



**UNIVERSIDAD MICHUACANA DE SAN  
NICOLÁS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“EVALUACIÓN DEL NIVEL DE EXPOSICIÓN DE MONÓXIDO  
DE CARBONO DE LOS USUARIOS EN EL INTERIOR DEL  
TRANSPORTE PÚBLICO: CASO MORELIA”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADA POR:**

**P.I.Q. Víctor Daniel Sandoval García.**

**Asesor: Doctor en Ciencias de Ingeniería Marco Antonio Martínez Cinco.**

**Coasesor: Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental Arturo Rangel Gonca.**

**Morelia, Michoacán, Agosto del 2014**

## **AGRADECIMIENTOS.**

No fue hasta hace poco que me di cuenta del gran día que a mi vida llegaría, pues es un acontecimiento de esos que no se repiten en la vida de uno más que solo una vez, y fue entonces que pensé en lo difícil que sería expresar en pocas palabras todo lo que debo agradecer a las personas que han hecho posible este momento en mi vida. Es por eso que primero que todo, quiero agradecer a Dios por concederme la fortaleza y por iluminarme en tantos momentos de dificultad que he tenido a lo largo de estos 6 años para culminar exitosamente y poder titularme de la licenciatura de Ingeniería Química.

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Marco Antonio Martínez Cinco, y al I.M. Arturo Rangel Gonce, que me permitieron trabajar con ellos en este proyecto, que hiciera posible este grato momento de felicidad.

No puedo olvidar dar las gracias a mi familia, a mis padres la Sra. Martha Alicia García Rico y el Sr. Martin Heriberto Sandoval López, por darme el don de la vida, y brindar me el apoyo necesario para terminar mis estudios, en particular la licenciatura; a mis hermanos Martin y Kevin por estar siempre conmigo; y al resto de mi familia, tíos, primos, por creer que terminaría mis estudios a nivel licenciatura.

Por su puesto a mi querida escuela la Facultad de Ingeniería Química de la U. M. S. N. H., a todos los profesores que sin su apoyo este momento no sería posible, en especial al M. C. Juan R. Romero B. por brindarme su apoyo.

Y por último a mis compañeros y amigos, Ulises P., Favio O., Edgar I., Julio M., Noé E., Claudia A., Laura B., Alma A., Abelardo E., Javier O., Iván A., Albino T., Isaí A., en especial al I.Q. Jesús A., I.Q. Francisco C. y I.Q. Marco V. En definitiva, a todos los que me apoyaron y empujaron cada día durante estos años de estudio de la licenciatura en particular.

## RESUMEN

La exposición por monóxido de carbono (CO) causa efectos en la salud humana, dolor de cabeza, mareo, debilidad, náusea, confusión, desorientación y alteraciones visuales (efectos cardiovasculares y del sistema nervioso central), inconciencia y hasta la muerte, todo asociado al tiempo y al nivel de exposición (concentración) al que se esté expuesto. El objetivo de este estudio fue determinar los niveles de exposición al monóxido de carbono (CO), por parte de los usuarios (pasajeros) del transporte público, así como la temperatura y los tiempos de trayecto (tiempo de exposición), en el interior de los diferentes tipos de vehículos de transporte público (“Combi” y “Camión”), en 26 zonas del circuito periférico de la ciudad de Morelia, durante el periodo de otoño-invierno (diciembre) del 2013, seleccionando cinco horarios diferentes del día atendiendo al criterio de horas pico (07:00, 10:00, 14:00, 16:00 y 19:00). Los vehículos de transporte público “Combi” presentaron un valor promedio mayor del 18% más de nivel de exposición de CO, en comparación con los vehículos de transporte público “Camión”, esto puede deberse al tipo de combustible que utilizan. En general las horas pico presentaron los valores promedio mayores de nivel de exposición de CO tanto para el transporte público “Combi” como para el transporte público “Camión”, sin embargo el horario que presentó el valor promedio más alto para los dos tipos de transporte público fue el horario pico de las 07:00 horas, y de nuevo el transporte público “Combi” presentó un 26% más que el transporte público “Camión”. Las paradas que presentaron los niveles de exposición de CO mayores se encuentran ubicadas hacia el norte del circuito periférico, esto se puede deber a la antigüedad de la flota vehicular que circula por estas paradas.

Palabras clave: **Monóxido de Carbono, Transporte Público y Pasajeros.**

## **ABSTRACT.**

Exposure to carbon monoxide (CO) causes effects on human health, headache, dizziness, weakness, nausea, confusion, disorientation, and visual disturbances (cardiovascular and central nervous system effects), unconsciousness and even death, all associated the time and level of exposure (concentration) to which it is exposed. The aim of this study was to determine the levels of exposure to carbon monoxide (CO), by users (commuters) of public transport, as well as temperature and journey times (exposure time), within different types of public transport vehicles ("Combi" and "Camión"), in 26 areas of the peripheral circuit of the city of Morelia, during the autumn-winter (December) of 2013, selecting five different times of the day attending the criterion of rush hour (07:00, 10:00, 14:00, 16:00 and 19:00). The public transport vehicles "Combi" had a higher average value of the 18% level of CO exposure, compared to public transport vehicles "Camión"; this may be due to the type of fuel used. Overall peak hours had higher average level of CO exposure for both public transports "Combi" for public transports as "Camión" values; however the schedule that had the highest average value for the two types of transports public was the rush hour of 07:00, and again public transport "Combi" presented 26% more than public transport "Camión". The stops that showed exposure levels of CO are located higher north of the peripheral circuit; this may be due to the age of the vehicle fleet circulating in these stops.

Keywords: **Carbon Monoxide, Public Transportation and Commuters.**

## ÍNDICE.

GLOSARIO ..... v

RELACIÓN DE TABLAS Y FIGURAS ..... vii

### CAPÍTULO I.

1.1 INTRODUCCIÓN ..... 1

1.2 JUSTIFICACIÓN ..... 14

1.3 HIPÓTESIS ..... 15

1.4 OBJETIVO GENERAL ..... 15

1.4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 15

### CAPÍTULO II.

2.1 MARCO TEÓRICO ..... 16

2.1.1 MECANISMO DE FORMACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO..... 26

2.1.2 ESTUDIO DE EMISIONES Y ACTIVIDAD VEHICULARES EN MORELIA,  
MICHOACÁN ..... 19

2.1.3 INVENTARIO DE EMISIONES DE MORELIA Y 5 MUNICIPIOS, 2008 CON AÑO  
BASE DEL 2005..... 22

2.1.4 EFECTOS DEL CO EN LA SALUD ..... 24

### CAPÍTULO III.

3.1 METODOLOGÍA..... 29

3.1.1 DISEÑO DE LA CAMPAÑA DE MONITOREO ..... 29

3.1.2 EQUIPO DE MUESTREO ..... 32

3.1.3 FECHAS DE MUESTREO..... 33

3.1.4 PUNTOS DE MUESTREO..... 35

3.1.5 FORMATO DE CAPTURA DE DATOS..... 40

3.1.6 TRATAMIENTO DE DATOS ..... 41

### CAPÍTULO IV.

4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 42

### CAPÍTULO V.

5.1 CONCLUSIONES..... 63

BIBLIOGRAFÍA ..... 65

## **GLOSARIO**

<b>BRT</b>	Bus Rapid Transit.
<b>°C</b>	Grados Celsius (Centígrados).
<b>CAM</b>	Comisión Ambiental Metropolitana.
<b>CD</b>	Coefficiente de divergencia.
<b>CO</b>	Monóxido de carbono.
<b>COHb</b>	Carboxihemoglobina.
<b>CONAPO</b>	Consejo Nacional de Población.
<b>COSUDE</b>	Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación.
<b>COV</b>	Compuestos orgánicos volátiles.
<b>DGCENICA</b>	Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental.
<b>DGICUR</b>	Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional.
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Agua.
<b>H</b>	Hidrógeno.
<b>Hb</b>	Hemoglobina.
<b>HC</b>	Hidrocarburos.
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Ecología.
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática.
<b>Km<sup>2</sup></b>	Kilómetros cuadrados.
<b>mm</b>	Milímetros.
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar.
<b>NO<sub>2</sub></b>	Dióxido de nitrógeno.
<b>NO</b>	Monóxido de nitrógeno.
<b>NOM</b>	Norma Oficial Mexicana.

<b>NOx</b>	Óxidos de nitrógeno.
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxígeno.
<b>O<sub>3</sub></b>	Ozono.
<b>OHb</b>	Oxihemoglobina.
<b>Pb</b>	Plomo.
<b>PM<sub>2.5</sub></b>	Material particulado o partículas aerodinámicas con diámetro menor a 2.5 micras.
<b>PM<sub>10.0</sub></b>	Material particulado o partículas aerodinámicas con diámetro menor a 10 micras.
<b>ppm</b>	Partes por millón.
<b>SEMARNAT</b>	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
<b>SO<sub>2</sub></b>	Dióxido de azufre.
<b>SOx</b>	Óxidos de azufre.
<b>SSA</b>	Secretaría de Salud y Asistencia.
<b>STPS</b>	Secretaría del Trabajo y Previsión Social.
<b>SUMA</b>	Secretaria de Urbanismo y Medio Ambiente del Estado de Michoacán.
<b>SUV</b>	Vehículo utilitario (Sport Utility Vehicles).
<b>SWISSCONTACT</b>	Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico.
<b>UNIMAT</b>	Unidad de Monitoreo Atmosférico de Morelia.
<b>UMSNH</b>	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
<b>VAN</b>	Vehículo para transportar grupos de personas.
<b>WGA</b>	Asociación de Gobernadores del Oeste de los Estados Unidos. (Western Governors` Association).
<b>ZMMorelia</b>	Zona Metropolitana de Morelia
<b>ZMVM</b>	Zona Metropolitana del Valle de México.

# RELACIÓN DE TABLAS Y FIGURAS

## Tablas.

<i>Tabla 1. Rutas del transporte público “Combi” en Morelia en el año 2000.....</i>	<i>7</i>
<i>Tabla 2. Rutas del transporte público “Camión” en Morelia en el año 2000.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 3 Agrupaciones de “Taxis” de Morelia en el año 2000.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 4. Relación de porcentaje de COHb en la sangre en función de la concentración de CO (ppm) en el ambiente .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 5 Tiempo de exposición y concentración de CO (ppm) requeridos para un porcentaje de COHb de 2.5% en la sangre.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 6. Efectos en la salud por el tiempo de exposición y la concentración de CO en el aire .....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 7. Efectos sobre la salud en relación al porcentaje de COHb en la sangre .....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 8. Fechas y horarios de medición en el transporte público “Combi” y “Camión” .....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 9. Paradas o zonas donde se tomaron los niveles de CO y temperatura dentro del vehículo de transporte público “Combi” y “Camión” .....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 10. Fotografías de las paradas o zonas donde se efectuaron las mediciones dentro del vehículo de transporte público “Combi” y “Camión” .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 11. P-valor de la prueba de t para medias de dos muestras emparejadas, de los diferentes horarios del día para los vehículos de transporte público “Combi” y “Camión” .....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 12. P-valor de la prueba de t para medias de dos muestras emparejadas, de los diferentes días de medición para los vehículos de transporte público “Combi” y “Camión” .....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 13. P-valor de la prueba de t para medias de dos muestras emparejadas, de las diferentes zonas de medición para los vehículos de transporte público “Combi” y “Camión” .....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 14. P-valor de prueba de t para medias de dos muestras emparejadas para el tiempo promedio de exposición y horarios del día para los vehículos de transporte público “Combi” y “Camión” .....</i>	<i>49</i>

## Figuras.

<i>Figura 1. Temperatura (°C) y precipitación (mm) promedio mensual de la ciudad de Morelia.....</i>	<i>4</i>
--	----------

<b>Figura 2.</b> Índice de motorización de Morelia y Michoacán .....	<b>5</b>
<b>Figura 3.</b> Formación de CO, HC no quemados y NO en las etapas un motor de encendido provocado .....	<b>17</b>
<b>Figura 4.</b> Variación de la concentración de HC no quemados, CO y NO en los gases de escape de un motor de encendido provocado en relación con la relación de mezcla .....	<b>19</b>
<b>Figura 5.</b> Índice de motorización de Morelia y algunas ciudades de la república mexicana .....	<b>20</b>
<b>Figura 6.</b> Emisiones generales por tipo de contaminante .....	<b>22</b>
<b>Figura 7.</b> Contribución general de emisiones por tipo de fuente .....	<b>23</b>
<b>Figura 8.</b> Distribución de contaminantes por fuentes móviles.....	<b>23</b>
<b>Figura 9.</b> Distribución de emisiones por tipo de vehículo y contaminante .....	<b>24</b>
<b>Figura 10.</b> Circuito periférico (libramiento) de Morelia .....	<b>30</b>
<b>Figura 11.</b> A la izquierda imagen del transporte público “Combi” ruta gris uno y a la derecha imagen del transporte público “Camión” ruta roja uno.....	<b>31</b>
<b>Figura 12.</b> Mantenimiento de los carriles centrales en el anillo periférico de Morelia .....	<b>32</b>
<b>Figura 13.</b> Fotografía del equipo de medición Fluke 975 AirMeter .....	<b>33</b>
<b>Figura 14.</b> Mapa con la ubicación de las zonas de medición (paradas) en el circuito periférico (libramiento) de Morelia .....	<b>36</b>
<b>Figura 15.</b> Formato de captura de datos utilizado durante la campaña de monitoreo del CO en el periférico de la ciudad de Morelia .....	<b>40</b>
<b>Figura 16.</b> Valores promedio de los niveles de exposición de CO (ppm) por tipo de transporte público, “Combi” y “Camión” .....	<b>42</b>
<b>Figura 17.</b> Valores promedio de los niveles de exposición de CO (ppm), por horario del día y tipo de transporte público “Combi” y “Camión”. .....	<b>44</b>
<b>Figura 18.</b> Valores promedio de los niveles de exposición de CO (ppm), por día de medición y tipo de transporte público “Combi” y “Camión” .....	<b>45</b>
<b>Figura 19.</b> Valores promedio de los niveles de exposición de CO (ppm) por zona de medición (parada) y tipo de transporte público “Combi” y “Camión” .....	<b>47</b>
<b>Figura 20.</b> Tiempo promedio del recorrido del trayecto (tiempo de exposición) por tipo de transporte público “Combi” y “Camión” .....	<b>49</b>
<b>Figura 21.</b> Comparación de los niveles de exposición de CO de la parada “Mercado de Abastos” contra la NOM-021-SSA1-1993 y EPA-1971, por día para el tipo de transporte público “Combi” .....	<b>51</b>

<b>Figura 22.</b> Comparación de los niveles de exposición de CO de la parada “Av. Huaniqueo” contra la NOM-021-SSA1-1993 y EPA-1971, por día para el tipo de transporte público “Combi” .....	<b>51</b>
<b>Figura 23.</b> Comparación de los niveles de exposición de CO de la parada “Centro de autoservicio WalMart” contra la NOM-021-SSA1-1993 y EPA-1971, por día para el tipo de transporte público “Combi” .....	<b>52</b>
<b>Figura 24.</b> Comparación de los niveles de exposición de CO de la parada “Colonia Manantiales” contra la NOM-021-SSA1-1993 y EPA-1971, por día para el tipo de transporte público “Combi” .....	<b>52</b>
<b>Figura 25.</b> Comparación de los niveles de exposición de CO de la parada “Salida Mil Cumbres” contra la NOM-021-SSA1-1993 y EPA-1971, por día para el tipo de transporte público “Camión” .....	<b>53</b>
<b>Figura 26.</b> Comparación de los niveles de exposición de CO de la parada “Tienda de autoservicio Aurrera” contra la NOM-021-SSA1-1993 y EPA-1971, por día para el tipo de transporte público “Camión” .....	<b>53</b>
<b>Figura 27.</b> Correlación general del promedio de temperatura y nivel de exposición de CO en el transporte público “Combi” por horario de medición .....	<b>54</b>
<b>Figura 28.</b> Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO en el transporte público “Combi” por horario de medición .....	<b>55</b>
<b>Figura 29.</b> Correlación general del promedio de temperatura y nivel de exposición de CO en el transporte público “Camión” por horario de medición .....	<b>55</b>
<b>Figura 30.</b> Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO en el transporte público “Camión” por horario de medición .....	<b>56</b>
<b>Figura 31.</b> Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada “Mercado de Abastos” en el transporte público “Combi” por horario de medición .....	<b>57</b>
<b>Figura 32.</b> Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada “Mercado de Abastos” en el transporte público “Camión” por horario de medición .....	<b>57</b>
<b>Figura 33.</b> Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada “Colonia Xangari” en el transporte público “Combi” por horario de medición .....	<b>58</b>
<b>Figura 34.</b> Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada “Colonia Xangari” en el transporte público “Camión” por horario de medición .....	<b>58</b>
<b>Figura 35.</b> Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada “Tienda de autoservicio WalMart” en el transporte público “Combi” por horario de medición .....	<b>59</b>

<b>Figura 36.</b> Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada “Tienda de autoservicio WalMart” en el transporte público “Camión” por horario de medición.....	<b>59</b>
<b>Figura 37.</b> Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada “IMSS” en el transporte público “Combi” por horario de medición.....	<b>60</b>
<b>Figura 38.</b> Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada “IMSS” en el transporte público “Camión” por horario de medición ....	<b>60</b>
<b>Figura 39.</b> Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada “Salida Quiroga” en el transporte público “Combi” por horario de medición.....	<b>61</b>
<b>Figura 40.</b> Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada “Salida Quiroga” en el transporte público “Camión” por horario de medición.....	<b>61</b>
<b>Figura 41.</b> Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada “Salida Charo” en el transporte público “Combi” por horario de medición.....	<b>62</b>
<b>Figura 42.</b> Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada “Salida Charo” en el transporte público “Camión” por horario de medición.....	<b>62</b>

# CAPÍTULO I

## ***1.1 INTRODUCCIÓN.***

El parque vehicular en las ciudades de todo el mundo ha crecido a un ritmo acelerado en los últimos años. El aumento de la flota vehicular obedece a varios factores como: el aumento de la población, la tendencia a nivel mundial en el uso preferencial del automóvil particular sobre el transporte público y las facilidades por parte de las agencias para adquirir un vehículo. (INE, SEMARNAT, WGA, 2007)

Los vehículos automotores, propulsados por motores de combustión interna, son una fuente-antropogénica-móvil (constituida por los vehículos automotores que incluyen automóviles, camiones, autobuses, etc., diseñados para circular en la vía pública), producen en general emisiones de gases contaminantes por el tubo de escape que son producto de la quema del combustible, gasolina, diésel, gas LP, gas natural o biocombustibles, si la combustión en un motor fuera perfecta, el oxígeno (O<sub>2</sub>) en el aire convertiría todo el hidrógeno (H) del combustible en agua (H<sub>2</sub>O) y todo el carbono (C) en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). En la realidad, el proceso de combustión no es perfecto y, en consecuencia, los motores de los vehículos emiten varios tipos de contaminantes, tales como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), compuestos orgánicos volátiles (COV) y partículas suspendidas (material particulado, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10.0</sub>). Además de ciertos contaminantes presentes en los combustibles como los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y, hasta hace algunos años, desde el año de 1996, año en que se dejó de comercializar la gasolina nova en México, el plomo (Pb), se liberaba al ambiente a través del proceso de combustión. (INE, SEMARNAT, WGA, 2007)

Se ha encontrado pues que al liberarse estos contaminantes de la combustión al ambiente una parte de ellos es atrapado en el interior de los vehículos, lo que con lleva a que las personas (pasajeros y conductor) estén expuestas a estos contaminantes durante el tiempo que dura su trayecto a bordo del vehículo; mientras que la otra parte se libera al ambiente.

Los efectos del CO en la salud humana son consecuencia de su capacidad para combinarse con la hemoglobina (Hb), aproximadamente con una afinidad de 200 a 250 veces más que al oxígeno (O<sub>2</sub>); la carboxihemoglobina (COHb) presenta una estabilidad de aproximadamente 200 veces más que la oxihemoglobina (OHb). Las concentraciones elevadas de COHb son responsables de diversos síntomas inespecíficos como dolor de cabeza, fatiga, astenia (cansancio), etc.

En la intoxicación crónica, el CO se fija a la mioglobina y la cardiomioglobina, el resultado es una enfermedad cardiovascular por hipoxia tisular, es decir, el cansancio de los tejidos del miocardio (corazón), por el transporte insuficiente de oxígeno de la sangre a los tejidos del cuerpo.

Sin embargo la intoxicación aguda es mucho más conocida debido a la importancia de sus manifestaciones o efectos en la salud, dolor de cabeza, mareo, debilidad, náusea, confusión, desorientación, alteraciones visuales, coma, infartos y hasta la muerte. Por ejemplo una persona que está expuesta a una concentración de 3200 ppm de CO en un periodo de 5 a 10 minutos puede llegar a la inconsciencia y a los 20 minutos llegar a la muerte. (COSUDE, SWISSCONTACT, Escuela Técnica de Salud Boliviano Japonés, Instituto de Investigaciones Biomédicas de la Universidad Mayor de San Simón, 2007).

No se conoce un número exacto de personas que han sufrido intoxicación aguda o crónica por CO. Debido al mal diagnóstico médico, ya que se correlacionan mal los síntomas y signos con el nivel de carboxihemoglobina (COHb), medido en el momento del ingreso en el hospital.

Las emisiones emitidas por el tubo de escape dependen de las características del vehículo, así como de su tecnología; los vehículos más pesados tienden a generar mayores emisiones. El estado de mantenimiento del vehículo y los factores operativos, la velocidad de circulación, la frecuencia e intensidad de las aceleraciones y las características del combustible juegan un papel determinante en las emisiones por el escape. (INE, SEMARNAT, DGICUR, DGCENICA, 2010).

La falta de aplicación sistemática de políticas gubernamentales municipales (locales) que incluyan incentivos al transporte público y desincentivos al transporte privado (por ejemplo, sistemas de cobro por estacionamiento en calles, tarifas de estacionamiento, restricciones de velocidad, restricciones a la circulación de vehículos privados en el centro histórico); además todo esto acompañado de un buen sistema de transporte público que sea eficiente (ordenado, seguro, barato y no contaminante); llevaría a una disminución significativa de las emisiones de contaminantes al ambiente; así como la disminución al tiempo de exposición de los contaminantes gracias a que se acortarían los tiempos de traslado (López Olvera Miguel Alejandro).

A esto habría que sumarle los serios problemas que se tienen en cuanto a vialidad, como por ejemplo la insuficiencia, la mala calidad y la falta de mantenimiento de avenidas y calles de las ciudades.

Como buen ejemplo, ciudades de todo el mundo han optado por cambiar su tipo de transporte público, por ejemplo en la Ciudad de México se puso en funcionamiento en el 2005 el metro-bus, el cual cuenta con 98 autobuses articulados que recorren veinte kilómetros sobre la avenida Insurgentes en ambos sentidos con un total de 36 estaciones. Así como la nueva eco-vía que se puso en marcha apenas el 28 de enero del 2014 en la ciudad de Monterrey, cuenta con 30.1 km y comprende desde la terminal Lincoln en Monterrey hasta Valle Soleado en el municipio de Guadalupe.

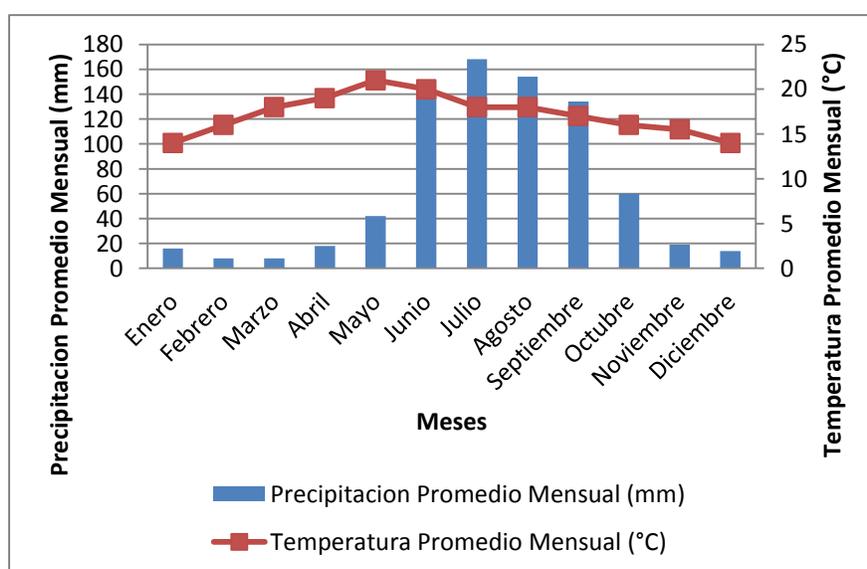
Otro ejemplo claro, por su importancia, en América Latina es el sistema de metro-bus TransMilenio, implementado en Bogotá Colombia, fue el tercer tipo de transporte BRT (Autobús de Tránsito Rápido o *Bus Rapid Transit*) implementado en su tipo, desarrollado en Latinoamérica, siendo el primero el metro-bus de *Curitiba* en Brasil y el segundo el trolebús de *Quito* en Ecuador.

