

# Evaluación de los beneficios en la exposición personal de pasajeros por la instrumentación de cambios en el transporte público.

## Informe Final



Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (DGCENICA), Dirección General de Investigación sobre Contaminación Urbana, Regional y Global (DGICURG) del Instituto Nacional de Ecología (INE)

Centro de Transporte Sustentable (CTS) del Centro Interdisciplinario de Biodiversidad y Medio Ambiente (CeIBA)

**Coordinador:** Gerardo Martínez Villa

**Diseño y supervisión:** Henry Wöhrnschimmel, Miriam Zuk, Beatriz Cárdenas González, Leonora Rojas Bracho

**Muestreo:** Gerardo Martínez Villa, Manuel Ramos Charines, Milton Carmona Andrade, Martha Hernández Guzmán, Jannet Pérez González, Mauricio Figueroa Estrada y Ana Lilia Alonso Murillo

**Análisis físico químico:** Emma Bueno López. Francisco Mandujano. Rosa María Bernabé Cabanillas, Hugo A. Barrera Huertas, Maricela Pablo Santiago, Teresa Ortuño Arzate, y Noemí Sánchez Salazar.

## Resumen ejecutivo

En el verano del 2005 se midió la exposición personal a monóxido de carbono (CO), partículas suspendidas ( $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ ), y benceno en los pasajeros del Metrobús de la Ciudad de México, un nuevo medio de transporte público que inició operaciones recientemente sobre Avenida Insurgentes. El objetivo principal de este estudio fue comparar la exposición personal en microbuses y autobuses que circulaban en Av. Insurgentes (verano 2004) contra la exposición personal al interior del Metrobús (otoño 2005).

Las mediciones se efectuaron durante siete semanas entre agosto y octubre del 2005. Se llevaron a cabo 68 recorridos en autobuses articulados del sistema Metrobús, comenzando en el norte (Indios Verdes) hasta el sur (San Ángel) durante la hora pico de la mañana (~ 7 am). Los niveles promedio de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  fueron  $194 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $111 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, para el recorrido completo, y  $318 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $209 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , para el recorrido norte (de Indios Verdes a Reforma). La exposición personal promedio de CO fue de 8 ppmv y de benceno fue de 4 ppbv. Las medianas de las relaciones  $[PM_{2.5}]/[PM_{10}]$  fueron de 0.61 y 0.67 para el recorrido completo y la parte norte del recorrido, respectivamente.

La comparación entre la exposición personal en microbuses/autobuses vs. metrobuses muestra reducciones significativas en el Metrobús con respecto a los primeros, en particular de los contaminantes relacionados con emisiones vehiculares. La mediana de las reducciones de CO,  $PM_{2.5}$  y benceno en el Metrobús en comparación con los microbuses fueron de 53%, 35%, y 59%, respectivamente. Para las reducciones de la exposición personal en el Metrobús, en comparación con los autobuses se obtuvieron medianas de 34%, 23%, y 53%, respectivamente. Además, se encontró una reducción significativa en el tiempo de recorrido de aproximadamente 20%.

# ÍNDICE

<b>Resumen ejecutivo</b> .....	<b>2</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Metodología</b> .....	<b>7</b>
2.1 Medición de la exposición personal .....	7
2.3 Métodos de laboratorio y validación .....	10
2.3.1 <i>Medición de monóxido de carbono</i> .....	10
2.3.2 <i>Análisis gravimétrico</i> .....	11
2.3.3 <i>Medición de benceno</i> .....	12
<b>3. Resultados</b> .....	<b>12</b>
3.2 Monóxido de carbono .....	13
3.3 PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> en bombas SKC .....	16
3.4 Benceno .....	19
3.5 Tiempos de recorrido y observaciones relevantes durante los muestreos en el Metrobús .....	21
<b>4. Comparación de resultados</b> .....	<b>22</b>
<b>5. Conclusiones</b> .....	<b>23</b>
<b>6. Referencias</b> .....	<b>25</b>
<b>Anexo</b> .....	<b>26</b>

## 1. Introducción

Desde hace décadas es generalmente reconocido que la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) es una de las megalópolis con mayores problemas de contaminación del aire en el mundo. Esta contaminación ha provocado efectos en la salud humana, así como costos sociales y económicos (Evans *et al.*, 2002). Se han implementado varios programas para mejorar la calidad del aire con cierto éxito, en particular para reducir significativamente los niveles de Pb, CO y SO<sub>2</sub>. Sin embargo, estos programas no han logrado abatir los niveles de otros contaminantes a niveles por debajo de las normas de calidad del aire, establecidas por la Secretaría de Salud para proteger la salud de la población; por ello, aún no ha sido posible proveer un ambiente saludable para los ciudadanos de la ZMVM. Así, se ha observado que los niveles ambientales de ozono (O<sub>3</sub>) y partículas suspendidas en el aire (PM) son aquellos que frecuentemente exceden las normas de calidad del aire, debido a emisiones asociadas con emisiones vehiculares (PROAIRE, 2002).

Si bien es cierto que la calidad del aire en el ambiente exterior no es saludable, también es cierto que en ambientes interiores (como casas, vehículos, oficinas, etc) se han encontrado niveles de contaminación elevados. Esto significa que las personas respiran contaminantes al largo del día aún estando en ambientes interiores. De hecho, diversos estudios han revelado que una proporción importante de la exposición personal diaria se asocia con el tiempo que pasamos en transporte, sea en transporte público o privado. Estudios internacionales han encontrado niveles muy altos de diversos contaminantes atmosféricos en el transporte, como por ejemplo monóxido de carbono, partículas suspendidas y compuestos orgánicos volátiles. Estos estudios han mostrado que las concentraciones de tales contaminantes son mucho más elevadas en el interior de los vehículos que en los exteriores reportadas por las redes de monitoreo atmosférico. En Londres y Los Ángeles, por ejemplo, se encontró que las concentraciones de partículas suspendidas en el transporte fueron de 2 y 5 veces más altas que los niveles ambientales respectivos (Adams et al. 2001; Fitz et al., 2003).

En México se han realizado varios estudios sobre la exposición personal a contaminantes en el transporte, tanto público como privado, desde los años noventa. Se ha mostrado para el caso del monóxido de carbono (Fernández-Bremauntz and Ashmore, 1995), que la exposición personal en el transporte público puede rebasar las recomendaciones que hoy en día establece la OMS (WHO, 2000). En el 2002, se encontró en autobuses y microbuses una exposición personal promedio de 13 y 18 ppm para CO, 78 y 84 µg/m<sup>3</sup> para PM<sub>2.5</sub>, y 7 y 8 ppbv para benceno, respectivamente (Gómez-Perales *et al.*, 2004). Para compuestos orgánicos volátiles, se encontraron niveles de tolueno en autos

particulares, microbuses, autobuses y el metro de 153, 130, 110 y 63 ug/m<sup>3</sup> y para formaldehído de 25.2, 40.2, 24.7, y 19.4 ug/m<sup>3</sup>, respectivamente (Shiohara, 2005)

En el año 2004, se inició el presente proyecto para evaluar cómo el nuevo sistema de transporte público sobre Avenida Insurgentes – Metrobús – podría cambiar la exposición personal de los pasajeros. Este corredor vial exclusivo (*Bus Rapid Transit* - BRT, por su denominación en inglés), es usado con éxito en otras partes del mundo, ya que es un sistema de transporte masivo rápido, ordenado y seguro (ver figuras 1 y 2)<sup>1</sup>. El Metrobús utiliza autobuses articulados de gran capacidad, que usan diesel como combustible y emplean tecnologías limpias además, funciona como los sistemas de metro, con paradas fijas y rápidas.

Se empezó el estudio con la hipótesis de que la introducción del nuevo sistema de transporte Metrobús resultaría en una reducción en la exposición personal a los contaminantes atmosféricos debido a varios factores, que incluyen: 1) mejores tecnologías vehiculares que reducen las emisiones de contaminantes; 2) paradas fijas que reducen las altas emisiones asociadas con los arranques de los vehículos, así como la infiltración de contaminantes a través de las puertas abiertas; y por último, 3) separación del transporte del resto del tráfico, lo que minimiza aún más la infiltración de los contaminantes emitidos por los vehículos cercanos.



