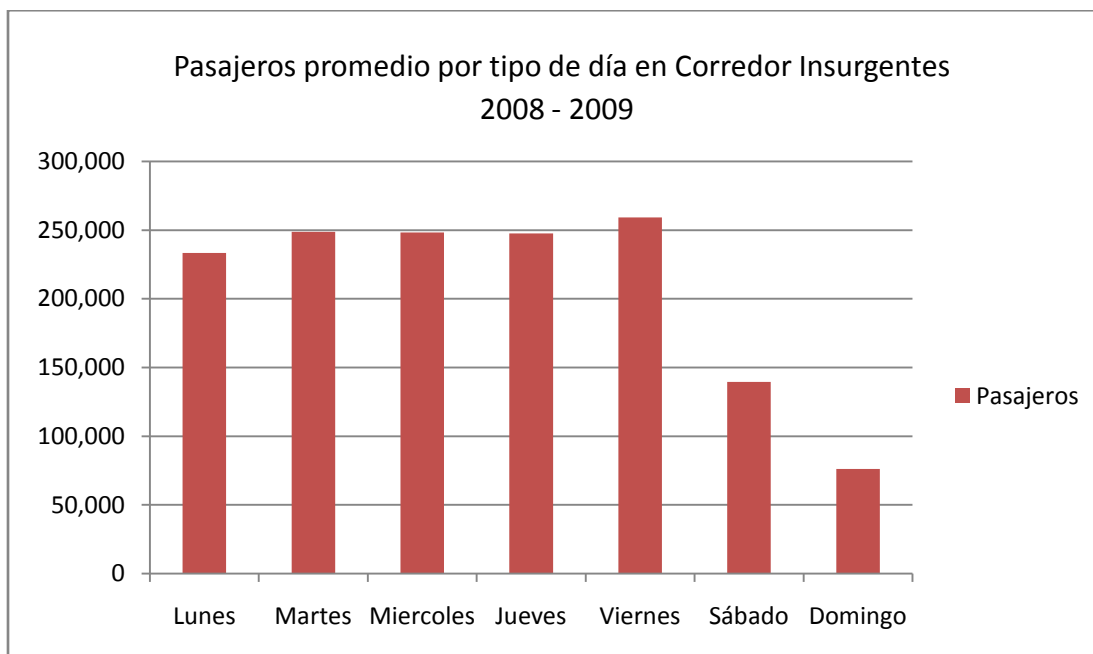
Kilómetros recorridos periodo 2007-2008	
Mes	Kilometraje
Nov-07	684,678.80
Dic-07	648,140.60
Ene-08	719,547.10
Feb-08	678,333.50
Mar-08	653,722.50
Abr-08	712,684.90
May-08	716,144.20
Jun-08	682,723.70
Jul-08	715,978.10
Ago-08	844,250.29
Sep-08	578,053.30
Oct-08	682,834.27
TOTALES	8,317,091.26

Kilómetros recorridos periodo 2008-2009	
Mes	Kilometraje
Nov-08	715,018.04
Dic-08	720,774.61
Ene-09	800,677.20
Feb-09	724,317.27
Mar-09	807,505.72
Abr-09	782,156.65
May-09	756,157.84
Jun-09	754,069.80
Jul-09	743,211.80
Ago-09	838,396.96
Sep-09	764,346.52
Oct-09	789,193.38
TOTALES	9,195,825.76

