



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

**EXPOSICIÓN A MONÓXIDO DE CARBONO EN SITIOS  
URBANOS Y RURALES DE LA ZONA METROPOLITANA  
DEL VALLE DE MÉXICO.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

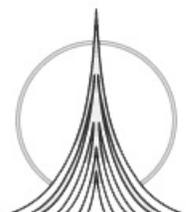
**INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTA:

**ERNESTO REYES VILLEGAS**

DIRECTOR: Dr. JOSÉ HORACIO TOVALÍN AHUMADA

SUBDIRECTOR: M. C. HENRY WÖHRNSCHIMMEL



México, Distrito Federal 2007



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
 \*ZARAGOZA\*  
 DIRECCIÓN DE LA FACULTAD

**JEFE DE LA UNIDAD DE  
 ADMINISTRACION ESCOLAR  
 P R E S E N T E**

Comunico a usted que el alumno(a) **REYES VILLEGAS ERNESTO** con número de cuenta **097206608** de la carrera **Ingeniería Química** se le ha fijado el día **20** del mes de **Abril** del **2007** a las **16:00** horas para presentar examen profesional que tendrá lugar en ésta Facultad, con el siguiente jurado:

- |                   |   |
|-------------------|---|
| <b>PRESIDENTE</b> | <b>I. Q. Gonzalo Rafael Coello García</b>   |
| <b>VOCAL</b>      | <b>Dr. José Horacio Tovalín Ahumada</b>     |
| <b>SECRETARIO</b> | <b>I. Q. José Benjamín Rangel Granados</b>  |
| <b>SUPLENTE*</b>  | <b>M. en C. Henry Wöhrnschimmel</b>         |
| <b>SUPLENTE</b>   | <b>I. Q. Zula Genny Sandoval Villanueva</b> |

El título de su Tesis Profesional que presenta es **"EXPOSICIÓN A MONÓXIDO DE CARBONO EN SITIOS URBANOS Y RURALES DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO"**.

Opción de Titulación **Tesis Convencional**

**ATENTAMENTE**  
**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
 México D. F., a 27 de Marzo de 2007



**ZARAGOZA**  
**DIRECCION**  
**C. D. ALFREDO S. SÁNCHEZ FIGUEROA**  
**DIRECTOR DE LA FACULTAD**

**RECIBI**  
**OFICINA DE EXAMENES**  
**PROFESIONALES Y DE GRADO**

Vo. Bo.  
**I. Q. RAÚL RAMÓN MORA HERNÁNDEZ**  
**JEFE DE LA CARRERA**



---

---

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, de la cual me siento orgulloso formar parte. Gracias por ésta experiencia de vida.

A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por darme la formación profesional, lugar en el cuál sufrí, reí, disfruté, soñé, viví.

A mis profesores que a lo largo de la carrera compartieron sus conocimientos y me enseñaron el lado humano de la Ingeniería.

A la Dra. Luisa Molina por el apoyo otorgado para la elaboración este trabajo.

Al Ing. Víctor Gutiérrez, Dra. Beatriz Cárdenas y M. en C. Salvador Blanco por permitirme utilizar los equipos Langan, y por facilitarme las instalaciones de CENICA para la revisión de los mismos.

A mis asesores, Dr. Horacio Tovalín y M.C. Henry Wöhrnschimmel, por el tiempo que tan amablemente me brindaron y por guiarme en el trayecto de la elaboración de la tesis.

A mis sinodales, I.Q. Rafael Coello, I.Q. Benjamín Rangel, e I.Q. Zula Sandoval por sus valiosos comentarios, los cuales enriquecieron mis tesis.



---

---

## DEDICATORIAS

A Dios por darme la vida y por darme la dicha de rodearme de personas tan hermosas que han hecho mi vida muy feliz.

A mis padres Zenón Reyes e Irma Villegas, porque con su amor y educación forjaron lo que hasta ahora soy. Porque con su ejemplo me enseñaron a luchar honestamente por lo que uno quiere, éste es el tesoro más valioso que me han dado.

A mis hermanos Luis, Faustino, Jesús, Lina y Rossi por el apoyo incondicional que me dieron. Por su amistad, su comprensión y sus consejos.

A mis sobrinos Samy, Beto, Gaby, Martincillo, Karol y Verito que viene en camino. Para ustedes que iluminan mi vida con sus sonrisas y sus ocurrencias.

A Rebeca Romero, Alberto Aguilar, Vicente Santiago, Daniel Aguilar, Manuel Santiago, José Luis Aguilar, Andrés García, Miguel Aguilar, José Luis Santiago, Verónica Cruz, Daisy Tehuitzil, Miriam Venegas, Beatriz Espejo, Margarita Roldán, Blanca Roldán, Francisco Méndez, Alberto Rosales, Sergio Romero, Christian Rivera, Miguel Angel, Luis Manuel Moreno, Ricardo Alamilla, David Jiménez, Rodrigo Requena, Raúl Escudero, Enrique García, Ana Teresa, Jazmín Díaz, Rubí Ramírez, Laura Hernández, Rosa María Bernabé, Claudia Márquez, Felipe Ángeles, Liliana Miranda, ..... y a todos aquellos que forman parte de mi vida, a veces me falla la memoria, pero no el recuerdo.

¡GRACIAS!

Mantén tu mirada fija en tus objetivos  
y no en donde haz tropezado

Ernesto Reyes Villegas.



## INDICE

1	Introducción.....	1
2	Marco teórico.....	2
2.1	Contaminación atmosférica.....	2
2.2	La contaminación del aire en las megaciudades.....	2
2.3	Características y factores que afectan a la calidad del aire de la ZMVM.....	3
2.3.1	Fisiografía.....	3
2.3.2	Precipitación pluvial.....	3
2.3.3	Humedad relativa.....	4
2.3.4	Viento.....	5
2.3.5	Temperatura.....	6
2.3.6	Población.....	6
2.3.7	Industria.....	7
2.3.8	Transporte.....	7
2.4	Normas de calidad del aire en la ciudad de México.....	9
2.5	Principales contaminantes del aire en la ZMVM.....	10
2.5.1	Ozono.....	10
2.5.2	Bioxido de azufre.....	10
2.5.3	Plomo (Pb).....	10
2.5.4	Hidrocarburos. Compuestos orgánicos volátiles (COV).....	11
2.5.5	Oxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ).....	11
2.5.6	Partículas suspendidas.....	11
2.6	Exposición a monóxido de carbono.....	12
2.6.1	Fuentes.....	13
2.6.2	Aplicaciones.....	14
2.6.3	Comportamiento en el medio ambiente.....	15
2.6.4	Degradación, productos de la descomposición.....	15
2.6.5	Tendencias de CO en la ZMVM.....	15
2.6.6	Exposición.....	16
2.6.7	Exposición personal al CO.....	17
2.7	Reportes de otros estudios internacionales y en México sobre la exposición ambiental a CO.....	18
2.8	Efectos.....	20
2.8.1	Efectos cardiovasculares.....	21
2.8.2	Toxicidad en el desarrollo.....	21
2.8.3	Otros efectos sistémicos.....	22
2.9	Campaña MILAGRO.....	22
3	Planteamiento del problema.....	23
4	Objetivos e hipótesis.....	24
5	Métodos.....	25
5.1	Tipo de estudio.....	25
5.2	Población.....	25
5.3	Equipo.....	25
5.4	Corrección de los datos.....	26
5.5	Estrategia.....	28
5.6	Cuestionarios.....	30
5.7	Captura y análisis de los datos.....	30



---

---

6	Resultados.....	31
6.1	Sitios.....	31
6.2	Datos obtenidos.....	31
6.3	Duplicados.....	32
6.4	Niveles de concentración de CO.....	34
6.4.1	Casas.....	34
6.4.2	Escuelas.....	35
6.4.3	Personal y sitios de monitoreo.....	36
6.5	Gráficas de tiempo-concentración de CO.....	37
6.5.1	Gráficas de exposición personal a CO.....	38
6.5.2	Gráficas de concentración de CO en casas.....	42
6.5.3	Gráficas de concentración de CO en escuelas.....	45
6.6	Promedio de 8 horas para comparar con la Norma Oficial Mexicana.....	46
7	Discusión.....	47
7.1	Microambientes.....	47
7.2	Monitoreo Personal.....	48
7.3	Equipos en los sitios fijos de monitoreo atmosférico.....	48
7.4	Comparación con la Norma Oficial Mexicana.....	48
7.5	Limitaciones.....	48
8	Conclusiones.....	49
9	Referencias.....	50
10	Anexo I. Tablas de estadísticas de concentraciones de CO (ppm).....	53
11	Anexo II. Formato de cuestionarios.....	56



## INDICE GRÁFICAS

Grafica 2.1. Precipitación acumulada mensual en el año 2004.....	4
Grafica 2.2. Promedios mensuales de humedad relativa máxima, 2004.....	4
Gráfica 2.3. Temperatura máxima, mínima y promedio mensual, 2004.....	6
Gráfica 2.4. Distribución espacial de CO en la ZMVM. ....	8
Gráfica 2.5. Porcentaje de contribución de las principales fuentes de CO de la ZMVM.....	13
Gráfica 2.6. Promedio anual de concentraciones horarias de CO en cinco estaciones de monitoreo de la ZMVM 1990-2002.....	16
Gráfica 5.1. Revisión 1 del equipo L1.....	27
Gráfica 6.1. Duplicado del interior de una casa en Tlaxcala.....	33
Gráfica 6.2. Duplicado del interior de una escuela en Iztapalapa.....	33
Gráfica 6.3. Promedios en interior de casas.....	34
Gráfica 6.4. Promedios en exterior de casas.....	34
Gráfica 6.5. Promedios en interior de escuelas.....	35
Gráfica 6.6. Promedios en exterior de escuelas.....	35
Gráfica 6.7. Promedios en monitoreos personales.....	36
Gráfica 6.8. Promedios en sitios.....	36
Gráfica 6.9. Caso 1.....	38
Gráfica 6.10 Caso 2.....	38
Gráfica 6.11. Caso 3.....	39
Gráfica 6.12. Caso 4.....	40
Gráfica 6.13. Caso 5.....	40
Gráfica 6.14. Caso 6.....	41
Gráfica 6.15. Casa 1.....	42
Gráfica 6.16. Casa 2.....	43
Gráfica 6.17. Casa 3.....	43
Gráfica 6.18. Casa 4.....	44
Gráfica 6.19. Escuela 1.....	45
Gráfica 6.20. Escuela 2.....	45

## INDICE FIGURAS

Figura 2.1. Rosas de viento con datos promedio de 5 estaciones meteorológicas en dos épocas distintas.....	5
---	---



## INDICE TABLAS

Tabla 2.1. Sitio de estudio y número de habitantes.....	7
Tabla 2.2. Vehículos destinados al transporte de pasajeros y viajes persona/día.....	8
Tabla 2.3. Valores normados para los contaminantes del aire en México.....	9
Tabla 2.4. Métodos de medición y calibración de equipo de monitoreo ambiental.....	9
Tabla 2.5. Datos físico-químicos básicos del CO.....	12
Tabla 2.6. Fuentes de emisiones de CO en la ZMVM 2004.....	13
Tabla 2.7. Estudios de exposición personal de CO.....	18
Tabla 2.8. Estudios de concentraciones de CO en transporte.....	19
Tabla 2.9. Estudios de concentraciones de CO en exteriores con estaciones de monitoreo automáticas.....	20
Tabla 2.10. Exposición-síntomas de CO.....	21
Tabla 5.1. Valores del coeficiente de correlación ( $R^2$ ) en las revisiones realizadas.....	27
Tabla 5.2. Cantidad Modelo y software de equipos Langan.....	30
Tabla 6.1. Claves de identificación de los sitios.....	31
Tabla 6.2. Fechas de monitoreo y número de muestras por día de monitoreo.....	31
Tabla 6.3. Cantidad de muestras utilizadas en el análisis estadístico.....	32
Tabla 6.4. Determinación de la calidad del monitoreo.....	32
Tabla 6.5. Estadística de monitoreos para comparar con la Norma Oficial Mexicana.....	46
Tabla 9.1. Concentraciones de CO en el exterior e interior de las casas de los sitios (ppm).....	53
Tabla 9.2. Concentraciones de CO en el exterior e interior de las escuelas de los sitios (ppm).....	53
Tabla 9.3. Relación de exteriores e interiores en casas respecto a escuelas.....	54
Tabla 9.4. Exposición de CO en adultos en los diferentes sitios (ppm).....	54
Tabla 9.5. Concentraciones de CO de monitores colocados al lado de las estaciones móviles de monitoreo en los diferentes sitios (ppm).....	55
Tabla 9.6. Valores de p en la prueba de significancia.....	55

## INDICE IMÁGENES

Imagen 5.1. Colocación del equipo en exterior de casa.....	28
Imagen 5.2. Colocación del equipo en interior, de casa.....	28
Imagen 5.3. Colocación del equipo en exterior de punto de monitoreo.....	29
Imagen 5.4. Monitoreo de exposición personal a CO.....	29



## 1 Introducción.

El monóxido de carbono es un contaminante presente en la atmósfera, cuya fuente principal son las emisiones vehiculares, su importancia para la salud se debe fundamentalmente al hecho de que se une mediante un enlace fuerte a la molécula de la hemoglobina encargada del transporte de oxígeno para formar carbohemoglobina, lo que evita el transporte de oxígeno de la sangre (e-ergias, 2006). A diferentes concentraciones y tiempos de exposición, el ser humano puede presentar desde un ligero dolor de cabeza, fatiga, náuseas, convulsiones, inconciencia e incluso la muerte. En exposiciones crónicas a niveles bajos se ha reportado el incremento de cuadros de enfermedad cardiovascular (Academia Nacional de Medicina de México A.C., 2003).

Además, a nivel ambiental este contaminante es uno de los llamados contaminantes primarios, ya que se origina de una fuente y no debido a reacciones en el ambiente. Su importancia radica en que reacciona en el ambiente formando  $\text{CO}_2$  el cuál tiene relación directa con el calentamiento global.

Al momento actual son pocos los reportes sobre el nivel de exposición de la población urbana al CO en México. Por ejemplo se han realizado estudios en la Ciudad México encontrado concentraciones de CO de 11 a 25.6 ppm en autobuses y 14 a 42.7 ppm en minibuses (Wöhrnschimmel et al., 2006, Fernández-Bremauntz y Asmore. 1994, Gómez-Perales, et. al., 2004).

Éste trabajo contribuye a la investigación ambiental en el ámbito de exposición personal y concentración en microambientes de CO. Su importancia radica en que la exposición al CO sigue un gradiente espacial, de forma que las concentraciones en microambientes tales como en las banquetas de calles con intenso tránsito vehicular y en el interior de vehículos públicos y privados, son mucho mayores que las concentraciones medidas simultáneamente en las estaciones fijas de análisis continuo. (SEMARNAP, 1996.).

En este estudio se determinaron las concentraciones de CO en microambientes y la exposición personal de individuos en cuatro sitios diferentes de la ZMVM, dos sitios urbanos (Tecámac Estado de México e Iztapalapa Distrito Federal) y en dos sitios semi-rurales (San Pedro Estado de Hidalgo y Tlaxcala Tlaxcala).



---

## 2 Marco teórico.

### 2.1 Contaminación atmosférica.

Se entiende por contaminación atmosférica la presencia en el aire de sustancias y formas de energía que alteran la calidad del mismo, de modo que implique riesgos, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza (H. McMurry, et al. 2004).

Todas las actividades humanas y los fenómenos naturales que se producen en la superficie o en el interior de la tierra van acompañados de emisiones de gases, vapores, polvos y aerosoles. Estos, al difundirse a la atmósfera, se integran en los distintos ciclos biogeoquímicos que se desarrollan en el planeta (H. McMurry, et al. 2004).

De la definición de contaminación atmosférica dada arriba, se desprende que el que una sustancia sea considerada contaminante o no dependerá de los efectos que produzca sobre sus receptores. Se consideran contaminantes aquellas sustancias que pueden dar lugar a riesgo o daño, para las personas o bienes en determinadas circunstancias (H. McMurry, et al. 2004).

### 2.2 La contaminación del aire en las megaciudades.

La contaminación del aire constituye uno de los principales problemas ambientales de las zonas urbanas, particularmente en las megaciudades, aquellas áreas urbanas donde se concentra una población mayor a 10 millones de habitantes. (MILAGRO, 2005).

El crecimiento poblacional y los mayores niveles de industrialización han llevado inevitablemente a una mayor demanda de energía, a un mayor consumo de combustibles fósiles, y una mayor emisión de contaminantes hacia la atmósfera. Como resultado, la contaminación del aire, además de ser uno de los principales problemas ambientales del siglo, tiene importantes consecuencias en términos de la salud de las poblaciones y de costos económicos a la sociedad (MILAGRO, 2005).

Los principales contaminantes emitidos a la atmósfera en las megaciudades son óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), partículas suspendidas (PM), residuos de carbono e hidrocarburos (HC). Habitualmente, el uso de combustibles fósiles en el transporte, la generación de energía eléctrica y el funcionamiento de procesos industriales representan la principal fuente de emisión de contaminantes (MILAGRO, 2005).



### 2.3 Características y factores que afectan a la calidad del aire de la ZMVM.

Este apartado es una adaptación de la información presentada en el “inventario de emisiones de la ZMVM 2004, SMA-GDF”.