**Figura 1.** Vistas del Sistema de Transporte Público Metrobús sobre la Av. Insurgentes.

---

<sup>1</sup> Una flotilla de ochenta autobuses articulados sustituyó a los más de 300 microbuses y autobuses que prestaban servicio a 250 000 pasajeros que diariamente utilizan el transporte público en esta avenida. El Metrobús cuenta con 36 estaciones fijas de rápido abordaje y conecta a sus pasajeros con siete estaciones del metro.



**Figura 2.** Mapa de ruta del Sistema de Transporte Público Metrobús.

Durante los meses de mayo a agosto del 2004 se llevó a cabo la primera etapa del presente estudio para establecer la línea base a través de la evaluación de la exposición personal de los pasajeros en los sistemas de transporte público que corrían sobre Ave. Insurgentes (autobuses y microbuses). Los resultados de esta primera etapa (Wöhrnschimmel, 2004) fueron previos a la construcción del corredor vial y de la instauración del nuevo sistema de transporte público. Se midió la exposición personal a CO, partículas (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>) y benceno en autobuses y microbuses sobre Av. Insurgentes desde el paradero de autobuses y microbuses de Indios Verdes hasta San Ángel. La exposición personal promedio para autobuses y microbuses fue 11.4 ppm y 20.0 ppm para CO, 152 µg/m<sup>3</sup> y 167 µg/m<sup>3</sup> para PM<sub>2.5</sub>, 212 µg/m<sup>3</sup> y 206 µg/m<sup>3</sup> para PM<sub>10</sub>, 8.5 ppbv y 13.9 ppbv para benceno, respectivamente.

Se encontró una diferencia significativa entre las concentraciones en los microbuses y autobuses para CO y benceno, siendo los microbuses los que registraron las concentraciones más elevadas. También se encontraron niveles más altos de partículas suspendidas en el norte del recorrido (de Indios Verdes hasta Reforma) que en la parte sur, lo cual se asoció con la densidad del tráfico en esa zona. Las ocasionalmente elevadas concentraciones de gases que se midieron en microbuses se pudieron atribuir a un mantenimiento deficiente, lo que provocaba altas emisiones de contaminantes. En muchas otras ocasiones los niveles observados en el interior de los vehículos parecían estar asociados a las concentraciones exteriores (medidos mediante la red de monitoreo o mediciones microambientales).

Durante la segunda etapa del estudio (cuyos resultados aparecen en este informe), se efectuaron mediciones de CO, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> y benceno en el interior del

Metrobús siguiendo la misma metodología que la primera etapa, lo que permitió evaluar la magnitud del cambio en la exposición personal a los contaminantes atmosféricos mencionados, en los pasajeros utilizando el nuevo sistema de transporte público. Además, proporcionarán elementos de juicio para los tomadores de decisiones con respecto a la conveniencia del nuevo sistema de transporte público en términos de sus impactos ambientales y a la salud de la población.

## **2. Metodología**

En esta sección se describen los procedimientos empleados para la medición de exposición personal y el muestreo microambiental, los métodos usados para el análisis en laboratorio y las medidas que se tomaron para el aseguramiento y control de calidad. Debe señalarse que los procedimientos son iguales a los que se emplearon durante la primera etapa del estudio (Wöhrnschimmel, 2004) para asegurar que los resultados sean comparables.

### **2.1 Medición de la exposición personal**

De agosto a octubre de 2005 se midió la exposición personal a CO, partículas suspendidas (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>) y benceno en unidades del Metrobús a lo largo de Av. Insurgentes en dirección norte-sur (de la estación Indios Verdes a la estación Dr. Gálvez). Cabe mencionar que en el estudio del 2004, la ruta del estudio terminaba en lo que ahora es la estación de Metrobús denominada "La Bombilla", que está antes de la terminal sur, "Dr. Gálvez", por lo que los equipos de muestreo y monitoreo del presente estudio se apagaron o cerraron al llegar a este punto a fin de que los resultados fueran comparables. Se tomaron muestras en la mañana durante la hora pico del tráfico (entre 7:30 y 9:00 a.m.), de lunes a viernes. Siete técnicos especializados realizaron 68 recorridos durante 35 días de muestreo. Las fechas de los muestreos y monitoreos se presentan en el cuadro 1. Es importante mencionar que en la séptima semana se muestreó únicamente CO a fin de compensar la deficiencia de mediciones de CO de las semanas previas debido a fallas de los monitores.

**Cuadro 1.** Fechas de muestreo de la campaña de agosto-octubre de 2005  
(lunes a viernes)

Semana	Fechas
1	8-12 de agosto
2	15-19 de agosto
3	29 agosto-2 septiembre
4	5-9 de septiembre
5	19-23 de septiembre
6	26-30 de septiembre
7	3-7 de octubre

Los monitores que se usaron para medir la exposición personal en el transporte público (cuadro 2 y figura 3) fueron entregados a los colaboradores de este estudio antes de las 7:30 a.m. en el paradero de autobuses y microbuses de Indios Verdes. Una vez en la estación de Indios Verdes se abordaron dos autobuses articulados del sistema Metrobús<sup>2</sup> (en adelante referidos como metrobuses). Los metrobuses se seleccionaron por conveniencia, es decir, aquellos que se encontraban en el paradero a punto de salir. Los técnicos abordaron los vehículos alrededor de las 7:30 a.m. antes que los pasajeros a fin de tomar asiento en un lugar adecuado (alejado de las puertas de acceso) y tener tiempo de montar los equipos de muestreo y monitoreo.

**Cuadro 2.** Características de los monitores y equipos de muestreo de contaminantes atmosféricos empleados en este estudio

Monitor o equipo de muestreo	Contaminante	Principio de operación
Monitor Langan T15	CO	Celda electroquímica. Guarda promedios de 10 segundos
Bombas SKC	PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub>	Muestra integrada de partículas en un filtro de cuarzo o teflón
Cánister* SUMMA®	Benceno	Muestra acumulativa de aire, 6 litros como máximo. Este contenedor metálico tiene un revestimiento "pasivado" (tratamiento químico especial para evitar reacciones químicas con los compuestos de la muestra)

\*En este reporte se empleará este anglicismo con fines prácticos, para designar a los contenedores metálicos especiales.

<sup>2</sup> Se identificaron dos tipos de metrobuses: Volvo, con escape de gases en la parte media, antes de la conexión flexible en forma de acordeón (perteneciente a CISA, S. A. de C. V.) y Scania, con escape de gases en la parte trasera inferior derecha (perteneciente a la Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal [RTP]).



**Figura 3.** Monitores para exposición personal y equipos de muestreo de contaminantes del aire: (a) Monitor de monóxido de carbono (marca Langan, modelo T15); (b) Bomba de succión (marca SKC) para partículas  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  y (c) cánister (marca SUMMA<sup>®</sup>) para benceno.

Una vez a bordo de los metrobuses, los colaboradores montaron los equipos de monitoreo (monitores Langan, bombas SKC, canisteres SUMMA<sup>®</sup>) de contaminantes atmosféricos ( $CO$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , y benceno). En el caso de las bombas SKC, se colocaron las mangueras de las bombas cerca del área respiratoria de los colaboradores, para tomar una muestra más cercana a lo que respiran los pasajeros. Los monitores Langan se montaron sobre los respaldos de los asientos, enfrente de cada colaborador y el cánister sobre el suelo, con la manguera para tomar la muestra fijada al respaldo de los asientos enfrente del colaborador.

Las bombas SKC se encendieron y las válvulas de los canisteres se abrieron en el momento en que arrancaba el metrobús, saliendo de la estación. Los equipos de monitoreo de  $CO$  (Langan) se encendieron con anticipación con el fin de permitir la estabilización del equipo y, posteriormente, seleccionar los datos entre la hora de la salida y la hora de llegada. Los datos sobre la hora salida y llegada de cada vehículo fueron registrados manualmente durante el recorrido, al igual que la hora de arribo a ciertos puntos del trayecto y de la ocurrencia de eventos especiales (congestionamientos, accidentes de tránsito, gente fumando, etc.). Todos los equipos se apagaron llegando a la estación de Metrobús “La Bombilla” para tener el tiempo suficiente de guardar los equipos antes de bajar del vehículo y para que el trayecto de este estudio coincidiera con la primera etapa del estudio (previa al inicio de operaciones del Metrobús).