TransMilenio (Empresa de Transporte Tercer Milenio S.A) es el sistema de transporte masivo de la ciudad de Bogotá y el municipio de Soacha, Cundinamarca. Es el mayor sistema de transporte masivo de Colombia y de tipo BRT más grande del mundo. Su construcción se inició en 1998, y fue inaugurado el 4 de diciembre de 2000. Entró en

operación el 18 del mismo mes. Tiene una longitud aproximada de 87 Km; cuenta con 143 estaciones y 1800 unidades aproximadamente, que transportan a 1.5 millones de pasajeros al día. La red BRT ha crecido estos últimos años y una tercera fase de 36 Km está siendo construida (<http://www.ecointeligencia.com/2013/09/bogota-ejemplo-movilidad-sostenible>).

## EL MUNICIPIO DE MORELIA.

El municipio de Morelia está localizado entre los paralelos 19°30' y 19°50' de latitud norte, y los meridianos 101°00' y 101°30' de longitud oeste, en la región centro-norte del estado de Michoacán. La altitud municipal oscila entre los 1,500 y 3,000 msnm y ocupa una extensión de 1,199 Km<sup>2</sup>, mientras que el área urbana de Morelia abarca alrededor de 85 Km<sup>2</sup>, es decir, el 7.1% de la superficie municipal tiene una temperatura promedio anual de 23 °C. El promedio de lluvia anual varía entre 700 y 1000 mm, la mayoría de esta ocurre en verano, como se ve en la Figura 1. La temperatura ambiente promedio que se mantiene durante el mes de diciembre en la ciudad de Morelia es poco menos de 15 °C. (H. Ayuntamiento de Morelia, 2012)



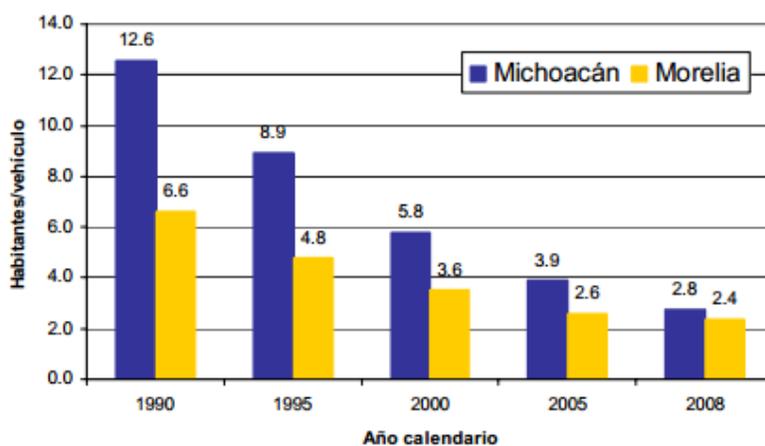
Fuente: <http://www.oikos.unam.mx/atbc/espanol/Clima.htm>.

**Figura 1: Temperatura (°C) y precipitación (mm) promedio mensual de la ciudad de Morelia.**

## PARQUE VEHICULAR.

De acuerdo con información del Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática (INEGI), en sus cifras del último censo poblacional del 2010 el municipio de Morelia, tenía un total de 729,279 habitantes, del cual el 52.15% (380,285 habitantes) son mujeres y el 47.85% (348,994 habitantes) son hombres. Acerca de los vehículos de motor en circulación registrados, del año 2000 al 2008 la flota vehicular de Morelia creció un 72%, es decir, circulaban en la ciudad más de 300,000 vehículos automotores. La flota vehicular de Morelia representaba para el 2008, el 21% del parque vehicular en circulación del estado de Michoacán (<http://www.inegi.org.mx>).

A partir de la información de número de habitantes y vehículos, en la ciudad de Morelia, y en general en el estado de Michoacán, se obtuvo el índice de motorización. Podemos mencionar, por ejemplo que en el año 1990 el índice de motorización promedio en Michoacán era prácticamente el doble que en Morelia, véase Figura 2; sin embargo, conforme ha avanzado el tiempo, este índice cada vez se ha ido acercando entre la motorización a nivel estatal y municipal.



*Fuente: INE, SEMARNAT, DGICUR y DGCENICA, 2010.*

**Figura 2. Índice de motorización de Morelia y Michoacán.**

Como parte de las acciones que emprendió el gobierno de Michoacán, para la regulación ambiental de la flota vehicular que circula en sus ciudades, en septiembre de 2004 se publicó el programa de verificación vehicular, que inició operación con 66 centros de

verificación, establecidos en 22 municipios, aunque solo se hizo obligatorio para la flotilla del gobierno estatal. Posteriormente, en octubre de 2008, la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA) del gobierno de Michoacán, celebró un acuerdo con autoridades de la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) del valle de México, para homologar el procedimiento y la papelería requerida, para otorgar el holograma requerido para la libre circulación de vehículos con placa de Michoacán en el valle de México.

El ayuntamiento de Morelia, SUMA y la U.M.S.N.H. establecieron en el año de 2006 el programa de monitoreo de la calidad atmosférica de la ciudad, con el objetivo de informar la calidad del aire que se respira. La unidad de monitoreo atmosférico de Morelia (UNIMAT) empezó a medir la calidad del aire de Morelia de manera continua a finales de 2007. La UNIMAT se encuentra ubicada en la azotea del palacio municipal del ayuntamiento de Morelia y mide las concentraciones de los contaminantes: ozono ( $O_3$ ), partículas aerodinámicas con diámetro menor a 10 micras ( $PM_{10}$ ), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre ( $SO_2$ ) y dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ). En el 2013, se instaló una segunda caseta de monitoreo automático en las instalaciones de Ciudad Universitaria de la U.M.S.N.H. Esta caseta mide las concentraciones de ozono ( $O_3$ ), partículas aerodinámicas con diámetro menor a 10 micras ( $PM_{10.0}$ ), dióxido de azufre ( $SO_2$ ) y dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ , NO) (INE, SEMARNAT, DGICUR, DGCENICA, 2010).

#### **TRANSPORTE PÚBLICO EN LA CIUDAD DE MORELIA.**

En el año 2000 el sistema de transporte público, de Morelia se componía de 13 grandes rutas con 49 sub-rutas del transporte público urbano (“Combi”) y de 35 rutas urbanas y suburbanas dependientes del transporte público de Michoacán, que funcionan con unidades de microbuses, minibuses y autobuses, las cual englobaremos en el tipo de transporte público “Camión” debido a la diversidad de vehículos de este tipo de transporte público.

Las rutas de transporte público “Combi” contaban con un total de 1,342 unidades en servicio, para el año 2000, en la Tabla 1 (elaborado por la jefatura de operaciones de la dirección de transportes del estado, en febrero de 1999) se señalan las rutas y sus sub-rutas, las cuales se distinguen por color, números y letras; así como también se describen brevemente el origen y destino de cada una.

**Tabla 1. Rutas del transporte público “Combi” en Morelia en el año 2000.**

Rutas	Unidades en servicio	Origen	Destino
Amarilla 1	34	Av. Frnascisco J. Mujica (Frente a Cd. Universitaria).	Av. Frnascisco J. Mujica (Frente a Cd. Universitaria).
Amarilla 2	36	Fernando Soto, Colonia Tierra y libertad.	Batalla de Churubusco, Colonia Chapultepec
Azul A	32	Manuel Besanilla, Fracc. Michelena.	Av Camelinas (Frente a Palacio del arte)
Azul B	28	Melocoton (Esq. Calzada La Huerta).	Fray Aparicio (Esq. Casa de moneda), Fracc. Buena Vista.
Azul C	Sin datos.	Sin datos.	Sin datos.
Café 1	40	Huatapera (Esq. Carlos Rubirosa), Colonia Tierra y libertad.	Matias de Bocanegra (Esq. Hernan Gonzales de Eslava), Fracc. Fray Antonio de Mendoza.
Café 1 A	17	Francisco de Barrera en Quinceo.	Centro.
Café 2	38	Tierra, Colonia Lomas del Punhuato.	Piloto Juan Pablo Aldasoro, Colonia Jardines de Guadalupe.
Café 2 A	34	Migue Osorio, Colonia Rafael Carrillo.	Colonia San Rafael.
Café 2 B	20	Soldado de zaragoza, Colonia Leandro Valle.	Centro.
Coral 1	40	Sta. Maria de los Urdiaes, Colonia las Margaritas.	Blv. Fray Antonio de San Miguel, Colonia Fray Antonio de San Miguel
Coral 2	41	23 de Mayo (Esq. Fco. Luna), Colonia Nueva Primo Tapia.	Mercado de Abastos.
Coral 2 A	Sin datos.	Sin datos.	Sin datos.
Crema 1	31	Av. Solidaridad, Colonia Solidaridad.	Felipe Paramo, Colonia Primo Tapia.
Crema 2 A	16	Av. Solidaridad, Colonia Solidaridad.	Felipe Paramo, Colonia Primo Tapia.
Crema 2	29	Lic. Jesus Ramirez Mendoza, Colonia Primo Tapia.	Nazas (Esq. Balsas), Colonia Lago.
Crema 2 B	16	Lic. Jesus Ramirez Mendoza, Colonia Primo Tapia.	Nazas (Esq. Balsas), Colonia Lago.
Guinda 1	54	Av. Las Palmas, Colonia Colinas del sur.	Issac Calderos, Colonia La Soledad.
Guinda 2	19	Gral. Fco. Villa (Esq. Lic. Mariano de Jesus Torres), Colonia Dr. Miguel Silva.	Egipto, Colonia Rector Diaz Rubio.
Gris 1	64	Av. Siervo de la Nacion, Colonia Sentimientos de la Nacion.	Av. Siervo de la Nacion, Colonia Sentimientos de la Nacion.
Gris 2	54	Av. Siervo de la Nacion, Colonia Sentimientos de la Nacion.	Centro.
Gris 3	42	Av. San Juanito Itzicuaro, Colonia Margarita Maza de Juarez.	Fco. Matos Coronado (Esq. Juan de Oñate), Colonia Lazaro Cardenas.
Gris 4	Sin datos.	Sin datos.	Sin datos.

Morada 1	28	Circuito Uacusecha, Fracc. Xangari.	Jose Maria Pino Suarez, Poblacion La Aldea.
Morada 2	34	Cap. Mariano Anzures, Fracc. Fuentes de Valladolid.	Lomas de las villas, Fracc. Lomas de Morelia.
Naranja 1	39	Trabajadores de la educacion (Esq. Trabajadores de Gobernacion), Colonia FOVISSTE.	Circuito Uacusecha, Fracc. Xangari.
Naranja 2	12	Trabajadores mexicanos, Colonia FOVISSTE.	Centro.
Naranja 3	49	Juan de Dios, Colonia Lomas de sta. Maria.	Arrocena (Esq. Avena), Frac. Los Angeles.
Naranja 3 Erandeni	Sin datos.	Sin datos.	Sin datos.
Naranja 3 Galaxia	Sin datos.	Sin datos.	Sin datos.
Negra	25	Av. Del Obispo. Col. Manantiales del obispo.	Ahuizotl, Colonia Ejidal Ocolucen.
Oro-verde	42	Colonia Trincheras.	Circuito Trabajadores de la educacion, Col. La Soledad.
Roja 1	50	Carlos Roviroza (Esq. Jose del Rio), Col. Tierra y Libertad.	Chicalote (Esq. Linaza), Col. Lomas del Punhuato.
Roja 2	Sin datos.	Sin datos	Sin datos.
Roja 2 Oken	25	Periban (Esq. Caracuaro), Fracc. FOVISSTE Acueducto.	Loma del Rey, Col. Lomas del Valle.
Roja 3	25	Av. Michoacan (Esq. Cantera), Fracc. INFONAVIT la Colina.	Fray Antonio de Lisboa, Col. Fray Antonio de Lisboa.
Roja 3 A	26	Adolfo R. Cortinez (Esq. U. Profesional Zacatenco), Col. Irrigacion	Futurama.
Roja 3 B	26	Doceava, Col. Guadalupe.	Batazar Echaviz, Fracc. Ejidal
Roja 4	23	Florentino Mercado (Esq. Lic. Luis Couto), Col. la Quemada.	Benito Muños (Esq. Nueva Tepeyac), Col. Nueva Punhuato.
Roja 4 A	23	Ahuehuete (Esq. Beleño), Col. Nicolas Romero.	Maria Manuela Medina, Col. Niño Artillero.
Roja 4 M	20	Ahuehuete (Esq. Beleño), Col. Nicolas Romero.	Manantiales del Quinceo (Esq. Manatiales del onispo), Col. Manatiales de Morelia.
Roja 4 Zindurio	Sin datos.	Sin datos.	Sin datos.
Rosa 1	34	Holanda (Esq. Viena), Fracc. INFONAVIT Valle Quieto.	M. Romero (Esq. Albino Zertuche), Col. El Realito.
Rosa 2	24	Av. El Vivero, Fracc. El Vivero.	Guadaupe Victoria (Esq. Cerro de Zitacuaro), Fracc. INFONAVIT Loma Bonita.
Rosa 2 B	Sin datos.	Sin datos.	Sin datos.
Rosa 3	20	Joaquin Guerra (Esq. Circuito Ignacio Rayon), Col. Torreon Nuevo.	Centro.
Verde 1	36	Av. Del Campestre (Esq. Av. Camelinas)	Av. Siervo de la Nacion, Col. Sentimientos de la Nacion (SEP).
Verde 2	36	Av. Del Campestre (Esq. Av. Camelinas)	Av. Siervo de la Nacion, Col. Sentimientos de la Nacion (SEP).
Verde 3	18	Circuito Mintzita, Fracc. Manantiales de Morelia.	Centro.

Verde 4	41	Jose Nicolas de Michelena, Fracc. Michelena.	Lic. Natalio Vazquez Pallares (Esq. Alberto Coria), Col. Primo Tapia.
Verde 4 B	Sin datos.	Sin datos.	Sin datos.

*Fuente: H. Ayuntamiento de Morelia, 2001.*

Con respecto a las rutas urbanas y suburbanas que funcionan con unidades de microbuses, minibuses y autobuses, transporte público “Camión”, el parque vehicular sumaba para el año 2000, 454 unidades de transporte urbano; 240 microbuses, 194 minibuses y 20 camiones.

En la Tabla 2 (elaborado por la jefatura de operaciones de la dirección de transportes del estado en febrero de 1999); se observan por número, las rutas dependientes del transporte público “Camión”, así como una descripción breve de su origen y destino.

**Tabla 2. Rutas del transporte público “Camión” en Morelia en el año 2000.**

No. Ruta	Ruta	No. Unidades	Origen	Destino
1	Circuito Periferico A.	24	INFONAVIT Manatiales.	Crucero Salida Charo.
2	Circuito Periferico B.	23	INFONAVIT Manatiales.	Crucero Salida Charo.
3	Centros Comerciales.	32	Col. Leandro Valle.	Gigante.
4	Alberca A (Col. M. Ocampo).	30	Col. Gertrudis Sanches.	Gigante.
5	Alberca B (Col. Industrial).	Sin datos.	Col. Gertrudis Sanches.	Gigante.
6	Circuito Carrillo.	22	Col. Adolfo Lopez Mateos.	Gigante.
7	Circuito San Juan.	1	San Juanito Itzicuaró.	Gigante.
8	Santa María.	15	Col. Trincheras de Morelos.	Col. Obrera.
9	Magisterio A (P. Juárez).	Sin datos.	Fracc. Xangari.	Merc. San Juan.
10	Magisterio B (SEP).	Sin datos.	Fracc. Xangari.	Merc. San Juan.
11	Santiaguito A (R. del Ch.).	21	Col. La Soledad.	C.U.
12	Santiaguito B (F. del R.).	Sin datos.	Col. La Soledad.	C.U.
13	Industrial.	20	La Aldea.	Col. Jacarandas.
14	Panteon.	21	Col. Colinas del Sur.	Col. 20 de noviembre.
15	Lago.	20	Hospital del ISSSTE.	Fracc. Valle Quieto.
16	Tenencia Morelos.	6	Tenencia Morelos.	Antonio Alzate.
17	Directo.	20	Jose Maria Morelos.	Cruceiro a Mil Cumbres.
18	Popular.	21	Fracc. Xangari.	Hospital del ISSSTE.
19	Exp. Cd. Universitaria A.	16	C.U.	Bucareli.
20	Exp. Trincheras-San Fco.	18	Col. Trincheras de Morelos.	San Francisco.
21	Exp. Torrecillas-San Fco.	Sin datos.	Col. Torrecillas.	San Francisco.
22	Exp. Indeco A.	5	Bosque Cuahutemoc.	Direcc. de Pol. y Tto.
23	Exp. Indeco B.	Sin datos.	Bosque Cuahutemoc.	Direcc. de Pol. y Tto.
24	Exp. L. de Morelia-San Fco.	10	Fracc. Lomas de Morelia.	San Francisco.
25	Exp. Cd. Industrial-San Fco.	Sin datos.	Ciudad Industrial.	San Francisco.
26	Exp. Punhuato-E. Ruiz.	25	Sindurio Norte.	Col. Punhuato.
27	Exp. P. Verdes A.-San Fco.	7	Col. Solidaridad.	San Francisco.
28	Exp. P. Verdes B.-San Fco.	6	Col. Solidaridad.	San Francisco.

29	Exp. Soleada-San Fco.	Sin datos.	Col. Soledad.	San Francisco.
30	Exp. Cd. Universitaria B.	16	C. U.	Bucareli.
31	Exp. Carrillo-J. del Monte.	9	Carrillo.	Jesus del Monte.
32	Exp. L. del Ped.-San Fco.	13	Col. Tanganxoan.	San Francisco.
33	Exp. Niño Artillero-San Fco.	Sin datos.	Col. Niño Artillero.	San Francisco.
34	Exp. I.T.A 7-Balc. De Morelia.	Sin datos.	I.T.A. 7.	Fracc. Balc. de Morelia.
35	Exp. Torrecillas-San Juanito Itzicuaro.	Sin datos.	Col. Torrecillas.	San Juanito Itzicuaro.
36	Atecuaro.	1	Carrillo.	Atecuaro.
37	Joyitas.	1	Fracc. Xangari.	Joyitas.
38	San Bernabe.	1	Fracc. Xangari.	San Bernabe.
39	San Jose Itzicuaro.	1	Fracc. Xangari.	San Jose Itzicuaro.
40	San Juanito Itzicuaro.	6	Fracc. Xangari.	San Juanito Itzicuaro.
41	Torreon Nuevo.	Sin datos.	San Jose.	Gertrudis Sanches.
42	Lucio Cabañas.	Sin datos.	Carrillo.	Col. Lucio Cabañas.
43	Las Palomas.	1	Carrillo	Las Palomas.
44	Carrillo-San Miguel del M.	1	Carrillo	San Miguel del Monte.
45	Carrillo-San Jose de las T.	1	Carrillo	San Jose de las Torres.
46	Punhuato-Niños heroes.	Sin datos.	Sindurio Norte.	Punhuato.
47	Nueva Esperanza-San Fco.	8	Col. Nueva Esperanza.	San Francisco.
48	El Durazno.	Sin datos.	El Durazno.	Col. Obrera.

*Fuente: H. Ayuntamiento de Morelia, 2001.*

En cuanto al transporte público "Taxi", para el año 2000 se tenían las siguientes agrupaciones y unidades registradas, como se observa en la Tabla 3 (elaborado por la jefatura de operaciones de la dirección de transportes del estado en febrero de 1999).

**Tabla 3. Agrupaciones de "Taxis" de Morelia en el año 2000.**

No.	Agrupacion	No. de Unidades
1	Radio Taxi Tarasco.	Sin datos.
2	Radio 30 de Septiembre	50
3	Radio Taxi Morelia.	100
4	Radio Taxi Independencia	13
5	Radio Taxi del Bosque.	36
6	Radio Taxi Tarase.	115
7	Radio Taxi Maquinas Rojas.	82
8	Radio Taxi Pirindas A. C.	25
9	Radio Taxi Ejecutivo.	Sin datos.
10	Radio Taxi Grupo Alfa A. C.	Sin datos.
11	Taxi Tour Morelia.	Sin datos.

12	Radio Taxi Horizonte.	Sin datos.
13	Radio Taxi Laser.	Sin datos.

*Fuente: H. Ayuntamiento de Morelia. 2001.*

## **ESTUDIOS SIMILARES.**

Muchos estudios similares al que se está realizando en este trabajo se han realizado a nivel global, sin embargo cabe resaltar los estudios que por su similitud se han desarrollado en México.

Fernández-Bremauntz, Adrian A. y Ashmore, Michael R. (1991), realizaron el primer estudio de medición de los niveles de exposición de CO en el interior de los vehículos de uso de transporte público en la Ciudad de México, fundamental por ser pionero, debido a que en su mayoría los trabajos realizados hasta entonces, principalmente en Estados Unidos, se centran en medir los niveles de exposición de CO en el interior de los vehículos particulares, el tipo de transporte más usual en dicho país.

En este trabajo las mediciones se efectuaron en el invierno de 1991, de enero a marzo, donde la recolección de datos la efectuaron en el interior de cinco diferentes tipos de transporte público, minivan (“Combi”), minibús (“Camión”), autobús (“Camión”), trolebús y metro, además en un vehículo particular (de cuatro cilindros); las mediciones se efectuaron a lo largo de cinco trayectos diferentes, seleccionados por que por ellos circulaban por lo menos dos tipos diferentes de transporte público, así como presentaban diferente carga de tráfico y recorrían zonas donde la gente se conglomeraba para esperar el transporte público.

Las mediciones las hicieron de lunes a viernes, en dos sesiones por día, en horas pico durante la mañana y la tarde de 6:30 a 9:30 horas y de 17:30 a 20:30 horas respectivamente, con diferentes direcciones, de norte a sur en la mañana y de sur a norte en la tarde, los recorridos los realizaron de ida y de vuelta.

Cabe mencionar que las muestras que tomaron, tanto para el transporte público, como para el vehículo particular fue en la parte de delante de los vehículos, los viajes en coche se hicieron tratando de sincronizarlos con los viajes del transporte público.

Los resultados que obtuvieron fueron: las concentraciones más altas de CO las encontraron en los vehículos que usaban gasolina, es decir, las minivan (“Combi”) y en el vehículo particular; mientras que las concentraciones menores de CO la encontraron en aquellos vehículos que usaban diésel, minibús (“Camión”), autobús (“Camión”) y trolebús, mientras que la concentración más baja la encontraron para el metro; estos resultados los obtuvieron combinando todas las trayectos para un tipo de vehículo de transporte dado.

Además observaron que las diferencias en las concentraciones de CO entre los diferentes tipos de transporte, pudieron ser debidas a varios factores como, la altura del vehículo y el carril por el que circularon los diferentes tipos de transporte.

Wöhrenschiimmel Henry, Zuk Miriam, y colaboradores (2005) realizaron otro estudio en la Ciudad de México, que consistió en medir en el interior de los vehículos de transporte público, autobús (“Camión”), minibús (“Camión”) y metro-bus las concentraciones de CO, benceno, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>, antes y después de implantar en la ciudad la red de transporte público, metro-bus, BRT por sus siglas en inglés (Bus Rapid Transit); y que demostró que se abaten los tiempos de traslado, así como se mejora realmente la calidad del aire que respira la gente mientras viaja en el interior del metro-bus.

En el año 2005 se puso en funcionamiento el BRT (metro-bus) el cual opera a lo largo de 20 km sobre la avenida Insurgentes, con 98 autobuses articulados de alta capacidad (160 pasajeros) con motor diésel moderno y que viaja en carriles separados.