El problema de la contaminación del aire en la ZMVM está influenciado por un gran número de factores, incluyendo la topografía, la meteorología, el crecimiento demográfico, el crecimiento industrial, y la expansión urbana. Estos mismos factores ocasionan que los contaminantes viajen o se trasladen en la atmósfera (sin reconocer fronteras geopolíticas) hasta que son removidos física o químicamente de manera.

#### 2.3.1 Fisiografía.

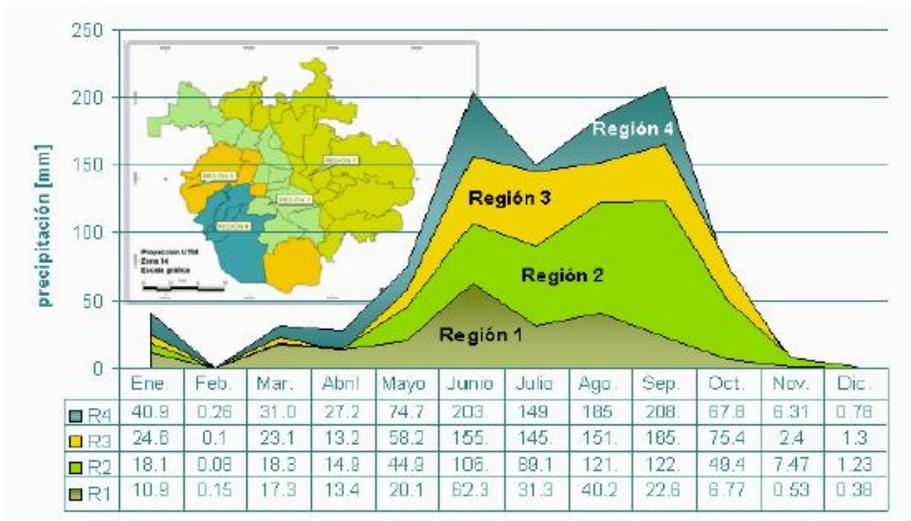
La ZMVM, se localiza en la región central de la República Mexicana, a una altura de 2,240 metros sobre el nivel del mar (msnm); forma parte de una cuenca cerrada de 9,560 km<sup>2</sup> de superficie y abarca casi en su totalidad al Distrito Federal y 18 municipios del Estado de México. Se encuentra rodeada por una cadena montañosa formada por las sierras del Ajusco, Chichinautzin, Nevada, Las Cruces, Guadalupe y Santa Catarina.

Esta cadena montañosa alcanza su nivel más alto hacia el sur, con 3,952 msnm, mientras que en el norte la altura máxima es de 3,000 msnm. Debido a esta altura, el contenido de oxígeno del aire de la ZMVM es aproximadamente 23% menor que al nivel del mar, lo que contribuye a que los sistemas de combustión interna sean menos eficientes y emitan una mayor cantidad de contaminantes. Por otro lado, la cadena montañosa que la rodea impide una adecuada dispersión de contaminantes, propiciando su estancamiento.

Aunado a esto, su latitud a 19° N ocasiona que reciba una radiación solar intensa que acelera la formación fotoquímica de contaminantes atmosféricos, así mismo, su ubicación en el centro del país permite que a lo largo del año resulte afectada por sistemas anticiclónicos, lo que provoca viento débil en superficie y cielo despejado, a causa de la estabilidad atmosférica, con la consecuente dificultad para la dispersión de contaminantes.

#### 2.3.2 Precipitación pluvial.

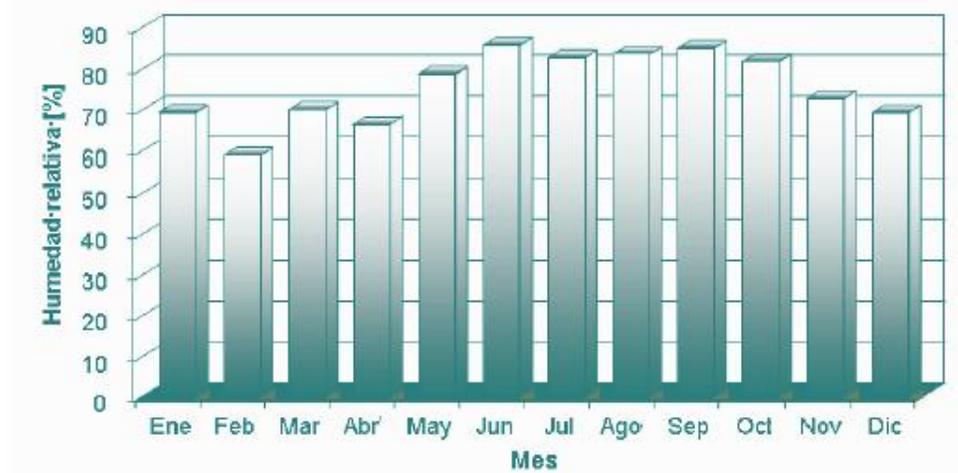
El aumento de las lluvias en la ZMVM en los meses de junio a septiembre, se asocia a la entrada de aire tropical, con alto contenido de humedad procedente del Océano Pacífico, Mar Caribe y Golfo de México. Dentro de estos meses, se registra un periodo conocido como canícula donde hay un intenso calor y las lluvias disminuyen, aunque normalmente se da en agosto, en el año 2004 se presentó en el mes de julio, como se puede observar en la siguiente gráfica.



Grafica 2.1. Precipitación acumulada mensual en el año 2004. (SMA-GDF, 2004).

### 2.3.3 Humedad relativa.

Con respecto a la humedad relativa, tenemos que en un mismo día pueden registrarse valores muy variados, sin que necesariamente tengan un patrón definido durante el día, como sucede con la temperatura. La tendencia durante el año, es que la etapa de mayor humedad se enmarque durante la temporada de lluvias. Para el caso específico del año 2004, se presentaron valores altos de esta variable en los meses que van de mayo a octubre; es decir, durante el tiempo de lluvias y durante los meses más calientes, tal como se presenta en la siguiente gráfica.



Grafica 2.2. Promedios mensuales de humedad relativa máxima, 2004. (SMA-GDF, 2004).



### 2.3.4 Viento.

En el Valle de México, la entrada principal del viento se ubica en la zona norte, región donde el terreno es más plano. Dependiendo de la época del año, la influencia de tales sistemas meteorológicos varía en mayor o menor grado, haciendo que exista una segunda entrada del viento por la región noreste del Valle; incluso, puede darse que el flujo del viento sea de sur a norte, cuando el viento en capas medias de la troposfera es suficientemente intenso como para que, a pesar de la barrera montañosa, se imponga esa dirección, sobre todo en los meses invernales. Es necesario remarcar que las dos últimas direcciones descritas normalmente se presentan en un porcentaje bajo, de tal forma que estos comportamientos no siempre se detectan en estudios que involucren un tiempo largo, como sería un análisis anual.

La siguiente figura muestra las rosas de viento con datos promedio de 5 estaciones meteorológicas que forman parte de la Red Meteorológica en el año 2004, en ellas se observa claramente que la dirección del viento es variable que aunque la componente principal es Norte, tenemos estaciones como la del Cerro de la Estrella donde los vientos dominantes provienen del sureste. Las velocidades del viento de las componentes principales se mantuvieron todo el año generalmente en el rango de 0.5 – 1.0 m/s.

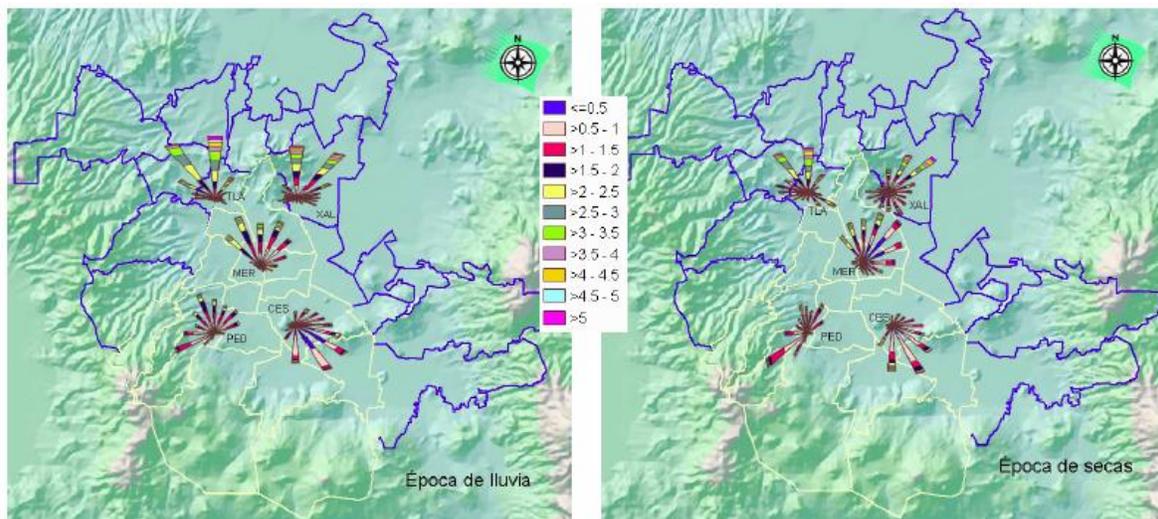


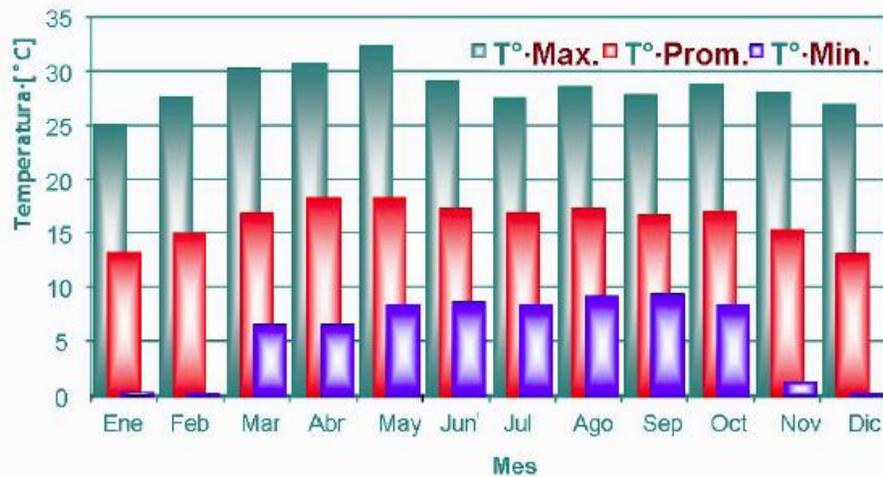
Figura 2.1. Rosas de viento con datos promedio de 5 estaciones meteorológicas en dos épocas distintas. (SMA-GDF, 2004).



El viento se ubica, desde el punto de vista de la contaminación, entre los factores meteorológicos climatológicos más importantes, ya que a partir de su dirección se identifican los sistemas meteorológicos que afectan, en cierto momento, a determinado lugar. Su intensidad es el factor principal para que los contaminantes emitidos a la troposfera, en capas cercanas a la superficie, se acumulen o se dispersen.

### 2.3.5 Temperatura.

Normalmente en el Valle de México, la temperatura máxima, mínima y promedio mensual tienden a presentar un patrón estacional como reflejo de la época del año; de esta manera, los valores más bajos se registran en la época seca-fría y los más altos en la seca-caliente, en consecuencia los valores moderados se presentan en la época de lluvias, cuando la formación de nubosidad es significativamente mayor y la insolación es interceptada por ésta.



Gráfica 2.3. Temperatura máxima, mínima y promedio mensual, 2004 (SMA-GDF, 2004).

### 2.3.6 Población.

Con base en los resultados del XII Censo General de Población y Vivienda del año 2000 en la Zona Metropolitana del Valle de México, residen 16.97 millones de habitantes, lo que hace que sea la tercera más poblada del mundo, sólo superada por Tokio y el área de Nueva York-Filadelfia. En conjunto, la población de la ZMVM representa el 17.4% del total nacional, el Distrito Federal, participa con el 51%, en tanto que los 18 municipios conurbados lo hacen con el 49% (SMA-GDF, 2004).



En la siguiente tabla podemos observar el número de habitantes de los sitios en los cuáles se realizó el estudio.

Sitio	Número de habitantes
Iztapalapa	1,773,343
Tecámac	172,813
Tlaxcala	73,230
Zapotlán de Juárez (San Pedro)	14,888

Fuente: INEGI, 2006

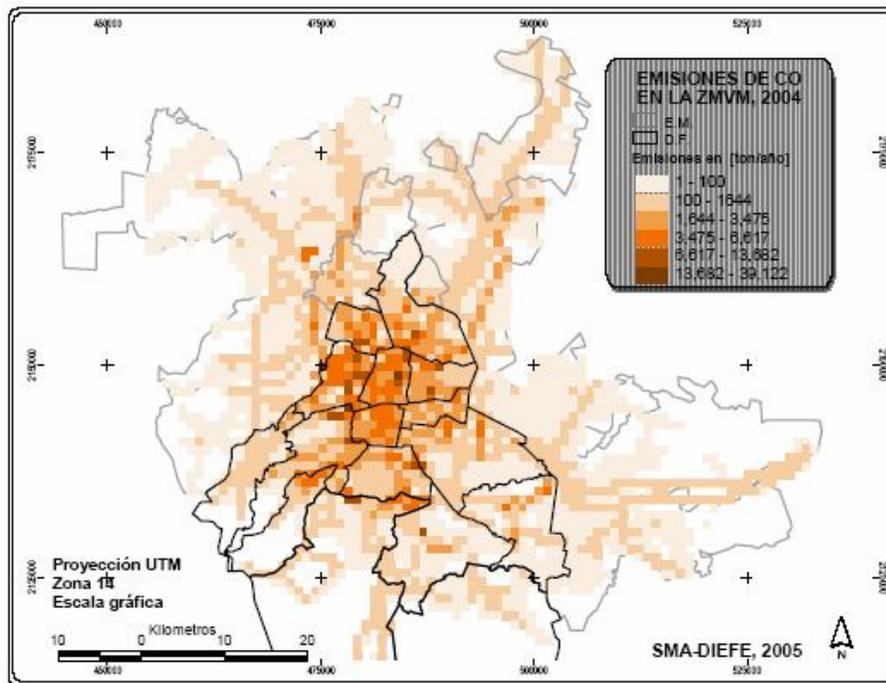
### 2.3.7 Industria.

La actividad industrial en el Distrito Federal ha disminuido respecto a años anteriores, favoreciendo el comercio y los servicios; no obstante, comparada con las demás entidades del país, mantiene su predominancia económica; en cambio, los municipios conurbados registran un ritmo creciente de establecimientos industriales.

El Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (Censos Económicos, 2004) reporta que en la ZMVM, se ubican aproximadamente 46,616 establecimientos manufactureros, 21,889 de éstos en los municipios conurbados del Estado de México y 27,727 en el Distrito Federal. Es importante mencionar que alrededor del 90% de estos establecimientos son micro industrias, el 6% son pequeñas industrias, el 3% mediana y menos del 1% son industrias grandes, lo anterior indica que las industrias medianas y grandes, que son las más importantes en su nivel de emisión de contaminantes, representan el 4% (1,985).

### 2.3.8 Transporte.

Debido a que el CO es producto principalmente de la combustión de los hidrocarburos utilizados como combustible y a que el 99% es generado por la combustión interna en los vehículos, su distribución está principalmente relacionada a la actividad de los mismos, en donde cabe destacar a los autos particulares, los vehículos mayores de tres toneladas y a los microbuses por su gran actividad. Con base en lo anterior, se puede mencionar que el CO sigue una distribución conforme a las principales calles y avenidas de mayor tránsito vehicular como se muestra en la siguiente gráfica.



Gráfica 2.4. Distribución espacial de CO en la ZMVM. (SMA-GDF, 2004).

Por otro lado los autos particulares en el año 2004, representan el 94% de las unidades destinadas al transporte de personas y sólo captan cerca del 20% de los viajes por persona al día que se realizan en la ZMVM, en contraste con las combis y microbuses que representan menos del 2% y en ellos se realizan cerca del 60% de los viajes por persona al día, como lo podemos observar en ésta tabla (INE-SEMARNAT, 2004).

Tabla 2.2. Vehículos destinados al trasporte de pasajeros y viajes persona/día.

Tipo de Vehículo	Vehículo para el transporte de personas		Porcentaje de viajes persona / día*
	Número	%	%
Autos particulares	2,967,893	93.6	19.9
Taxis <sup>1</sup>	118,634	3.7	4.4
Combis	19,485	0.6	58.6
Microbuses	33,051	1.0	
Autobuses	32,565	1.0	1.9
<b>Total</b>	<b>3,171,628</b>	<b>100.0</b>	<b>84.8**</b>

\*Porcentaje de viajes de 1998, \*\*El metro, tren ligero y trolebuses representan el 15.2% faltante

Fuente: INE-SEMARNAT, 2004



## 2.4 Normas de calidad del aire en la ciudad de México.

Las Normas Oficiales Mexicanas sobre calidad del aire fueron publicadas el 23 de diciembre de 1994, con una modificación para la norma de ozono publicada el 30 octubre de 2002, en el Diario Oficial de la Federación. Estas tienen como fin proteger la salud de la población, sobre todo la de los grupos más susceptibles como son los niños, los ancianos y las personas con enfermedades respiratorias y cardiopulmonares crónicas (INE-SEMARNAT, 2004).