COMPARACIÓN MENSUAL DE KILÓMETROS RECORRIDOS EN EL SEGUNDO, TERCERO Y CUARTO AÑOS DE OPERACIÓN



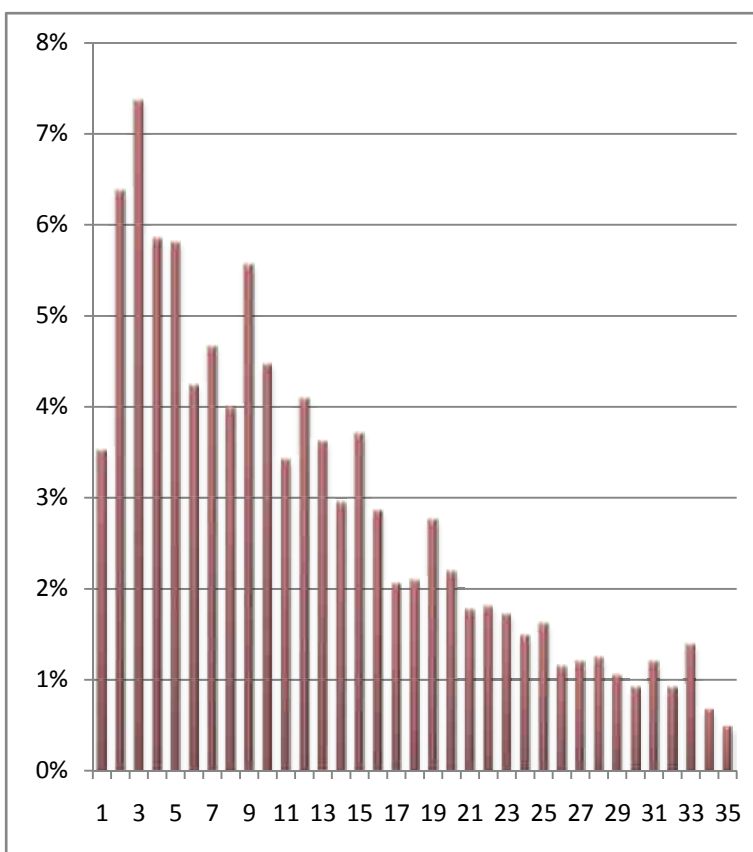
PASAJEROS TRANSPORTADOS POR METROBÚS INSURGENTES



ESTACIONES RECORRIDAS POR LOS PASAJEROS DE METROBÚS

Estaciones	%	Acumulado
1	3.52%	3.52%
2	6.37%	9.89%
3	7.37%	17.25%
4	5.85%	23.10%
5	5.80%	28.90%
6	4.23%	33.13%
7	4.66%	37.79%
8	3.99%	41.78%
9	5.56%	47.34%
10	4.47%	51.81%
11	3.42%	55.23%
12	4.09%	59.32%
13	3.61%	62.93%
14	2.95%	65.87%
15	3.71%	69.58%
16	2.85%	72.43%
17	2.04%	74.48%
18	2.09%	76.57%
19	2.76%	79.33%
20	2.19%	81.51%
21	1.76%	83.27%
22	1.81%	85.08%
23	1.71%	86.79%
24	1.47%	88.26%
25	1.62%	89.88%
26	1.14%	91.02%
27	1.19%	92.21%
28	1.24%	93.44%
29	1.05%	94.49%
30	0.90%	95.39%
31	1.19%	96.58%
32	0.90%	97.48%
33	1.38%	98.86%
34	0.67%	99.52%
35	0.48%	100%
Total general	100%	

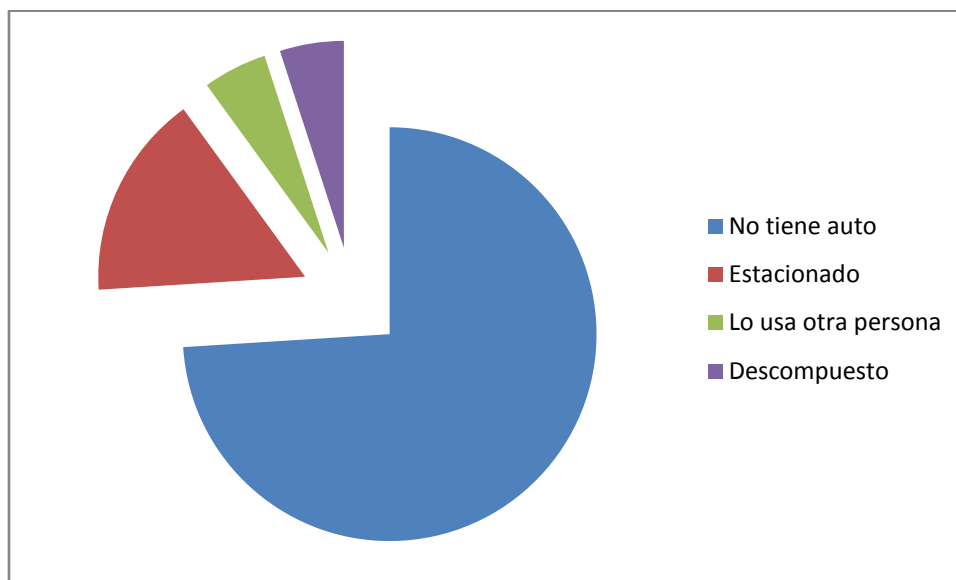
Máximo	7.37%
Número estaciones	3
Promedio estaciones	12.16
Promedio distancia	6.38 km



CAMBIO MODAL

En base a las encuestas de opinión del servicio y de equidad de género realizadas a los usuarios, se determina el número de viajes que se realizan en Metrobús en lugar de efectuarse en vehículo particular. Para el periodo reportado se obtuvieron los siguientes resultados:

No tiene auto	74%
Estacionado	16%
Lo usa otra persona	5%
Descompuesto	5%
	100%



Tomando en cuenta los 75,676,401 de viajes realizados al año se obtiene que, al día se llevan a cabo en promedio 207,333 viajes, de los cuales **33,173** ocurren por cambio modal.