Este estudio consistió básicamente de dos periodos de medición el primero de mayo a agosto del 2004 el cual se efectuó en el interior de minibuses y autobuses a lo largo de la misma avenida; mientras que el segundo periodo de medición se efectuó de agosto a octubre del 2005 ya con el BRT en funcionamiento y los minibuses y autobuses fuera de

servicio. Los dos periodos de medición se efectuaron solo por las mañanas de 7:30 a 9:00 horas.

En este estudio se comprobó que las concentraciones promedio de CO son mayores para los minibuses y autobuses en comparación con las del metro-bus. Así como también una reducción significativa del tiempo de viaje.

Las reducciones observadas después de este cambio en el sistema de transporte público fueron considerables y significativos para CO, benceno y  $PM_{2.5}$ , que son contaminantes asociados principalmente con las emisiones vehiculares. Para estos contaminantes, las reducciones después de la implementación del BRT representaron en promedio el 45%, 69% y 30% menos en relación a los minibuses respectivamente y un promedio de 25%, 54% y 20% menos respectivamente, en relación a los autobuses.

A partir de estos resultados se concluyó que las exposiciones a los pasajeros a los contaminantes del aire durante los desplazamientos se podrían reducir de manera efectiva por los sistemas BRT, este resultado puede ser debido a la optimización de la ventilación de los metro-buses, la altura de su entrada, y la distancia a la que rodea las fuentes vehiculares, ya que el metro-bus circula por una carril especial, al cual solo tiene acceso el propio metro-bus.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN.**

El municipio de Morelia se caracteriza por ser una ciudad con un crecimiento demográfico y poblacional elevado, se suma a ello el crecimiento no controlado de su parque vehicular, particularmente de los vehículos de uso para transporte público. También existen problemas muy serios de vialidad, como la insuficiencia de arterias viales, en relación con los vehículos que circulan diariamente por ellas. Todo esto contribuye al aumento de las emisiones contaminantes de las fuentes móviles entre ellas las del monóxido de carbono, lo que con lleva a un alto nivel de exposición de las personas que usan diariamente el transporte público.

La realización de este tipo de estudios en la ciudad de Morelia, sobre el nivel de exposición de CO de los usuarios en el interior de los diferentes tipos de vehículos de transporte público, contribuiría a identificar aquellos espacios donde la población está más expuesta a este contaminante, como las arterias viales de gran circulación vehicular por las que circulan los diferentes tipos de vehículos de transporte público.

El presente trabajo de investigación, queda perfectamente justificado, ya que se podrán prevenir problemas de salud. La normativa vigente internacional, EPA (Environmental Protection Agency) de los Estados Unidos de América ha relacionado que a bajos niveles de exposición (concentración) de CO, incluso por debajo de lo establecido que es de 9 ppm para un periodo de 8 horas de exposición, personas expuestas pueden presentar de 2 a un 3% de COHb en la sangre, lo que provoca que personas con enfermedad cardiovascular crónica agraven sus síntomas de isquemia del corazón (cardiopatía isquémica).

### ***1.3 HIPÓTESIS.***

La exposición de los usuarios en el interior de los vehículos de transporte público a diferentes niveles de exposición de monóxido de carbono (CO), dependen del tipo de vehículo de transporte público, tiempo de exposición (tiempo de trayecto) y de la zona donde se encuentre el vehículo de transporte público en circulación.

### ***1.4 OBJETIVO GENERAL.***

Evaluar el nivel de exposición de monóxido de carbono (CO), en una arteria vial de alto flujo vehicular en la ciudad de Morelia, Michoacán.

#### ***1.4.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS.***

1. Diseñar y realizar una campaña de monitoreo para medir el nivel de exposición de CO y sus variables asociadas, temperatura y tiempo de exposición en el interior de los diferentes tipos de vehículo de transporte público.
2. Analizar los datos obtenidos de la campaña de monitoreo por tipo de vehículo de transporte público.

## CAPÍTULO II

### **2.1 MARCO TEÓRICO.**

#### **2.1.1 MECANISMO DE FORMACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO.**

En los motores convencionales de los vehículos, una mezcla de aire y combustible, suministrada por el sistema de inyección se admite a la cámara de combustión durante la carrera de admisión del pistón, luego es comprimida y encendida, durante la carrera de compresión. La mezcla se quema y los productos de la combustión se expanden, cuando el pistón viaja hacia abajo durante la carrera de expansión. Los productos de la combustión son expulsados del cilindro durante la carrera de expulsión para llegar al sistema de escape.

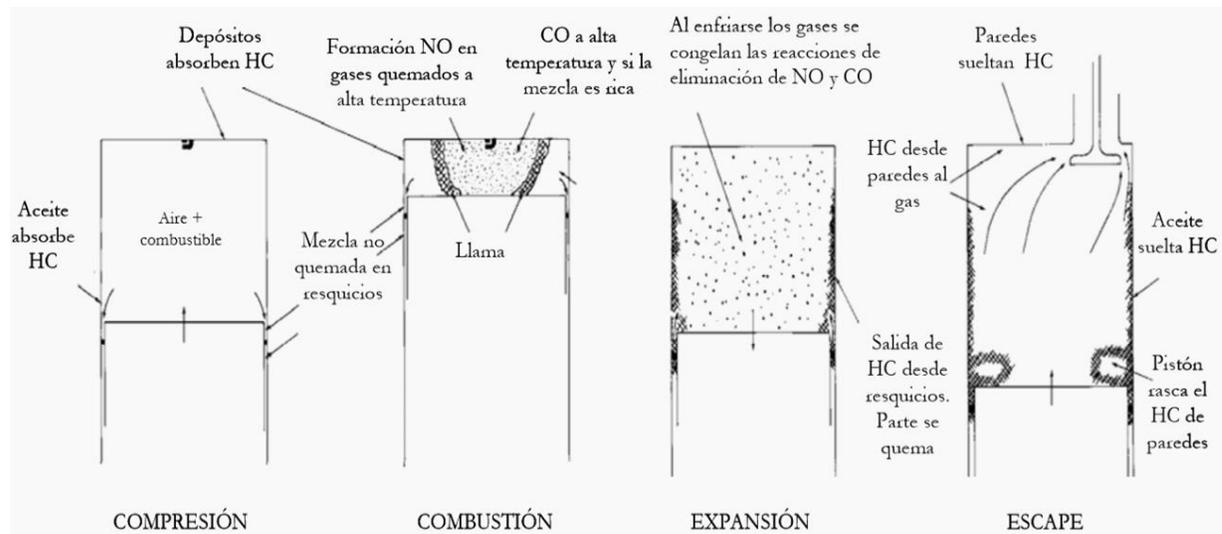
La combustión completa, teórica, es aquella en la que para quemar cierta cantidad de combustible se requiere de la cantidad necesaria de oxígeno (O<sub>2</sub>), proporcionado por el aire, y se define como la conversión total del carbono (C) e hidrógeno (H) en bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y en agua (H<sub>2</sub>O) respectivamente. Dicha reacción se conoce como la reacción teórica o estequiometría. Resulta conveniente definir la relación de mezcla. Esta es la relación de masa de aire requerida por masa de combustible requerido para la combustión.

$$\text{Relación de mezcla} = \frac{\text{Masa de aire}}{\text{Masa de combustible}}$$

Cuando la relación de mezcla es mayor de 1, significa que se está suministrando más aire del requerido, existe un exceso de aire y la mezcla se conoce como mezcla pobre, por otro lado, si el valor de la relación de mezcla es menor de 1, significa que la masa de aire suministrada es menor que la requerida y se dice que la mezcla es rica (Wark Kenneth y Warner Cecil F. 2003).

Instantáneamente en un motor de combustión se enciende la mezcla aire-combustible y la flama se propaga rápidamente por toda la cámara de combustión, a través de la mezcla

sin quemar y en dirección a las paredes de la cámara (véase, Figura 3). La cámara de combustión está a baja temperatura, debido a que son enfriadas por aire o agua (sistema de enfriamiento del motor) por la parte externa. Por tanto, la mezcla de combustible se enfría por contacto con estas superficies a menor temperatura. Este fenómeno hace que baje la temperatura de la mezcla aire-combustible hasta un grado en el que la flama se alcanza a apagar antes de que se haya consumido todo el combustible presente, lo que provoca la formación de una capa delgada de hidrocarburos (HC) sin quemar a lo largo de la pared de la cámara. Estos hidrocarburos no quemados se eliminan y se descargan junto con los gases de combustión.



**Figura 3. Formación de CO, HC no quemados y NO en las etapas un motor de encendido provocado.**

El CO al igual que los HC no quemados, es el resultado de la combustión incompleta del combustible. Por tanto, las condiciones que promueven la total combustión tienden a reducir la cantidad de CO presente en el gas de escape del motor. Un método para reducir la emisión de CO consiste en hacer funcionar el motor con relaciones de mezcla pobres. Se ha encontrado también que el valor de la relación entre el aire y el combustible influye en la cantidad de HC no quemados emitidos por un motor, pues una mezcla pobre también mitiga la cantidad de HC no quemados en las emisiones del motor. Sin embargo, las emisiones de HC no quemados vuelven a incrementarse debido a problemas de apagado de la flama en algunas zonas de la mezcla que conducen adicionalmente a una mala

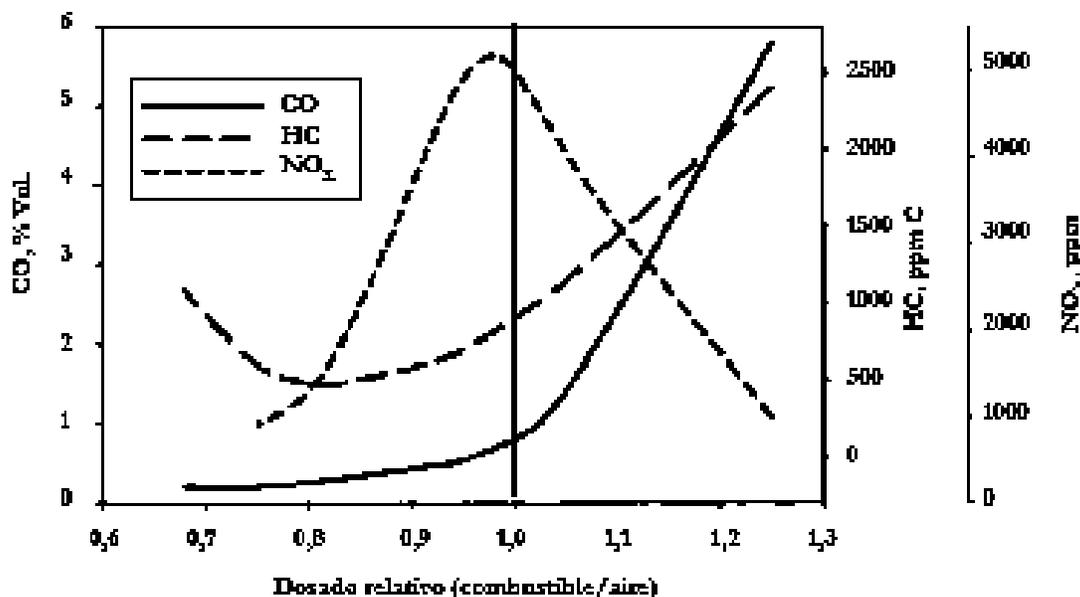
operación del motor, lo que eventualmente se conoce como falla de encendido. La mezcla es tan pobre que la combustión no se mantiene por la chispa de encendido.

Durante el arranque en frío y el calentamiento del motor, se emiten grandes cantidades de HC no quemados y CO debido a la alta volatilidad del combustible y a la mayor relación de mezcla que se requiere para que el motor arranque.

Los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) se forman básicamente por reacciones entre el oxígeno y el nitrógeno atmosféricos admitidos al motor. El monóxido de nitrógeno (NO) se forma en la cámara de combustión en las zonas de alta temperatura por los gases quemados, debido a la oxidación del nitrógeno presente en el aire. En los motores, las emisiones de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) son muy bajas, debido a que esta sustancia se forma por oxidación de monóxido de nitrógeno cuando hay exceso de oxígeno, que en condiciones normales de funcionamiento es muy escaso o no hay.

Se ve de lo expuesto, que la formación del NO y del CO se debe principalmente a fenómenos asociados a la química y cinética de la combustión, mientras que la formación de HC se debe principalmente a fenómenos físicos de apagado de la flama en las paredes del cilindro, es decir, su composición es básicamente combustible no quemado.

La relación de aire y combustible es el parámetro que más influye en la concentración de las emisiones de escape de un motor. Las tendencias que existen sobre la influencia de la relación de mezcla sobre la concentración de CO, HC y NO<sub>x</sub> en los gases de escape en un motor convencional, se puede observar en la Figura 4. Las emisiones de NO<sub>x</sub> son máximas para una relación de mezcla cercana al valor estequiométrico, debido a que se conjuga una alta temperatura de combustión con un relativo exceso de oxígeno. Monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados se reducen para bajas relaciones de mezcla, aunque para relaciones de mezcla por debajo de un valor crítico, las emisiones de HC no quemados vuelven a incrementarse debido a problemas de apagado de flama que conducen adicionalmente a una mala operación del motor.



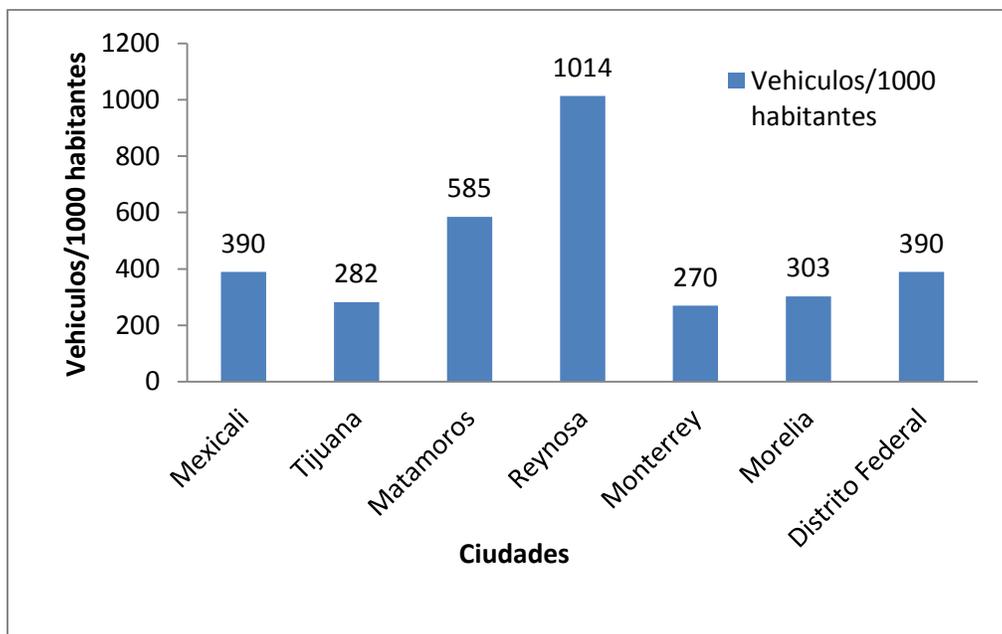
Fuente: Fonseca González, 2012.

**Figura 4. Variación de la concentración de HC no quemados, CO y NO en los gases de escape de un motor de encendido provocado en relación con la relación de mezcla.**

### 2.1.2 ESTUDIO DE EMISIONES Y ACTIVIDAD VEHICULARES EN MORELIA, MICHOACÁN.

En septiembre del 2010, el INE, SEMARNAT y SUMA realizaron una serie de trabajos de campo en la ciudad de Morelia, con la finalidad de obtener información que permitiera elaborar un diagnóstico de las condiciones de las emisiones y actividades bajo las cuales circulaban los vehículos automotores de dicha ciudad. Los trabajos de campo consistieron básicamente en la medición de emisiones vehiculares y la recopilación de datos de la composición y actividad de la flota vehicular.

El índice de motorización de la ciudad era de 303 vehículos por cada mil habitantes, esto es comparable con otras ciudades del país, para ese mismo año, 2008, por ejemplo la ZMVM contaba con una tasa de 390 vehículos por cada mil habitantes, véase Figura 5.



Fuente: INE, SEMARNAT y SUMA, 2010.

**Figura 5. Índice de motorización de Morelia y algunas ciudades de la república mexicana.**

Otro dato importante que se obtuvo fue la composición del parque vehicular pues proporcionaba información acerca de los tipos de vehículos, de acuerdo a su carrocería que circulaban en la ciudad; es decir, si son vehículos automotores compactos, SUV, VAN, pick up y camiones pesados. Esta clasificación del parque vehicular es importante debido a que cada tipo de vehículo tiene características muy particulares, tales como peso, sistema de control de emisiones, número de cilindros, cilindrada, tipo de combustible que utilizan, entre otros, los cuales influyen directamente en la cantidad y el tipo de contaminantes que emiten a la atmósfera. Los resultados obtenidos fueron que del 100% de vehículos que se tomaron en cuenta durante el estudio el 64.37% eran automóviles particulares; 18.01% eran pick up; 2.8% VAN; 14.24% SUV, 0.15% transporte público y 0.43% camiones pesados.

Se obtuvo además, el modelo de una muestra de 19,772 vehículos fotografiados. La antigüedad promedio de todo el parque vehicular que circulaba en Morelia. De acuerdo con los resultados obtenidos, el 65% de los vehículos tenía una antigüedad menor o igual a 10 años y el 35% mayor a 10 años de antigüedad.

Un análisis importante que no debemos pasar por alto, por los resultados obtenidos, es la edad de la flota vehicular por el tipo de servicio que ofrecían, es decir, si se utilizaba para servicio particular o de servicio público (“Taxi” y “Combi”, que son del tipo autos compactos y SUV/VAN respectivamente), dicho análisis mostro que los vehículos de servicio público son comparativamente más nuevos que los de servicio particular, pues de éstos, el 62% tenía menos de 10 años de edad, mientras que los vehículos de servicio particular, el 83% presentaba edad mayor a 10 años.

Para el análisis del comportamiento de las emisiones vehiculares de la ciudad de Morelia, el análisis se dividió en dos categorías que consideraba los siguientes grupos vehiculares: 1) vehículos con antigüedad mayor a diez años (1998 y anteriores) y 2) vehículos con antigüedad menor o igual a diez años (1999 y posteriores). El análisis de las emisiones bajo esta clasificación tenía la finalidad de observar la relación entre las emisiones y la antigüedad y tecnología del vehículo.

Para las emisiones del CO obtuvieron, que del total de las lecturas utilizadas para este análisis, 38% corresponden a vehículos con antigüedad menor a 10 años; y el 62% a vehículos con antigüedad mayor a 10 años. Después del análisis de estos datos se pudo concluir que el 98% de los vehículos más antiguos emiten 3 veces más CO, que el 98% de los más recientes.

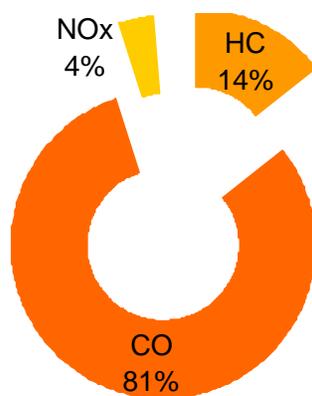
Uno de los principales factores que influyen en la emisión de contaminantes provenientes de los vehículos automotores es la actividad del vehículo, es decir, la distancia que recorre en un determinado periodo de tiempo. Por ejemplo, generalmente los vehículos de uso intensivo como los del transporte público recorren distancias más grandes que los vehículos de uso particular, de ahí surge el interés por comparar las emisiones provenientes de las SUV/VAN de uso particular y público. Uno de los principales medios de transporte público lo constituyen las “Combis” (categorizadas como SUV/VAN por su capacidad y peso), por lo que resulta interesante observar el comportamiento de las emisiones para vehículos de uso intensivo contra otros con un uso menos intenso. El

análisis de emisiones se realizó también para dos estratos vehiculares: 1998 y anteriores y 1999 y posteriores.

Se obtuvo que las SUV/VAN de servicio público para los estratos 1998 y anteriores, y 1999 y posteriores, emiten 119.8% y 168.2% más CO, respectivamente, que las SUV/VAN de uso particular. Esta diferencia en emisión puede explicarse por la actividad y el desgaste que sufren las SUV/VAN de servicio público con respecto a las de uso particular. (INE, SEMARNAT, DGICUR, DGCENICA, 2010)

### **2.1.3 INVENTARIO DE EMISIONES DE MORELIA Y 5 MUNICIPIOS, 2008 CON AÑO BASE DE 2005.**

El inventario de emisiones realizado para la ZMMorelia (Zona Metropolitana de Morelia) y cinco municipios más (Álvaro Obregón, Charo, Indaparapeo, Tarímbaro y Zinapécuaro), elaborado por el gobierno del estado y la secretaria de urbanismo y medio ambiente (SUMA) en el 2008, muestra que del total de contaminantes emitidos al año a la atmosfera, el CO aporta el 81%, véase Figura 6, provenientes tanto de fuentes antropogénicas (fuentes móviles, de área y fijas) como de fuentes biogénicas.

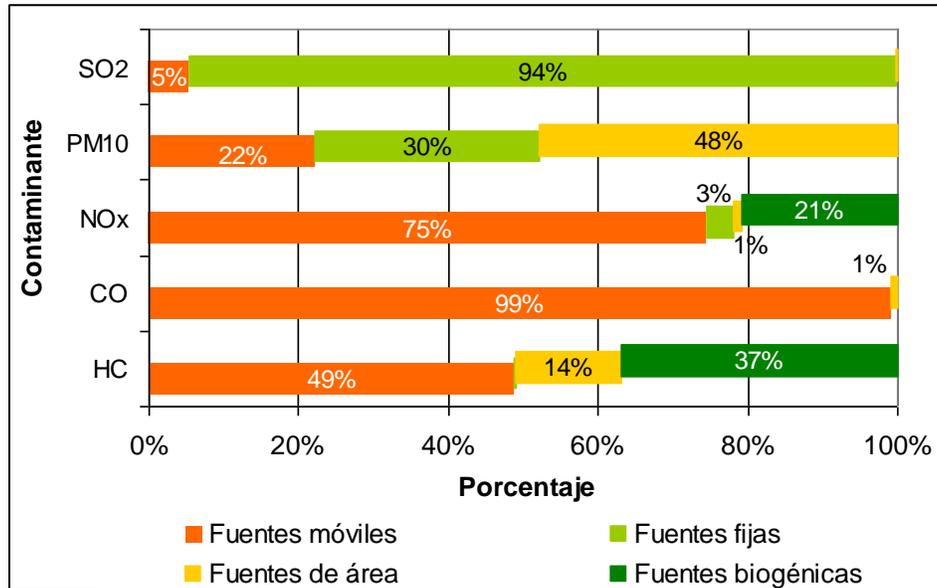


El SO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub> representa menos del 1% del total

**Fuente:** SUMA, Gobierno del estado de Michoacán, 2008.

**Figura 6. Emisiones generales por tipo de contaminante.**

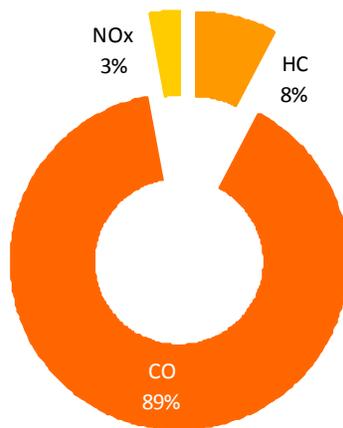
En cuanto a la emisión por tipo de fuente, la Figura 7 muestra que la principal fuente de emisión de monóxido de carbono (CO), provienen de las fuentes móviles.



Fuente: SUMA, Gobierno del estado de Michoacán, 2008.

Figura 7. Contribución general de emisiones por tipo de fuente.

Como se observa en la Figura 8, para fuentes móviles, se muestra que el principal contaminante emitido por esta tipo de fuente es el monóxido de carbono (CO) con el 89% de aportación.