Tabla 2.3. Valores normados para los contaminantes del aire en México.

CONTAMINANTE (NOM)	VALORES LÍMITE PERMISIBLES	
	Exposición aguda Concentración y tiempo promedio	Frecuencia Máxima aceptable
Ozono (O <sub>3</sub> )	0.11 ppm (1 hora)	1 vez al año
(Modificación a la NOM-020-SSA1-1993)	0.08 ppm (máximo diario de promedios móviles de 8 horas).	4 veces al año
Monóxido de carbono (CO) (NOM-021-SSA1-1993)	11 ppm (máximo diario de promedios móviles de 8 horas).	1 vez al año
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) (NOM-022-SSA1-1993)	0.13 ppm (24 horas)	1 vez al año
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) (NOM-023-SSA1-1993)	0.21 ppm (1 hora)	1 vez al año
Partículas menores a 10 micrómetros (PM <sub>10</sub> ) (NOM-025-SSA1-1993)	120 mg/m <sup>3</sup> (24 horas)	1 vez al año
Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM <sub>2.5</sub> ) (NOM-025-SSA1-1993)	65 mg/m <sup>3</sup> (24 horas)	1 vez al año

Para efectos agudos la Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que no se debe exceder una exposición mayor a 25 ppm en un periodo de 1 hora y 50 ppm durante 30 minutos. (World Health Organization, 2002)

La SEMARNAT ha emitido las siguientes normas en cuanto a los métodos de medición y calibración de equipo de monitoreo ambiental, las cuales se observan en la siguiente tabla:

Norma Oficial Mexicana	Método de medición y calibración de equipo para la determinación de las concentraciones
NOM-034-ECOL-1993	CO.
NOM-035-ECOL-1993	Partículas suspendidas totales.
NOM-036-ECOL-1993	Ozono.
NOM-037-ECOL-1993	Bióxido de nitrógeno.
NOM-038-ECOL-1993	Bióxido de azufre.

Fuente: SMA-GDF, 2004.



## 2.5 Principales contaminantes del aire en la ZMVM.

Existe una gran cantidad de contaminantes por lo que se hace mención de los más importantes, ya sea por su concentración y/o por el impacto que tienen en la calidad del aire.

### 2.5.1 Ozono.

Las altas concentraciones de ozono constituyen hoy en día el principal problema de contaminación atmosférica en el Valle de México. Es un contaminante que no se emite en los escapes o chimeneas, sino que se forma en la atmósfera, existen dos ciclos generales de reacciones fotoquímicas en la formación del ozono troposférico en los que participan el oxígeno molecular y dos de los denominados precursores del ozono: los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles (SEMARNAP, 1996).

Resultados de numerosos estudios indican que la exposición a ozono puede ocasionar inflamación pulmonar, depresión del sistema inmunológico frente a infecciones pulmonares, cambios agudos en la función, estructura y metabolismo pulmonar (EPA, 1993).

### 2.5.2 Bioxido de azufre.

El bióxido de azufre se genera tanto en fuentes naturales como en la combustión de materiales, principalmente combustible fósiles que contienen azufre (SEMARNAP, 1996).

Los óxidos de azufre penetran en los pulmones y se convierten en un agente irritante del tracto respiratorio inferior, son solubles en agua y al hidratarse dan lugar a la formación de ácidos sumamente agresivos. Estos se hidratan con la humedad de las mucosas respiratorias y constituyen un riesgo por producir irritación e inflamación aguda o crónica y suelen absorberse en las partículas suspendidas (NOM-022-SSA1-1993, D.O.F., viernes 23 de diciembre de 1994).

### 2.5.3 Plomo (Pb).

El plomo es uno de los metales pesados más difusamente distribuidos en toda la superficie de la tierra y, por consecuencia, el riesgo de exposición de la población en general es muy variado. Su principal fuente de emisión son las fundidoras y los automóviles (Stoker y Seager, 1981). Actualmente ha disminuido su concentración en el ambiente, debido al uso de gasolina sin plomo.

El plomo da lugar a la intoxicación aguda, o bien, se acumula de manera permanente en dientes y huesos. Se le asocia a alteraciones en el desarrollo del sistema nervioso central, así como a fenómenos de interferencia con los mecanismos de defensa del organismo (SEMARNAP, 1996).



#### 2.5.4 Hidrocarburos. Compuestos orgánicos volátiles (COV).

El origen de los hidrocarburos es de las emisiones de un sinnúmero de fuentes distribuidas en toda la zona metropolitana, incluyendo gases de escape de los automóviles, evaporación de la gasolina, procesos industriales, distribución de gas licuado de petróleo (GLP), aplicación de disolventes a nivel doméstico y de servicio, e incluso la vegetación (SEMARNAP, 1996).

La exposición a hidrocarburos provoca irritación ocular y olfatoria, irritación en las membranas mucosas, y alteraciones en la respiración, los hidrocarburos presentan una alta toxicidad por lo que se les considera un peligro para la salud (SEMARNAP, 1996).

A pesar de las dificultades para el establecimiento de normas de COV, algunos de éstos tóxicos como el benceno, el formaldehído el acetaldehído o el 1,3-butadieno deberían analizarse periódicamente para identificar y prevenir problemas potenciales de salud ambiental. Además de su función como precursores de la formación de ozono y otros oxidantes, los COV son motivo de especial preocupación debido a su alta toxicidad en los seres humanos (SEMARNAP, 1996).

#### 2.5.5 Oxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

El monóxido de nitrógeno se deriva de los procesos de combustión; es un contaminante primario y juega un doble papel en la materia ambiental, ya que se le reconocen efectos potencialmente dañinos de manera directa, al mismo tiempo que es uno de los precursores del ozono y otros oxidantes fotoquímicos (SEMARNAP, 1996).

El monóxido y el dióxido de nitrógeno son potencialmente dañinos para la salud humana, estimándose que el bióxido es aproximadamente 4 veces más tóxico que el monóxido. A la concentración que se encuentra en la atmósfera el monóxido de nitrógeno no es irritante y no se le considera como peligro para la salud, sin embargo, al oxidarse se convierte en bióxido de nitrógeno que sí representa un riesgo para la salud. La acumulación de bióxido de nitrógeno en el cuerpo humano constituye un riesgo para las vías respiratorias ya que se ha comprobado que puede alterar la capacidad de respuesta de las células en el proceso inflamatorio, siendo más frecuente en casos de bronquitis crónica (SEMARNAP, 1996).

#### 2.5.6 Partículas suspendidas.

Una clasificación de las partículas suspendidas, referente a su tamaño, es la siguiente: partículas gruesas: Se denominan así a las partículas que tienen un diámetro aerodinámico menor a diez micrómetros (PM-10). Partículas finas: Son aquellas partículas que tienen un diámetro aerodinámico menor a dos punto cinco micrómetros (PM-2.5) (SEMARNAP, 1996).



El origen de las partículas puede deberse a fuentes de carácter geológico, la emisión de polvos, gases y vapores provenientes de vehículos automotores e industrias; así mismo, se pueden formar en la atmósfera a partir de gases y vapores producidos por alguno de los siguientes procesos: reacciones químicas entre contaminantes gaseosos; reacciones químicas entre contaminantes gaseosos en la superficie de partículas ya existentes; aglomeración de aerosoles; reacciones fotoquímicas en las que intervienen compuestos orgánicos (SEMARNAP, 1996).

## 2.6 Exposición a monóxido de carbono.

El CO es el contaminante que se eligió para determinar la exposición en el medio ambiente, por lo cuál, en la tabla 2.5 se describen algunas características de dicho contaminante.

Tabla 2.5. Datos físico-químicos básicos del CO			
Nombre químico:	CO		
Sinónimos, nombres comerciales:	Óxido de carbono , CO, óxido de carbono (II) carbónico		
Nombre químico (alemán):	Kohlenmonoxid, Kohlenoxid		
Fórmula empírica:	CO		
Nombre químico (francés):	Oxyde de carbone, monoxyde de carbone		
Nombre químico (inglés):	Carbon monoxide, exhaust gas, flue gas		
Aspecto general:	Gas incoloro e inodoro		
Masa molecular relativa:	28,01 g		
Densidad relativa del gas:	0,97		
Punto de ebullición:	-191,5°C		
Punto de fusión:	-199°C		
Temperatura de ignición:	605°C		
Límites de explosividad:	12,5-74 % V		
Umbral de olor:	Ninguno		
Solvólisis:	En agua:	33 ml/l	(a 0°C);
		23 ml/l	(a 20°C);
	soluble en acetato de etilo, cloroformo, ácido acético glacial y otros solventes orgánicos.		
Factores de conversión:	1 ppm = 1,164 mg/m <sup>3</sup>		
	1 mg/m <sup>3</sup> = 0,859 ppm		

Fuente: CES, 2006



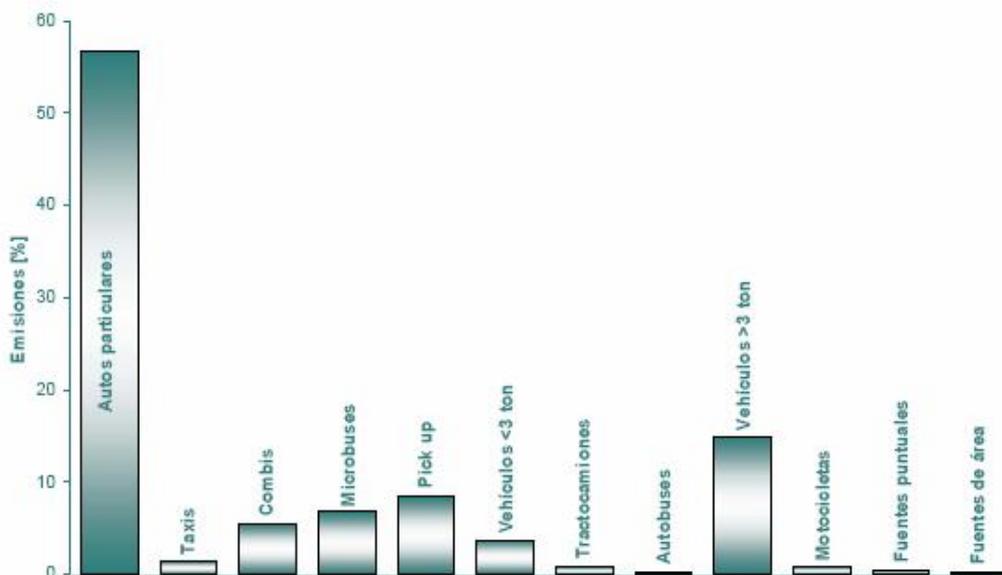
### 2.6.1 Fuentes.

Como se puede apreciar en la siguiente gráfica, en el año 2004 el 99% del CO fue emitido por las fuentes móviles. Se tiene que de las 1´792,081 toneladas anuales, los sectores de mayor importancia son los autos particulares con el 50% (890,602 ton/año), los vehículos mayores a 3 toneladas y los microbuses con el 10% y 8% respectivamente, así como los taxis con un 7%. Estas emisiones se generan debido a la combustión incompleta del combustible en los vehículos (Inventario de emisiones de la ZMVM, 2004).

Sector	CO	
	[ton/año]	[%]
Fuentes puntuales	6,443	0.4
Fuentes de área	7,731	0.4
Fuentes móviles	1,777,907	99.2
Vegetación y suelos	N/A	N/A
<b>Total</b>	<b>1,792,081</b>	<b>100</b>

Tabla 2.6. Fuentes de emisiones de CO en la ZMVM 2004 (SMA-GDF, 2004).

En la siguiente gráfica se muestra el porcentaje de contribución de las principales fuentes de CO de la ZMVM.



Gráfica 2.5. Porcentaje de contribución de las principales fuentes de CO de la ZMVM (SMA-GDF, 2004).



---

El CO es un subproducto no deseado de numerosos procesos térmicos. Se genera durante todos los procesos de combustión del carbono y sus compuestos cuando no hay saturación de oxígeno. Las fuentes naturales de CO son responsables de más del 90% de la emisión global; el 10% restante es de origen antropogénico (CES, 2006).

El CO es un constituyente traza de la troposfera que se forma en procesos naturales y en actividades humanas. Teniendo en cuenta que las plantas pueden metabolizarlo y producirlo, los niveles traza se consideran un constituyente normal del medio ambiente natural. Si bien las concentraciones en el ambiente cerca de las zonas urbanas e industriales pueden superar con creces los niveles básicos mundiales, no hay informes de efectos adversos en las plantas o los microorganismos producidos por estos niveles de CO medidos actualmente. Sin embargo, las concentraciones de CO en el medio ambiente pueden ser perjudiciales para la salud y el bienestar humanos, en función de los niveles que alcancen en las zonas de trabajo y de residencia y de la susceptibilidad de las personas expuestas a los efectos potencialmente adversos (e-ergias, 2006).

La concentración de CO en los espacios cerrados depende de la presente en el exterior, las fuentes interiores, la infiltración, la ventilación y la mezcla de aire entre las habitaciones y dentro de ellas. En residencias que carecen de fuentes, el promedio de la concentración de CO es prácticamente igual al del exterior. Las concentraciones más altas de CO en los espacios cerrados están relacionadas con fuentes de combustión y se encuentran, por ejemplo, en aparcamientos cerrados, estaciones de servicio y restaurantes. Las concentraciones más bajas de CO en espacios cerrados corresponden a viviendas, iglesias e instalaciones de atención sanitaria (e-ergias, 2006).

En estudios de exposición se ha puesto de manifiesto que el tabaquismo pasivo está asociado con un aumento de la exposición de los no fumadores de 1.5 ppm como promedio y el uso de una cocina de gas en el hogar con un aumento de alrededor de 2.5 ppm. Otras fuentes que pueden contribuir al CO en el hogar son el espacio de combustión y los calentadores de agua, así como las cocinas de carbón o de leña (e-ergias, 2006).

### 2.6.2 Aplicaciones.

La aplicación más importante del CO en la industria involucra su reacción con vapor temperatura elevada para obtener "syngas" el que se utiliza, por ejemplo, para producir etanol. El CO también se usa en la reducción de óxidos para separar los metales puros pero, en general, en muy pequeña escala (CES, 2006).



### 2.6.3 Comportamiento en el medio ambiente

#### Agua:

El CO es poco soluble en agua. En Alemania se encuadra al CO entre las sustancias de riesgo 0 para el agua. Su efecto sobre los peces es tóxico (CES, 2006).

#### Aire:

El CO es aproximadamente tan denso como el aire. Ingresa a la atmósfera y se oxida rápidamente formando dióxido de carbono. Esta sustancia constituye una especial amenaza por su amplia dispersión y su extrema toxicidad para los seres humanos y animales (CES, 2006).

#### Suelo:

En suelos no saturados con oxígeno se ha constatado una concentración mayor de dióxido de carbono, resultado de la oxidación del CO. El CO acelera la oxidación de NO para formar NO<sub>2</sub>. Aproximadamente 80 t de CO/km<sup>2</sup> son descompuestas por las bacterias del suelo cada año (CES, 2006).

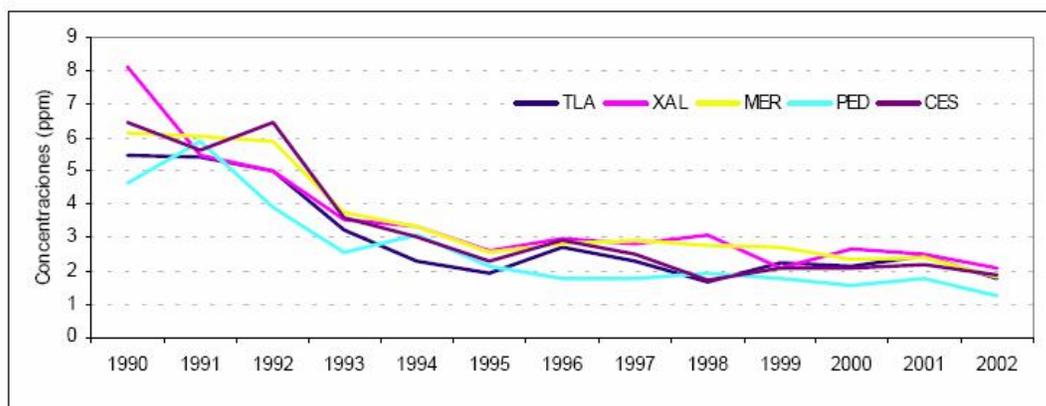
### 2.6.4 Degradación, productos de la descomposición.

El tiempo medio de persistencia del CO en la atmósfera oscila entre 1 y 2 meses. El tiempo medio de persistencia del CO ligado a la sangre es, aproximadamente de 250 minutos (CES, 2006).

El CO se oxida rápidamente formando dióxido de carbono. Especialmente a altas temperaturas reacciona explosivamente con numerosas sustancias (p.ej. con polvo de aluminio, potasio y dióxido de nitrógeno), con producción de calor (p.ej. con trifluoruro de bromo y óxido de plata). Las plantas metabolizan el CO transformándolo en CO<sub>2</sub> (CES, 2006).

### 2.6.5 Tendencias de CO en la ZMVM.

Sabemos que 55% del 99.2% de la concentración de CO que generan las fuentes móviles en el ambiente, es generado por los automóviles, con lo que podemos entender en la gráfica que a partir de 1993 año en que los automóviles empezaron a utilizar catalizadores, como se puede observar en la gráfica 2.6, tenemos una importante disminución en las emisiones de CO de acuerdo a las cinco principales estaciones de monitoreo de la ZMVM, (INE-SEMARNAT, 2004).