Se tomaron muestras de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  con las bombas SKC tanto en el trayecto completo de Indios Verdes hasta La Bombilla como en la parte norte del recorrido, entre Indios Verdes y Paseo de la Reforma (un trayecto de aproximadamente 10 km), a fin de comparar con los resultados de mediciones de partículas suspendidas obtenidas en el estudio del 2004. El recorrido completo de Indios Verdes a La Bombilla se efectuó en aproximadamente una hora (ver anexo 1 para más detalles sobre la duración de los recorridos). Además, se efectuaron varios monitoreos de  $CO$  en un vehículo particular (Camioneta Nissan Estaquitas Doble cabina, Modelo

1999) de manera simultánea a los monitoreos en Metrobús, con el fin de comparar los niveles medidos en ambos tipos de vehículos.

Las muestras recolectadas con bombas SKC se guardaron en bolsas selladas. Las muestras destinadas para análisis químico y gravimétrico se guardaron en una hielera con enfriamiento. Todas las muestras y monitores de exposición personal se trasladaron al Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA) al concluir la jornada.

## **2.3 Métodos de laboratorio y validación**

En esta sección se describen los métodos empleados para determinar las concentraciones de los diferentes contaminantes atmosféricos.

### *2.3.1 Medición de monóxido de carbono*

Se midieron concentraciones de monóxido de carbono (CO) con monitores marca Langan en dos versiones diferentes: tres monitores modelo T15 y cuatro monitores de un modelo más reciente, T15v, cuyos principios de operación y funcionamiento son básicamente los mismos. Los monitores se calibraron una semana antes de iniciar la campaña mediante un sistema de dilución y un generador de gases (API Dynamic Dilution Calibrator, Model 700) en los laboratorios de la Dirección General de CENICA. Se generaron concentraciones de 0 ppm, 20 ppm, 40 ppm y 60 ppm de un patrón de calibración de CO, intervalo dentro del cual se esperaba encontrar concentraciones ambientales. Después de la calibración la respuesta del monitor no varió más que 1 ppm del valor real. Cada segundo día de muestreo se midió la respuesta de los monitores a las mismas concentraciones de CO y se calculó un factor de corrección cuando fue necesario. Las causas principales de la pérdida de información<sup>3</sup> fueron: (1) cables desconectados debido a un diseño inadecuado del equipo que requiere la frecuente manipulación cerca de los contactos, (2) invalidación de un equipo por respuestas considerablemente mayores que las de sus duplicados, y 3) causas no identificadas.

La *precisión* (el promedio de la diferencia porcentual entre los duplicados obtenidos en campo) fue del 9%, un valor similar al determinado en el estudio de 2004 (11%). El *límite de detección* se estimó como tres veces la desviación estándar de la respuesta de los monitores a un patrón que contenía 20 ppmv de CO. Se trata de una aproximación, ya que no se pudieron generar de manera confiable concentraciones menores que 20 ppm, lo cual es requerido por el método para determinar los límites de detección. Se obtuvo un límite de detección de 2.3 ppm CO (en el estudio de 2004 se reportaron 3 ppm).

---

<sup>3</sup> Esto sólo se observaba al momento de bajar la base de datos registrados en el monitor

### 2.3.2 Análisis gravimétrico

Se midió la exposición personal a partículas al interior de los metrobuses, usando bombas de succión de marca SKC, pasando un flujo de aire (4 litros por minuto) a través de un filtro. Las partículas retenidas en el filtro se pesaron en una balanza de alta sensibilidad. Se midió el flujo de las bombas un día antes de cada muestreo en el laboratorio.

Las muestras de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> se colectaron en filtros de teflón (PTFE, marca Pall, 37mm diámetro, con anillo de soporte), excepto las muestras del periodo del 30 de agosto al 7 de septiembre, las cuales se colectaron en filtros de cuarzo (marca Whatman QM-A, 37mm diámetro), para su posterior análisis de carbón (orgánico [CO] y elemental [CE]) y iones, además del análisis gravimétrico.

El pesaje de los filtros se hizo en CENICA mediante una ultra microbalanza analítica (CAHN C-35, con una resolución mínima de 1.0 µg, incertidumbre de ± 0.005 mg, precisión: 1.0 µg, exactitud: 0.0012%) según un procedimiento acreditado ante la EMA. El control de calidad en laboratorio incluyó: (1) acondicionamiento durante 24 horas antes y después del monitoreo a una temperatura de 22°C (±3°C) y una humedad relativa de 40% (±5%); (2) uso de pulsera y tapete antiestáticos, así como barras de Polonio 210 para quitar las cargas electrostáticas; (3) calibración del equipo cada año con un laboratorio acreditado, verificación con pesas calibradas E1 y verificación con pesas calibradas de trabajo en cada pesaje (diario);<sup>4</sup> (4) uso del 5% de los filtros como blancos de laboratorio.<sup>5</sup> Las causas principales de la invalidación de muestras fueron: (a) fallas en el flujo de la bomba (electrónicas); (b) fallas en la batería del equipo; y, (c) accidentes durante el manejo del filtro o durante el muestreo (caídas, humedecimiento del filtro por infiltración de agua de lluvia, introducción de insectos, rotura, etc.).

La *precisión* (el promedio de la diferencia porcentual entre los duplicados obtenidos en campo) fue de 33% para PM<sub>2.5</sub> y 39% para PM<sub>10</sub> (en el estudio de 2004 se reportaron 33% y 28% para PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>, respectivamente). El *límite de detección* (tres veces la desviación estándar de todos los blancos de campo, dividido entre el volumen promedio succionado), fue con 29 µg/m<sup>3</sup> mayor que en el estudio de 2004, en el cual se reportaron 13 µg/m<sup>3</sup>. La diferencia se debe a variaciones en el manejo de los filtros en laboratorio.

---

<sup>4</sup> Las pesas estándar de referencia estarán certificadas de acuerdo con los estándares atribuibles a la NOM-039-SCFI-1994, clase E1 y E2 Las pesas de trabajo deben ser verificadas con respecto a las pesas estándar de referencia E1.

<sup>5</sup> Filtros acondicionados sin muestrear que permanecen en el laboratorio. Se usan para detectar cualquier alteración o contaminación del ambiente en la microbalanza o del cuarto de acondicionamiento. Se emplea un 5% de los filtros totales como blancos de laboratorio o se emplea al menos un blanco por sesión.

### 2.3.3 Medición de benceno

Se tomaron muestras de aire dentro de los metrobuses durante todo el trayecto (aproximadamente 1 hora) para analizar su contenido de benceno. Las muestras de aire fueron tomadas en canisteres al vacío provistos de una válvula de control. El aire entraba al canister a través de una manguera de teflón conectada a la válvula. Para el análisis de benceno en las muestras se utilizó un sistema automatizado acoplado a un cromatógrafo de gases con detector de flama ubicado en los laboratorios de la dirección general de CENICA, de acuerdo con el método TO-14A de la US-EPA (US-EPA, 1999) adaptado por personal de CENICA, el cual está acreditado ante la EMA (Entidad Mexicana de Acreditación). El cromatógrafo de gases se calibró con diferentes estándares, que contenían 1, 5, 10, 50, 100 y 250 ppbv de benceno, respectivamente. Esta calibración se lleva a cabo cada seis meses en el laboratorio de Compuestos Orgánicos Volátiles de CENICA. Además, cada semana se determina la respuesta del cromatógrafo a un estándar de 100 ppbv.

La *precisión* del análisis se calculó como el promedio de la diferencia porcentual de los duplicados obtenidos en campo, con un valor de 21% (11% en el estudio de 2004). Se encontró un valor más alto en 2005 que en 2004 debido a las menores concentraciones presentes en el microambiente muestreado. El *límite de detección* se estimó como la desviación estándar de siete muestras de un patrón que contenía 0.75 ppbv de benceno en nitrógeno. Se obtuvo un límite de detección de 0.4 ppbv para benceno. Este método no se pudo realizar en esta forma en el año 2004.

## 3. Resultados

A continuación se presentan brevemente los resultados de las mediciones y monitoreos de CO, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> y benceno obtenidos en este estudio durante agosto-octubre de 2005 (cuadro 4).

Los monitoreos de CO sufrieron pérdidas importantes durante las seis semanas de la campaña debido a fallas en los equipos, que se compensaron con una semana adicional de monitoreo. Se programaron 15 recorridos en el vehículo particular para medir CO, sin embargo, se efectuaron siete.