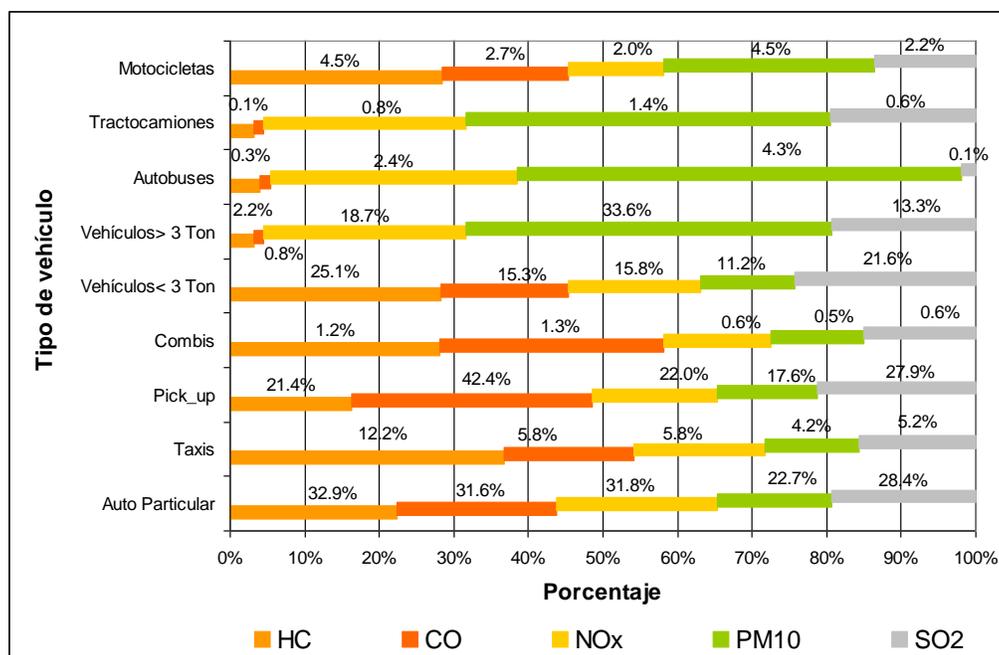


El SO2 y PM10 representa menos del 1%

Fuente: SUMA, Gobierno del estado de Michoacán, 2008.

Figura 8. Distribución de contaminantes por fuentes móviles.

Por último, como se observa en el la Figura 9, la emisión por tipo de vehículo muestra que, las combis aportan solo el 1.3% de CO.



Fuente: SUMA, Gobierno del estado de Michoacán, 2008.

Figura 9. Distribución de emisiones por tipo de vehículo y contaminante.

#### 2.1.4 EFECTOS DEL CO EN LA SALUD.

Existen diversos estudios que demuestran que las altas concentraciones de CO pueden causar cambios fisiológicos y patológicos y finalmente la muerte. El monóxido de carbono es un veneno que inhalado priva a los tejidos del cuerpo del oxígeno necesario. De hecho la Organización Mundial de la Salud y la EPA, recomiendan que la exposición al CO en el aire ambiente exterior no sobrepase de 9 ppm para un periodo de 8 horas una vez al año (ya que se ha encontrado que a esta concentración la sangre llega a tener hasta 2% a 3% de COHb, véase Tabla 4); mientras que para las exposiciones laborales los límites van desde 25 a 50 ppm en una jornada típica de 8 horas; por ejemplo, la NOM-010-STPS-1999, marca que un trabajador en una jornada de 8 horas de trabajo no deberá estar expuesto a más de 50 ppm. La NOM-021-SSA1-1993, la cual indica que la concentración máxima en el ambiente exterior no rebasara las 11 ppm.

**Tabla 4. Relación de porcentaje de COHb en la sangre en función de la concentración de CO (ppm) en el ambiente.**

<i>CO en la atmosfera</i>		<i>COHb estimado en la sangre (%)</i>
<i>%</i>	<i>Ppm</i>	
0.001	10	2
0.007	70	10
0.012	120	20
0.022	220	30
0.035-0.052	350-520	40-50
0.080-0.122	800-1220	60-70
0.195	1950	80

*Fuente: Wark Kenneth y Warner Cecil F., 2003.*

El monóxido de carbono es imposible de detectar por una persona que este expuesta, ya que es incoloro, insípido e inodoro, y no irritante. Cuando se inhala, el CO se absorbe fácilmente por los pulmones al torrente sanguíneo; en altas concentraciones el monóxido de carbono puede causar la muerte. El monóxido de carbono con la hemoglobina de los glóbulos rojos de la sangre conduce a la formación de la carboxihemoglobina COHb; mientras que la combinación del oxígeno y la hemoglobina producen la oxihemoglobina OHb. La hemoglobina tiene una afinidad por el CO aproximadamente de 200 a 250 veces más que al oxígeno (Wark Kenneth y Warner Cecil F, 2003).

La presencia de COHb en la sangre disminuye la capacidad de transporte de oxígeno, reduciendo la disponibilidad de oxígeno a los tejidos del cuerpo. El suministro de oxígeno de los tejidos depende de la cantidad de sangre que el corazón bombea por minuto (gasto cardiaco) y del contenido de oxígeno arterial de dicha sangre, si este proceso se ve afectado, las células del cuerpo mueren.

Por tanto la cantidad de COHb es una función de la concentración del CO en el aire respirado. Afortunadamente, la formación del COHb en el torrente sanguíneo es un proceso reversible. Cuando cesa la exposición, el CO que se combinó con la hemoglobina es liberado espontáneamente, y la sangre queda libre de la mitad del CO, en pacientes saludables y en un periodo de 3 a 4 horas. El nivel normal de COHb en la sangre oscila generalmente entre 1% en personas que no fuman, esto debido por el CO producido dentro del cuerpo, independientemente de las fuentes externas; para que el nivel de

carboxihemoglobina no exceda de 2.5% en la sangre, la concentración del CO del aire no debe superar ciertas cantidades, en ciertos períodos de tiempo, según se aprecia en la Tabla 5 (Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación (COSUDE), SWISSCONTACT, escuela técnica de salud boliviano japonés, instituto de investigaciones biomédicas de la universidad mayor de San Simón, 2007).

**Tabla 5. Tiempo de exposición y concentración de CO (ppm) requeridos para un porcentaje de COHb de 2.5% en la sangre.**

Concentración de Monóxido de Carbono	Tiempo de Exposición
100 mg/m <sup>3</sup> (87 ppm)	15 minutos
60 mg/m <sup>3</sup> (52 ppm)	30 minutos
30 mg/m <sup>3</sup> (26 ppm)	1 hora
10 mg/m <sup>3</sup> (9 ppm)	8 horas

*Fuente: COSUDE, SWISSCONTACT, 2007.*

Las personas pueden experimentar muy diferentes manifestaciones clínicas por la intoxicación de CO, incluso bajo condiciones de exposición similares; aunque estas manifestaciones clínicas están relacionadas con la duración del tiempo de exposición y la concentración de CO básicamente.

Muchos expertos opinan que el CO no es un veneno acumulativo, es decir, no ocurre envenenamiento crónico como resultado de la exposición a largo plazo a concentraciones relativamente bajas.

Así, personas que han estado expuestas a concentraciones de CO bajos, pero con periodos de exposición prolongados pueden presentar daños cardiovasculares y del sistema nervioso central, como, cefalea (dolor de cabeza), mareos, náuseas, vómitos, confusión, desorientación, alteraciones visuales, disnea (falta de aire al respirar), sueño o cansancio, aumento de pulso y frecuencia cardiaca (véase, Tabla 6); mientras que para la exposición a concentraciones altas y tiempos de exposición cortos, los síntomas van desde inconciencia, convulsiones, paros cardiorrespiratorios, coma y la muerte. Sin embargo, poco se sabe sobre el envenenamiento crónico por CO, y es a menudo mal diagnosticado.

**Tabla 6. Efectos en la salud por el tiempo de exposición y la concentración de CO en el aire.**

Concentración CO en el aire (ppm)	Tiempo de inhalación	Síntomas
50	8 horas	No hay efectos observables (OSHA)
200	2-3 horas	Ligero dolor de cabeza, cansancio, fatiga, náuseas.
400 (máx. Concentración en gases de combustión según Norma EPA)	1-2 horas	Dolor de cabeza frontal.
800	45 minutos	Desvanecimiento, náuseas, convulsiones.
	2 horas	Inconsciencia
	2-3 horas	Muerte
1600	20 minutos	Desvanecimiento
	1 hora	Muerte
3200	5-10 minutos	Inconsciencia
	20 minutos	Muerte

*Fuente: COSUDE, SWISSCONTACT, 2007.*

Mecanismos no relacionados con la unión del CO con la hemoglobina pueden ser especialmente relevantes cuando se considera los riesgos de salud asociados con niveles bajos de CO, intoxicación crónica, se da gracias a que el CO se combina con la mioglobina (proteína parecida a la hemoglobina encargada de almacenar O<sub>2</sub> en los músculos cardiacos), y algunas enzimas encargadas de almacenar O<sub>2</sub> donde se requieren grandes cantidades para satisfacer la demanda energética de las contracciones, resultado en una hipoxia tisular, por el transporte inadecuado de oxígeno, lo que provoca lesiones cardiacas y daños en los tejidos de los pulmones (Raub James A., Mathieu-Nolf Monique, Hampson Neil B., Thom Stephen R, 1999).

Debido a esto personas que sufren de enfermedades cardiacas crónica pueden presentar síntomas como la isquemia cardiaca (insuficiencia coronaria), y llegar a sufrir de infarto al miocardio (tejido muscular del corazón, músculo encargado de bombear la sangre por el sistema circulatorio mediante contracción).

Un caso común de envenenamiento de CO en la población tiene que ver con el humo del cigarro. Un fumador de cigarrillos puede estar expuesto a 400-500 ppm de CO durante aproximadamente 6 minutos que es el tiempo que se necesita para fumar un cigarrillo típico. Los grandes fumadores pueden alcanzar niveles de COHb de hasta 15%, en

comparación, con los no fumadores promedio que llegan a tener cerca de 1% de COHb en la sangre.

Además de ser una fuente de CO para los fumadores y no fumadores, el humo del tabaco también es una fuente de otros productos químicos (por ejemplo, el dióxido de nitrógeno, cianuro de hidrógeno, hidrocarburos poli-aromáticos, nicotina) con la que CO ambiental podría interactuar. Los datos disponibles sugieren que la exposición al CO aguda y crónica que se atribuye al humo del cigarro puede afectar el sistema cardiopulmonar, pero el potencial de interacción de CO con otros productos de cigarro confunde los resultados. Se necesitan más investigaciones para determinar la importancia toxicológica de CO solo y en combinación con los otros componentes del humo del cigarro (Raub James A., Mathieu-Nolf Monique, Hampson Neil B., Thom Stephen R. 1999).

A continuación se presentan la Tabla 7; que muestra algunos de los efectos en la salud con respecto a los niveles de COHb en la sangre.

**Tabla 7. Efectos sobre la salud en relación al porcentaje de COHb en la sangre.**

<i>Carboxihemoglobina</i>	
Nivel de COHb (%).	EFFECTOS.
< 1.0	No hay efectos aparentes
1.0-2.0	Hay alguna evidencia de efectos sobre la conducta.
2.0-5.0	Efectos sobre el sistema nervioso central. Efectos en el discernimiento de los intervalos de tiempo, agudeza visual, discernimiento de la luminosidad, y algunas otras funciones psicomotoras
>5.0	Cambios funcionales cardiacos y pulmonares.
10.0-8.0	Dolores de cabeza, fatiga, somnolencia, coma, fallas respiratorias, muerte.

**Fuente:** Wark Kenneth y Warner Cecil F., 2003.

## **CAPÍTULO III**

### **3.1 METODOLOGÍA**

#### *3.1.1 DISEÑO DE LA CAMPAÑA DE MONITOREO.*

La ciudad de Morelia cuenta con dos tipos de vehículos de transporte público, los vehículos de transporte público “Combi” y los vehículos de transporte público “Camión”, denominados así, debido a sus características particulares de peso, capacidad para transportar gente y tipo de combustible que utilizan, entre otros. Debido a la falta de homogenización en cuanto a modelos y marcas en los vehículos de transporte público. Nombraremos transporte público “Combi” a aquellos vehículos con capacidad para transportar aproximadamente hasta 20 personas, usuarios y chofer, y transporte público “Camión” a aquellos vehículos con una capacidad para transportar aproximadamente hasta 40 personas, usuarios y chofer, véase Figura 11.

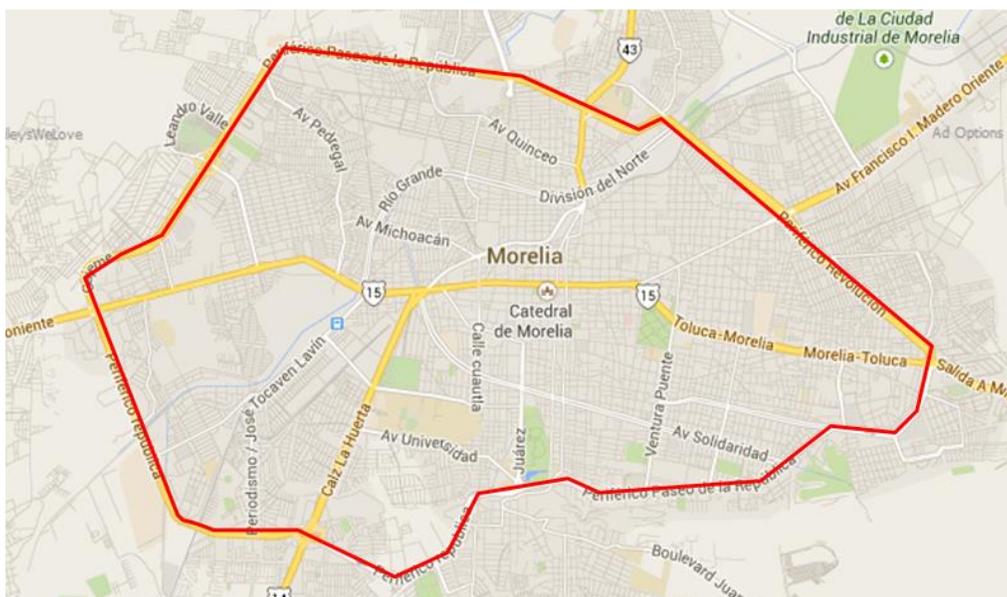
La recolección de datos consistió en tomar mediciones de los diferentes niveles de exposición de CO, y de sus variables asociadas, temperatura y tiempo de trayecto, en el interior de los diferentes tipos de vehículos de transporte público durante el viaje como pasajero a lo largo de un trayecto seleccionado una arteria vial de alto flujo vehicular por el cual circulan además de los diferentes tipos de vehículos de transporte público, otros tipos de vehículos: particulares, volteos, autobuses, pipas, remolques, etc.

Se seleccionó como trayecto el circuito, anillo periférico (libramiento) de Morelia (véase, Figura 10), ya que en este trayecto circulan al mismo tiempo los diferentes tipos de vehículos de transporte público, “Combi” y “Camión”; debido a que en otras zonas de Morelia, solo circula por un mismo trayecto, por lo general, un solo tipo de vehículo de transporte público; además de ser un trayecto en el que el transporte público que circula por él, no tiene dos bases, en consecuencia no hace dos recorridos, para terminar su trayecto completo, es decir, no tiene un trayecto de ida y otro de regreso.

El anillo periférico cuenta con dos anillos por los que circulan los vehículos, una parte hace su recorrido de trayecto por el anillo interno del libramiento y la otra parte, por el anillo exterior, es decir, una parte lo hace de norte a sur y otro de sur a norte.

La medición se efectuó en el periodo (otoño-invierno), comprendido del 2 de diciembre al 14 de diciembre del 2013 por el anillo exterior del libramiento (mide aproximadamente 26.7 Km), es decir, de sur a norte de la ciudad de Morelia. Cada muestra consta de una vuelta al circuito periférico, con lecturas en 26 zonas o paradas diferentes establecidas de acuerdo al tráfico que se presentan durante todo el recorrido del circuito periférico.

Cinco muestras son recolectadas por día en diferentes horarios, atendiendo al criterio de horas pico; los horarios establecidos para las muestras son 07:00, 10:00, 14:00, 16:00 y 19:00 horas, siendo los horarios de 07:00, 14:00 y 19:00 las horas pico. Se registraron el tiempo comprendido desde el inicio hasta el final del recorrido del trayecto.



Fuente: <http://maps.google.com>

**Figura 10. Circuito periférico (libramiento) de Morelia.**

La primera parte del periodo de muestreo comprendió del lunes 2 al sábado 7 de diciembre del 2013, la medición se efectuó en el interior del transporte público "Combi" Ruta Gris 1 (Como se muestra en la Figura 11); mientras que para la segunda parte del

periodo de muestreo comprendió del lunes 9 al sábado 14 de diciembre del 2013, se efectuó en el interior del transporte público “Camión” Ruta Rojo 1 (véase, Figura 11).



**Figura 11. A la izquierda imagen del transporte público “Combi” Ruta Gris uno y a la derecha imagen del transporte público “Camión” Ruta Rojo uno.**

Las mediciones se llevaron a cabo de lunes a sábado, porque se consideró que el día domingo es irregular para la mayoría de la gente, debido a que ese día el tráfico disminuye por factores como: la falta de actividades escolares y laborales.

El punto inicial y final para la toma de muestras fue la parada ubicada en la dirección Periférico Paseo de la República esquina con la Avenida Siervo de la Nación (enfrente del edificio del INFONAVIT).

Durante la toma de muestras, la ventanilla del conductor estaba semi-abierta, es decir, hasta la mitad. No hay aire acondicionado o calefacción. Cabe señalar que, las ventanillas intermedias estuvieron cerradas, vehículos libres de humo de tabaco. Otro aspecto a señalar es la posición de donde se tomó la muestra dentro del vehículo, siempre en la misma posición, a una altura intermedia del vehículo de transporte público.

Es importante mencionar que durante el periodo de muestreo el ayuntamiento de Morelia estaba dando mantenimiento a poco menos de 3 kilómetros del libramiento, en sus carriles centrales (véase Figura 12), que comprenden desde la avenida Ventura Puente (parada del centro de autoservicio “Bodega Aurrera”), hasta el boulevard Rafael García de León (parada del centro comercial “Plaza las Américas”).



**Figura 12. Mantenimiento de los carriles centrales en en el anillo periférico de Morelia.**

Durante la toma de muestreo se consideró la posibilidad de presenciar fenómenos ajenos a nosotros como precipitación fluvial, emisiones inusuales por parte de otros vehículos que circulaban al mismo tiempo del transporte público y acumulación de tráfico a causa de factores externos como marchas, plantones, accidentes y circulación del ferrocarril. Cabe señalar que ninguno de estos fenómenos se presentó durante el periodo de muestreo.

Es causa de mención que durante el periodo de muestreo efectuado en el tipo de transporte público “Camión” Ruta Roja 1, se presentó un día festivo religioso, marcado en el calendario como no oficial, el día 12 de diciembre, día de la Virgen de Guadalupe y que es un día de tradición en el cual se suspenden algunas actividades escolares y laborales para la comunidad moreliana.

### **3.1.2 EQUIPO DE MUESTREO.**

El equipo que se usó fue el Fluke 975 AIRMETER, Figura 13, equipo que permite obtener lecturas del monóxido de carbono, bióxido de carbono, porcentaje de humedad relativa y la temperatura al mismo tiempo, tiene un rango de medición de 0 a 500 ppm de CO, con resolución de la pantalla de 1 ppm. Funciona con la más nueva generación de sensores

electroquímicos, responde rápidamente a los cambios de la concentración de CO, sin el uso de una bomba. El rango de temperatura al cual opera el equipo es de -20 a 60 °C.

El equipo se encontraba calibrado por un laboratorio de metrología lo único que se verificó diariamente, después de la última medición, fue que el aparato estuviera funcionando correctamente, por lo que se medía la concentración de CO, en una atmosfera de temperatura y presión controlada.

Un sensor electroquímico consiste en un electrodo sensor (cátodo) y un electrodo contador (ánodo) separados por una delgada capa de electrolito. El gas que se pone en contacto con el cátodo y reacciona en la superficie provocando una reacción de oxidación y reducción.



**Figura 13. Fotografía del equipo de medición Fluke 975 AirMeter.**

### **3.1.3 FECHAS DE MUESTREO.**

Las fechas en la que se realizó la evaluación de la concentración ambiental fue el 2 de diciembre del 2013 al 14 de diciembre del 2013, es decir, en época estacional otoño-invierno, ya que en esta fecha la variación de la temperatura por el día es susceptible por

el cuerpo humano, es decir, se puede apreciar que las mañanas y las noches son más frías que en el resto del día; además de que para este tiempo las lluvias cesaron.

Las fechas, los horarios en que se muestrearon y el tipo de transporte público que se usó, se resume en la *Tabla 8*.

**Tabla 8. Fechas y horarios de medición en el transporte público “Combi” y “Camión”.**

Fecha	Horario	Tipo	Fecha	Horario	Tipo
<b>02/12/2013</b>	07:00	Combi	<b>09/12/2013</b>	07:00	Camión
	10:00	Combi		10:00	Camión
	14:00	Combi		14:00	Camión
	16:00	Combi		16:00	Camión
	19:00	Combi		19:00	Camión
<b>03/12/2013</b>	07:00	Combi	<b>10/12/2013</b>	07:00	Camión
	10:00	Combi		10:00	Camión
	14:00	Combi		14:00	Camión
	16:00	Combi		16:00	Camión
	19:00	Combi		19:00	Camión
<b>04/12/2013</b>	07:00	Combi	<b>11/12/2013</b>	07:00	Camión
	10:00	Combi		10:00	Camión
	14:00	Combi		14:00	Camión
	16:00	Combi		16:00	Camión
	19:00	Combi		19:00	Camión
<b>05/12/2013</b>	07:00	Combi	<b>12/12/2013</b>	07:00	Camión
	10:00	Combi		10:00	Camión
	14:00	Combi		14:00	Camión
	16:00	Combi		16:00	Camión
	19:00	Combi		19:00	Camión
<b>06/12/2013</b>	07:00	Combi	<b>13/12/2013</b>	07:00	Camión
	10:00	Combi		10:00	Camión
	14:00	Combi		14:00	Camión
	16:00	Combi		16:00	Camión
	19:00	Combi		19:00	Camión
<b>07/12/2013</b>	07:00	Combi	<b>14/12/2013</b>	07:00	Camión
	10:00	Combi		10:00	Camión
	14:00	Combi		14:00	Camión
	16:00	Combi		16:00	Camión
	19:00	Combi		19:00	Camión

### 3.1.4 PUNTOS DE MUESTREO.

Se escogieron 26 puntos de muestreo, paradas o zonas donde se tomarían las lecturas de los niveles de exposición de CO y la temperatura en el interior del vehículo de transporte público (“Combi” y “Camión”), en este caso la connotación de las paradas para su rápida identificación fueron, como se muestra en la Tabla 9.

En la Figura 14 se puede observar la ubicación de las paradas o zonas de muestreo en el libramiento de Morelia.

**Tabla 9. Paradas o zonas donde se tomaron los niveles de CO y temperatura dentro del vehículo de transporte público “Combi” y “Camión”.**

No. de Parada	Nombre de la parada
1	“Inicio” (parada enfrente del INFONAVIT, periférico paseo de la republica esquina con Av. Siervo de la nación).
2	Embotelladora refresquera “Pepsi”.
3	Colonia el “Xangari”.
4	Tienda de autoservicio “Costco”.
5	Casa de gobierno.
6	Zoológico “Benito Juárez”
7	Tienda de autoservicio “Bodega Aurrera”
8	Hospital medico “IMSS”
9	Tienda de autoservicio “Office Depot”
10	Centro comercial “Las Américas”
11	Centro comercial “Plaza Morelia”
12	Salida “Mil Cumbres”
13	Instituto “Lancaster”
14	Colonia “San Rafael”
15	Motel “Motel Inn”
16	“Salida Charo”
17	“Mercado de Abastos”
18	Instituto tecnológico de Morelia “Tec”
19	Colonia “Torreón Nuevo”
20	“Avenida Huaniqueo”
21	Tienda de autoservicio “WalMart”
22	“Central” de autobuses de Morelia
23	“SCT” (Secretaria de Comunicaciones y Transportes)
24	“Salida Quiroga”
25	Colonia “Manantiales”
26	“Final” (parada enfrente del INFONAVIT, periférico paseo de la republica esquina con Av. Siervo de la nación).