\*Tlalnepantla (TLA), Xalostoc (XAL), Merced (MER), Pedregal (PED) y Cerro de la estrella (CES).

Gráfica 2.6. Promedio anual de concentraciones horarias de CO en cinco estaciones de monitoreo de la ZMVM 1990-2002. (INE-SEMARNAT, 2004).

### 2.6.6 Exposición.

El término exposición puede definirse como el contacto entre un contaminante con una superficie del cuerpo humano, ya sea externa como la piel, o bien interna, como el epitelio de las vías respiratorias. De acuerdo con la Organización Mundial de Salud (OMS), la evaluación de la exposición a contaminantes es el eslabón más débil dentro de la cadena de procedimientos usados para estimar los riesgos a la salud causados por contaminantes atmosféricos, los cuáles son los siguientes: (Jungers et al., 1985).



Los principales datos que se deben de saber en cuanto a la exposición de los individuos son; A qué concentraciones de contaminantes se exponen y por cuánto tiempo se exponen a esas concentraciones (Fernández-Bremauntz, 1995).

Existen dos métodos de medir la exposición personal la medición directa y la medición indirecta. La medición directa consiste en seleccionar una población representativa, o parte de un grupo de interés y pedir a sus integrantes que lleven o que “usen” monitores personales mientras realizan sus actividades normales. Al mismo tiempo los participantes deben llenar un pequeño diario en le que indican las horas en las que se encuentran en diferentes microambientes (Fernández-Bremauntz, 1995).

La medición indirecta las concentraciones de contaminantes se investigan llevando a cabo muestreos representativos en aquellos microambientes que resulten de importancia para el grupo estudiado (Fernández-Bremauntz, 1995).



### 2.6.7 Exposición personal al CO

Durante las actividades cotidianas normales, la población entra en contacto con el CO en diversos microambientes -al viajar en vehículos de motor, en el lugar de trabajo, al visitar zonas urbanas asociadas con fuentes de combustión o al cocinar y calentarse con fuego de gas, carbón o leña- así como con el humo del tabaco. En general, las exposiciones más importantes al CO para la mayoría de las personas se producen en el vehículo y en microambientes internos (e-ergias, 2006).

En los estudios de exposición humana se ha comprobado que los gases de escape de los vehículos de motor son la fuente principal de las elevadas concentraciones de CO que se dan normalmente. Estos estudios indican que el interior de los vehículos de motor tiene como promedio la concentración de CO más alta de todos los microambientes (un promedio de 9-25 ppm). Además, se ha puesto de manifiesto que la exposición durante el desplazamiento diario al trabajo es enormemente variable, respirando algunos viajeros concentraciones de CO superiores a 35 ppm (e-ergias, 2006).

El puesto de trabajo es otro entorno importante de exposición al CO. En general, si se exceptúa la exposición durante el viaje diario de ida y vuelta al trabajo, la exposición en el entorno laboral es superior a la de los períodos en que no se trabaja. Las exposiciones ocupacional y no ocupacional pueden superponerse y dar lugar a una concentración más alta de CO en la sangre. Un aspecto todavía más importante es que el carácter de determinadas ocupaciones lleva consigo un riesgo mayor de exposición a concentraciones elevadas de CO (por ejemplo, las ocupaciones directamente relacionadas con la conducción, el mantenimiento o el aparcamiento de vehículos) (e-ergias, 2006).

Entre los grupos profesionales expuestos al CO procedente de los gases de escape figuran los mecánicos de automóviles; los empleados de aparcamientos y de gasolineras; los conductores de autobuses, camiones o taxis; los policías; y los trabajadores de almacenes, estaciones verificadoras de contaminantes, casetas de peaje, meseros y otros. Determinados procesos industriales pueden provocar la exposición de los trabajadores al CO producido directamente o como subproducto; entre ellos cabe mencionar la producción de acero, los hornos de coque, la producción de negro de humo y el refinado del petróleo. Los bomberos, los cocineros y los trabajadores de la construcción pueden verse también expuestos en el trabajo a concentraciones altas de CO. La exposición ocupacional en industrias o en lugares de producción de CO es de las exposiciones individuales más altas observadas en los estudios de vigilancia sobre el terreno (e-ergias, 2006).



## 2.7 Reportes de otros estudios internacionales y en México sobre la exposición ambiental a CO.

Los siguientes datos son de algunos trabajos realizados sobre exposición a CO, tanto en el extranjero como en México.

Tabla 2.7. Estudios de exposición personal de CO.				
REFERENCIA	PAIS	EQUIPO	TIPO DE ESTUDIO	RESULTADOS
<b>CO en aire espirado</b>				
Jones y Lam, 2006.	Hong Kong, China.	Personal marca Micro CO Meters (Micro Medical Ltd, Kent, UK).	CO espirado en Universitarios.	Media (ppm) Hombres fumadores 9.30 No fumadores 4.36 Mujeres Fumadoras 10.55 No fumadoras. 3.72
Quezada et al., 1997.	México Distrito, Federal.	Personal marca Spirometrics modelo 3100 CMD/1	CO espirado en transeúntes de febrero a marzo de 1996	Media (ppm) Hombres fumadores 10.4 No fumadores 6.3 Mujeres Fumadoras 9.1 No fumadoras. 6.0
<b>CO exposición personal</b>				
Yuri et al., 2004.	Milán, Italia.	Portátil marca Langan Modelo T15	Exposición personal en empleados que trabajan en oficinas, 2001.	Media Geométrica (ppm.) Interior de casas 1.9 Interior de trabajo 1.4 Autobús 3.2 Auto 4.3
Laia et al., 2004.	Oxford, Inglaterra.	Portátil marca Langan Modelo T15	Exposición personal y en microambientes en la ciudad de Oxford de 1998 a 2000.	Media Geométrica. 48 horas 0.34 ppm Máx. de 8 h. 0.86 ppm. Máx. de 1 h 2.15 ppm.
Georgoulisa et al., 2002.	Atenas, Basle, Helsinki, Milan, Praga.	Portátil marca Langan Modelo T15	Exposición personal en cinco ciudades de Europa de 1996 a 1998.	Media Geométrica. 48 h. Atenas 3.40 ppm. Basle 0.92 ppm. Helsinki 0.36 ppm. Milan 1.95 ppm. Praga 1.29 ppm.
Aguilar, 2002.	Lima, Perú.	Portátil marca Langan Modelo T15d	Concentración de CO en interiores, exteriores y en tránsito.	Se encontraron concentraciones en sitios de 1.2 a 36.0 ppm  En transporte se obtuvo un promedio de concentraciones de CO de 23.0 a 26.0 ppm.
Alm et. al., 2000	Helsinki, Finlandia.	Portátil marca Interscan modelo 2140	Exposición personal en niños de finales de 1990 a primavera de 1991.	Estadísticas 8 horas. Media aritm. 2.83 ppm. Media Geom. 7.22 ppm. Máximo. 24.31 ppm.
Vellopoulou Ashmore., 1998	Atenas, Grecia.	Portátil marca Draeger modelo 190.	Exposición personal de 1992 a 1993.	Media. (ppm) Oficina fumar 6.09 Oficina no fumar 2.49 Casa fumar 5.49 Casa no fumar 1.80 Automóvil a.m. 16.92 Automóvil p.m. 13.14

Analizando los resultados obtenidos por los autores, se puede decir, por ejemplo que las concentraciones de CO en aire espirado es de alrededor de 10 ppm en hombres y mujeres fumadores y de 3.7 a 6.3 en no fumadores (Jones, 2006, Quezada et al., 1997).

En interiores sin fumadores, la exposición personal fue de 0.36 a 24 ppm en diferentes ciudades y si estaba presente algún fumador las concentraciones fueron de 5.49 a 6.09 ppm (Ashmore, 1998, Georgoulisa et. al, 2002, Yuri et al., 2004, Laia et. al., 2004)



Se puede observar que, efectivamente, de acuerdo a la bibliografía, aquellas personas que fuman están expuestas a concentraciones mayores de CO que las personas que no fuman (Ashmore, 1998 Jones y Lam, 2006. Quezada et al., 1997).

Tabla 2.8. Estudios de concentraciones de CO en transporte.				
REFERENCIA	PAIS	EQUIPO	TIPO DE ESTUDIO	RESULTADOS
Wôhrnschimmel et al., 2006.	Distrito Federal, México.	Portátil marca Langan	Concentración de CO en transporte público en la Ciudad de México. Verano, 2004.	Media (ppm) Minibuses 15.8 Autobuses 11.4 Metrobus. 7.5
Kaur et al., 2005.	Londres, Inglaterra.	Portátil marca Langan Modelo T15 y T15v	Concentración de CO en diferentes medios de transporte en la ciudad de Londres, 2003	Media aritmética. (ppm) Caminando 0.9 Bicicleta 1.1 Autobús 0.8 Auto particular 1.3 Taxi 1.1
Gómez-Perales, et. al., 2004	Disrito Federal, México.	Portátil marca Langan Modelo T15	Concentración de CO en transporte público en la Ciudad de México.	Media Geométrica. (ppm) Minibús 14 Trolebús 11 Metro 7
Duci et al. 2003	Atenas, Grecia.	Portátil marca Solomat's Modelo MPM4100	Concentración de CO en diferentes medios de transporte en la ciudad de Atenas. Verano de 1998 y de nov. de 1998- a feb. de 1999.	Media (ppm) Autobús. Mañana 10.9 Medio día 8.7 Tarde 8.2 Auto priv. Mañana 22.9 Medio día 17.6
Chan et al., 2002	Guangzhou, China.	Portátil marca Interscan Modelo 4148.	Concentración de CO en transporte público en la Ciudad de Guangzhou, 2001.	Promedio. (ppm) Metro 3.1 Autobús 8.9 Taxi 28.7
Fernández-Bremauntz y Asmore. 1994.	Distrito Federal, México.	General Electric COED-1	Concentración de CO en transporte público en la Ciudad de México. Invierno de 1991	Media (ppm) Auto 57.5 Minibús 42.7 Trolebús 25.6 Metro 20.5

La exposición personal al CO fue mayor exposición en automóviles que en metro, trolebús e incluso caminando (Fernández et al., 1994, Duci et al., 2003 y Kaur et al., 2005). Los niveles observados en estos medios en estudios internacionales van de 0.8 a 28 ppm (Duci et al., 2003, Kaur et al., 2005 y Chan et al., 2002).

Se tiene una mayor exposición por la mañana que por la tarde por lo menos en la Ciudad de México y en Atenas (Gómez-Perales, et. al., 2004 y Ashmore., 1998)

En estudios nacionales durante los noventas se reportaron en vehículos concentraciones de 20.5 a 57.5 ppm y en un reporte reciente se reportan en transporte similares niveles de CO de 7 a 20 ppm (Fernández-Bremauntz y Ashmore. 1995, Gómez-Perales, et. al., 2004, Wôhrnschimmel et al., 2006.)



Tabla 2.9. Estudios de concentraciones de CO en exteriores con estaciones de monitoreo automáticas.

REFERENCIA	PAIS	EQUIPO	TIPO DE ESTUDIO	RESULTADOS
Wang y Lu, 2006.	Hong Kong, China.	Estación de monitoreo	Concentración de CO en la azotea un centro comercial rodeado de altos edificios, 2005.	Promedio 1999 1.18 ppm 2000 1.28 ppm 2001 1.18 ppm 2002 1.09 ppm
Chang y Lee, 2006	Taipei, Taiwan.	Estación de monitoreo.	Concentración de CO en cinco escuelas con el equipo a 15 metros de altura.	Estadísticas de 1994-2003 Media 1.02 ppm Máx 3.52 ppm Min 0.26 ppm
Venegas y Mazzeo, 2000.	Buenos Aires, Argentina.	Estación de monitoreo	Concentración de CO en una avenida Principal con un equipo instalado a seis metros del suelo, 1998.	Promedios Otoño 10.0 ppm Invierno 9.8 ppm Primavera 10.7 ppm.
Green Peace, 1995.	Distrito Federal, México.	Estación de monitoreo móvil.	Concentración de CO en exteriores a nivel del suelo, principales vialidades de la ciudad.	Promedio (ppm). Universidad. 21.95 Barranca del muerto 31.05 Politécnico. 34.23 Insurgentes 20.32

Trabajos realizados en azoteas utilizando estaciones de monitoreo automáticas en el extranjero indican que se tienen concentraciones de 0.26 a 10.0 (Wang y Lu, 2006. Chang y Lee, 2006. Venegas y Mazzeo, 2000.). En un monitoreo realizado en avenidas principales de México se encontraron concentraciones de 20.32 a 34.23 ppm. (Green Peace, 1995.)

## 2.8 Efectos.

La importancia para la salud del CO presente en el aire ambiente se debe fundamentalmente al hecho de que se une mediante un enlace fuerte a la molécula de la hemoglobina para formar carboxihemoglobina, que limita la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre. (e-ergias, 2006).

La norma fisiológica de concentración de carboxihemoglobina está entre 0,3 y 0,7 % en personas que no fuman. En fumadores la concentración de carboxihemoglobina promedia 4 %, reflejando la absorción del CO del aire inhalado (e-ergias, 2006).

Las personas con insuficiencia cardiaca son particularmente susceptibles a este contaminante porque a diferencia del individuo sano, no pueden compensar la falta de oxígeno con un aumento del flujo sanguíneo al organismo. En éste grupo de personas la inhalación de CO puede ocasionar desde una disminución de la capacidad para hacer ejercicio y dolores musculares hasta problemas de angina de pecho (e-ergias, 2006).

En la tabla 2.10 podemos observar los diferentes síntomas que se presentan a diferentes concentraciones de CO en distintos periodos de tiempo.



Tabla 2.10. Exposición-síntomas de CO.

CONCENTRACION DE CO EN EL AIRE	TIEMPO DE INHALACION	SINTOMAS
50 ppm	8 horas	Max. Permissible en adultos saludables.
200 ppm	2-3 horas	Ligero dolor de cabeza, cansancio, fatiga, náuseas.
400 ppm (máx. ppm en gases de combustión)	1-2 horas 3 horas	Dolor de cabeza frontal Amenaza para la vida.
800 ppm	45 minutos 2 horas 2-3 horas	Desvanecimiento, convulsiones Inconsciencia Muerte.
1600 ppm	20 minutos 1 hora	Desvanecimiento, inconsciencia Muerte.
3200 ppm	5-10 minutos 30 minutos	Inconsciencia Muerte.

Fuente: e-ergias, 2006.

### 2.8.1 Efectos cardiovasculares.

En adultos jóvenes sanos se ha observado claramente una menor absorción de oxígeno y la consiguiente disminución de la capacidad de trabajo en condiciones de ejercicio máximo a partir de una concentración de carboxihemoglobina del 5,0%, y se ha detectado una pequeña disminución en la capacidad de trabajo con concentraciones de carboxihemoglobina de sólo 2,3%-4,3%. Estos efectos pueden tener repercusiones en la salud de la población general, en cuanto a la limitación potencial de ciertas actividades profesionales o recreativas que requieren un esfuerzo físico grande en circunstancias de exposición a concentraciones de CO suficientemente altas (e-ergias, 2006).

En evaluaciones anteriores de los efectos cardiovasculares del CO se ha indicado que parece haber una relación lineal entre la concentración de carboxihemoglobina en la sangre y la disminución del rendimiento humano con el ejercicio máximo, medido como absorción máxima de oxígeno (e-ergias, 2006).

### 2.8.2 Toxicidad en el desarrollo.

Los estudios realizados en varias especies de animales de laboratorio aportan pruebas convincentes de que la exposición materna a 170-230 mg/m<sup>3</sup> (150-200 ppm) de CO, que da lugar a alrededor de un 15%-25% de carboxihemoglobina, produce una reducción del peso al nacer, retrasos en la evolución del comportamiento y alteración de la función cognoscitiva. De experimentos aislados parece deducirse que algunos de estos efectos pueden estar presentes con concentraciones de sólo 69-74 mg/m<sup>3</sup> (60-65 ppm; alrededor de un 6%-11% de carboxihemoglobina) mantenidas durante toda la gestación. Los estudios en los que se relaciona la exposición humana al CO de fuentes del medio ambiente o del humo de los cigarrillos con una reducción del peso al nacer son motivo de preocupación debido al riesgo de trastornos en el desarrollo; sin embargo, en muchos de estos estudios no se han tenido en cuenta todas las fuentes de CO (e-ergias, 2006).



### 2.8.3 Otros efectos sistémicos.

Se ha señalado que la inhalación de niveles altos de CO que dan lugar a concentraciones de carboxihemoglobina superiores al 10%-15% provocan varios otros efectos sistémicos en animales de laboratorio, así como efectos en las personas afectadas por una intoxicación aguda por CO. Los tejidos con un metabolismo de oxígeno muy activo, como el corazón, el cerebro, el hígado, el riñón y el músculo, pueden ser particularmente sensibles a la intoxicación por CO (e-ergias, 2006).

### 2.9 Campaña MILAGRO.

Para elaborar ésta tesis fue posible participar en campaña Megacity Initiative: Local and Global Research Observations “MILAGRO” por sus siglas en inglés, la cual tiene como propósito global el fortalecer la base científica para la evaluación y el diseño de políticas dirigidas a la mejora de la calidad del aire en la zona metropolitana de la Ciudad de México (ZMVM), desarrollando información científica que nos ayude a entender mejor los procesos de generación de contaminantes en la ZMVM; su dispersión, transporte y transformación en la atmósfera; los patrones de exposición de la población a estos contaminantes y sus efectos sobre la salud. Al igual que en campañas anteriores, los hallazgos relevantes para el diseño de políticas serán identificados y presentados a los representantes del gobierno mexicano en cooperación con el Centro Molina para Estudios Estratégicos de Energía y Ambiente (Reunión informativa sobre el proyecto MILAGRO, 2005).