El 7% de los muestreos de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> sufrieron pérdidas debido a que la cantidad de muestra recolectada se encontraba por debajo del criterio de selección.<sup>6</sup> No hubo fallas en los equipos.

---

<sup>6</sup> Se descartaron todas aquellas muestras que tenían una masa de partículas muy baja (masa colectada < 15 µg para PM<sub>10</sub>, recorrido total, masa colectada < 10 µg para PM<sub>2.5</sub> recorrido total, masa colectada < 5 µg para PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> recorrido Norte), que deja asumir una fuga no detectada en el equipo.

En el caso de las muestras de aire recolectadas en canisteres para el análisis de benceno, las invalidaciones se debieron a que por olvido no se abrieron las válvulas de los canisteres al iniciar el muestreo (2 canisteres) o bien que no se cerraron al finalizar el muestreo (3 canisteres). Se tuvo un total de 5 muestras no validadas, de un total de 59 (8.5% de las muestras).

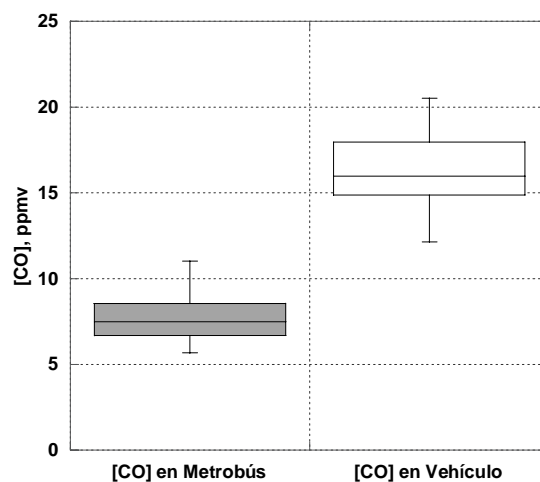
**Cuadro 4.** Relación de muestreos y monitoreos de CO, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, y benceno en Metrobús y en exteriores.

Semana	No. Recorridos	CO (monitores Langan) <sup>1</sup>		PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> (bombas SKC)		Benceno (Canisteres)	
		Monitoreos programados	Monitoreos válidos	Muestras		Muestras	
				Totales	Válidas	Totales	Válidas
1 (8-12 ago.'05)	8	11	8	28	26	8	8
2 (15-19 ago.'05)	10	15	8	36	35	10	8
3 (29 ago. - 2 sept.'05)	10	14	6	38	31	10	10
4 (5-9 sept.'05)	10	15	3	38	34	10	10
5 (19-23 sept.'05)	10	12	8	39	38	11	10
6 (26-30 sept.'05)	10	22	10	40	39	10	8
7 (3-7 oct.'05)	10	29	19	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>68</b>	<b>118</b>	<b>62</b>	<b>219</b>	<b>203</b>	<b>59</b>	<b>54</b>

<sup>1</sup> Se programaron 15 monitoreos de CO en un vehículo particular (Camioneta Nissan), de los cuales se efectuaron únicamente 7 debido a fallas o carencia de equipo.

### 3.2 Monóxido de carbono

Como puede verse en la figura 4, la exposición personal a monóxido de carbono (CO) medida en los técnicos a bordo del Metrobús fueron significativamente menores que aquellos medidos en el vehículo particular. La concentración promedio de CO en Metrobús fue de 8 ppmv, mientras que la concentración promedio de CO en el vehículo particular fue de 16 ppmv (cuadro 5). Las diferencias reflejan las condiciones en las que circulan ambos tipos de vehículos. Así, en el vehículo a gasolina que tiene varios años de uso, se miden tanto las concentraciones externas de CO provenientes de vehículos vecinos como las del mismo vehículo (autocontaminación), mientras que en un vehículo a diesel con poco tiempo de uso y tecnología moderna para el control de emisiones, como es un metrobús, el efecto de la autocontaminación es probablemente poco significativo, además de que no hay mucho intercambio de aire con el exterior (ver la Sección 3.5 de observaciones).

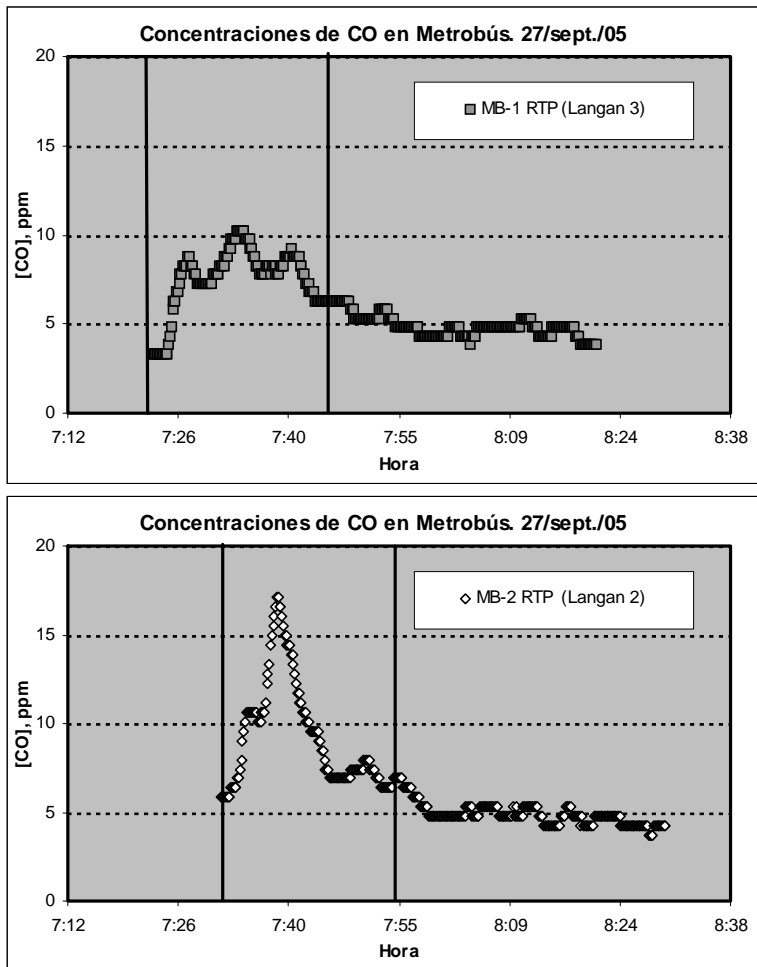


**Figura 4.** Exposición personal a CO al interior del Metrobús y en un vehículo particular (Camioneta NISSAN).

**Cuadro 5.** Estadísticas descriptivas de exposición personal a CO (en ppmv) al interior del Metrobús y en un vehículo particular.

Parámetro	[CO] ppmv	
	Metrobús	Vehículo
No. Monitoreos	62	5
Promedio	7.7	16.3
Desv. Std.	1.3	3.2
Mediana	7.5	16.0
Prom. Geom.	7.6	16.0
Máximo	11.0	20.5
Mínimo	5.7	12.1

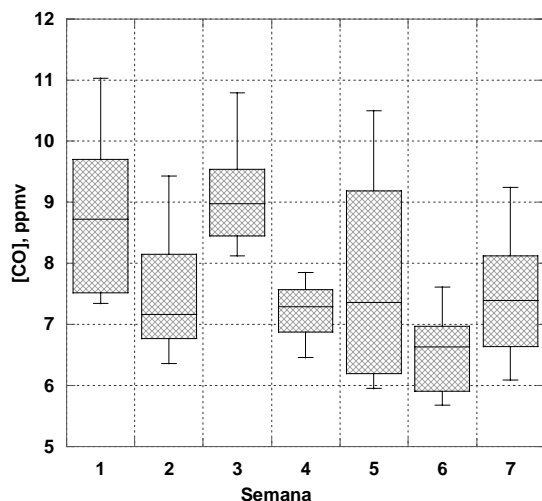
En la figura 5 se muestra un ejemplo de dos series de tiempo típicas de mediciones de CO en dos metrobuses diferentes durante el mismo día. Destacan los picos de CO observados durante la parte norte del recorrido en ambos metrobuses, lo que indica la influencia de las elevadas concentraciones de emisiones vehiculares en esta zona de la ruta del Metrobús, como ya se señaló anteriormente.