**3. Colonia "Xangari"**



**4. Tienda. "Costco"**



**5. "Casa de gobierno"**



**6. "Zoológico"**



**7. "Bodega Aurrera"**



**8. "IMSS"**



**9. "Office Depot"**



**10. "Plaza las Américas"**



11. "Plaza Morelia"



12. "Mil Cumbres"



13. "Lancaster"



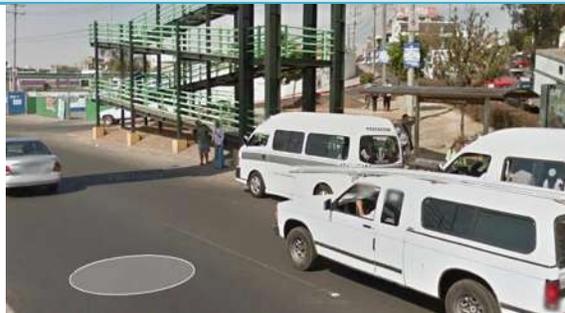
14. "San Rafael"



15. "Motel Inn"



16. "Salida Charo"



17. "Mercado de Abastos"



18. "Tecnológico de Morelia"



19. "Torreón Nuevo"



20. "Av. Huaniqueo"



21. "WalMart"



22. "Central de Autobuses"



23. "SCT"



24. "Salida Quiroga"



25. Colonia "Manantiales"



26. "Final"

### 3.1.5 FORMATOS DE CAPTURA DE DATOS.

El formato que se utilizó para recabar los datos (niveles de exposición de CO, temperatura y tiempo de trayecto) durante la campaña, es como se puede apreciar en la Figura 15.



MEDICIÓN DE PARTICULAS CONTAMINANTES EN TRANSPORTE PÚBLICO



MODELO: Missoula NÚMERO: 81 FECHA: 04/12/2013 HORA DE INICIO: 14:10 HORA FINAL: 15:28

PARADAS	CONTADOR DE PARTICULAS										MEDIDOR DE CO Y CO2 (ppm)			HORA	CRONOM.
	T (°C)	% H. R.	0.3 (µm)	0.5 (µm)	1.0 (µm)	2.0 (µm)	3.0 (µm)	10.0 (µm)	T(°C)	% H. R.	CO	CO2			
BASE	26	53	896330	7069	2715	1974	596	84	26	53	3	2097			
PEPSI	27	51	63295	6202	1310	774	194	16	27	51	3	812	5:00		
XANGARI	28	49	80308	1039	2906	1685	302	27	28	49	5	1022	8:27		
COSTCO	28	50	83554	12630	2411	1288	242	34	28	50	3	051	10:46		
CASA DE GOBIERNO	29	48	88157	10122	1826	1732	109	18	29	48	9	128	13:52		
ZOOLOGICO	29	49	105974	9133	2427	1205	223	29	29	49	10	924	15:35		
AURERA	31	40	82833	8470	119	558	140	24	31	40	3	706	19:40		
IMISS	30	49	91009	2987	2987	1937	567	86	30	49	3	848	22:00		
OFFICE DEPOT	30	52	100151	8923	653	323	67	10	30	52	1	305	28:38		
LAS AMERICAS	31	50	102204	7809	1571	540	270	35	31	50	3	180	31:03		
PLAZA MORELIA	30	52	104789	19208	4106	2626	721	86	30	52	3	719	34:53		
MIL CUMBRES	31	49	105517	7227	1067	573	146	24	31	49	7	616	38:34		
LANCASTER	31	50	107253	8349	1647	878	160	23	31	50	6	94	39:00		
SAN RAFAEL	31	51	13637	11055	3346	2046	495	67	31	51	7	741	39:53		
MOTEL INN	31	51	98105	12182	2237	981	154	16	31	51	4	672	41:20		
SALIDA CHARO	31	50	93036	7463	1520	873	196	28	31	50	3	600	43:03		
ABASTOS	31	51	121817	8101	1552	733	164	20	31	51	14	705	46:15		
TEC.	33	40	87562	14620	2585	1075	180	29	23	40	10	600	50:13		
TORREÓN NUEVO	30	54	248653	7349	1089	518	74	7	30	54	2	674	53:43		
AV. HUANIQUEO	30	54	137495	16840	5277	1592	240	41	30	54	3	600	55:00		
WALMART	30	55	100853	47379	8972	3791	863	126	30	55	6	730	1:00:38		
CENTRAL	32	51	89115	19476	10065	6725	1721	204	32	51	5	715	1:03:54		
SCT	33	40	122025	12770	4060	2487	576	76	33	40	5	774	1:06:24		
SALIDA QUIROGA	31	51	92731	7898	1511	814	171	23	31	51	3	552	1:13:00		
MANANTIALES	33	49	103102	8427	1825	1055	272	42	33	49	40	608	1:14:00		
BASE	33	40	119379	28787	18869	13573	4106	754	33	40	5	629	1:17:09		

Elaboró: Víctor Daniel Sandoval García  
 Anahí Guadalupe Solís Castro  
 Rubén Ramos García

Revisó: Arturo Rangel Gonze  
 Aprobó: Dr. Marco Antonio Martínez Cinco

Figura 15. Formato de captura de datos utilizado durante la campaña de monitoreo del CO en el periférico de la ciudad de Morelia.

### 3.1.6 TRATAMIENTO DE DATOS.

El conjunto de datos recolectados durante la campaña de monitoreo, será tratado con las diferentes herramientas estadísticas descriptivas con el fin de ordenar, analizar y representar apropiadamente las mejores características de este conjunto de datos obtenido. Todo con la ayuda de software, como Excel y Minitab.

Haremos uso de gráficos para una mejor interpretación de los resultados obtenidos.

#### **Media.**

Es el valor característico de un conjunto de datos cuantitativos objeto de estudio, se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$$

Dónde:

n Número de datos totales.

a<sub>i</sub> Dato i.

#### **Prueba de t para medias de dos muestras emparejadas.**

Aplicaremos a los datos obtenidos durante la campaña de monitoreo, el análisis estadístico de la “prueba de t para medias de dos muestras emparejadas”, partiendo de que las muestras son dependientes y que el nivel de exposición de CO en el transporte público “Combi” no es el mismo que el nivel de exposición de CO del transporte público “Camión”, ya que los niveles de exposición de CO tomadas en el interior, tanto en los vehículos de transporte público “Combi” como en los vehículos de transporte “Camión” dependen no solo de las emisiones provenientes de estos vehículos, sino también dependen de las emisiones de CO provenientes de otros vehículos que circulaban a sus alrededores, y en general de las particularidades del ambiente externo de donde se tomó el nivel de CO en ese momento.

## CAPÍTULO IV

### 4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### EXPOSICIÓN POR TIPO DE VEHÍCULO DE TRANSPORTE PÚBLICO.

Los vehículos del transporte público “Combi” presentan un valor promedio mayor del 18% del nivel de exposición de CO, en comparación con los vehículos de transporte público “Camión”, esto puede deberse al tipo de combustible que utilizan, ya que el transporte público “Combi” utiliza gasolina y el transporte público “Camión” utiliza diésel. En la Figura 16 se resumen los valores promedio de los niveles de exposición de CO generales, tomados para los dos tipos de transporte público.

Se realizó además un análisis estadístico de prueba de t para medias de dos muestras emparejadas, de la cual obtuvimos para este par de datos el P-valor  $\leq 0.00$ , lo cual indica que la diferencia de medias de los datos recolectados durante la campaña de monitoreo no se deben al azar.

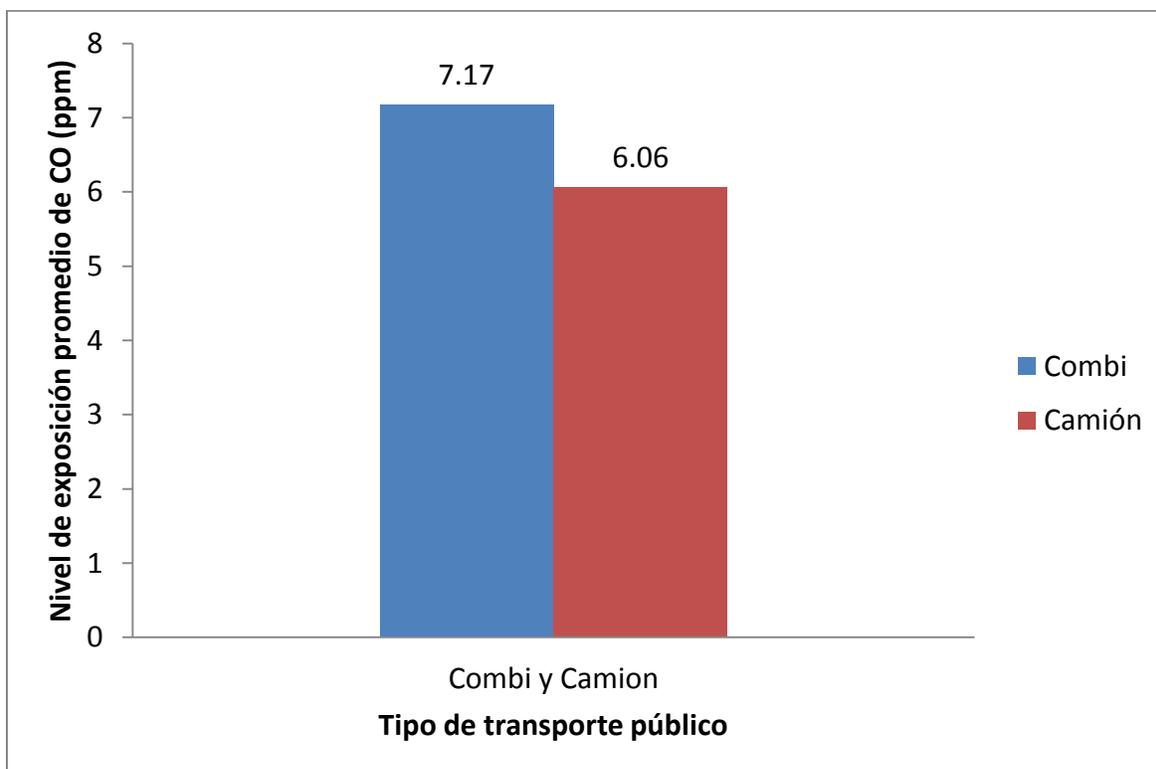


Figura 16. Valores promedio de los niveles de exposición de CO (ppm) por tipo de transporte público, “Combi” y “Camión”.

## **EXPOSICIÓN POR TIPO DE TRANSPORTE PÚBLICO Y HORARIO DEL DÍA.**

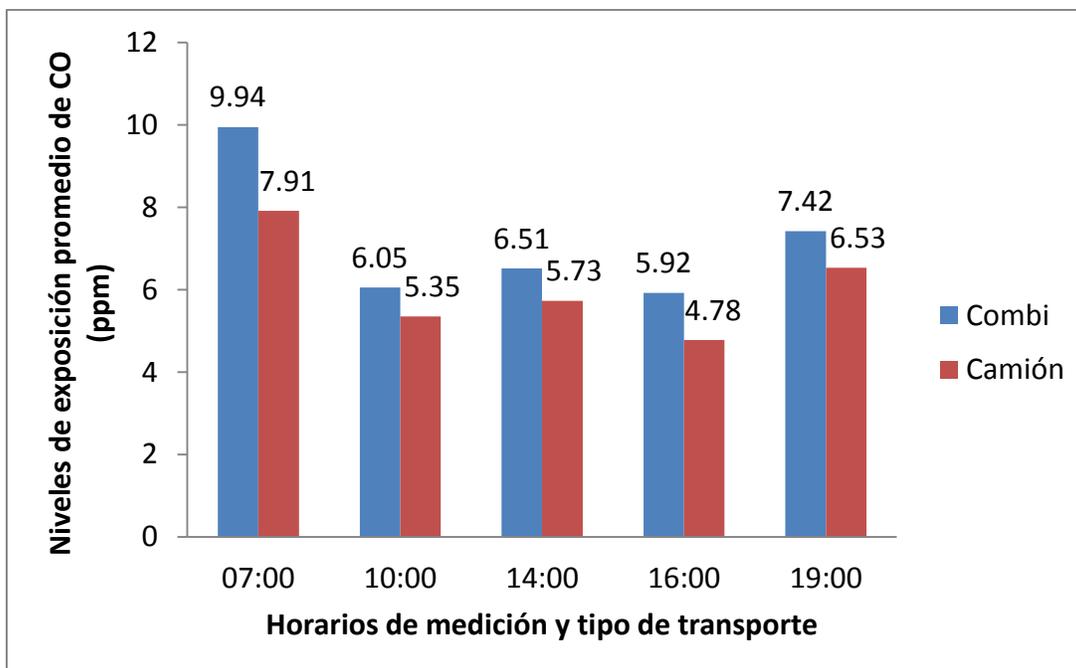
Por el horario del día, se obtuvo que durante los horarios pico de 07:00, 14:00 y 19:00 horas (véase, Figura 17), los valores promedio de los niveles exposición de CO fueron mayores; en comparación con los horarios no pico; 10:00 y 16:00 horas, sin embargo, el valor promedio más alto de exposición de CO se dio durante el horario de las 07:00 horas, con una diferencia mayor del 26% entre los vehículos de transporte público “Combi” y los vehículos de transporte público “Camión” esto puede deberse a que el CO es un precursor de la formación del ozono (O<sub>3</sub>) en presencia de los rayos ultravioletas proporcionados por el sol, y a esta hora del día la intensidad de los rayos ultravioleta es mínima.

En todos los horarios del día los valores promedio de los niveles de exposición de CO fueron mayores en los vehículos de transporte público “Combi” en comparación con los valores promedio de nivel de exposición obtenidos para el transporte público “Camión”.

En la Tabla 11, se muestra el P-valor calculado para los diferentes pares de datos tomados por tipo vehículo de transporte público “Combi” y “Camión” por horario del día, en los cuales se observa que para P-valores < 0.05 los niveles de exposición de CO tomados en el interior de los vehículos de transporte público “Combi” como de los vehículos de transporte público “Camión” dependen no solo de las emisiones provenientes de estos vehículos sino que también dependen de las emisiones de CO provenientes de otros vehículos que circulaban a sus alrededores, y en general de las particularidades del ambiente de la parada donde se tomó el nivel de CO en ese momento, lo cual indica que la diferencia de cada una de las medias de los datos recolectados durante la campaña de monitoreo no se deben al azar.

**Tabla 11. P-valor de la prueba de t para medias de dos muestras emparejadas, de los diferentes horarios del día para los vehículos de transporte público “Combi” y “Camión”.**

<b>Horario de medición.</b>	<b>P-valor.</b>
<b>07:00</b>	<b>1.4637 E-05</b>
<b>10:00</b>	<b>0.0167</b>
<b>14:00</b>	<b>0.0866</b>
<b>16:00</b>	<b>0.0029</b>
<b>19:00</b>	<b>0.0356</b>



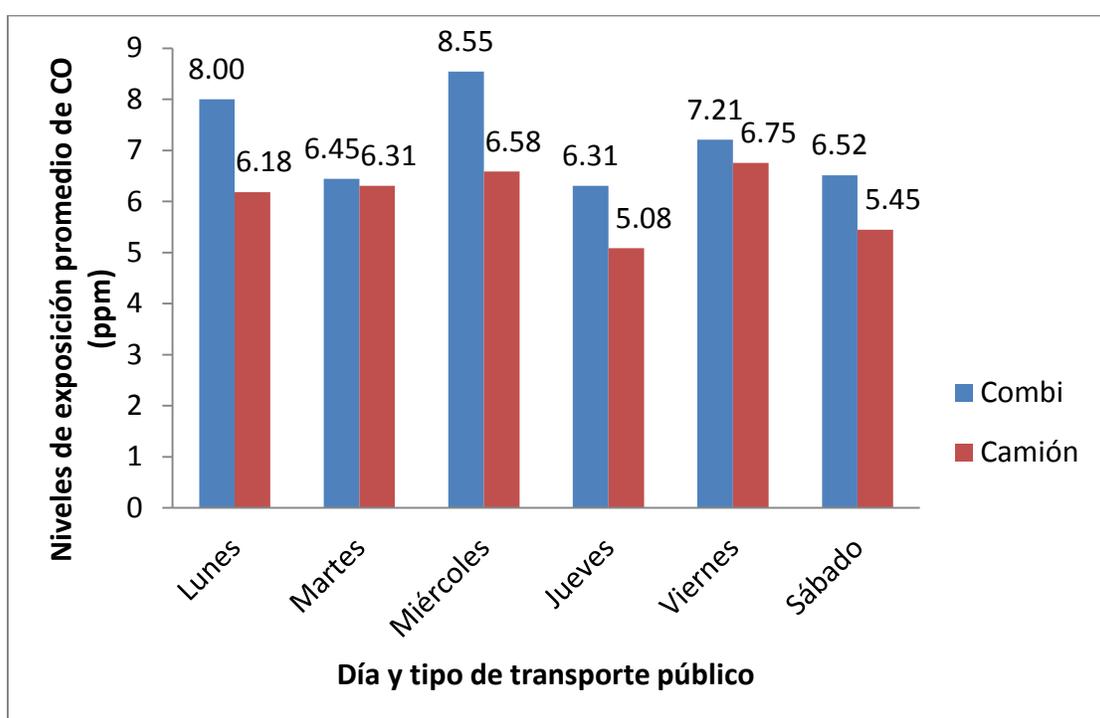
*Figura 17. Valores promedio de los niveles de exposición de CO (ppm), por horario del día y tipo de transporte público “Combi” y “Camión”.*

### **EXPOSICIÓN POR TIPO DE TRANSPORTE PÚBLICO Y DÍA DE MEDICIÓN.**

De la Figura 18, se puede observar, que aunque no se presenta una tendencia marcada para los valores promedio del nivel de exposición de CO por día, para los dos tipos de transporte público, los días lunes, miércoles y viernes son días en el cual los dos tipos de transporte público presentan un valor promedio de nivel de exposición de CO alto; además como se mencionó, el día jueves 12 de diciembre, fue el día que presentó el valor más bajo de exposición de CO, tanto para el tipo de transporte público “Combi”, como para el tipo de transporte público “Camión”, esto se pudiera deber a que es un día festivo religioso, marcado como no oficial, día de la Virgen de Guadalupe. De igual forma el tipo de vehículo de transporte público “Combi” presentó los valores promedio de nivel de exposición de CO más altos en comparación con los de tipo de vehículo transporte público “Camión”.

En la Tabla 12, se muestra el P-valor calculado para los diferentes pares de datos tomados por tipo vehículo de transporte público “Combi” y “Camión” por día de medición, en los

cuales se observa que para P-valores < 0.05 los niveles de exposición de CO tomados en el interior de los vehículos de transporte público “Combi” como de los vehículos de transporte público “Camión” dependen no solo de las emisiones provenientes de estos vehículos sino que también dependen de las emisiones de CO provenientes de otros vehículos que circulaban a sus alrededores, y en general de las particularidades del ambiente de la parada donde se tomó el nivel de CO en ese momento, lo cual indica que la diferencia de cada una de las medias de los datos recolectados durante la campaña de monitoreo no se deben al azar.



**Figura 18. Valores promedio de los niveles de exposición de CO (ppm), por día de medición y tipo de transporte público “Combi” y “Camión”.**

**Tabla 12. P-valor de la prueba de t para medias de dos muestras emparejadas, de los diferentes días de medición para los tipos de vehículos de transporte público “Combi” y “Camión”.**

Día de medición.	P-valor
Lunes	1.9129 E-06
Martes	0.7427
Miércoles	0.0013
Jueves	5.4231 E-05

<b>Viernes</b>	<b>0.3662</b>
<b>Sábado</b>	<b>0.0096</b>

### **EXPOSICIÓN POR TIPO DE TRANSPORTE PÚBLICO Y ZONA DE MEDICIÓN (PARADA).**

De nuevo los vehículos de transporte público “Combi”, presentaron en su mayoría los valores promedio más altos de nivel de exposición de CO por parada, en comparación con los vehículos de transporte público “Camión”.

Aunque no coinciden los dos tipos de transporte público en las paradas que tienen los valores más altos de promedio de nivel de exposición de CO, sí coinciden en aquellas paradas que presentan los valores altos de nivel de exposición de CO.

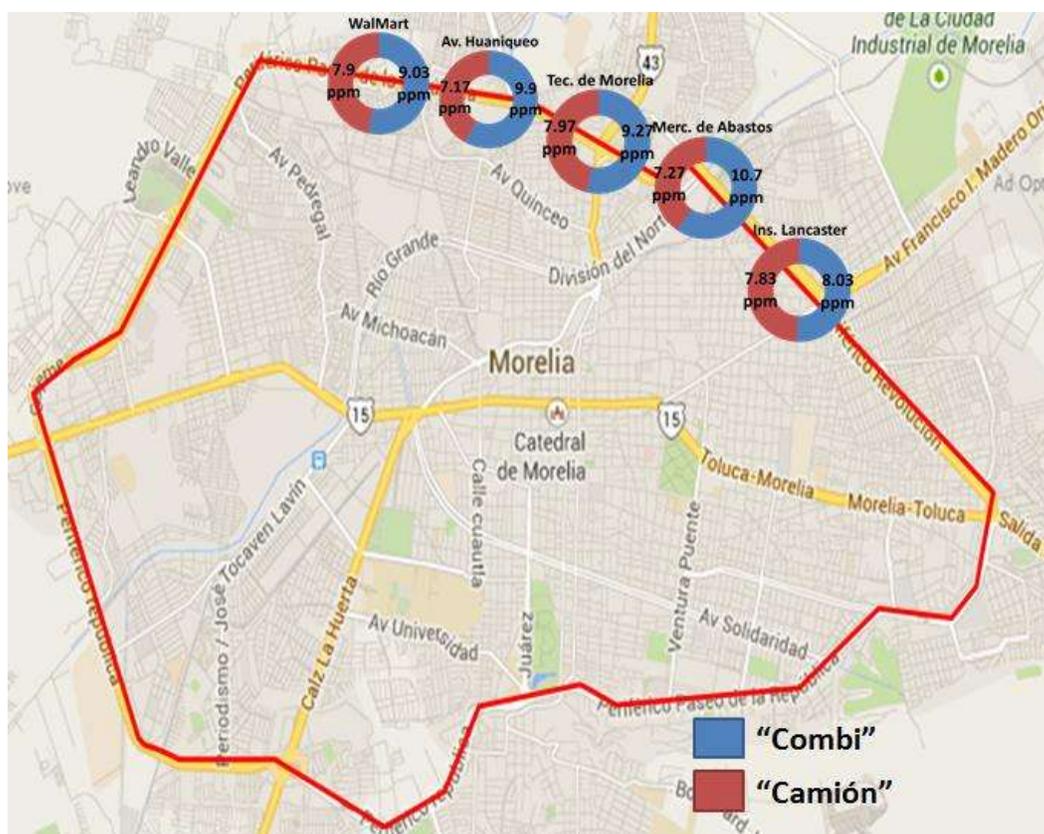
Las cinco zonas que presentan los valores promedio más altos de nivel de exposición de CO para los tipos de transporte público “Combi” y transporte público “Camión” se encuentra ubicadas hacia la parte norte de Morelia y son: “Instituto Lancaster”, “Mercado de Abastos”, “Tecnológico de Morelia”, “Av. Huaniqueo” y “Tienda de autoservicio WalMart” (véase, Figura 19). El tipo de transporte público “Combi” presentó el valor promedio más alto en la zona denominada “Mercado de Abastos”, mientras que para el tipo de transporte público “Camión” presentó el valor más alto en la zona del “Tecnológico de Morelia”; sin embargo para estas dos zonas el tipo de transporte público “Combi” presenta una diferencia mayor del 47% y del 16% respectivamente, en comparación con los valores presentados por el transporte público “Camión”. El que la parte norte de Morelia presentara los valores promedios más altos de nivel de exposición de CO puede deberse a la antigüedad del parque vehicular que circula por estas paradas.

En la Tabla 13, se muestra el P-valor calculado para los diferentes pares de datos tomados por tipo vehículo de transporte público “Combi” y “Camión” por parada, en los cuales se observa que para P-valores < 0.05 los niveles de exposición de CO tomados en el interior de los vehículos de transporte público “Combi” como de los vehículos de transporte público “Camión” dependen no solo de las emisiones provenientes de estos vehículos sino que también dependen de las emisiones de CO provenientes de otros vehículos que

circulaban a sus alrededores, y en general de las particularidades del ambiente de la parada donde se tomó el nivel de CO en ese momento, lo cual indica que la diferencia de cada una de las medias de los datos recolectados durante la campaña de monitoreo no se deben al azar.