---

### **3 Plateamiento del problema.**

Este proyecto surgió a partir de observar que no existe gran información acerca de la concentración a CO en microambientes y la exposición personal a CO en la ZMVM. Se ha reportado por diversos autores que aún cuando las mediciones en estaciones fijas de análisis continuo son bajas, existe la posibilidad de que una cantidad importante de personas estén expuestas a concentraciones mayores en sitios puntuales tales como; el interior de vehículos, en áreas de trabajo, avenidas con gran influencia vehicular, interior de casas donde utilicen combustible de biomasa, entre otros.

Por lo anterior se decidió determinar durante la campaña MILAGRO la exposición a CO en individuos y microambientes de cuatro sitios de la ZMVM, los cuáles varían desde zona urbana hasta zona semi-rural.



---

## 4 Objetivos e hipótesis.

Objetivo general.

- < Determinar la concentración de CO a la que se exponen personas en cuatro sitios, dos sitios urbanos y dos sitios semi-rurales.

Hipótesis general.

- Se espera que en general, la concentración de CO en los cuatro sitios se encuentre por debajo de la norma, la cuál es de 11 partes por millón (ppm) durante promedio móviles de 8 horas.
- Se encontrarán puntos en los cuáles las concentraciones excedan la norma, pero serán por periodos cortos de tiempo.

Objetivo particular.

- < Determinar en cuál de los cuatro sitios es mayor la concentración de CO.

Hipótesis particular.

- De acuerdo a la literatura se espera encontrar una mayor concentración de CO en la zona urbana.

Objetivo particular.

- < Analizar los resultados y determinar los puntos en los cuáles se tiene una exposición mayor.

Hipótesis particular.

- Se espera encontrar una mayor concentración de CO en puntos como: en sitios donde utilicen equipos de combustión, que se encuentren cerca de una fábrica o industria, en el interior de vehículos y avenidas con gran influencia vehicular.
- Comparando el diario de actividades con las concentraciones, en los periodos de tiempo en que se tenga una mayor concentración, se observará en el diario de actividades la fuente de CO.



## 5 Métodos.

### 5.1 Tipo de estudio.

Este es un estudio para determinar la concentración de CO a la que se exponen las personas y en microambientes de los cuatro sitios seleccionados.

### 5.2 Población.

El monitoreo personal se llevó a cabo con padres de familia de alumnos de 5° y 6° grado de escuelas primarias, de cuatro diferentes sitios, dos sitios urbanos (Tecámac Estado de México e Iztapalapa Distrito Federal) y en dos sitios semi-rurales (San Pedro Estado de Hidalgo y Tlaxcala Tlaxcala).

Al obtener el permiso de los directores de las escuelas para la realización del estudio, se realizaron pláticas con los padres de familia para explicarles la importancia del proyecto así como de su participación. Los padres de familia que participaron, en su mayoría fueron hombres que trabajaban fuera del hogar, y en menor número participaron mujeres amas de casa.

### 5.3 Equipo.

El equipo que se utilizó para realizar las mediciones de concentración de CO y temperatura fue un monitor pasivo portátil de lectura directa marca Langan (Langan, San Francisco).

El equipo utiliza un software específico para poder programar su hora de inicio, de término, así como, su periodo de muestreo. El programa también se utiliza para poder descargar los datos cuando sea necesario, para después abrirlos en Excel y realizar el análisis necesario. (Langan, 2003).

Para realizar éste proyecto se utilizaron cuatro modelos diferentes de monitores personales marca Langan, pero para los cuatro modelos aplica el mismo principio de operación. Básicamente lo que diferencia los modelos es, la presentación del equipo y el software que se utiliza para descargar los datos.

Este equipo utiliza sensores electroquímicos para proporcionar una señal, la cual resulta de liberar electrones durante una reacción química. Con lo que se obtiene un rango de concentración de 0 a 250 ppm con una resolución de 0.5 ppm (Langan, 2003).



La reacción química se realiza debido a que un extremo de la celda está expuesta al aire ambiente, por medio de una delgada malla de difusión, con lo que resulta: (Langan, 2003).



Los electrones pasan a través del circuito hacia el otro extremo de la celda donde se lleva a cabo la siguiente reacción: (Langan, 2003).



El  $\text{CO}_2$  escapa y la mezcla de aire es reemplazada. La capilaridad de la malla a la entrada asegura que la actividad electroquímica sea mayor que la concentración de CO a la se encuentra expuesta; con lo cuál tenemos una medición volumétrica de CO presente en el aire, la cuál es de 10 mV por 1 ppm (Langan, 2003).

Un sensor de temperatura independiente está colocado junto al sensor de CO. Este sensor de temperatura proporciona una señal de 10 mV por °F y tiene un rango de operación de temperatura de -5° C a 40° C (Langan, 2003).

#### 5.4 Corrección de los datos.

Debido a que no fue posible calibrar directamente los equipos Langan, se llevó a cabo una corrección de los datos generados. Para realizar la corrección se compararon las lecturas de los monitores con las de un calibrador de flujo másico modelo 700, marca Teledyne Advanced Pollution Instrumentation (T-API) (Instruction manual model 700 mass flow calibrator, San Diego), el cuál genera diferentes concentraciones conocidas de diversos gases, entre ellos el CO.

Lo anterior se llevó a cabo utilizando el CO de un cilindro con una concentración de 5070 ppm y el aire seco y libre de impurezas que se genera en el sistema de aire cero modelo 701 (Teledyne Instruments, San Diego). Es importante aclarar que el flujo de CO a diferentes concentraciones que se utilizó para la corrección de los datos de los equipos Langan fue de 5 LPM (litros por minuto), ya que el calibrador estaba configurado para ése flujo. Las correcciones de los equipos se realizaron en CENICA aproximadamente cada semana, obteniéndose cinco revisiones durante el periodo de monitoreo. Los datos de los equipos fueron corregidos con los valores de las revisiones dependiendo la fecha en la cuál se utilizaron.

Para realizar la corrección, debido a experiencias de monitoreos anteriores en los que las concentraciones observadas fueron menores a 30 ppm, se eligieron los puntos de comparación de las concentraciones de CO de 0, 12, 24 y 36 ppm. Con



los datos de las respuestas de los equipos y los puntos de concentraciones elegidos, se calculó una regresión lineal que permitió corregir los datos.

La corrección de los datos se lleva a cabo con la siguiente ecuación:

Donde:

$CO_{corr}$  = CO corregido.

$CO_{camp}$  = CO obtenido en campo.

t = Ordenada al origen.

m = Pendiente.

$$CO_{corr} = \frac{CO_{camp} - t}{m}$$

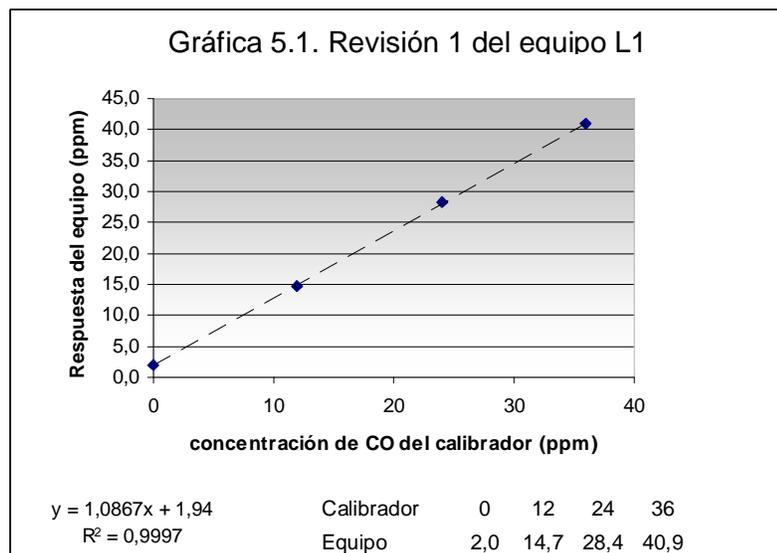
Los datos obtenidos en campo se correlacionan de forma lineal con las mediciones del calibrador de flujo másico, obteniéndose en las diferentes revisiones coeficientes de determinación ( $R^2$ ) que van de 0.9987 a 1.000, como se observa en la siguiente tabla. En base a esto podemos considerar que el grado de error producto de la corrección de los datos es mínimo.

**Tabla 5.1. Valores del coeficiente de correlación ( $R^2$ ) en las revisiones realizadas.**

	20-marzo-2006	24-marzo-2006	4-abril-2006	2-mayo-2006	13-junio-2006
Equipo	REVISIÓN 1	REVISIÓN 2	REVISIÓN 3	REVISIÓN 4	REVISIÓN 5
L1	0,9997	0,9995	0,9995	0,9999	0,9997
L2	0,9995	0,9994	0,9997	0,9988	0,9999
L3	0,9988	0,9995	0,9995	0,9991	0,9994
L4	0,9999	0,9998	0,9997	0,9995	0,9999
L5	0,9986	0,9995	0,9996	0,9988	**
L6	0,9986	0,9991	0,9997	0,9982	**
L7	**	0,9998	0,9997	0,9997	0,9997
L8	**	1,0000	0,9999	0,9998	0,9997
L9	**	0,9999	0,9999	1,0000	0,9999
L10	**	0,9987	0,9993	0,9998	0,9999

\*\*No se utilizó el equipo

La siguiente es una gráfica de dispersión, donde se observa el valor de  $R^2$  y la ecuación lineal con m y t con los cuáles se corrigieron los datos del equipo L1 durante la fecha antes mencionada.





## 5.5 Estrategia.

Los monitores fueron programados para realizar mediciones cada 15 minutos durante 24 horas. El monitoreo se llevó a cabo del 6 de marzo al 28 de abril de 2006.

Aquellos padres de familia que aceptaron participar firmaron una carta de consentimiento en la cuál se les explicaba las características del estudio. Además se expresa que en cualquier momento podían retirarse del proyecto, incluso, podían pedir que sus resultados no se utilizaran una vez que ya habían participado.

Se pidió permiso a los padres de colocar equipos en el interior y en el exterior de sus casas y lo mismo a los directores para colocar los equipos en las escuelas. El equipo en el interior de escuelas y casas se colocó en bolsas a una altura de entre uno y dos metros respecto al nivel del suelo y a una distancia de dos a cuatro metros de puertas y ventanas que dieran al exterior.

Se contaba con estaciones móviles y fijas de monitoreo automático en T1, T2 y T0, en donde se colocaron monitores Langan, para comparar las concentraciones medidas por las estaciones con los datos de los monitores Langan.

Se colocaron cinco duplicados, dos en T0, dos en TT y uno en T1.

En el exterior de casas y escuelas, el equipo se colocó a una altura de uno a dos metros respecto al nivel del piso (ver imagen 5.1.), cerca de la puerta de acceso al interior de los mismos. En el interior el equipo se colocó a la misma altura, en el lugar donde la familia pasaba más tiempo (ver imagen 5.2.).





Imagen 5.1. Colocación del equipo en exterior de casa.

Imagen 5.2. Colocación del equipo en interior de casa.

En el punto de monitoreo elegido por cada sitio de muestreo, el equipo se colocó en el exterior a una altura de uno a dos metros de altura respecto al nivel del piso.



Imagen 5.3. Colocación del equipo en exterior de punto de monitoreo.

Tanto en interiores como en exteriores se tuvo la precaución de no colocar los equipos cerca de fuentes de combustión.

También se contó con el apoyo de padres de familia que portaron el monitor durante 24 horas. Los padres portaron el equipo en una bolsa, la cual tenía un orificio por donde la celda del equipo monitoreaba las concentraciones de CO, como podemos observarlo en la siguiente imagen.



Imagen 5.3. Monitoreo de exposición personal a CO.



## 5.6 Cuestionarios

Los padres que participaron tanto en exposición personal como en microambientes llenaron dos cuestionarios. En un cuestionario se pregunta sobre las características de la vivienda (dimensiones, fuentes de contaminantes, entre otras características). El segundo cuestionario es un diario de actividad, en el que proporcionan información de las actividades que realizan a partir de las 8:00 a.m. del día de monitoreo a las 7:30 a.m. del día siguiente por periodos de media hora, así como posibles fuentes de exposición (cerca de personas que fumen, de equipos de combustión, etc.).

## 5.7 Captura y análisis de los datos.

En el desarrollo de éste proyecto se utilizaron 10 monitores Langan de los cuales se tenían cuatro modelos diferentes y utilizan tres programas distintos para descargar los datos, los cuales podemos observar en la siguiente tabla.

Tabla 5.2. Cantidad Modelo y software de equipos Langan

CANTIDAD DE EQUIPOS	MODELO DE EQUIPO	SOFTWARE
1	L15	Data Bear
1	T15d	Data Bear
4	T15v	Spectrum
4	T15n	Hobo Ware

Una vez que se descargan los datos, se guardan en un archivo de texto, para posteriormente cambiarlos a formato Excel, en donde se realizó la corrección de los datos.

Con los datos corregidos, se realizó el análisis estadístico y las graficas de cajas, lo cual se llevó a cabo con el paquete estadístico SPSS. Como prueba de significancia se utilizaron las pruebas t-test para datos con comportamiento normal y Wilcoxon para datos con comportamiento no normal, para lo cual se utilizo el programa R-2.4.1. Las gráficas de tiempo-concentración se realizaron con el programa Grapher 4.



## 6 Resultados.

### 6.1 Sitios.

Los cuatro sitios de monitoreo se etiquetaron con las siguientes claves para facilitar el manejo de la información.

Tabla 6.1. Claves de identificación de los sitios.

SITIO	CLAVE
SAN PEDRO	T2
TECAMAC	T1
IZTAPALAPA	T0
TLAXCALA	TT

### 6.2 Datos obtenidos.

En la siguiente tabla se presentan las fechas en las cuales se realizó el monitoreo de concentración de CO en los cuatro diferentes sitios, así como el número de muestras obtenidas.

Tabla 6.2. Fechas de monitoreo y número de muestras por día de monitoreo.

ID	Fecha	Total muestras	Muestras perdidas	Muestras válidas
T2	06-mar	4	-	4
	08-mar	6	-	6
	13-mar	6	-	6
T1	16-mar	6	-	6
	22-mar	10	-	10
	27-mar	6	-	6
T0	30-mar	10	-	10
	04-abr	6	-	6
	06-abr	10	-	10
	18-abr	10	2	8
	20-abr	10	2	8
	25-abr	10	2	8
	27-abr	9	2	7
TT	06-jun	8	-	8
	08-jun	4	-	4
Total		115	8	107

La pérdida de ocho muestras en T0 se debió a que se tuvo problemas con el software al intentar descargar los datos de los equipos Langan L5 y L6.



En la tabla 6.3. se presentan las muestras válidas con las cuáles se realizó el análisis estadístico.

Tabla 6.3. Cantidad de muestras utilizadas en el análisis estadístico.

	Casa			Escuela			Personal	Sitio	Total
	Exterior	Interior	Total	Exterior	Interior	Total	Total	Total	
T 0	14	13	27	2	2	4	21	5	57
T 1	3	2	5	1	2	3	10	4	22
T 2	1	1	2	1	1	2	12	**	16
TT	4	4	8	1	1	2	**	2	12
Total	22	20	42	5	6	11	43	11	107

\*\* No se colocaron equipos.

### 6.3 Duplicados.

Se colocaron duplicados en el interior de una casa (C), en el exterior de dos casas y en el interior de una escuela (E) para el control de calidad del monitoreo. Los resultados de los duplicados se pueden analizar en la tabla 6.4., en donde se muestra el valor de la diferencia porcentual.

Tabla 6.4 Determinación de la calidad del monitoreo.

Sitio	No.	P1	P2	IP1-P2I	P*	IP1-P2 I /P*
TT Interior	C5	1,75	1,86	0,11	1,81	0,06
T1 Exterior	C13	1,99	2,50	0,51	2,25	0,23
TT Exterior	C5	0,98	0,75	0,23	0,87	0,27
T0 Interior	E1	1,46	1,64	0,18	1,55	0,12

No. = Número de identificación.

P1 = Promedio número uno.

P2 = Promedio número dos.

I P1-P2I = Diferencia en valor absoluto de los promedios.

P\* = Promedio de P1 y P2.