**Figura 5.** Ejemplo de mediciones de CO en Metrobús\*.

\*Las dos líneas verticales indican la parte norte del recorrido.

En la figura 6 se pueden ver las cajas de bloque de la exposición personal a CO medidas en el Metrobús cada semana de la campaña. Se observa que los niveles de CO tienen variabilidad de semana a semana, lo cual posiblemente esté ligado a las variaciones en el tránsito vehicular a lo largo de la Av. Insurgentes, así como a condiciones climáticas y a otras fuentes de emisión asociadas con este contaminante.



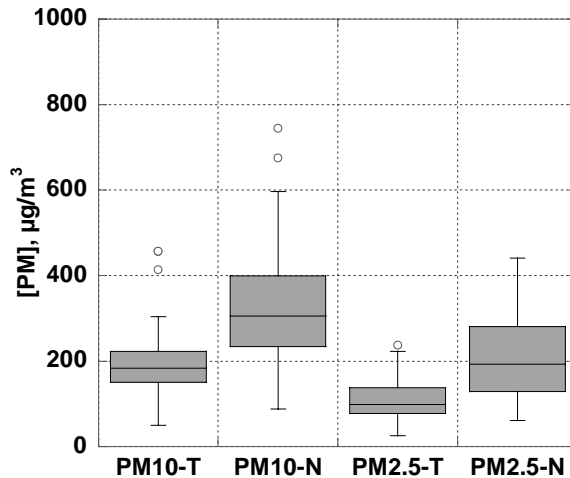
**Figura 6.** Exposición personal a CO al interior del Metrobús estratificadas por semana de muestreo

### 3.3 PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en bombas SKC

El cuadro 6 muestra las estadísticas descriptivas de exposición personal a PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> obtenidos de las muestras procedentes de bombas portátiles SKC en el interior de metrobuses en Av. Insurgentes en dos tipos de trayecto: completo (T) (Indios Verdes – Bombilla) y norte (N) (Indios Verdes-Reforma). Las concentraciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> medidas en el Metrobús en ambos trayectos se muestran de manera gráfica en la figura 7 para toda la campaña.

**Cuadro 6.** Estadísticas descriptivas de la exposición personal a PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> (en µg/m<sup>3</sup>) en el Metrobús

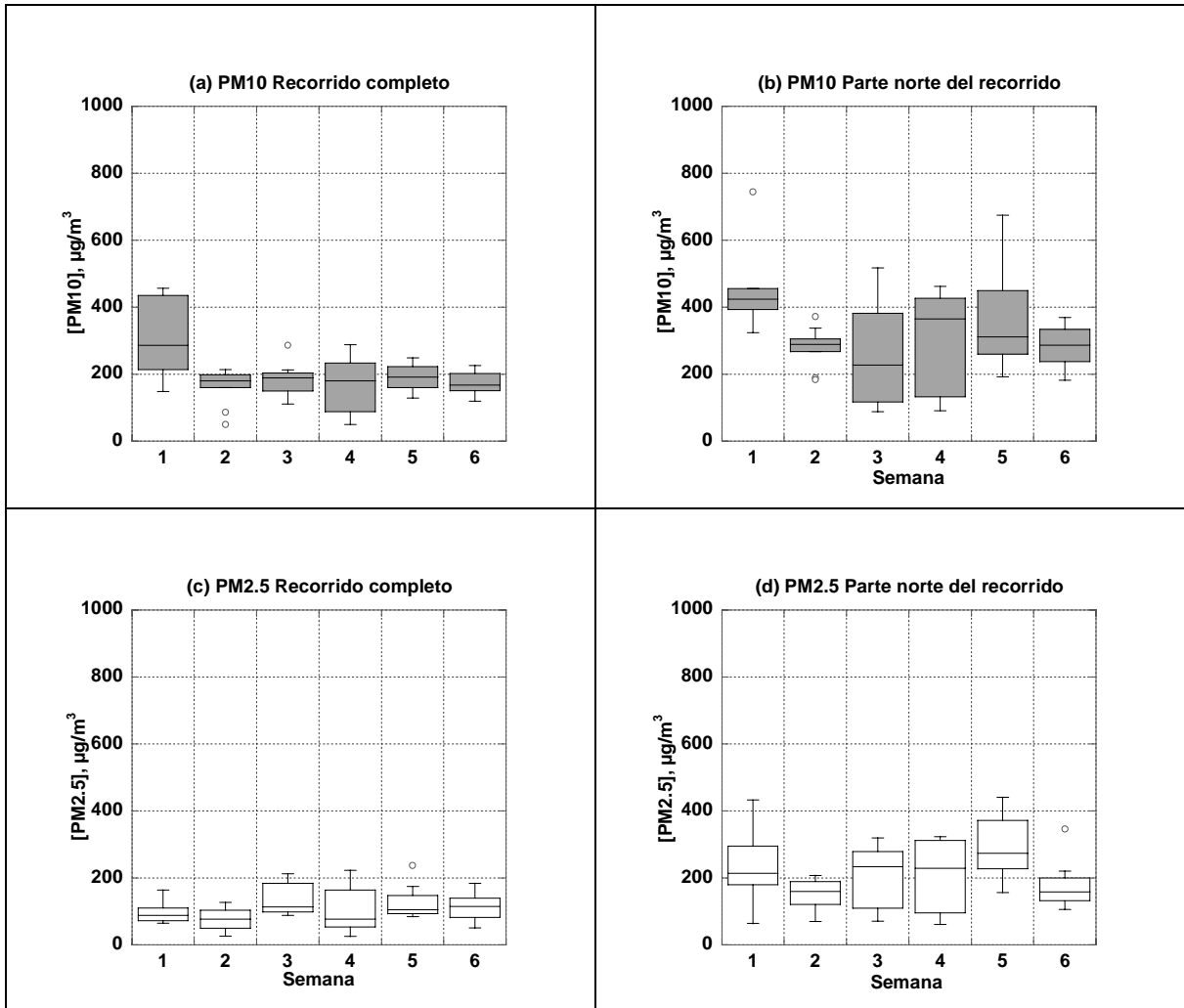
Recorrido	Trayecto completo (Indios Verdes - La Bombilla)		Trayecto norte (Indios Verdes - Reforma)	
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>
No. Muestras	55	51	51	47
Promedio	193.4	111.9	318.3	209.4
Desv. Std.	83.2	50.8	139.8	100.7
Mediana	184.7	98.7	305	192.7
Prom. Geom.	176.5	100.2	287.3	185.3
Máximo	456.2	238.0	743.9	441.4
Mínimo	49.8	26.2	87.7	60.9



**Figura 7.** Exposición personal a  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  al interior del Metrobús en Av. Insurgentes en dos trayectos: recorrido completo (T) - de Indios Verdes a La Bombilla y recorrido en la porción norte (N) - de Indios Verdes a Reforma.

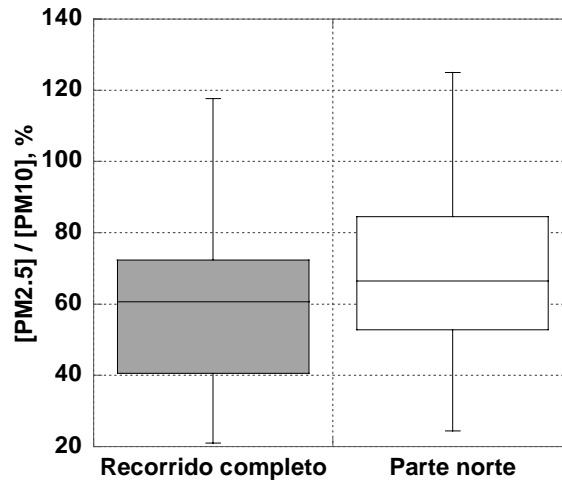
En el cuadro 6 y la figura 7 puede verse que la exposición personal de ambas fracciones de partículas ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) fue mayor para el trayecto norte (Indios Verdes-Reforma). También se observa que las concentraciones promedio de  $PM_{10}$  fueron, como se esperaba, mayores a las de  $PM_{2.5}$ . Las concentraciones promedio de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  fueron  $193 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $112 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, para el recorrido completo, y,  $318 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $209 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente para las dos fracciones, para el recorrido norte. Cabe señalar que las concentraciones máximas para cada fracción y cada tipo de recorrido se observaron en días diferentes.