**Tabla 13. P-valor de la prueba de t para medias de dos muestras emparejadas, de las diferentes zonas de medición para los tipos de transporte público “Combi” y “Camión”.**

Zonas de medición.	P-valor
Instituto Lancaster	0.7931
Mercado de Abastos.	0.0092
Tecnológico de Morelia	0.2675
Av. Huaniqueo	0.0163
Tienda WalMart	0.2778



**Figura 19. Valores promedio de los niveles de exposición de CO (ppm) por zona de medición (parada) y tipo de transporte público “Combi” y “Camión”.**

## **TIEMPO DE EXPOSICIÓN DE CO.**

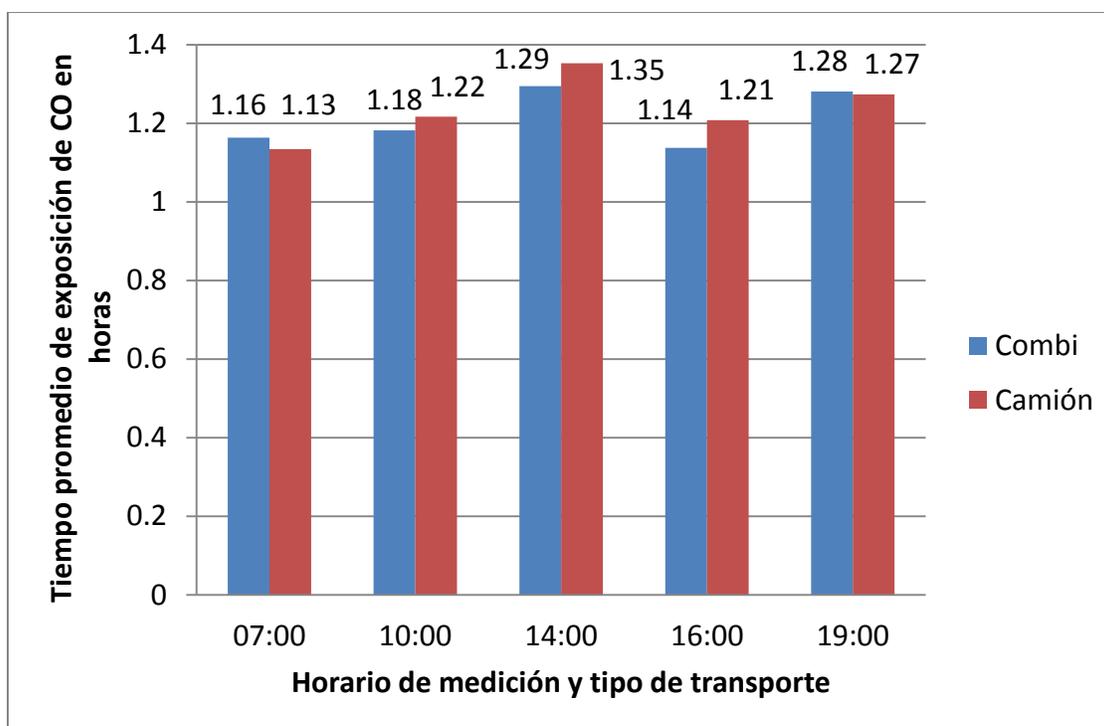
En cuanto a los tiempos de exposición (tiempo de trayecto), estos se estimaron primero por promedio general, es decir, el valor promedio del tiempo total por tipo de vehículo de transporte público, del cual el transporte público "Combi" presenta un valor promedio de tiempo de exposición de 1.41 horas, mientras que para el transporte público "Camión" el valor promedio de tiempo de exposición es de 1.44 horas, es decir, que el transporte público "Combi" presenta 0.03 horas, 1.8 minutos, (2%) menos de tiempo de exposición de CO que el tipo de transporte público "Camión". Siendo el horario (Figura 20) de las 14:00 horas el que presento un tiempo mayor de trayecto (tiempo de exposición) tanto para los vehículos de transporte público "Combi" como de los vehículos de transporte público "Camión", lo cual se puede deber al incremento en la carga vehicular que circula a esta hora por el circuito periférico de Morelia.

Además, es bueno observar que estos son tiempos promedios estimados para el recorrido de una vuelta en el circuito periférico y que por consiguiente, es mínima la cantidad, por no decir nula, de usuarios que llega a terminar este recorrido en un horario determinado del día, a excepción del chofer. Ya que el usuario que completa el recorrido de una vuelta en el circuito periférico, lo llega a hacer en diferentes horarios del día, puesto que este es un medio para dirigirse al lugar donde realizara sus actividades cotidianas. Y que este promedio solo nos sirve como una medida de comparación.

Mientras que el chofer es un caso especial, debido a que ellos se encuentran en su área (ambiente) de trabajo, es decir, son trabajadores y por tanto tienen su norma ya establecida, NOM-010-STPS-1999, la cual indica el nivel y tiempo permitido de exposición de CO para un trabajador. Además los choferes del tipo de transporte público "Combi" en particular de la Ruta Gris 1, realizan un recorrido de dos vueltas al circuito periférico durante cada turno, es decir, cuando no se encuentran en servicio el chofer está en la base, esperando su turno para realizar su recorrido de dos vueltas al circuito periférico; mientras que los choferes de los vehículos del transporte público "Camión" Ruta Roja 1, dan tantas vueltas al circuito periférico como se les permita, antes de dirigirse a la base; lo

que complica la estimación del tiempo promedio del nivel de exposición de CO para los choferes de los distintos tipos de transporte público.

En la Tabla 14, se muestra el P-valor calculado para los diferentes pares de datos tomados para los tiempos de exposición de CO en el transporte público “Combi” y transporte público “Camión” de los diferentes horarios de medición, en los cuales se observa que para P-valores < 0.05, los tiempos de exposición dependen no solo del tiempo proveniente de los vehículos donde se toma la medición, sino en general de las circunstancias que se tuvieron mientras se tomaron las mediciones a los largo del recorrido del trayecto.



**Figura 20. Tiempo promedio del recorrido del trayecto (tiempo de exposición) por tipo de transporte público “Combi” y “Camión”.**

**Tabla 14. P-valor de la prueba de t para medias de dos muestras emparejadas para el tiempo promedio de exposición y horarios del día para el tipo de transporte público “Combi” y “Camión”.**

Horario de medición	P-valor
07:00	0.3979
10:00	0.4861

<b>14:00</b>	<b>0.4603</b>
<b>16:00</b>	<b>0.1476</b>
<b>19:00</b>	<b>0.8968</b>

### **COMPARACIÓN CON LA NOM-021-SSA1-1993 Y LA EPA 1971.**

A falta de normativa federal e internacional para los valores promedio de los niveles de exposición de CO en el interior de los diferentes tipos de vehículos de transporte público y de vehículos en general, se hace referencia a la norma mexicana NOM-021-SSA1-1993 y la norma internacional de la EPA de los Estados Unidos de América de 1971, pues son las normas más similares con la que se pudiera comparar, ya que mencionan los valores de los niveles de exposición (concentración) de CO del aire ambiente externo, siendo que el valor de exposición de CO de las personas no debe sobrepasar los 11 ppm para la NOM-021-SSA1-1993 y de 9 ppm para la EPA de 1971 en un promedio de ocho horas una vez al año. Haciendo uso de esta información las siguientes figuras de la Figura 21 a la Figura 26 muestran aquellas zonas o paradas, en los diferentes tipos de vehículos de transporte público “Combi” y “Camión” por día, que llegaron a superar los valores promedio de los niveles de exposición de CO, establecidos por estas normas.

Por ejemplo, la Figura 21 muestra la parada “Mercado de Abastos”, la cual presenta un valor promedio general para el transporte público “Combi” de 10.7 ppm en la cual se puede observar que el nivel de exposición de CO, establecido por la NOM-021-SSA1-1193, es superada en dos días, el día 03/12/2013 y el día 06/12/2013, donde los valores de CO son 13.6 ppm y 12.8 ppm respectivamente; mientras que para la norma de la EPA la norma fue superada en 5 días a excepción del sábado, día que no supero el valor de la norma.

En La Figura 24 se muestra la parada “Colonia Manantiales” presentó el valor promedio de nivel de exposición más alto de 16 ppm para el día 04/12/2013, esto para el transporte público “Combi”.

Para el transporte público “Camión” la Figura 25 y la Figura 26 muestran las paradas en las que se presentó los valores promedio mayores para este tipo de transporte, se observa

que para la parada “Salida Mil Cumbres” (véase, Figura 25) el día 13/12/2013 presentó el valor promedio más alto de nivel de exposición de CO de 14.2 ppm, además en la Figura 26 se muestra la parada “Tienda de autoservicio Bodega Aurrera” que presentó un valor promedio de exposición de CO de 13.6 ppm para el día 11/12/2013.

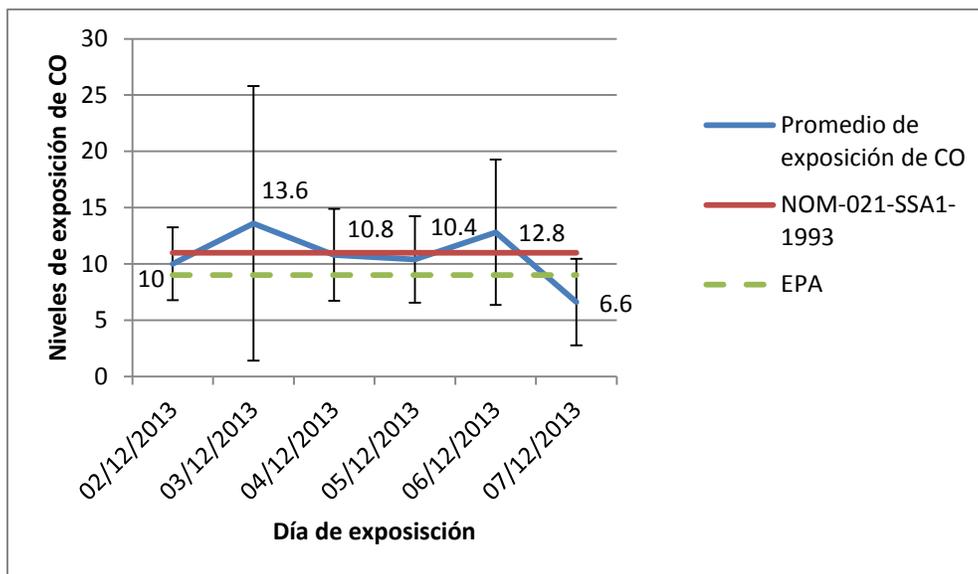


Figura 21. Comparación de los niveles de exposición de CO de la parada “Mercado de Abastos” contra la NOM-021-SSA1-1993 y EPA-1971, por día para el tipo de transporte público “Combi”.

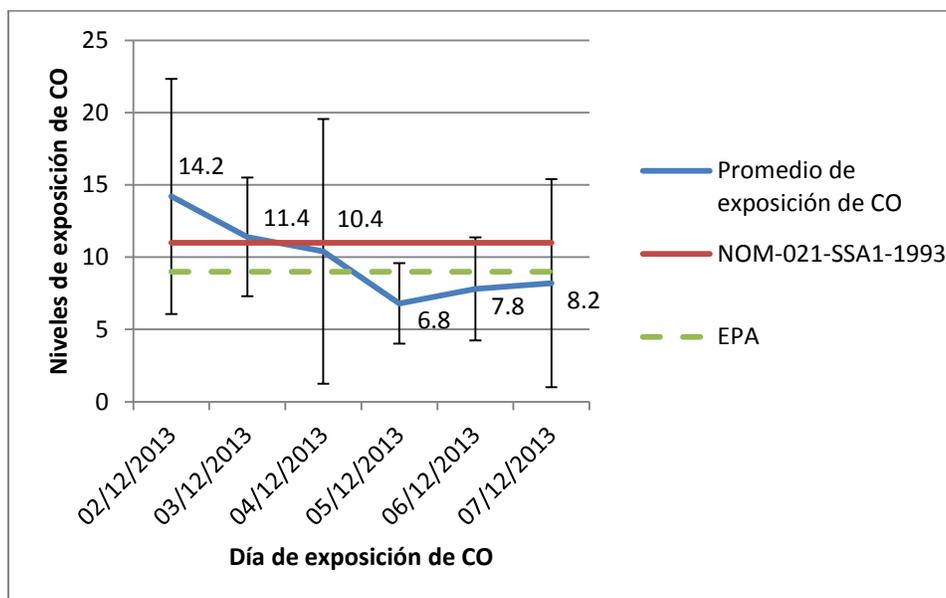
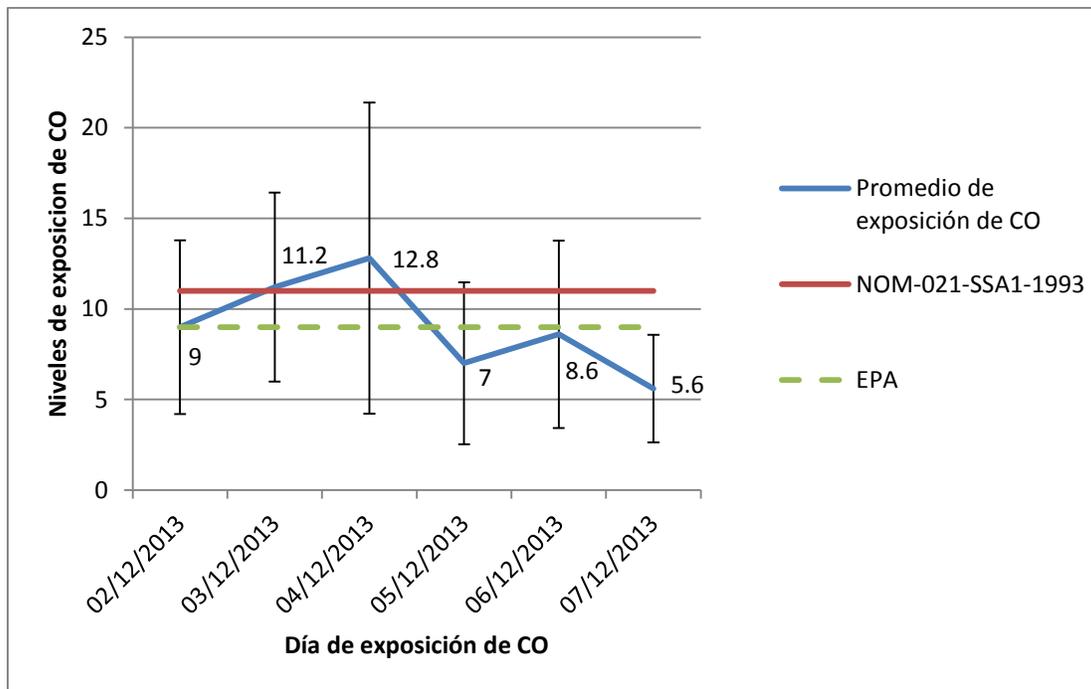
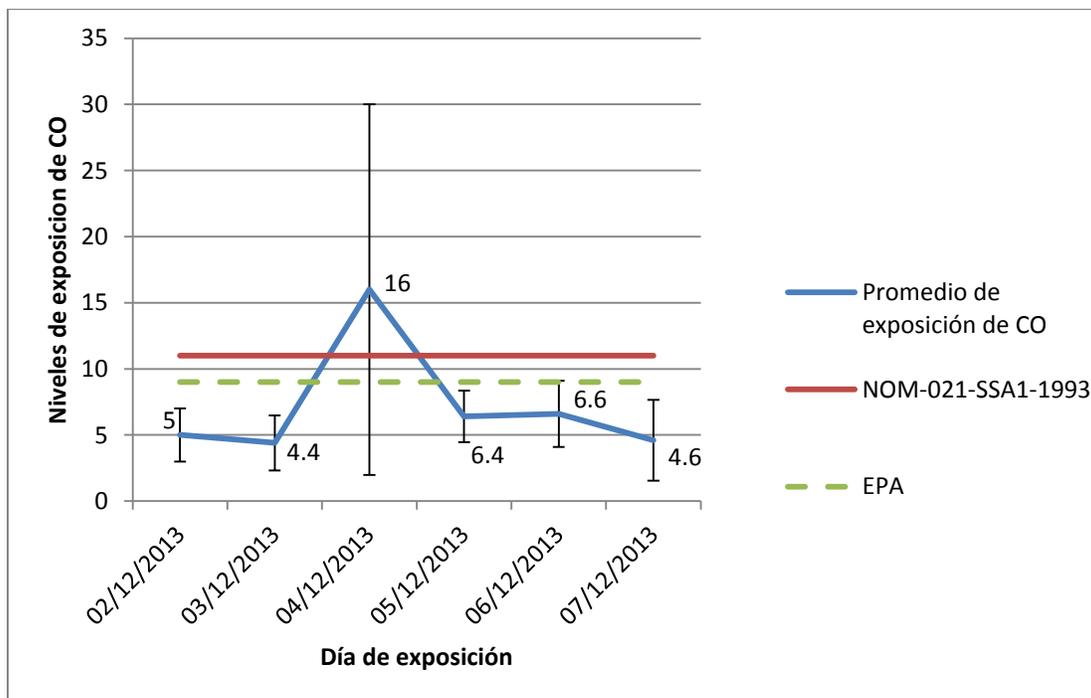


Figura 22. Comparación de los niveles de exposición de CO de la parada “Av. Huaniqueo” contra la NOM-021-SSA1-1993 y EPA-1971, por día para el tipo de transporte público “Combi”.



**Figura 23. Comparación de los niveles de exposición de CO de la parada “Centro de autoservicio WalMart” contra la NOM-021-SSA1-1993 y EPA-1971, por día para el tipo de transporte público “Combi”.**



**Figura 24. Comparación de los niveles de exposición de CO de la parada “Colonia Manantiales” contra la NOM-021-SSA1-1993 y EPA-1971, por día para el tipo de transporte público “Combi”.**

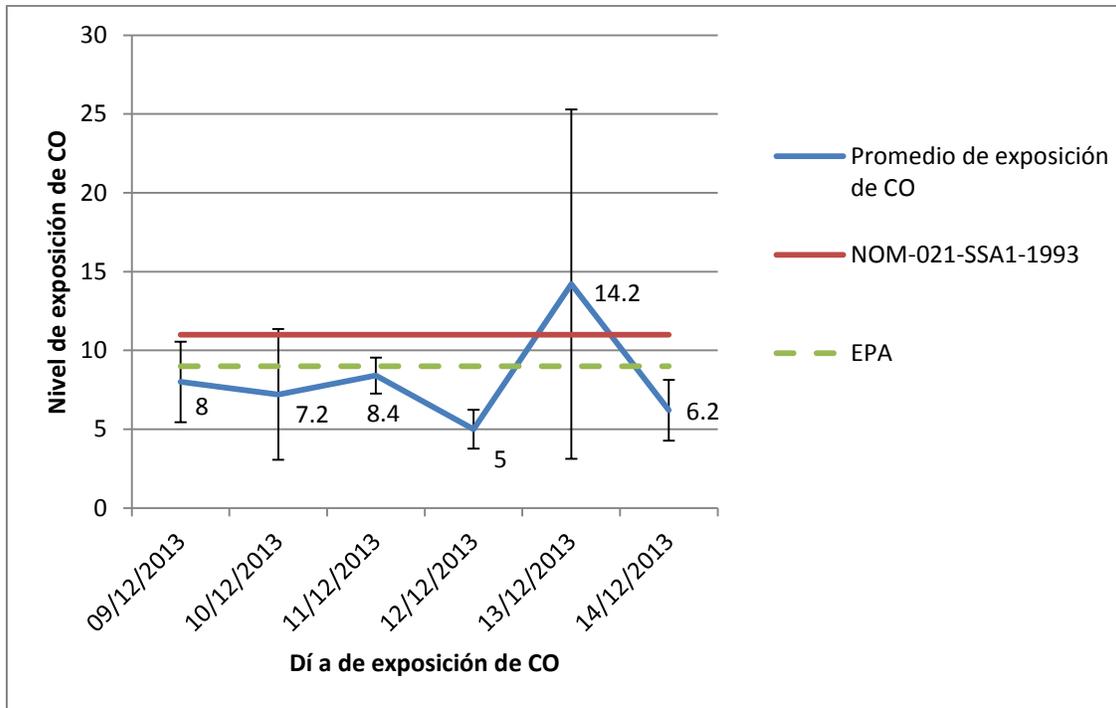


Figura 25. Comparación de los niveles de exposición de CO de la parada “Salida Mil Cumbres” contra la NOM-021-SSA1-1993 y EPA-1971, por día para el tipo de transporte público “Camión”.

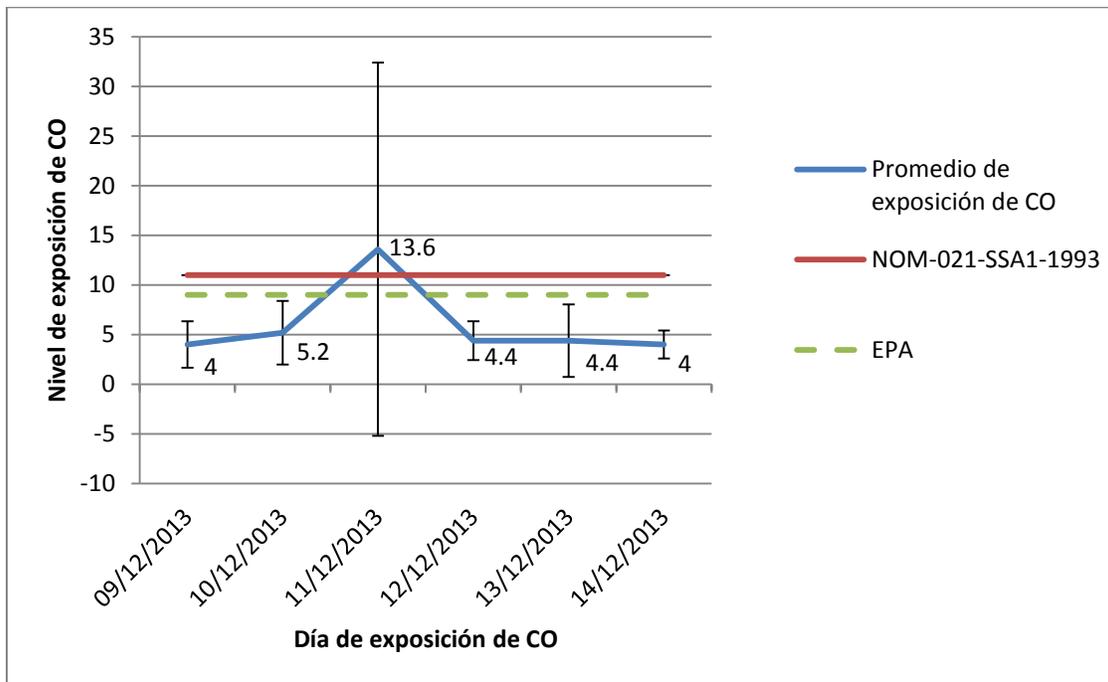
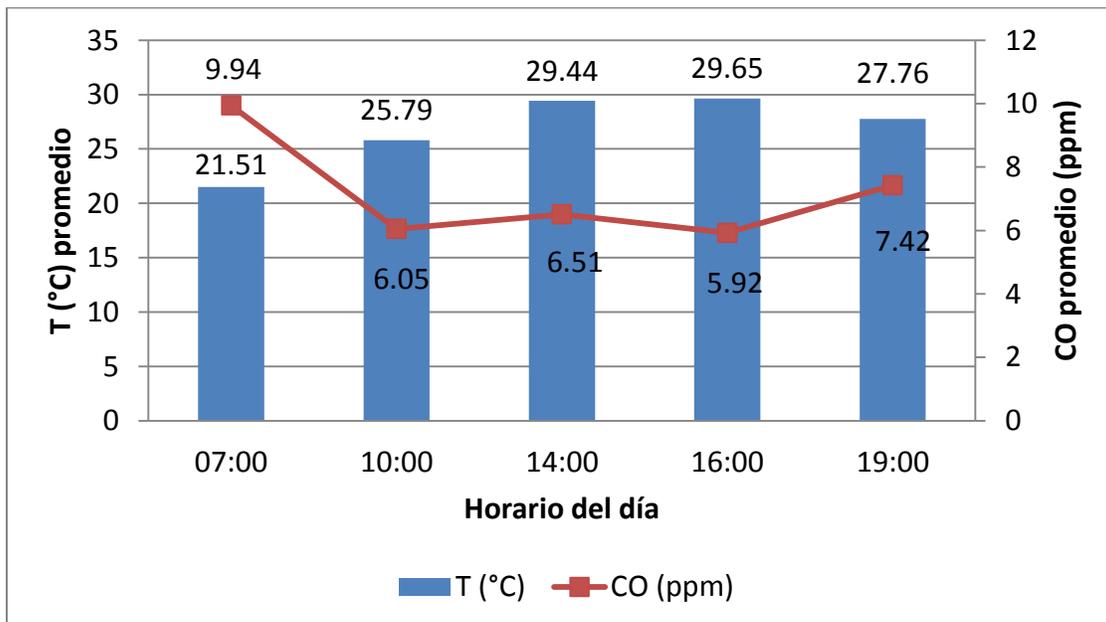


Figura 26. Comparación de los niveles de exposición de CO de la parada “Tienda de autoservicio Aurrera” contra la NOM-021-SSA1-1993 y EPA-1971, por día para el tipo de transporte público “Camión”.