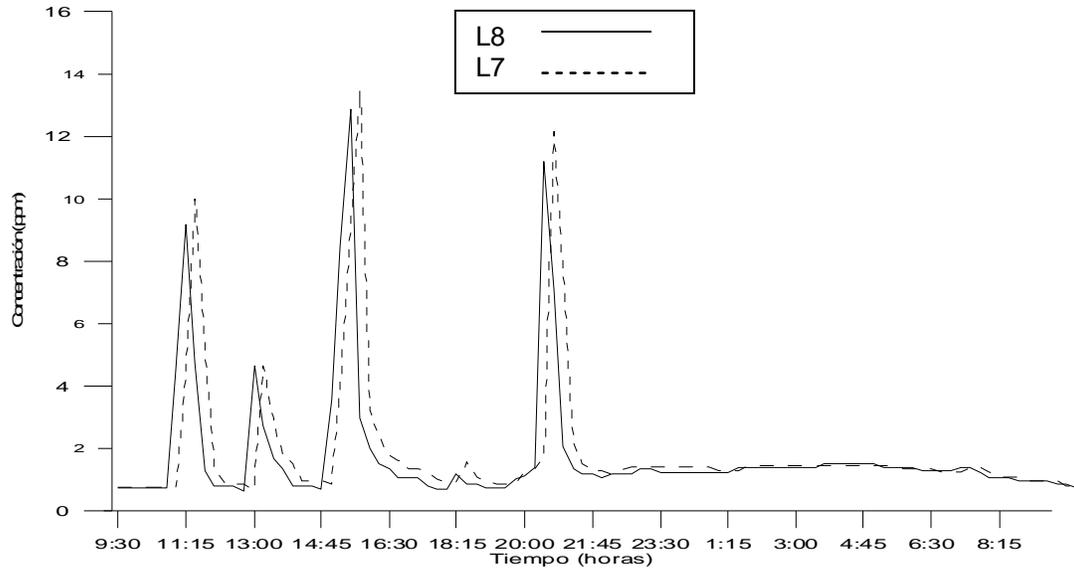
I P1-P2I /P\* = Diferencia porcentual.

Al calcular la diferencia porcentual del monitoreo en general (promedio de las diferencias porcentuales individuales), se obtuvo un valor de 17% con una desviación estándar de +/- 9.5%, lo cual es un valor aceptable, debido a que en general, se obtuvieron concentraciones bajas y se acepta un valor en diferencia porcentual menor a 20% para tener datos confiables.

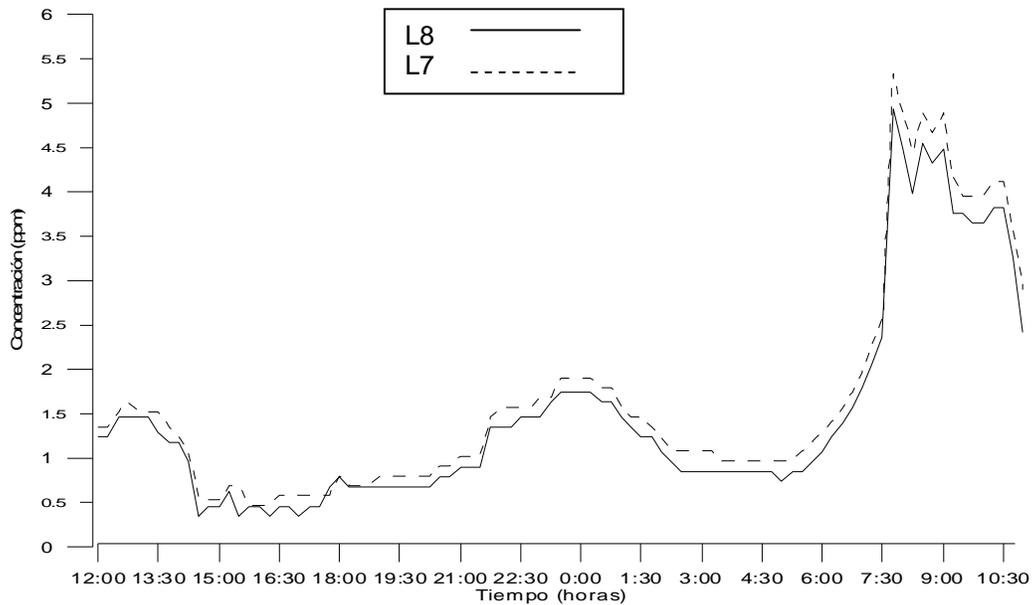
Las siguientes gráficas (6.1. y 6.2.) son ejemplos de los resultados obtenidos al realizar los duplicados, donde se puede observar que se tiene un buen funcionamiento de los monitores, con lo cuál, como parte de calidad del trabajo de investigación se confía en los datos obtenidos por los monitores.



Gráfica 6.1. Duplicado del interior de una casa en Tlaxcala.



Gráfica 6.2. Duplicado del interior de una escuela en Iztapalapa.

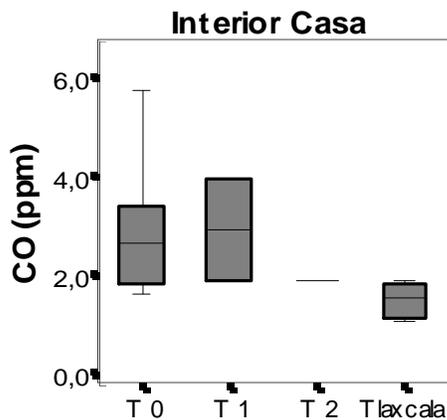




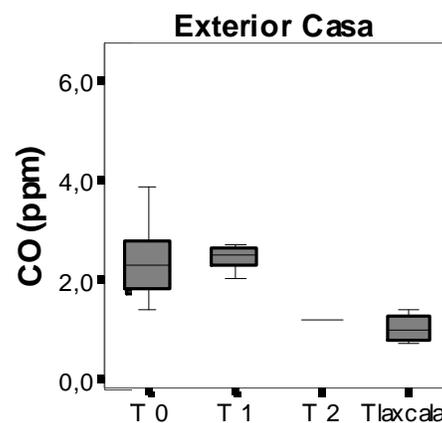
## 6.4 Niveles de concentración de CO.

Para la elaboración de las siguientes gráficas, se utilizaron los promedios de las concentraciones de CO (ppm) de los monitoreos individuales en los diferentes sitios de estudio. En el Anexo I se presentan tablas con los resultados estadísticos de la concentración de CO.

### 6.4.1 Casas.



Gráfica 6.3. Promedios en interior de casas



Gráfica 6.4. Promedios en exterior de casas

#### Exterior casas.

Entre las concentraciones en el exterior de casas de los sitios T1 (2.4 ppm) y T0 (2.4 ppm) no se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p = 0.72$ ). Los valores en T2 (1.1 ppm) y TT (1.0 ppm) fueron similares entre sí, pero más bajos que en T1 y en T0 ( $p = 0.004$  entre T0 y TT).

Por lo anterior, las concentraciones en exteriores fueron aproximadamente 2.4 veces mayor en los sitios urbanos que en los sitios rurales.

#### Interior casas.

En el interior de casas se tuvo el mismo promedio de concentraciones en los sitios T1 (2.9 ppm) y T0 (2.9 ppm)). Los valores en T2 (1.9 ppm) y TT (1.4 ppm) fueron similares entre sí, pero más bajos que en T1 y en T0 ( $p = 0.012$  entre T0 y TT).

Por lo cual, las concentraciones en interiores fueron aproximadamente 2 veces mayor en los sitios urbanos que en los sitios rurales.

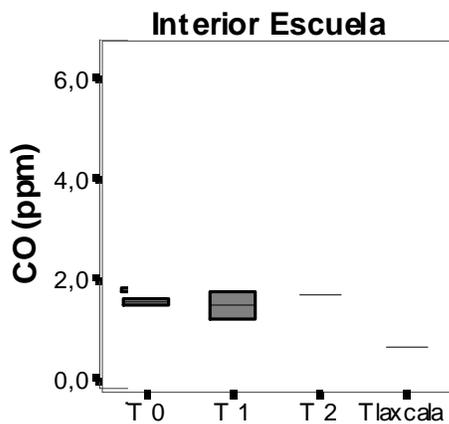


## Relación interior/externo en casas.

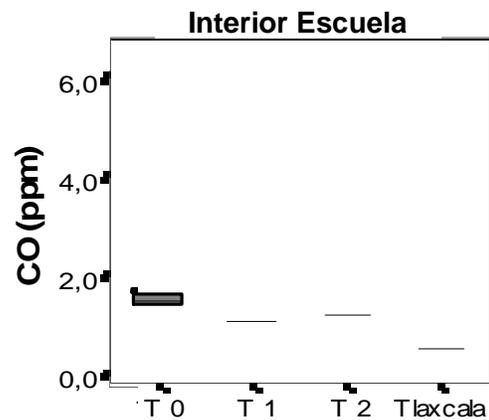
Al determinar la relación de las concentraciones de CO en el interior y en el exterior de las casas en los sitios, se observó que existe una mayor diferencia en la relación I/E en los sitios T2 y TT (1.64 y 1.51 veces respectivamente) que en T0 (1.21) y en T1 (1.20).

Por lo cual, se tiene una mayor concentración de CO en el interior que en el exterior de las casas de los sitios monitoreados.

### 6.4.2 Escuelas.



Gráfica 6.5. Promedios en interior de escuelas



Gráfica 6.6. Promedios en exterior de escuelas.

### Exterior escuelas.

Entre las concentraciones en el exterior de escuelas los sitios que presentaron mayores concentraciones fueron los sitios T0 (1.4 ppm), T2 (1.2 ppm) y T1 (1.0 ppm). El sitio con concentraciones más bajas fue TT (0.4 ppm).

### Interior escuelas.

De acuerdo a las concentraciones en el interior de escuelas, se observa que el valor más alto se tuvo en T2 el cuál fue de 1.7 ppm, los sitios T0 y T1 tuvieron un valor de 1.5 ppm. El valor menor se tuvo en TT con 0.7 ppm.

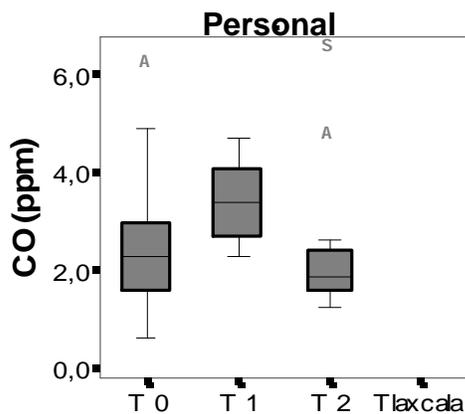


## Relación interior/externo en escuelas.

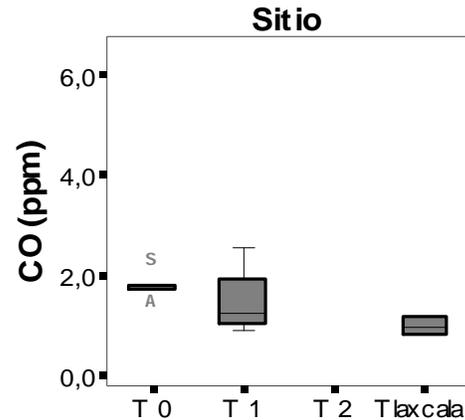
Al determinar la relación de las concentraciones de CO en el interior y en el exterior de las escuelas en los sitios, se observó que existe una mayor diferencia en la relación I/E en los sitios TT, T1 y T2 (1.50, 1.52 y 1.47 veces respectivamente) que en T0 (1.08 veces).

Por lo cual, se tiene una mayor concentración de CO en el interior que en el exterior de las casas de los sitios monitoreados.

### 6.4.3 Personal y sitios de monitoreo.



Gráfica 6.7. Promedios en monitoreos personales



Gráfica 6.8. Promedios en sitios.

### Monitoreos personales.

No se tuvieron muestras de personales en TT. De acuerdo a las concentraciones de CO, se observa que el valor más alto de exposición se tuvo en T1 (3.4 ppm) seguido de T0 (2.5 ppm) y T2 (2.4 ppm). Se encontró diferencia significativa entre T0 y T1 ( $p=0.02$ ) y entre T2 y T1 ( $p=0.01$ ). No se encontró diferencia significativa entre T0 y T2 ( $p=0.4$ ).

### Sitios de monitoreo.

No se tuvieron muestras en el sitio fijo de monitoreo en T2. Se determinó que el valor más alto se tuvo en T0 el cuál fue de 1.7 ppm posteriormente T1 con un valor de 1.4 ppm, el valor menor se tuvo en TT con un valor de 1.0 ppm.



---

## 6.5 Gráficas de tiempo-concentración de CO.

Para este análisis se seleccionaron los individuos que presentaron mayores exposiciones y los hogares con mayores concentraciones con el objeto de identificar condiciones determinantes de los niveles observados. A continuación se presentan las gráficas tiempo-concentración de CO, en éstas se compara la exposición con la información del cuestionario de vivienda. De esta forma se analiza la contribución de los diferentes microambientes y actividades a la exposición al CO durante en el periodo de monitoreo.

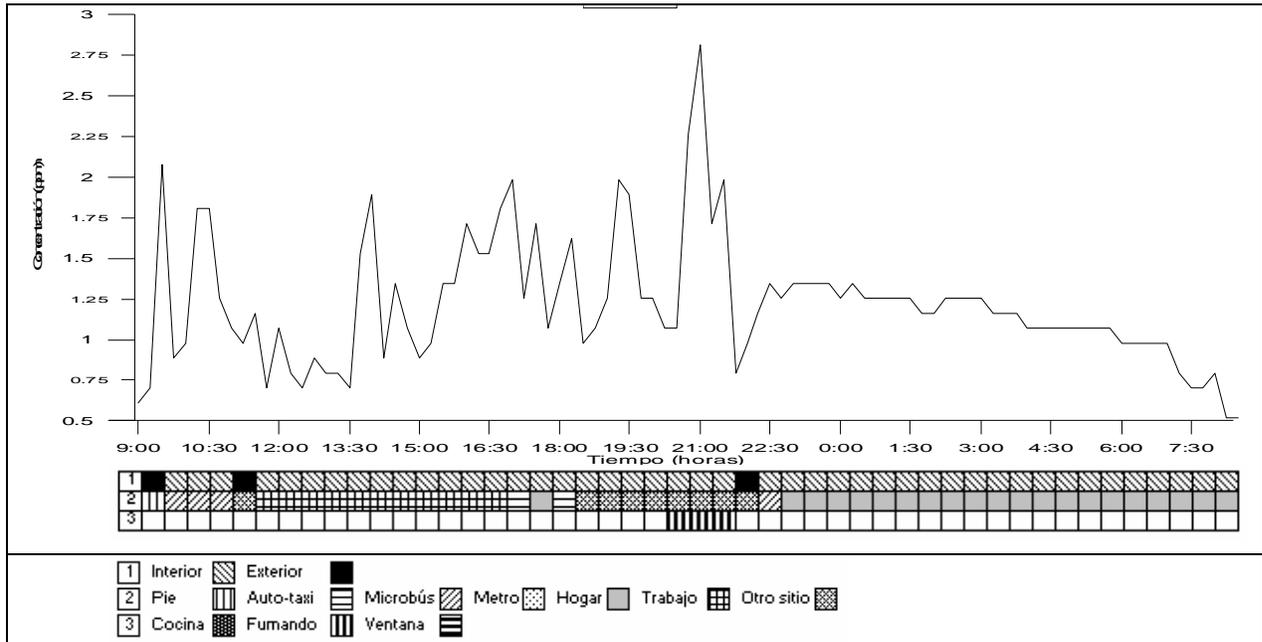
En estas gráficas de exposición personal se utilizó un código de tramas para sintetizar el diario-actividad contestado por los participantes. La primer línea se refiere a si el participante se encontraba en interior o exterior de un microambiente. La segunda línea indica en que microambiente se encontraba el participante, por ejemplo, caminando, en taxi, en su casa, entre otros. En la tercer línea se indica, si en el microambiente en el que se encontraba el participante se tenían las ventanas abiertas, estaba cerca de personas fumando o él estaba fumando, o si se encontraba en la cocina.

### 6.5.1 Gráficas de exposición personal a CO.

El caso 1 es de un individuo que vivía en T2, se observa que el primero pico que se tiene es a las 9:15 horas cuando la participante sale de su casa caminando y se sube al microbús para dirigirse a su trabajo (Pollería) que se encuentra en Pachuca en un trayecto aproximado de 30-45 minutos. Se tiene un pico mas alto de 2.75 ppm a las 21:00 horas que es cuando la participante se encuentra en el interior de un sitio en el cuál está expuesta al humo de cigarro.

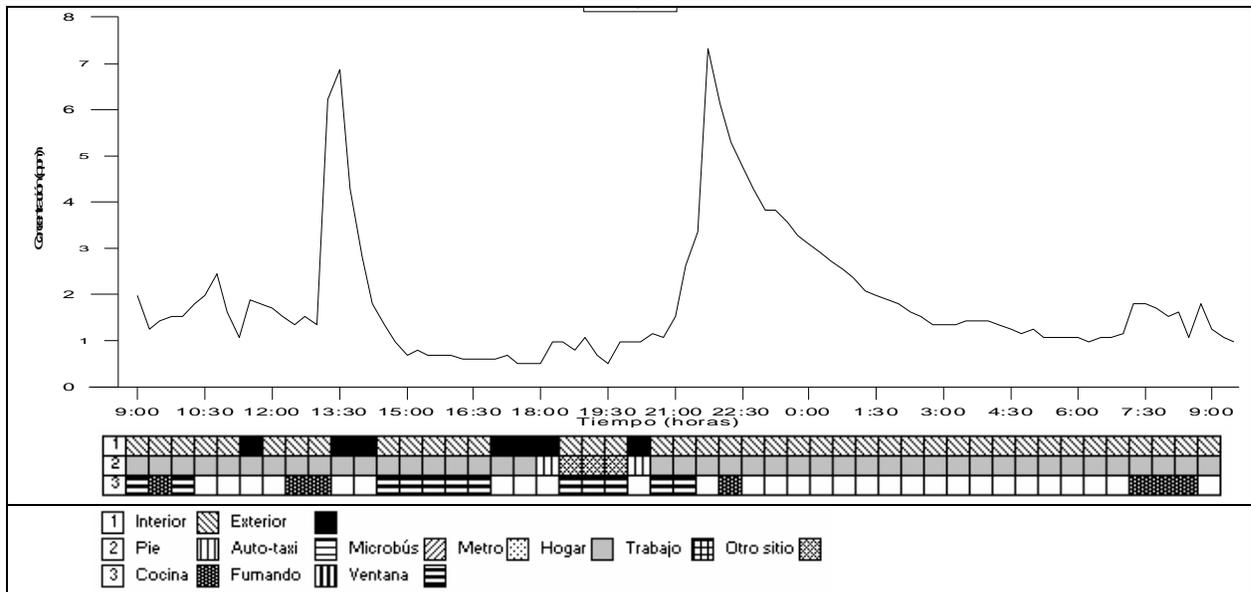


Gráfica 6.9. Caso 1



El caso 2 es un ama de casa en T2, esta cocinó cuatro veces durante el periodo de muestreo; el primer pico de concentración de CO se presentó a las 10:30, quizás la participante se confundió y en el diario-actividad indica que cocinó a las 9:30. El segundo pico es a las 13:30, el tercero a las 22:00 y el cuarto de las 7:30 a las 9:00 horas que coincide con el reporte de estar cocinando la cena.