Al revisar las concentraciones de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  medidas cada semana para ambos recorridos (figura 8), se pudo observar con claridad que las concentraciones medidas en el recorrido norte tienden a ser mayores durante casi todas las semanas para ambas fracciones. Muy probablemente estos resultados se deben a la influencia de concentraciones elevadas de partículas de las fracciones  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en el aire ambiente del norte de la ciudad, en donde hay una actividad industrial significativa, además de que se registra un alto volumen de emisiones vehiculares procedentes de autobuses locales y foráneos, microbuses, taxis y vehículos particulares alrededor de la estación de Indios Verdes. Esta tendencia también se ve reflejada en las mediciones de CO, lo cual indica la influencia de las emisiones vehiculares en la parte norte de la trayectoria.



**Figura 8.** Exposición personal a  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  al interior del Metrobús en Av. Insurgentes en dos trayectos: recorrido completo - de Indios Verdes a La Bombilla (*a* y *c*) y recorrido en la porción norte- Indios Verdes-Reforma (*b* y *d*).

Por lo que respecta a la relación  $\text{PM}_{2.5}$  -  $\text{PM}_{10}$  (ver cuadro 7 y figura 9), la proporción de  $\text{PM}_{2.5}$  en  $\text{PM}_{10}$  fue ligeramente mayor en los recorridos de la porción norte. Las medianas de las relaciones  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  fueron de 0.61 y 0.67, para el recorrido completo y la parte norte del recorrido, respectivamente (ver cuadro 9). A pesar de ser una diferencia pequeña, puede reflejar una mayor concentración de partículas provenientes de emisiones vehiculares que componen la fracción de  $\text{PM}_{10}$  en la zona norte de la ciudad.



**Figura 9.** Relaciones  $[PM_{2.5}]/[PM_{10}]$  de la exposición personal al interior del Metrobús

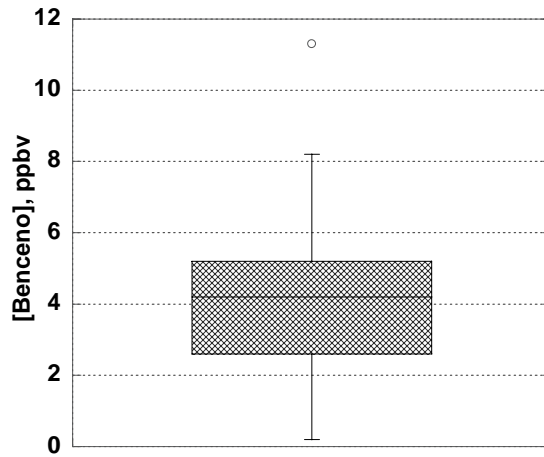
**Cuadro 7.** Estadísticas descriptivas de las relaciones  $[PM_{2.5}]/[PM_{10}]$  de la exposición personal al interior del Metrobús

Parámetro	$[PM_{2.5}]/[PM_{10}]$	
	Recorrido completo	Parte norte del recorrido
Promedio	0.61	0.70
Desv. std	0.26	0.25
Mediana	0.61	0.67
Máximo	1.18	1.25
Mínimo	0.21	0.24

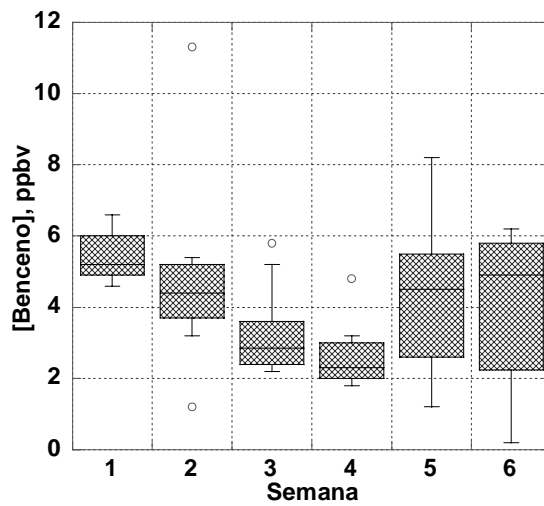
Nota.- Se consideraron relaciones hasta de 1.30 debido a que la precisión de las bombas SKC es de 30%.

### 3.4 Benceno

La exposición personal promedio de benceno medida de las muestras de aire colectadas a bordo de Metrobús fue de 4 ppbv (ver la figura 10 y la cuadro 8). Los niveles de benceno medidos cada semana fueron variables, como puede verse en la figura 11. Esto puede ser también un reflejo de la variabilidad del impacto de las emisiones vehiculares externas, como se explicó anteriormente. Cabe mencionar que el benceno es un compuesto normalmente asociado a vehículos a gasolina, ya sea como producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles o como emisiones evaporativas (Bueno, 2005). Por tanto, puede suponerse que las mediciones obtenidas a bordo del Metrobús provienen predominantemente de vehículos a gasolina que transitan en los carriles vecinos.



**Figura 10.** Exposición personal a benceno medida en muestras de aire colectadas en Metrobús.



**Figura 11.** Exposición personal a benceno medida en muestras de aire de Metrobús por semana.

**Cuadro 8.** Estadísticas descriptivas de la exposición personal a benceno medidas en Metrobús.

<b>Parámetro</b>	<b>[Benceno], ppbv</b>
No. Muestras	54
Promedio	4.0
Desv. Std.	2.0
Mediana	4.2
Prom. Geom.	3.4
Máximo	11.3
Mínimo	0.2

### 3.5 Tiempos de recorrido y observaciones relevantes durante los muestreos en el Metrobús

En el cuadro 9 se muestran los tiempos de recorrido en Metrobús y en el vehículo particular para el recorrido completo. En el anexo 1 se encuentra información detallada sobre todos los recorridos efectuados en el Metrobús y en el vehículo particular. Como se observa en el cuadro los promedios del recorrido en el Metrobús y vehículo particular son muy similares. Sin embargo, la variabilidad en el vehículo particular es mucho mayor, con máximos 20% más altos que en el Metrobús. Esto significa que el tiempo de recorrido del Metrobús es más estable, no variando por más de 10 minutos, mientras el viaje en el vehículo particular puede ser más rápido o más lento que el recorrido en Metrobús, dependiendo de la carga de tráfico del día. Durante los 10 días que se tomaron muestras en el vehículo particular, los recorridos en el Metrobús fueron 10% más rápidos en promedio que en el vehículo particular durante la hora pico en la mañana. Esta relación puede variar a lo largo del día, dependiendo del tráfico y el funcionamiento del Metrobús.

**Cuadro 9.** Estadísticas descriptivas de los tiempos de recorrido (en minutos) en Metrobús y en el vehículo particular

<b>Parámetro estadístico</b>	<b>Recorrido Completo (Indios Verdes – Dr. Gálvez)</b>	
	<b>Metrobús</b>	<b>Vehículo particular</b>
Promedio	58	63
No. Muestras	68	10
Desv. Std	2	13
Máximo	68	82
Mínimo	54	44

Por lo que respecta a la afluencia de pasajeros en el Metrobús, ésta fue mayor en la parte norte del recorrido (de Indios Verdes a Reforma). En general, se observó que los metrobuses se comenzaban a vaciar a partir de la estación Poliforum, en donde se encuentra el edificio del World Trade Center, en el sur del corredor de la

Av. Insurgentes. Puede considerarse que en la mayoría de los viajes, la ventilación dentro de los metrobuses fue mínima, ya que las ventanillas de los metrobuses permanecían la mayor parte del tiempo cerradas, las fallebas (compuertas de ventilación en el techo) estaban a veces abiertas y el sistema de ventilación (aire inyectado al interior de los autobuses) ocasionalmente era activado por el chofer del Metrobús. También se observó que el aire se viciaba rápidamente y aumentaba la temperatura en el interior del vehículo, sobre todo cuando había una mayor afluencia de pasajeros. Esto indica que no había un buen intercambio de aire entre el interior y el exterior del vehículo. Por tanto, puede considerarse que el mayor intercambio de aire se daba en cada estación durante el descenso y ascenso de pasajeros, con una duración aproximada de 15 a 20 segundos.