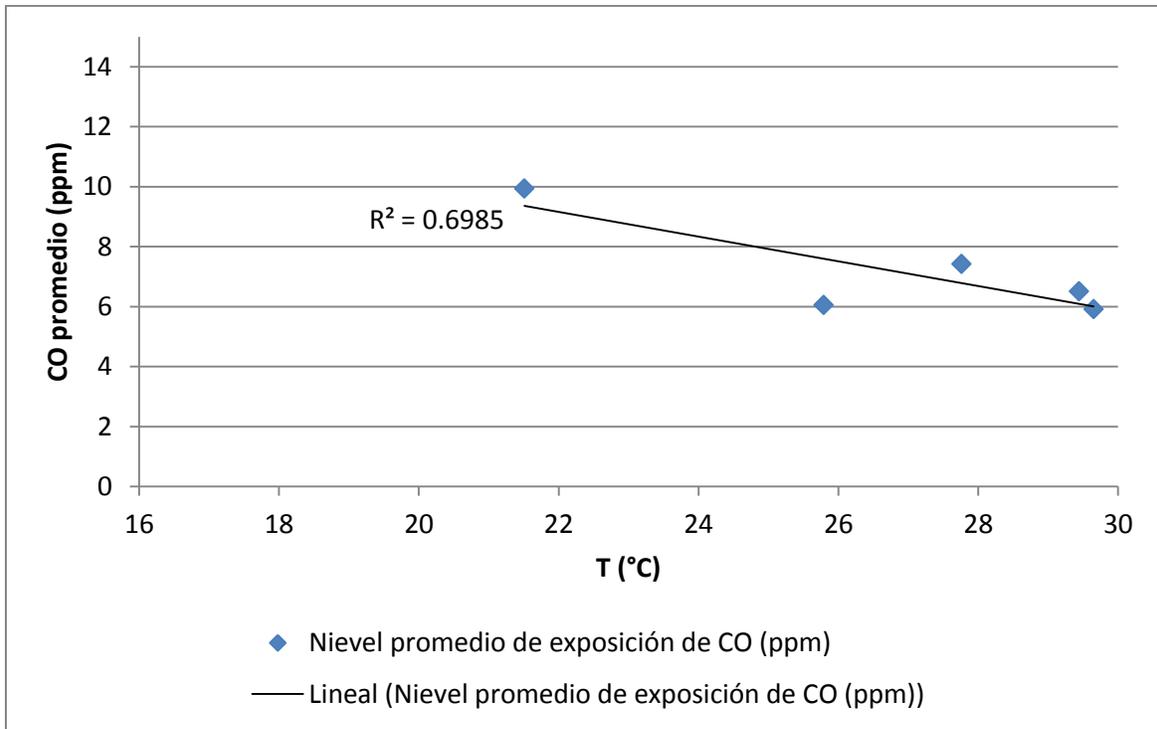
## CORRELACIÓN DE TEMPERATURA Y NIVEL DE EXPOSICIÓN DE CO.

Las correlaciones que se efectuaron respecto a los valores promedio de temperatura en el interior de los vehículos de transporte público, con los valores promedio de los niveles de exposición de CO, se hicieron primeramente por horario del día y tipo de transporte público, debido a que durante el día hay una variación sensorial en la temperatura exterior (ambiente), ya que no se midió, mientras que en el interior del vehículo del transporte público, el cambio de temperatura no se hace tan notable. Como se muestra en la Figura 27 y Figura 29 se puede observar la variación de la temperatura en correlación con el nivel de exposición de CO en el interior del transporte público "Combi" y en el interior del transporte público "Camión", obsérvese que presentan una tendencia similar.

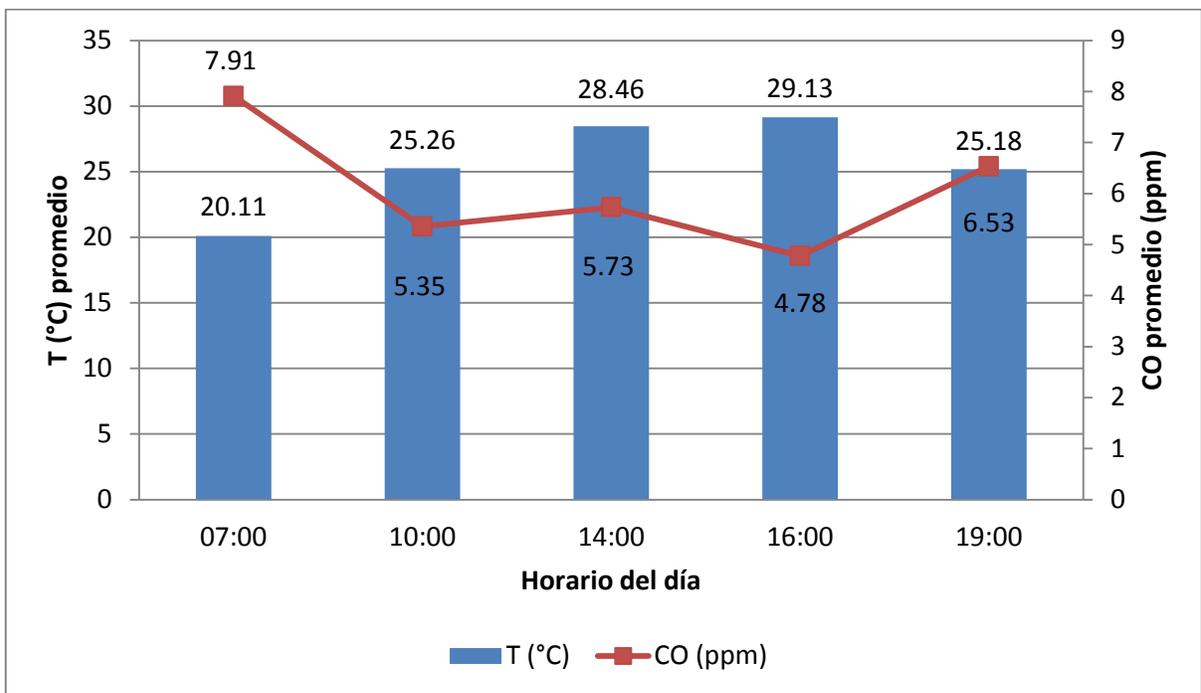
Mientras tanto la Figura 28 y la Figura 30 nos dan información general acerca de la tendencia que guarda la temperatura hacia los niveles de exposición de CO en el interior del vehículo transporte público. Se puede observar que presentan una aparente tendencia inversamente proporcional, es decir, a menor temperatura, mayor es el nivel de exposición de CO; esto es tanto para el transporte público "Combi" como para transporte público "Camión".



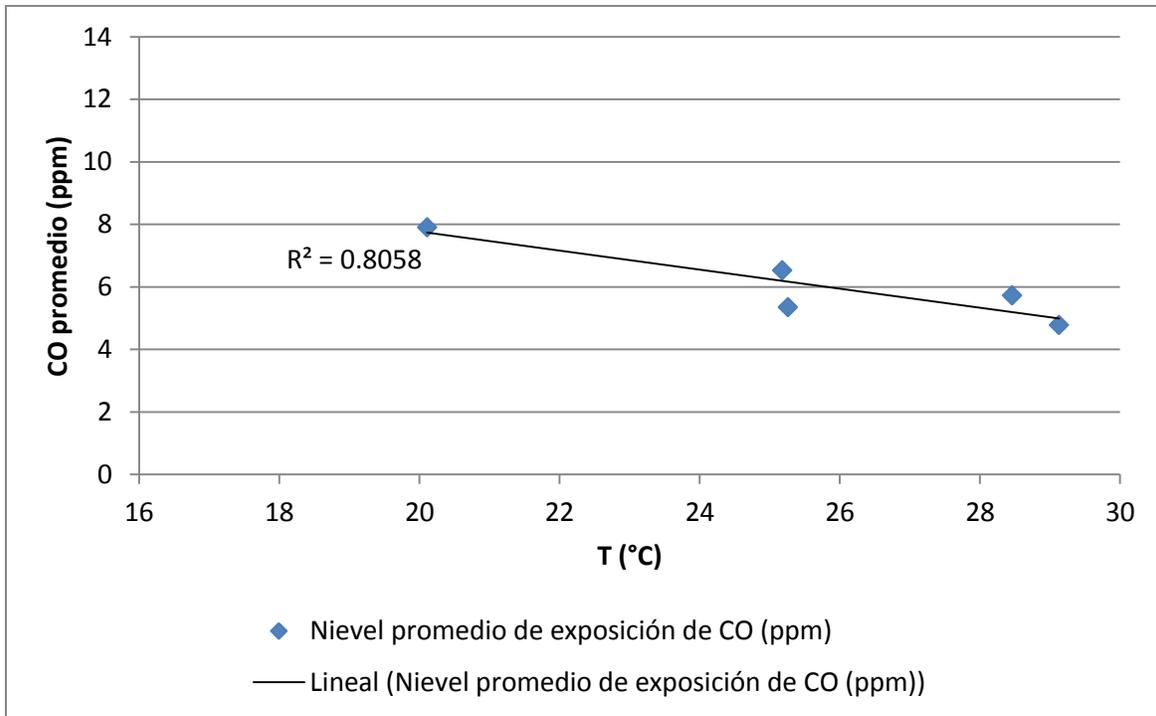
**Figura 27. Correlación general del promedio de temperatura y nivel de exposición de CO en el transporte público "Combi" por horario de medición.**



**Figura 28. Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO en el transporte público "Combi" por horario de medición.**



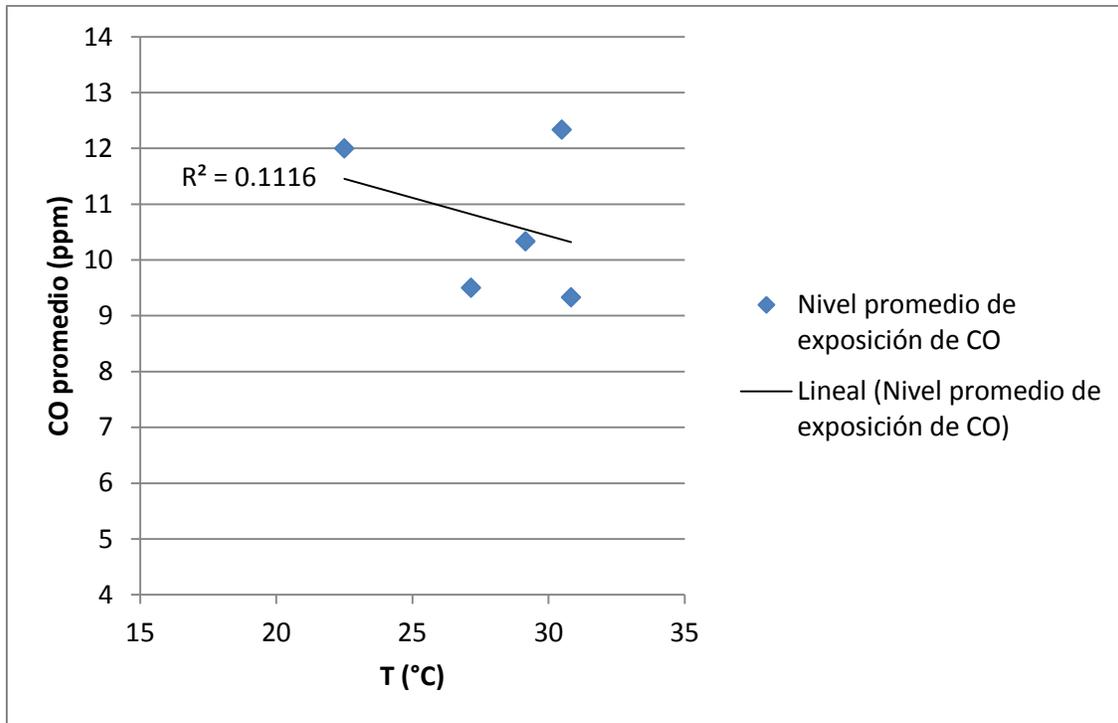
**Figura 29. Correlación general del promedio de temperatura y nivel de exposición de CO en el transporte público "Camión" por horario de medición.**



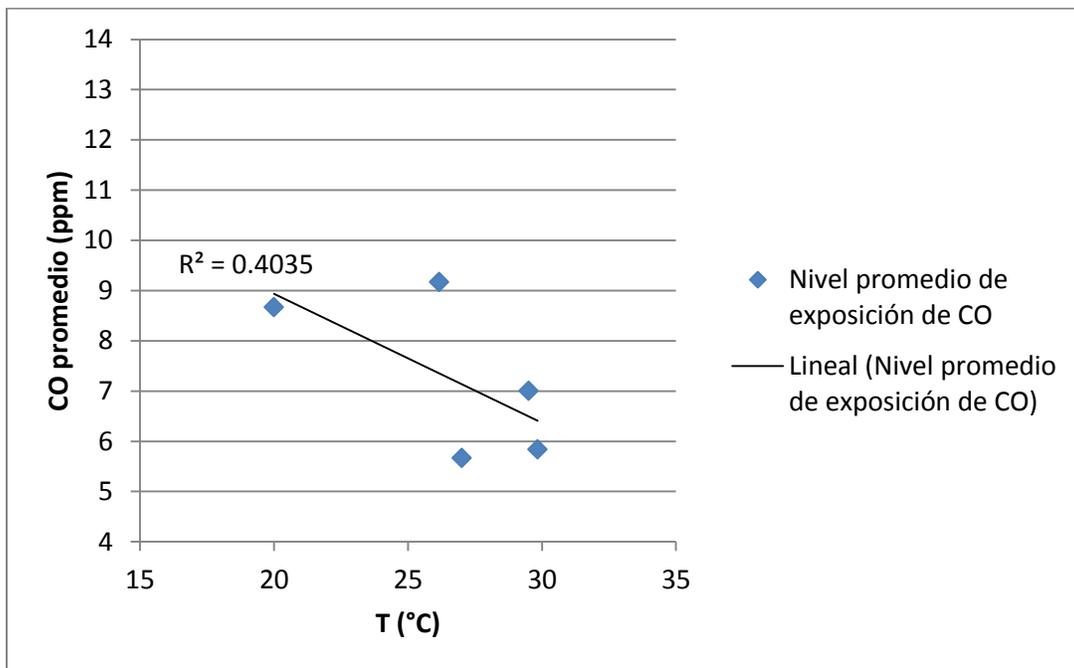
**Figura 30. Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO en el transporte público “Camión” por horario de medición.**

Sin embargo el fenómeno anterior se presenta, solo para los promedios generales por horario del día, presentados a lo largo de todo el día, ahora tomaremos los valores promedios generales de temperatura y los valores promedio de los nivel de exposición de CO por horarios del día, a los largo de todo el día, para las diferentes paradas, en los diferentes tipos de transporte público; se correlacionaran de igual manera en una regresión lineal, para comprobar si también se presenta la misma tendencia (inversamente proporcional).

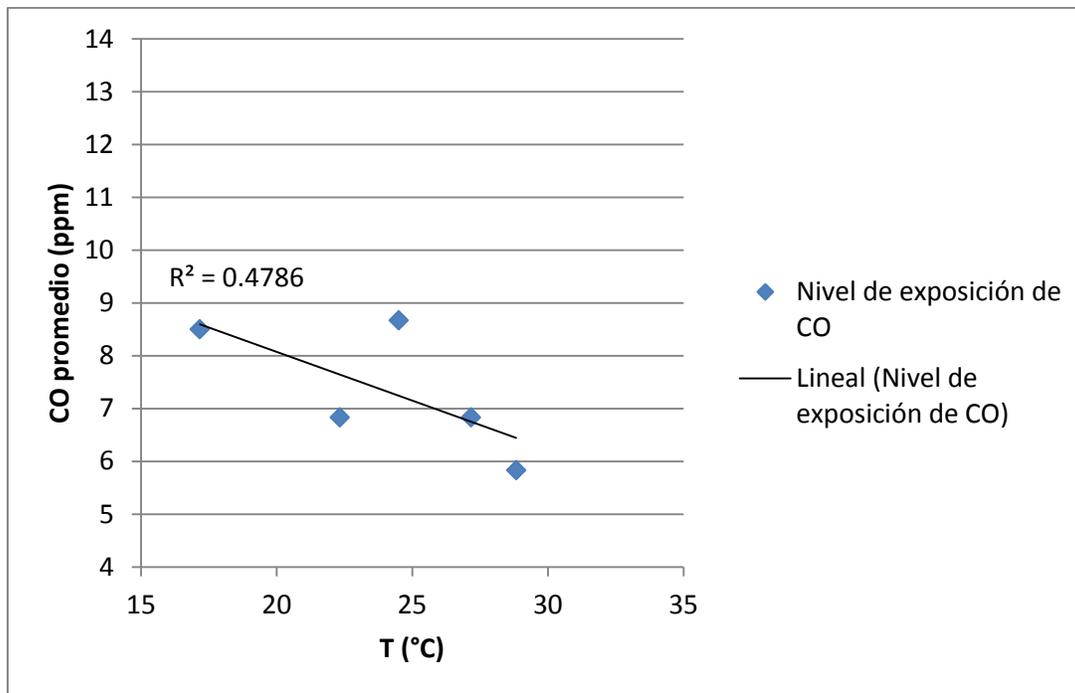
Como se puede observar en las siguientes figuras, de la Figura 31 a la Figura 42, de los valores del coeficiente R, la mayoría no guardan una relación inversamente proporcional, como en los casos anteriores, por lo que no podemos emitir el juicio de que los niveles de exposición de CO (concentración de CO) estén correlacionados de manera inversamente proporcional.



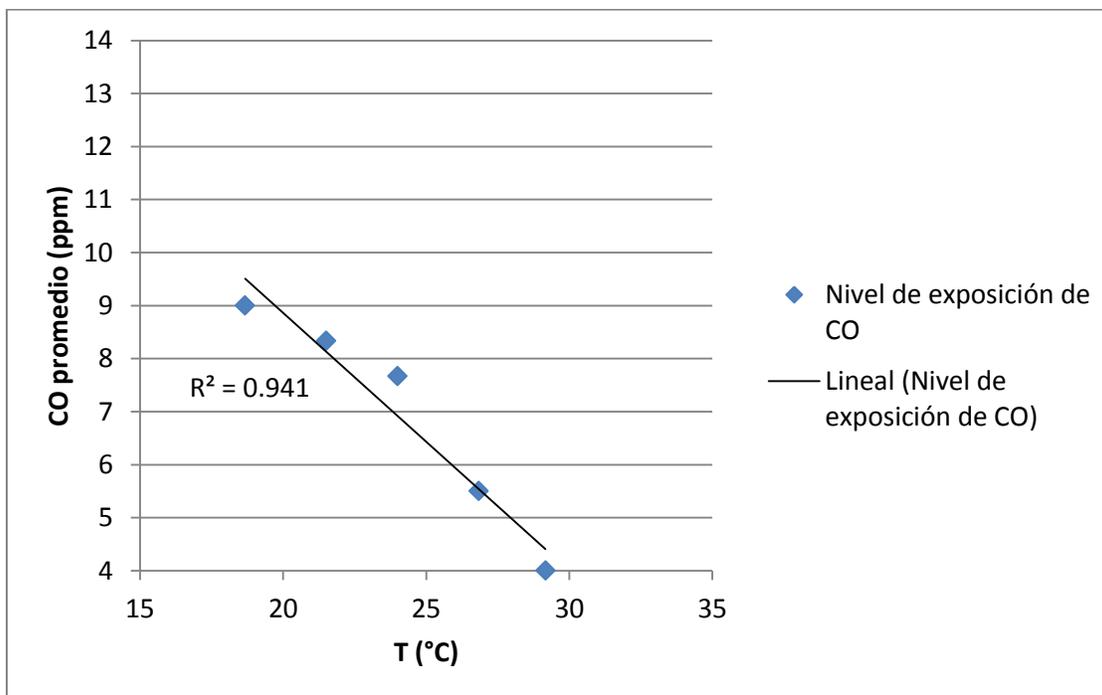
**Figura 31. Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada “Mercado de Abastos” en el transporte público “Combi” por horario de medición.**



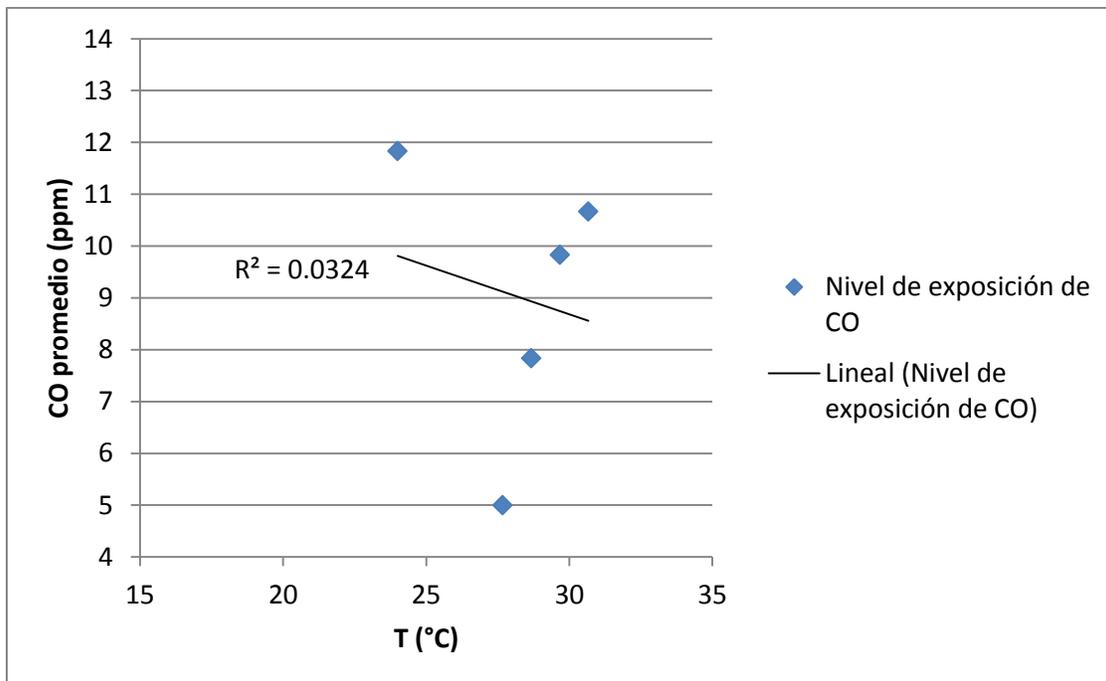
**Figura 32. Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada “Mercado de Abastos” en el transporte público “Camión” por horario de medición.**