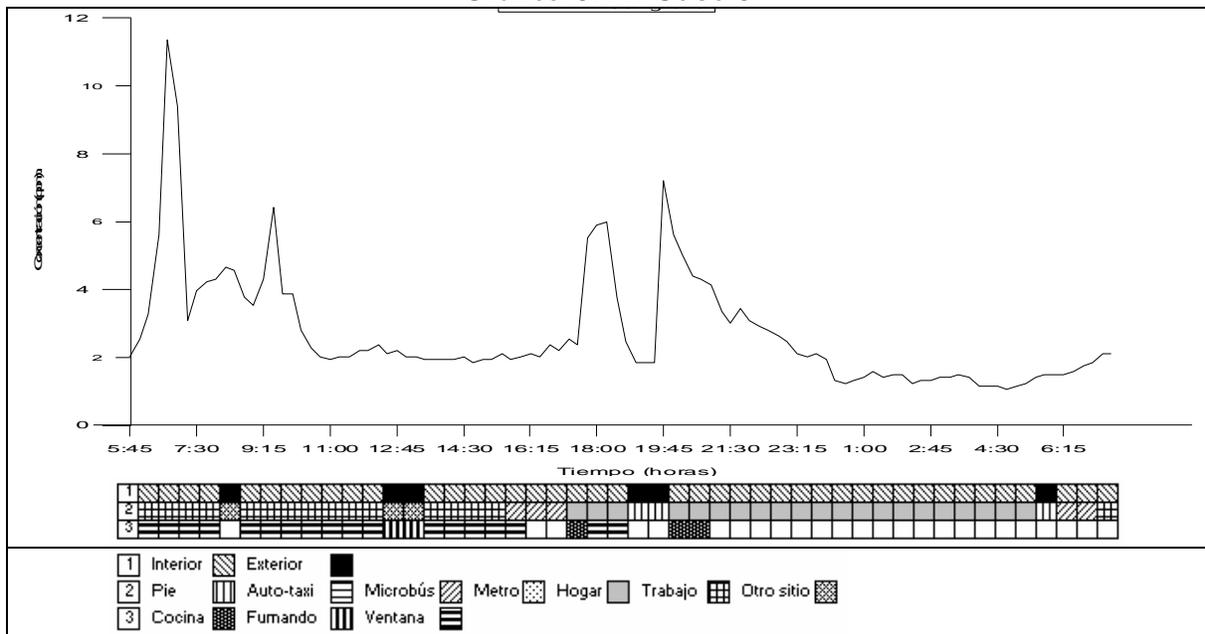
Gráfica 6.10 Caso 2





El caso 3 trabajaba en un taller de serigrafía en T1. El pico de 11.7 ppm que se ve al inicio del monitoreo a las 6:30 se considera que es de transporte a su trabajo, aún cuando el participante indica que ya se encontraba en el trabajo, ya que al final del monitoreo registra que a ésta misma hora (6:30) se encuentra en el microbús dirigiéndose a su trabajo. A las 18:00 y a las 20:00 horas se encuentra en el interior de su casa cocinando y se pueden observar los picos de 6.0 y 7.75 ppm respectivamente.

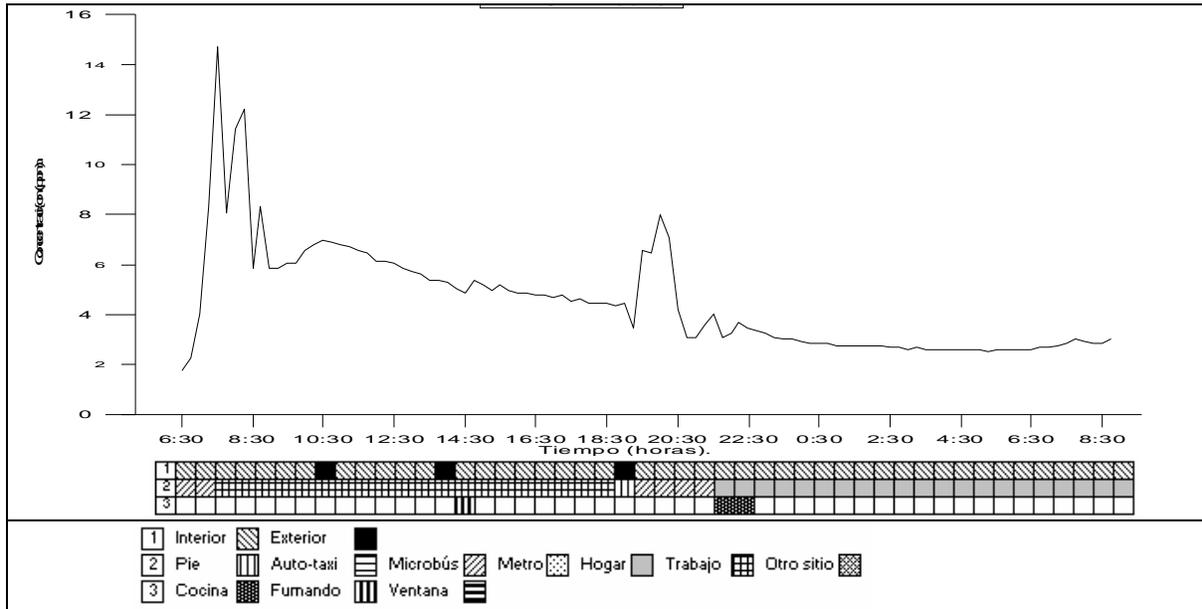
Gráfica 6.11. Caso 3



Este participante (Caso 4) es auditor en T1 y el día del monitoreo estuvo en oficina. Al inicio del monitoreo se pueden observar los picos de CO durante el periodo de traslado del participante en microbús a su trabajo, al dirigirse a su casa las 19:00 horas se tiene un pico de 8.0 ppm en microbús y un pico de 4.0 ppm al encontrarse en el interior de la cocina a las 22:00 hrs.

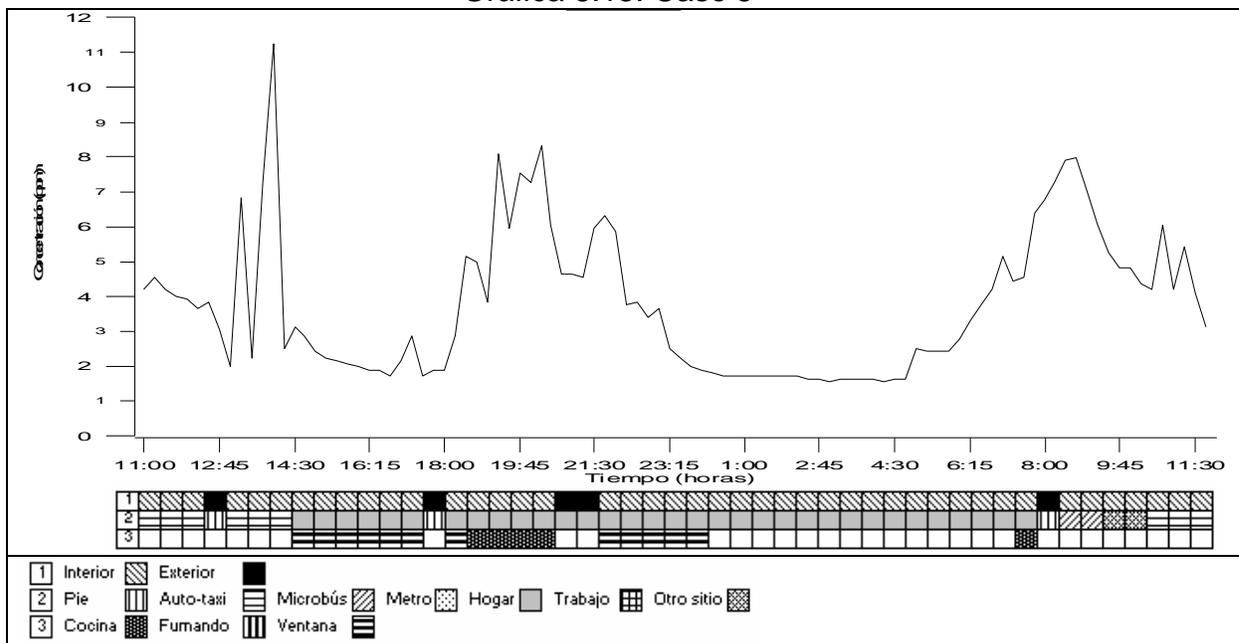


Gráfica 6.12. Caso 4



El caso 5 situado en T0, se encontraba de las 11:00 a las 12:30 horas en un auto y se expuso a una concentración de hasta 4.5 ppm de CO, a las 13:00 horas estaba en un microbús donde se expuso a una concentración de hasta 11.5 ppm. Durante el periodo de 18:30 a las 20:30 horas, que estaba en la cocina se expuso a una concentración de hasta 8.5 ppm. Al final del monitoreo a las 7:15 horas estaba en la cocina donde se expuso a 5.0 ppm.

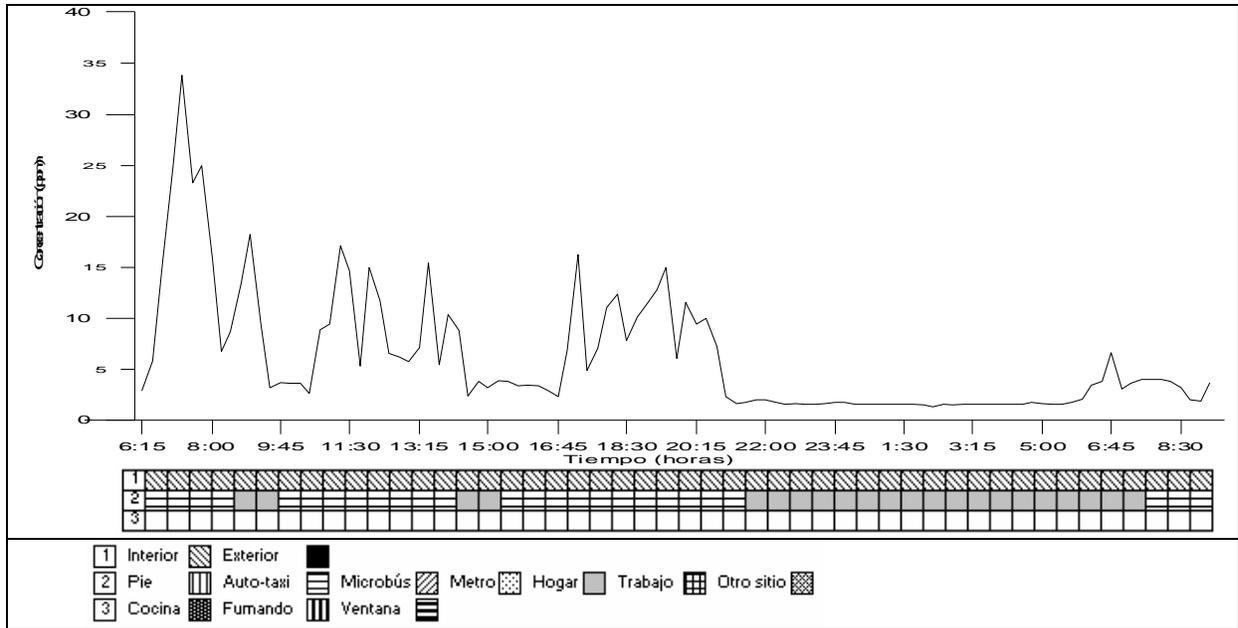
Gráfica 6.13. Caso 5





El caso 6 es taxista en T0, al colocarle el monitor salió a trabajar a las 6:00 horas y a las 7:00 horas se tuvo el máximo de concentración del monitoreo el cuál fue de 35.0 ppm. Se observa que los picos que se tienen, son de los periodos en los cuáles el participante se encontraba trabajando en el taxi sedán, marca Volkswagen (ver imagen 5.3). Los periodos en que se dirige a su casa a comer, la concentración disminuye hasta 4.0 ppm.

Gráfica 6.14. Caso 6



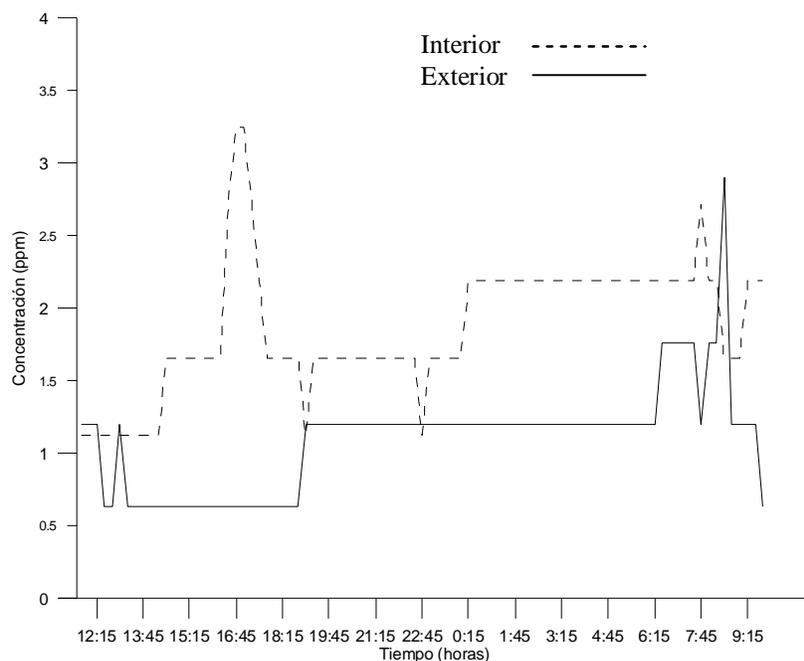


### 6.5.2 Gráficas de concentración de CO en casas.

En las siguientes gráficas se presenta en la línea punteada las concentraciones de CO al interior y con línea continua las concentraciones al exterior de las casas.

En la casa 1 ubicada en T2 se encontró una mayor concentración de CO en el interior que en el exterior, encontrándose un pico de 3.4 ppm en el interior a las 17:00 horas. Al final del monitoreo se tienen picos entre las 7:45 y las 9:15 de hasta 3.0 ppm.

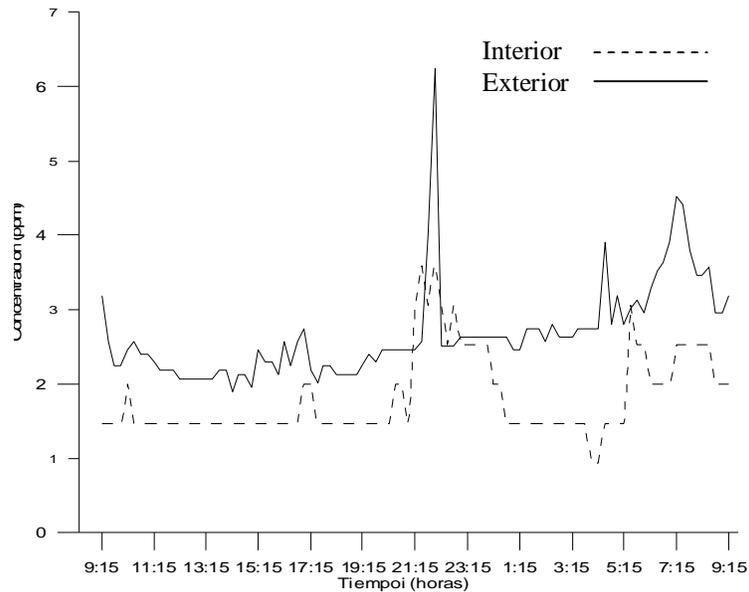
Gráfica 6.15. Casa 1





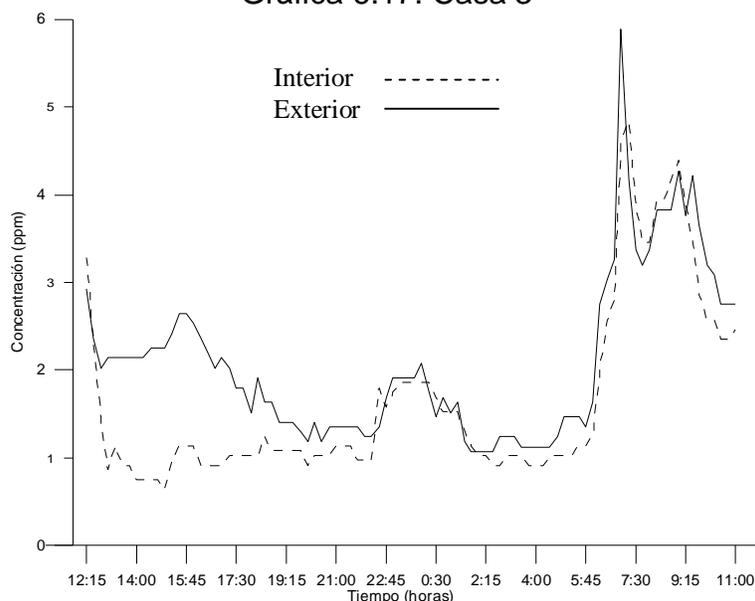
En la casa 2 situada en T1, se tiene una mayor concentración de CO en interiores que en el exterior, encontrando un máximo de 6.3 ppm en interior y de 3.8 ppm en el exterior.