#### 4. Comparación de resultados

En esta sección se retoman los resultados de la primera etapa del estudio realizada en el 2004 en el que se efectuaron mediciones de contaminantes atmosféricos en autobuses y microbuses sobre Avenida Insurgentes (Wöhrnschimmel, 2004) y se comparan formalmente con las mediciones en el sistema Metrobús en el 2005 (prueba no-paramétrica de Wilcoxon). De esta forma se evaluaron las diferencias en la exposición personal al interior de metrobuses en comparación con la exposición personal al interior de microbuses y autobuses.

En el cuadro 10 se presenta una comparación de las medianas de la exposición personal en el interior de cada tipo de vehículo, además del tiempo de recorrido.<sup>7</sup> En general, se aprecia que la exposición personal es mayor en el microbús, seguido por el autobús. En el Metrobús los pasajeros están expuestos a una menor concentración de cada contaminante.

**Cuadro 10** Concentraciones de CO, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, benceno, y tiempo del recorrido en 2004 y 2005

	CO	PM2.5 (mediana)	PM10	Benceno	Tiempo (promedio)
<b>Microbús (junio - agosto 2004)</b>	15.8	152.4	196.3	10.2	70.2
<b>Autobús (junio - agosto 2004)</b>	11.4	128.8	202.3	8.9	73.2
<b>Metrobús (agosto – octubre 2005)</b>	7.5	98.7	183.1	4.2	58.2

En el cuadro 11 se muestran las reducciones en la exposición personal al interior del Metrobús con respecto a los otros modos de transporte, expresadas como reducción porcentual de la mediana de cada concentración. Los asteriscos indican el nivel de significancia estadística de la diferencia. Destaca la reducción de la exposición personal a benceno en el Metrobús por más de la mitad con respecto al microbús y al autobús. También, las reducciones en CO y PM<sub>2.5</sub> son

<sup>7</sup> La comparación de medianas en lugar de los promedios permite evaluar diferencias entre las concentraciones sin que tengan demasiada influencia los valores extremos.

estadísticamente significativas. La reducción de las concentraciones de PM<sub>10</sub> no es significativa; esto puede estar relacionado con el hecho que en este estudio se encontró que alrededor del 40% de PM<sub>10</sub> está conformado por la fracción gruesa, asociada con procesos mecánicos y otros no relacionados con la combustión, es decir, no se asocia mayoritariamente –como la fracción fina PM<sub>2.5</sub>, a emisiones de fuentes vehiculares.

**Cuadro 11** Reducción en las medianas de las concentraciones de CO, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, benceno, tiempo del recorrido en microbuses y autobuses en comparación con el Metrobús

	CO	PM2.5	PM10	Benceno	Tiempo
<b>Metrobús vs. Microbús</b>	-53% ***	-35% ***	-7%	-59% ***	-17% ***
<b>Metrobús vs. Autobús</b>	-34% ***	-23% ***	-9%	-53% ***	-20% ***

\*\*\* p < 0.001, \*\* p < 0.01, \* p < 0.05

Los resultados muestran que, además de la reducción en la exposición personal en el interior de los nuevos vehículos de transporte público, también se ha disminuido el tiempo de recorrido en cerca de 20% en comparación con los sistemas anteriores de microbuses y autobuses. Esto se traduce en una importante reducción de la exposición personal a los contaminantes evaluados.

## 5. Conclusiones

En este estudio se evaluó la exposición personal a CO, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, y benceno de los pasajeros en el sistema de transporte público denominado Metrobús en el corredor de Av. Insurgentes. Los niveles promedio de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, muestreados con bombas portátiles SKC, fueron 194 µg/m<sup>3</sup> y 111 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente, para el recorrido completo, y, 318 µg/m<sup>3</sup> y 209 µg/m<sup>3</sup>, para el recorrido norte, respectivamente. Las medianas de las relaciones [PM<sub>2.5</sub>]/[PM<sub>10</sub>] fueron 0.61 y 0.67 para el recorrido completo y la parte norte del recorrido, respectivamente. La exposición personal promedio de CO fue de 8 ppmv para el Metrobús y de 15 ppmv de CO en un vehículo particular que efectuó recorridos simultáneos en varias ocasiones. Finalmente, la exposición personal promedio de benceno fue de 4 ppbv.

Al comparar los valores de las medianas de CO, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, y benceno medidos en la primera (2004) y segunda etapas (2005) de este estudio, se encontró que la exposición personal en Metrobús fue menor que en autobuses públicos y microbuses. Las reducciones han sido más significativas en los contaminantes relacionados con emisiones vehiculares (CO, benceno, PM<sub>2.5</sub>). Estas reducciones pueden estar asociadas con varios factores:

- Una menor infiltración de aire contaminado proveniente del aire externo de la avenida al interior del Metrobús. Esto es influenciado, a su vez, por los siguientes factores:

- El Metrobús tiene paradas fijas, lo que reduce el número de paradas en las que se abren las puertas del vehículo.
  - El Metrobús no avanza con las puertas abiertas, como frecuentemente es el caso en los microbuses.
  - El Metrobús tiene un carril para su uso exclusivo lo que crea una mayor distancia entre las emisiones del tráfico particular y el Metrobús y evita la infiltración directa de emisiones provenientes de los escapes de vehículos cercanos.
  - El Metrobús tiene una mayor altura que los microbuses con respecto al nivel de los escapes, donde la concentración de emisiones es mayor.
- Una menor “auto-contaminación” (contaminación generada por el mismo vehículo, que penetra hacia el interior a causa de un sistema de combustión defectuoso o un mal diseño del vehículo) producto de una tecnología moderna y limpia de los nuevos vehículos y un regular mantenimiento de las unidades.

Los resultados de este estudio indican que el Metrobús, un sistema de transporte público de BRT con carriles exclusivos, puede ser una medida ambientalmente amigable que reduce la exposición personal a contaminantes atmosféricos dentro de los vehículos que lo conforman. Además, la reducción en los tiempos de recorrido también parece contribuir a la disminución de la exposición personal a contaminantes atmosféricos de pasajeros de transporte público, con lo que puede reducirse el riesgo de la población a contraer enfermedades asociadas con estos contaminantes.

## 6. Referencias

- Bueno, López, E. N. Evaluación temporal de compuestos orgánicos volátiles en dos sitios de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Febrero de 2005.
- Evans, J., Levy, J., Hammit, J., Santos Burgoa, C. and Castillejos, M. (2002): Health benefits of air pollution control. In: M. J. Molina and L. T. Molina (Editors), Air Quality in the Mexico Megacity - An Integrated Assessment.
- Fernández-Bremauntz, A. and Ashmore, M. (1995): Exposure of Commuters to Carbon Monoxide in Mexico City - I. Measurement of In-Vehicle Concentrations. Atmospheric Environment, 29(4): 525-532.
- Gobierno del Distrito Federal (2004). Informe del Estado de la Calidad del Aire y Tendencias 2004 de la Zona Metropolitana del Valle de México. Secretaría de Medio Ambiente y Sistema de Monitoreo Atmosférico.
- Gómez-Perales, J. E., Colville, R. N., Nieuwenhuijsen, M. J., Fernández-Bremauntz, A., Gutiérrez-Avedoy, V. J., Páramo-Figueroa, V. H., Blanco-Jiménez, S., Bueno-López, E., Mandujano, F., Bernabé-Casillas, R. and Ortiz-Segovia, E. (2004): Commuters' exposure to PM<sub>2.5</sub>, CO, and benzene in public transport in the metropolitan area of Mexico City. Atmospheric Environment, 38: 1219-1229.
- INE (Instituto Nacional de Ecología) (2004). Segundo almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en seis ciudades mexicanas, México, D.F.
- Method TO-14A US-EPA (US Environmental Protection Agency) (1999). The determination of volatile organic compounds (VOCs) in ambient air using SUMMA passivated canister sampling and gas chromatographic analysis. U. S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development, Research Triangle Park, NC.
- PROAIRE (2002): Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010., Mexico City.
- WHO (2000): Air Quality Guidelines for Europe, 2nd Edition. WHO Regional Publications, European Series, No.91.
- Wöhrnschimmel, H. (2004). Exposición personal a contaminantes del aire en el transporte público de Avenida Insurgentes. Centro de Transporte Sustentable, México, D. F., septiembre de 2004.