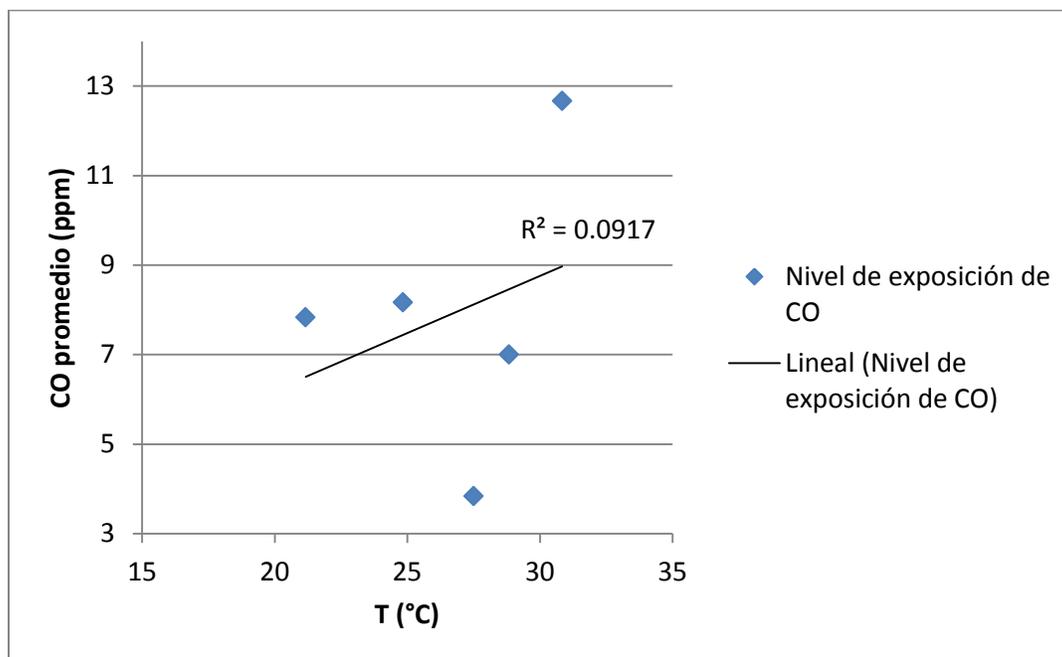
**Figura 33. Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada "Colonia Xangari" en el transporte público "Combi" por horario de medición.**



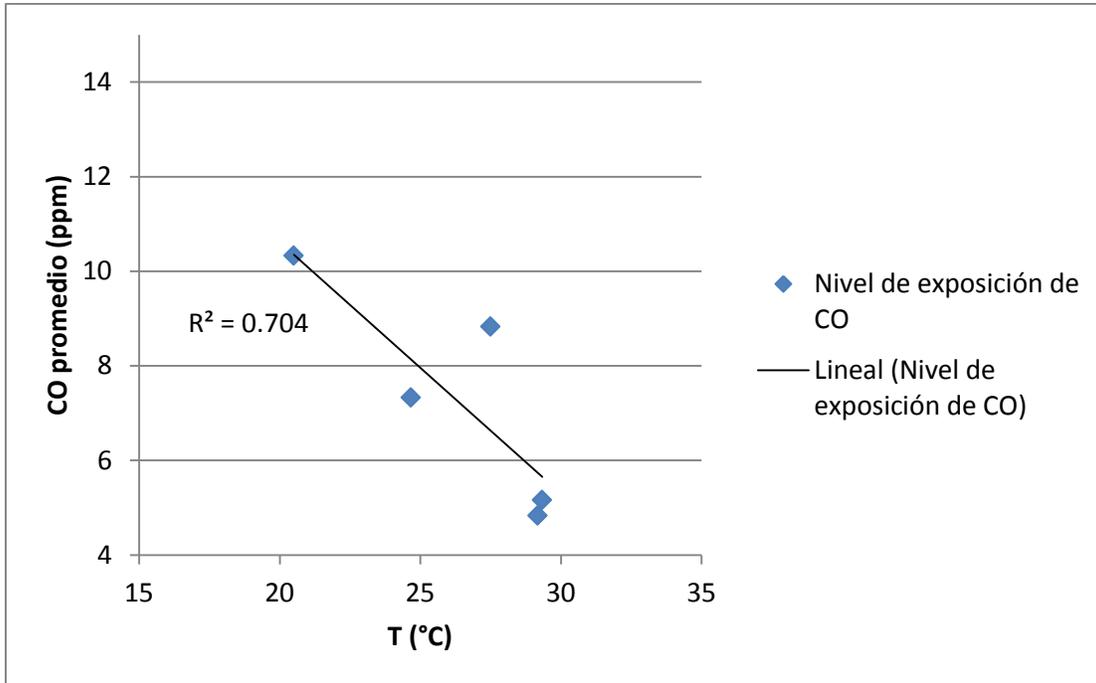
**Figura 34. Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada "Colonia Xangari" en el transporte público "Camión" por horario de medición.**



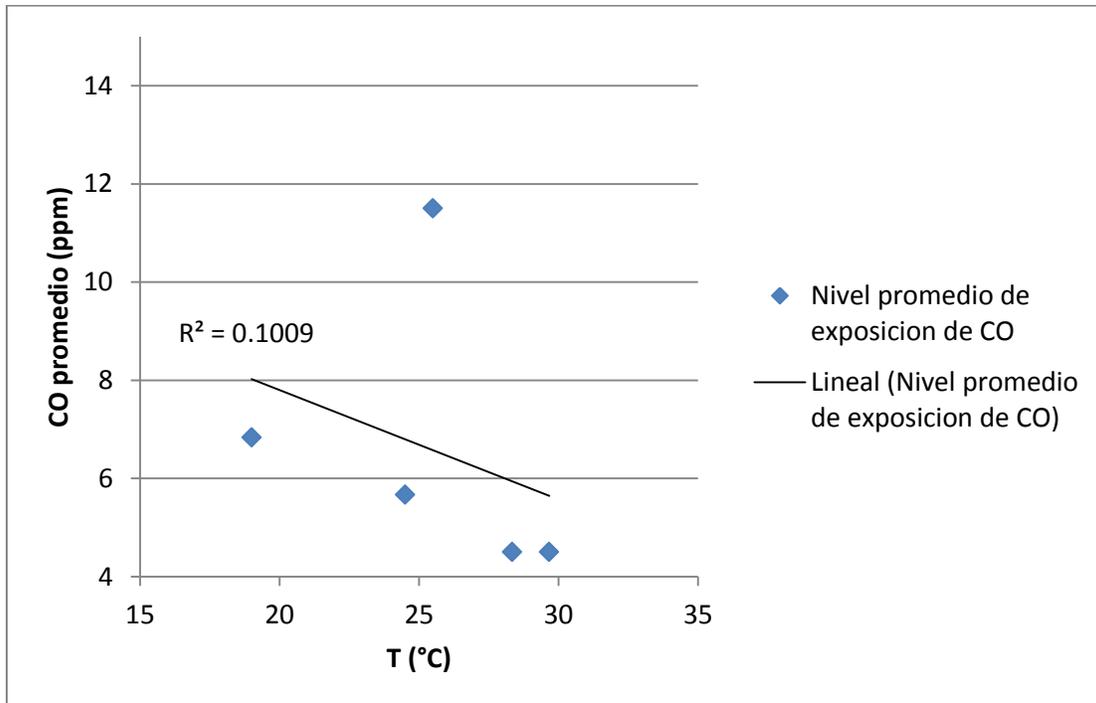
**Figura 35. Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada "Tienda de autoservicio WalMart" en el transporte público "Combi" por horario de medición.**



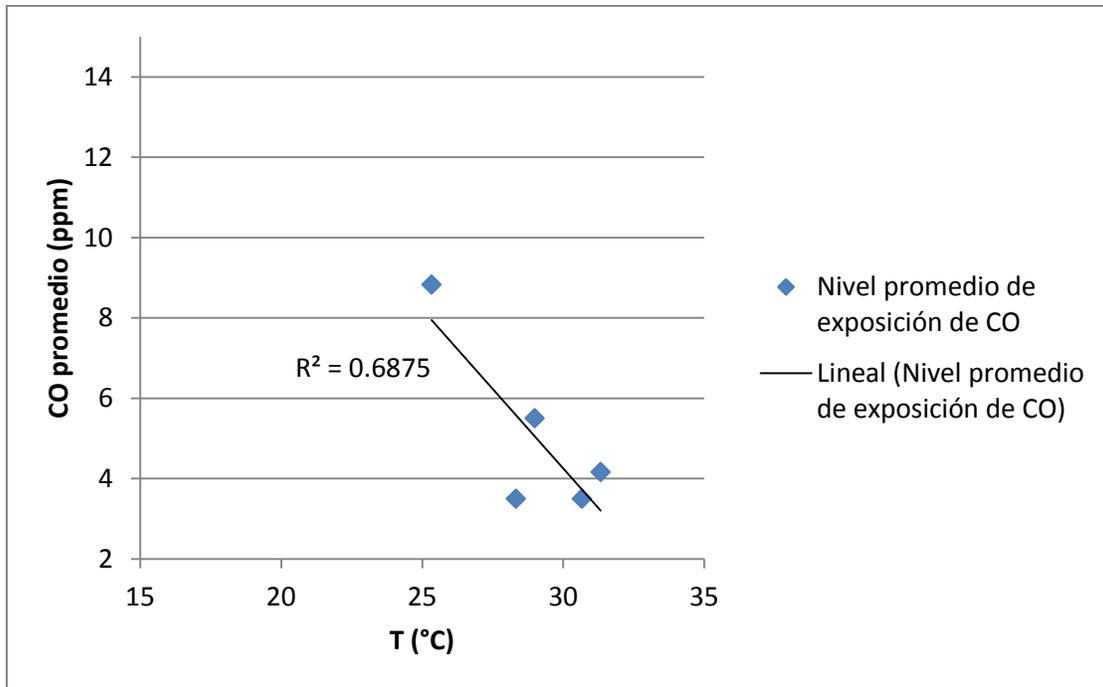
**Figura 36. Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada "Tienda de autoservicio WalMart" en el transporte público "Camión" por horario de medición.**



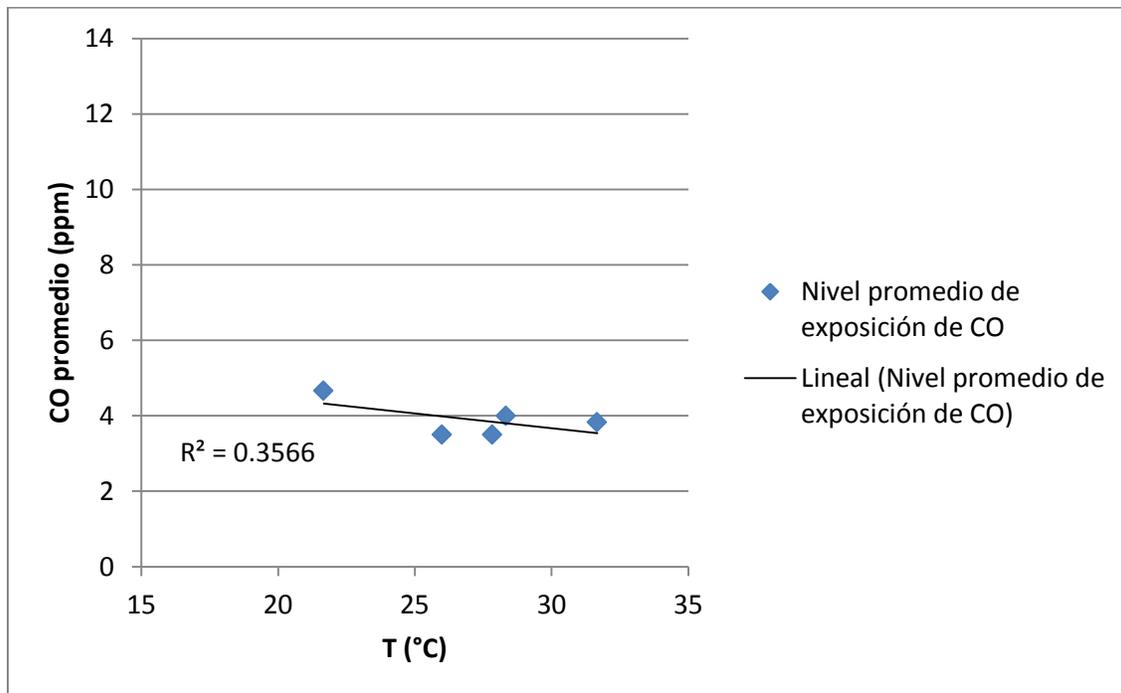
**Figura 37. Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada "IMSS" en el transporte público "Combi" por horario de medición.**



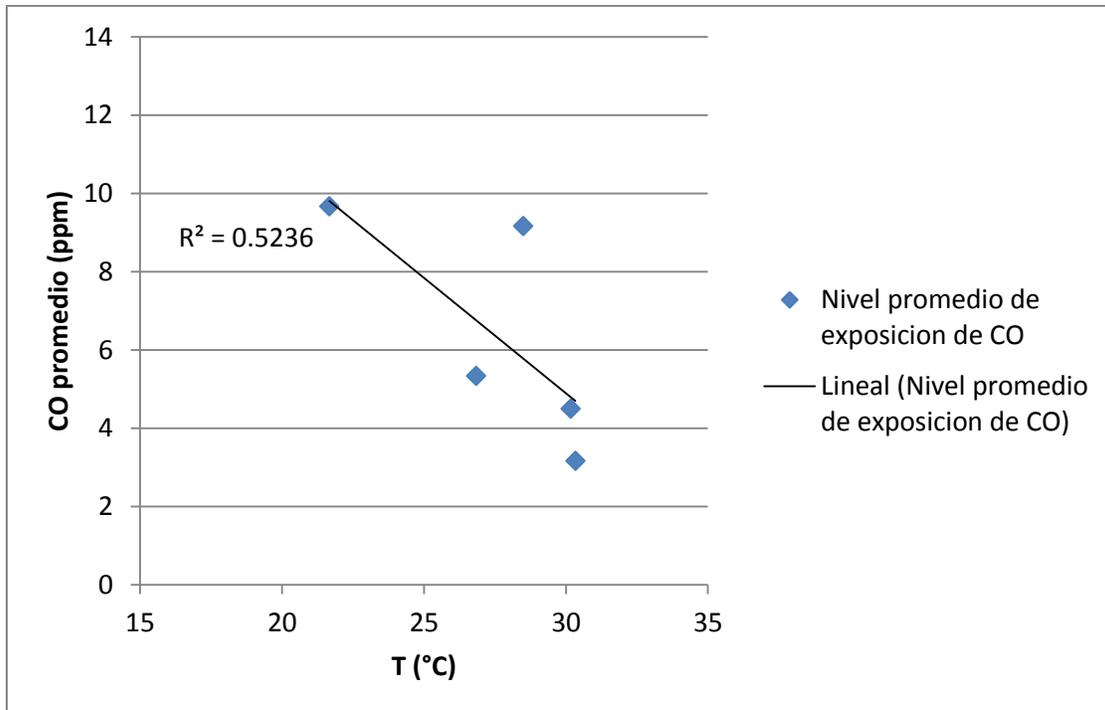
**Figura 38. Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada "IMSS" en el transporte público "Camión" por horario de medición.**



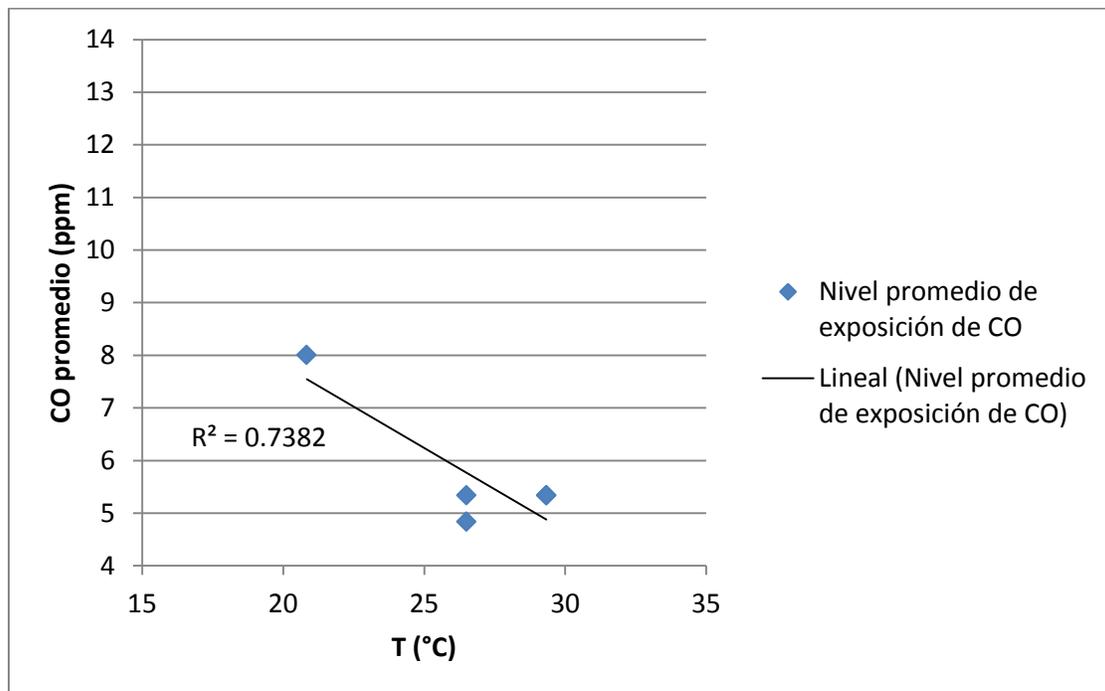
**Figura 39. Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada “Salida Quiroga” en el transporte público “Combi” por horario de medición.**



**Figura 40. Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada “Salida Quiroga” en el transporte público “Camión” por horario de medición.**



**Figura 41. Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada “Salida Charo” en el transporte público “Combi” por horario de medición.**



**Figura 42. Relación lineal de los valores promedio de temperatura y nivel de exposición de CO para la parada “Salida Charo” en el transporte público “Camión” por horario de medición.**

## CAPÍTULO V

### **5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

Las conclusiones a las que se llegaron son:

Primeramente, de la hipótesis se cumple que el nivel de exposición de CO dependa del tipo de vehículo de transporte público y de la zona donde se encuentre el vehículo de transporte público en circulación; y se desaprueba que el nivel de exposición de CO dependa del tiempo de exposición (tiempo de trayecto).

El valor promedio de los niveles de exposición de CO fue 18% mayor en los vehículos de transporte público "Combi" en comparación con el valor presentado por los vehículos de transporte público "Camión", esto puede deberse al tipo de combustible que usan, el transporte público "Combi" utiliza gasolina mientras que el transporte público "Camión" usa diésel.

El valor promedio de los niveles de exposición de CO fue mayor durante el horario pico de las 07:00 horas, en comparación con los valores promedio presentados por el resto de los horarios del día, esta tendencia se presentó tanto para los vehículos de transporte público "Combi" y transporte público "Camión"; sin embargo el valor promedio de los niveles de exposición presentados por el transporte público "Combi" fue 26% mayor que el presentado por el transporte público "Camión"; que este horario del día presente el valor promedio más alto puede deberse a que el CO es un precursor de la formación del ozono (O<sub>3</sub>) en presencia de los rayos ultravioletas proporcionados por el sol, y a esta hora del día la intensidad de los rayos es mínima.

La parada que presentó un valor promedio mayor del nivel de exposición de CO, para el tipo de transporte público "Combi" fue la parada "Mercado de Abastos"; mientras que para el tipo de transporte público "Camión" fue la parada "Tecnológico de Morelia". Sin embargo en ambas paradas el transporte público "Combi" presentó un 47% y 16% más respectivamente del valor promedio del nivel de CO presentado por el transporte público "Camión". Estas paradas que presentaron un valor mayor promedio del nivel de

exposición de CO se encuentran ubicadas hacia el norte del circuito periférico, esto puede atribuirse a la antigüedad del parque vehicular que circula por estas paradas.

A pesar de no haber dependencia entre el nivel de exposición de CO con el tiempo de exposición de CO, el horario de las 14:00 presentó el mayor tiempo de exposición de CO para los usuarios de los dos tipos de transporte público, factor importante para los efectos que pueden causar el CO a la salud de los usuarios del transporte público.

La temperatura interior del vehículo de transporte público no presentó relación con el nivel de exposición de CO medido en el interior del transporte público.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Allred Elizabeth, Bleecker Eugene, et. al. **“Effects of Carbon Monoxide on Myocardial Ischemia”** Environmental Health Perspectives, volumen 91, páginas 89-132, 1991.
2. COSUDE, SWISSCONTACT, Escuela Técnica de Salud Boliviano Japonés, Instituto de Investigaciones biomédicas de la universidad mayor de San Simón, **“Efectos de la exposición prolongada al monóxido de carbono ambiental en población urbana de riesgo”**, Cochabamba, Bolivia 2007.
3. DGICUR (Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana y Regional), DGCENICA (Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental), **“Estudio de emisiones y actividad vehiculares en Morelia, Michoacán”**, septiembre del 2010.
4. Fernández-Bremauntz, Adrian A., Ashmore, Michael R., 1995. **“Exposure of commuters to carbon monoxide in Mexico City – I. Measurement of in-vehicle concentrations”**, Atmospheric Environment, volumen 29, páginas 525–532.
5. Fonseca González Natalia Elizabeth **“Aspectos de la medición dinámica instantánea de emisiones de motores. Aplicación al desarrollo de un equipo portátil y una metodología para estudios de contaminación de vehículos en tráfico real”**, Universidad politécnica de Madrid, escuela técnica superior de ingenieros industriales, 2012.
6. Gobierno del estado de Michoacán, secretaria de urbanismo y medio ambiente. **“Inventario de emisiones contaminantes a la atmosfera y cinco municipios”**, noviembre del 2008.
7. H. Ayuntamiento de Morelia. **“Plan municipal de desarrollo Morelia 2012-2015”**, páginas 34-36.
8. H. Ayuntamiento de Morelia, **“Programa parcial de desarrollo urbano del centro histórico de Morelia, Michoacán”**. Noviembre 2001, páginas 45-52.

9. Han Xianglu, Naeher Luke P. **“A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world”** Environment International, volumen 32 (2006), páginas 106–120.
10. INE, SEMARNAT, **“Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas”**, México D.F. 2007, páginas 20-28.
11. Kaur S., Nieuwenhuijsen M. J., Colvile R.N. **“Fine particulate matter and carbon monoxide exposure concentrations in urban street transport microenvironments”**, Atmospheric Environment, volumen 41, febrero 2007, páginas 4781–4810.
12. López Olvera Miguel Alejandro, **“El transporte de pasajeros y el sistema vial en la ciudad de México”**, biblioteca virtual del instituto de investigaciones jurídicas de la UNAM, páginas 259-281.
13. NOM-021-SSA1-1993. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO). Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.
14. Raub James A., Mathieu-Nolf Monique, Hampson Neil B., Thom Stephen R. **“Carbon monoxide poisoning-a public health perspective”**, 17 de noviembre de 1999.
15. Rivas Tovar Luis Arturo, et. al. **“Incentivos y desincentivos en los sistemas de transporte público en Londres, Madrid y la ciudad de México”**.
16. Wark Kennethy Warner Cecil F., **“Contaminación del aire”**, México D.F. 2003, editorial Limusa, páginas 40-45 y 533-579.
17. Wöhrnschimmel Henry, Zuk Miriam, Martínez-Villa Gerardo y colaboradores. **“The impact of a Bus Rapid Transit system on commuter’s exposure to Benzene, CO, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in Mexico City”**, Atmospheric Environment, volumen 42, 28 de Julio de 2008, páginas 8194-8203.
18. <http://www.oikos.unam.mx/atbc/espanol/Clima.htm>
19. [http://es.wikipedia.org/wiki/Morelia\\_\(municipio\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Morelia_(municipio))

20. <http://www.saludymedicinas.com.mx/centros-de-salud/asma-y-epoc/articulos-relacionados/hipoxia-tisular-disminucion-oxigeno.html>
21. [http://www.grupoprevenir.es/analisis\\_clinicos/carboxihemoglobina\\_sangre.html](http://www.grupoprevenir.es/analisis_clinicos/carboxihemoglobina_sangre.html)
22. <http://es.wikipedia.org/wiki/Mioglobina>
23. <http://www.inegi.org.mx>
24. <http://www.ecointeligencia.com/2013/09/bogota-ejemplo-movilidad-sostenible>
25. <http://www.epa.gov/airquality/carbonmonoxide/>