## Anexo

### A.1 Recorridos efectuados en Metrobús

Día	No. MB	Hora inicio	Hora final	T. recorrido, hr	Recorridos	
					Programados	Efectuados
08-Ago-05	CISA 53 y 49	7:58:00	8:53:00	0:55	1	1
08-Ago-05	CISA-15	8:10:00	9:13:00	1:03	1	1
09-Ago-05					1	0
09-Ago-05					1	0
10-Ago-05	RTP-75	7:46:00	8:45:00	0:59	1	1
10-Ago-05	CISA-59	7:59:00	8:57:00	0:58	1	1
11-Ago-05	CISA-43	7:32:00	8:26:00	0:54	1	1
11-Ago-05	CISA-58	7:40:00	8:38:00	0:58	1	1
12-Ago-05	CISA-39	7:23:00	8:21:00	0:58	1	1
12-Ago-05	CISA-43	7:36:00	8:30:00	0:54	1	1
15-Ago-05	CISA-02	7:38:00	8:41:00	1:03	1	1
15-Ago-05	CISA-30	7:45:00	8:46:00	1:01	1	1
16-Ago-05	CISA-76	7:46:00	8:43:00	0:57	1	1
16-Ago-05	CISA-35	7:45:00	8:42:00	0:57	1	1
17-Ago-05	CISA-36	7:34:00	8:37:00	1:03	1	1
17-Ago-05	CISA-26	7:40:00	8:38:00	0:58	1	1
18-Ago-05	CISA-08	7:40:00	8:37:00	0:57	1	1
18-Ago-05	CISA-41	7:46:00	8:46:00	1:00	1	1
19-Ago-05	CISA-36	7:35:00	8:34:00	0:59	1	1
19-Ago-05	CISA-32	7:46:00	8:45:00	0:59	1	1
29-Ago-05	CISA-03	8:07:00	9:07:00	1:00	1	1
29-Ago-05	CISA-51	8:08:00	9:08:00	1:00	1	1
30-Ago-05	CISA-35	7:30:00	8:26:00	0:56	1	1
30-Ago-05	CISA-18	7:40:00	8:39:00	0:59	1	1
31-Ago-05	CISA-49	8:02:00	8:59:00	0:57	1	1
31-Ago-05	CISA-46	8:04:00	9:02:00	0:58	1	1
01-Sep-05	RTP-77	7:24:00	8:19:00	0:55	1	1
01-Sep-05	CISA-40	7:27:00	8:25:00	0:58	1	1
02-Sep-05	CISA-23	7:30:00	8:31:00	1:01	1	1
02-Sep-05	RTP-62	7:35:00	8:33:00	0:58	1	1
05-Sep-05	CISA-15	7:46:00	8:53:00	1:07	1	1
05-Sep-05	CISA-17	7:50:00	8:52:00	1:02	1	1
06-Sep-05	CISA-02	7:22:00	8:20:00	0:58	1	1
06-Sep-05	CISA-18	7:27:00	8:25:00	0:58	1	1
07-Sep-05	CISA-25	7:26:00	8:23:00	0:57	1	1
07-Sep-05	CISA-43	7:28:00	8:26:00	0:58	1	1
08-Sep-05	RTP-62	7:42:00	8:41:00	0:59	1	1
08-Sep-05	CISA-54	7:49:00	8:47:00	0:58	1	1
09-Sep-05	CISA-55	7:29:00	8:28:00	0:59	1	1
09-Sep-05	RTP-61	7:35:00	8:35:00	1:00	1	1
19-Sep-05	CISA-21	7:39:00	8:47:00	1:08	1	1
19-Sep-05	RTP-79	7:41:00	8:41:00	1:00	1	1
20-Sep-05	CISA-02	7:22:00	8:20:00	0:58	1	1
20-Sep-05	CISA-37	7:40:00	8:39:00	0:59	1	1
21-Sep-05	RTP-78	7:29:00	8:27:00	0:58	1	1
21-Sep-05	CISA-48	7:32:00	8:29:00	0:57	1	1
22-Sep-05	RTP-79	7:38:00	8:34:00	0:56	1	1
22-Sep-05	CISA-24	7:39:00	8:35:00	0:56	1	1
23-Sep-05	CISA-51	7:38:00	8:35:00	0:57	1	1
23-Sep-05	RTP-79	7:38:00	8:33:00	0:55	1	1
26-Sep-05	CISA-62	7:57:00	8:55:00	0:58	1	1

## 1.1 Recorridos efectuados en Metrobús (continuación)

Día	No. MB	Hora inicio	Hora final	T. recorrido, hr	Recorridos	
					Programados	Efectuados
26-Sep-05	RTP-34	8:03:00	9:01:00	0:58	1	1
27-Sep-05	RTP-78	7:23:00	8:20:00	0:57	1	1
27-Sep-05	CISA-35	7:32:00	8:29:00	0:57	1	1
28-Sep-05	CISA-57	7:39:00	8:37:00	0:58	1	1
28-Sep-05	CISA-21	7:41:00	8:39:00	0:58	1	1
29-Sep-05	CISA-07	7:32:00	8:31:00	0:59	1	1
29-Sep-05	RTP-79	7:37:00	8:31:00	0:54	1	1
30-Sep-05	CISA-32	7:41:00	8:39:00	0:58	1	1
30-Sep-05	CISA-39	7:43:00	8:41:00	0:58	1	1
03-Oct-05	CISA-31	7:32:00	8:30:00	0:58	1	1
03-Oct-05	RTP-79	7:37:00	8:35:00	0:58	1	1
04-Oct-05	RTP-78	7:32:00	8:31:00	0:59	1	1
04-Oct-05	RTP-79	7:38:00	8:37:00	0:59	1	1
05-Oct-05	CISA-21	7:40:00	8:39:00	0:59	1	1
05-Oct-05	CISA-60	7:43:00	8:43:00	1:00	1	1
06-Oct-05	CISA-28	7:33:00	8:33:00	1:00	1	1
06-Oct-05	RTP-79	7:37:00	8:33:00	0:56	1	1
07-Oct-05	CISA-50	7:33:00	8:32:00	0:59	1	1
07-Oct-05	RTP-79	7:37:00	8:33:00	0:56	1	1

Total =           70           68

**Nota.- Cada día se efectuaron dos recorridos en Metrobús (uno por cada equipo de trabajo)**

Hora más temprana = 7:22

Mínima duración monitoreo = 54 min

Hora más tardía = 9:13

Máxima duración monitoreo = 1 h 8 min

## A.2 Recorridos efectuados en vehículo particular

### Recorridos en vehículo particular (camioneta NISSAN)

Día	Hora inicio	Hora final	T.recorrido,hr	Programados	Efectuados
08-Ago-05					
09-Ago-05					
10-Ago-05	7:35:00	8:19:00	0:44	1	0
11-Ago-05	7:20:00	8:12:00	0:52	1	1
12-Ago-05					
15-Ago-05					
16-Ago-05	7:35:00	8:43:00	1:08	1	1
17-Ago-05					
18-Ago-05	7:25:00	8:13:00	0:48	1	1
19-Ago-05					
29-Ago-05					
30-Ago-05	7:25:00	8:39:00	1:14	1	1
31-Ago-05					
01-Sep-05	7:17:00	8:28:00	1:11	1	1
02-Sep-05					
05-Sep-05					
06-Sep-05	7:15:00	8:37:00	1:22	1	1

## A.2 Recorridos efectuados en vehículo particular (Continuación)

Día	Hora inicio	Hora final	T.recorrido,hr	Programados	Efectuados
07-Sep-05					
08-Sep-05	7:38:00	8:31:00	0:53	1	0
09-Sep-05					
19-Sep-05					
20-Sep-05	7:15:00	8:37:00	1:22	2	0
21-Sep-05					
22-Sep-05				1	0
23-Sep-05					
26-Sep-05					
27-Sep-05				1	0
28-Sep-05					
29-Sep-05				1	0
30-Sep-05					
03-Oct-05					
04-Oct-05	7:20:00	8:21:00	1:01	1	1
05-Oct-05					
06-Oct-05				1	
07-Oct-05					

**Total =            15            7**

Hora más temprana = 7:15  
 Hora más tardía = 11:40

Mínima duración monitoreo = 44 min  
 Máxima duración monitoreo = 1 h 22 min