Gráfica 6.16. Casa 2



En la casa 3 de T0, se tuvo un comportamiento similar de las concentraciones de CO en el interior que en exterior durante la noche. Durante el día se tuvo una mayor concentración en el exterior en el periodo de las 12:30 a las 22:30. Se tuvo un máximo a las 7:15 horas de 5.8 ppm en el exterior, en el interior fue de 4.8 ppm a la misma hora.

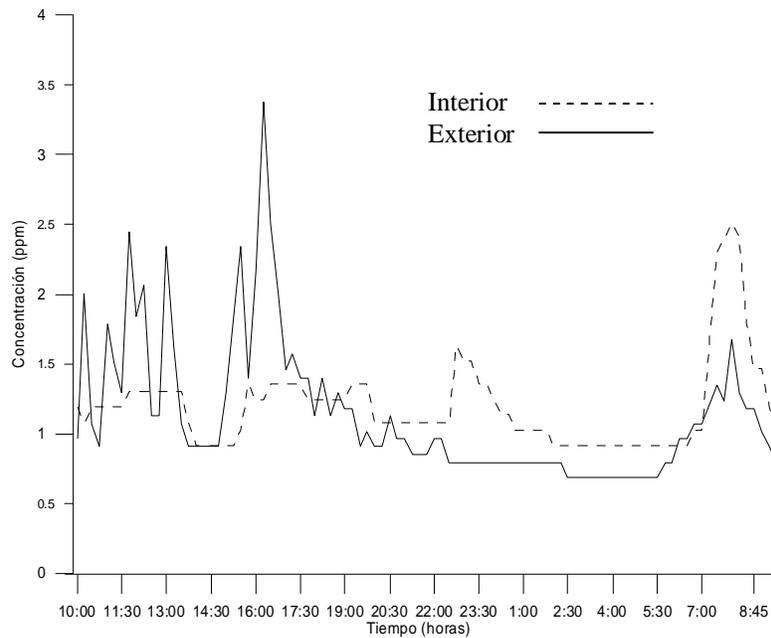
Gráfica 6.17. Casa 3





En la casa 4 de TT, por la mañana y tarde se tuvo una mayor concentración de CO en el exterior, y durante la noche y parte de la mañana la mayor concentración se encontró en el interior. El máximo del monitoreo se tuvo en el exterior (3.4 ppm) a las 16:15 horas.

Gráfica 6.18. Casa 4

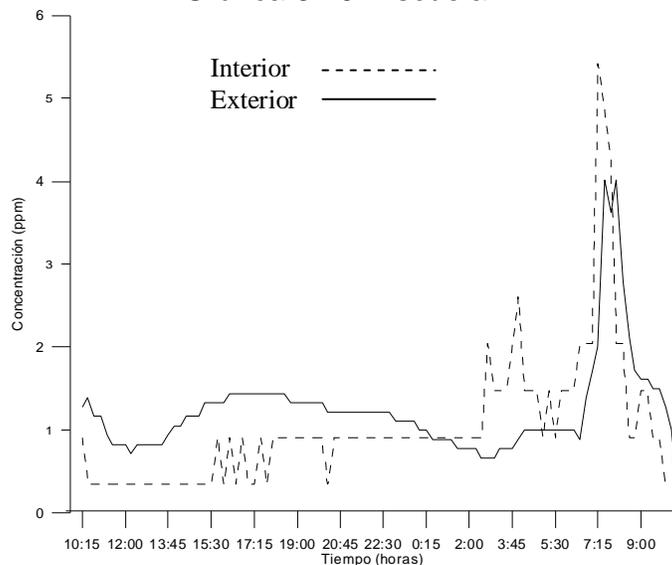




### 6.5.3 Gráficas de concentración de CO en escuelas.

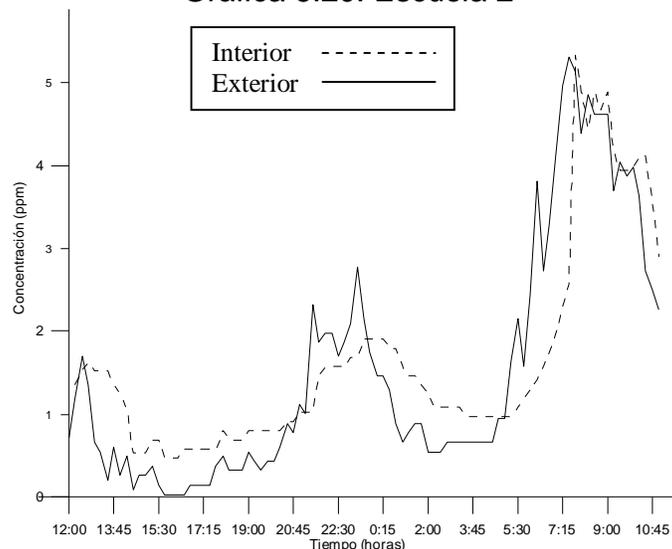
En la escuela 1 de T1, se tuvo un comportamiento similar en la concentración de CO tanto en el interior como en el exterior. Las concentraciones mayores se dieron en el periodo de 6:30 a las 9:00 horas obteniendo un máximo de 5.5 ppm en el exterior y 4.0 ppm en el interior, a la misma hora.

Gráfica 6.19. Escuela 1



Aún cuando se tuvo un comportamiento similar de la concentración de CO en el monitoreo de la escuela 3 en T0, se observa que se tuvo una mayor exposición en el interior. Se determinó un máximo a las 7:30 horas cuyo valor fue igual tanto para interior como para exterior (5.3 ppm).

Gráfica 6.20. Escuela 2





## 6.6 Promedio de 8 horas para comparar con la Norma Oficial Mexicana.

De cada sitio se tomaron los monitoreos con promedios mas elevados para ser comparados con la Norma Oficial Mexicana ( NOM-021-SSA1-1993), la cual indica una exposición promedio no mayor a 11 ppm por un periodo de 8 horas.

Tabla 6.5. Estadística de monitoreos para comparar con la Norma Oficial Mexicana.

	Sitio	No.	Promedio	Máximo	Percentil 90
Casas	T0	EC22	1.5	2.7	2.3
	T0	EC5	2.0	4.7	2.1
	T1	EC13	2.7	6.1	2.9
	T1	EC58	2.3	3.2	2.6
	T2	EC17	1.7	2.3	1.2
	TT	EC4	1.6	3.4	2.3
	TT	EC5	0.5	0.9	0.7
Escuelas	T0	EE1	0.4	1.7	0.7
	T1	EE2	0.5	0.9	0.9
	T2	EE2	1.0	2.3	1.8
	TT	EE1	0.7	1.2	0.9
Sitio	T0	ST0	1.4	2.9	1.8
	T1	ST1	1.7	3.7	2.6
	TT	STT	0.6	3.1	0.9
Personal	T0	P20	11.1	33.9	22.3
	T0	P25	3.8	11.2	6.9
	T1	P27	3.5	11.3	5.4
	T1	P46	6.5	14.7	8.3
	T2	P4	1.2	2.1	1.8
	T2	P8	1.8	6.9	2.7

No. Es el número de identificación de la muestra.

Como se puede observar en la tabla 6.5., el monitoreo que excedió la norma fue un personal de T0 con un promedio de 11.1 ppm el que correspondió al taxista anteriormente mencionado. Ningún otro monitoreo excedió la Norma Oficial Mexicana.



---

## 7 Discusión

### 7.1 Microambientes

En interiores de T0 se tiene una concentración de CO promedio de 2.9 ppm y en TT de 1.4 ppm, similar a la concentración encontrada en interiores de casas en Milán Italia la cuál fue de 1.9 ppm (Yuri et al., 2004.) y en Grecia cuyas concentraciones fueron de 1.8 ppm en casas de no fumadores y 5.5 en casas de fumadores. (Vellopoulou y Ashmore., 1998).

Los resultados de concentraciones en transporte (valores de hasta 15 ppm en microbuses) concuerdan también con Gómez-Perales, quien en un estudio realizado en 2004 en México, indica que la concentración de CO en transporte ha disminuido (promedio de 14 ppm en microbús) en comparación con lo reportado en 1994 por Fernández-Bremauntz y Ashmore (promedio de 42.7 ppm en Minibús)

El hecho de que T1 tenga concentraciones mayores en el exterior de los hogares y un valor similar en el interior a T0, posiblemente se debe a los hogares monitoreados que se encuentran en la cercanía de la carretera libre México-Pachuca, con lo cuál, aún cuando el tránsito local y la población es menor que en T0, ésta vialidad puede contribuir de forma importante a la concentración de CO observada. A diferencia de lo anterior, los valores de T2 y TT son significativamente menores, debido a su condición de sitios semirurales.

En todos los sitios se encontró una mayor concentración de CO en el interior que en el exterior de las casas. Esto se debe a que en el interior de las casas existen algunas fuentes de combustión que generan CO (estufa, boiler, veladoras) y que en su mayoría no cuentan con ventilación adecuada.

Al igual que en las casas, en todos los sitios se encontró en las escuelas una mayor concentración de CO en el interior que en el exterior debido a que no tienen una adecuada ventilación, lo cuál permite la acumulación del CO que ingresa a las aulas las por la infiltración CO de fuentes externas dado que no existían fuentes de CO dentro de las aulas.



## 7.2 Monitoreo Personal

En cuanto a exposición personal, en T1 se determinó la mayor concentración a CO, debido a que la mayoría de las personas se transportaban a la ciudad de Pachuca a realizar diferentes actividades (trabajar, compras, visitas, etc.) para lo cual utilizan la carretera libre México-Pachuca. El segundo sitio con mayor exposición a CO fue T0, por tener mayores fuentes de generación de CO en el área (transporte, fábricas que utilizan equipos de combustión, etc.).

## 7.3 Equipos en los sitios fijos de monitoreo atmosférico

Los monitoreos realizados en los sitios de monitoreo confirman que hay una mayor concentración de CO en T0, similar a la de T1. Mientras que en TT fueron significativamente menores debido a un menor número de fuentes de generación de CO.

Analizando los resultados de los diferentes microambientes y los obtenidos con monitores colocados en los sitios de monitoreo, observamos que las concentraciones son mayores en los diferentes microambientes que los reportados en los sitios de monitoreo. Los valores medios personales fueron de 3.4 ppm, en casas de 2.87 ppm y en los sitios de 1.7 ppm.

## 7.4 Comparación con la Norma Oficial Mexicana.

Solamente un participante excedió la Norma Oficial Mexicana en las 11 ppm durante un periodo de 8 horas, el participante trabajaba como taxista. Ningún otro monitoreo, ya sea personal o de microambientes excedió la concentración máxima permitida por la norma.

## 7.5 Limitaciones.

Posiblemente los participantes no contestaron los cuestionarios y diarios de actividades con precisión, lo que causa algunas inconsistencias al comparar esta información con los datos del monitoreo, como fue mencionado previamente. Sin embargo en términos generales esta información fue útil para identificar las fuentes asociadas al CO.

Otra limitación que se tuvo fue que no se logró establecer una hora en específico para iniciar y terminar los monitoreos, debido a que se dependía de la disponibilidad de los participantes, por lo cual se seleccionaron los horarios más



---

aproximados posible, para que no existiera una gran diferencia en cuanto al tiempo de muestreo, así como con el horario de inicio de los muestreos.

No se obtuvieron más muestreos, debido al poco tiempo que se podía permanecer en cada sitio, y a que se contaba solamente con diez monitores. En T2 se tienen pocos monitoreos debido a que al principio no se lograba instalar en la computadora que se utilizó para el proyecto los programas necesarios para descargar la información de los monitores, sin embargo se considera que con los muestreos obtenidos, se puede realizar un estudio completo de la concentración del CO en los diferentes sitios de muestreo.



---

## 8 Conclusiones.

Los resultados obtenidos en éste trabajo son de suma importancia, ya que nos indican las concentraciones a las cuáles se ven expuestos los individuos en diferentes microambientes de la ZMVM, también servirá como base para que se utilice ésta información y se investigue más acerca de la exposición personal y en microambientes al CO.

Se determinó que realmente, existe una mayor concentración de CO en diversos microambientes de la que reportan las estaciones automáticas de monitoreo atmosférico, por ejemplo, en el interior de vehículos, en cocinas, avenidas, entre otros.

Se debe tener adecuada ventilación en cocinas, debido a que es la principal fuente de CO en el interior de las casas, además del humo del cigarro.

Es importante realizar un estudio acerca de la exposición de las personas que laboren como conductores de vehículos, debido a que la única persona que rebasó la Norma Oficial Mexicana sobre exposición a CO fue un conductor.



## 9 Referencias

1. Air Quality Guidelines for Europe. World Health Organization. WHO Regional Publications, European Series, No. 91 Second Edition, 2002.
2. Aguilar Villalobos Manuel. Indoors, outdoors and in transit exposure to carbon monoxide in 3 cities in Peru. Asociación del Aire Ambiental, San Borja, Lima, Perú 2002.
3. Alm et al. Personal carbon monoxide exposures of preschool children in Helsinki, Finland: levels and determinants. Atmospheric Environment number 34 pp. 277-285, Finland 2000.
4. Arredondo Juan Carlos. Reunión informativa sobre el proyecto milagro. Julio 18-22 de 2005.
5. Chan et al. Exposure level of carbon monoxide and respirable suspended particulate in public transportation modes while commuting in urban area of Guangzhou, China. Atmospheric Environment number 36 pp. 5831-5840, China 2002.
6. Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México. Partículas suspendidas, situación actual en la Zona Metropolitana del Valle de México. México, D.F. 1993.
7. Criterios de salud ambiental 13. monóxido de carbono. Publicación científica No. 455. Organización Mundial de la Salud, Washington D.C. E.U.A. 1983.
8. Duci, A.Chaloulakou, N.Spyr ellis Exposure to carbon monoxide in the Athens urban area during commuting. The Science of the Total Environment número 309 pp. 47-58, Geek 2003
9. EPA. Air quality criteria for particulate matter. U.S. Environmental Protection Agency volume I of III. USA April 1996.
10. Espinosa Villareal Oscar, *et al.* Programa para mejorar la calidad del aire en el Valle de México 1995-2000. Editorial ISBN. México 1996, pp 244.
11. Fernández Bremauntz Adrián. Lo que efectivamente respira la gente: monitoreo personal de contaminantes. Gaceta Ecológica-Instituto Nacional de Ecología. Número 37. México Distrito Federal, diciembre de 1995.
12. Fernández Bremauntz Adrian and R. Ashmore Michales. Exposure of commuters to carbon monoxide in Mexico city-1. measurement of in-vehicle concentrations. Atmospheric Environment Vol. 29 No.4 pp. 525-532, México 1995.
13. Gaceta Médica de México. Efectos de la contaminación atmosférica en la salud y su importancia en la ciudad de México. Academia Nacional de Medicina de México A.C. Enero-febrero 2003, volumen 139, Número 1, pag. 58.
14. Georgoulisa et al. Personal carbon monoxide exposure in five European cities and its determinants. Atmospheric Environment, number 36 pp. 963-974, 2002.
15. Gómez-Perales, et. al. Commuters' exposure to pm2.5, CO, and benzene in public transport in the metropolitan area of Mexico city. Atmospheric Environment 38 (2004) p.p. 1219-1229



16. Green Peace - México. La contaminación al nivel que respiramos. Coordinación del Programa de Atmósfera y Energía, 1995.
17. Informe del estado de la calidad del aire y tendencias 2004. Gobierno del Distrito Federal, Secretaría del Medio Ambiente, 2004.
18. Instruction manual model 700 mass flow calibrator. Teledyne Advanced Pollution Instrumentation (T-API), San Diego California, 2005.
19. Inventario de emisiones a la atmósfera 2000, Zona Metropolitana del Valle de México. Secretaría del Medio Ambiente. Gobierno del Distrito Federal, 2000.
20. Inventario de emisiones de la ZMVM, 2004. Gobierno del Distrito Federal, Secretaria del Medio Ambiente, 2004.
21. Jones y P.K.W. Lam. End-expiratory carbon monoxide levels in healthy subjects living in a densely populated urban environment. Science of the Total Environment, number 354 pp. 150 – 156, Hong Kong 2006.
22. Jungers, R.H.; G.G. Akland and H.B. Sauls (1985) A human exposure assessment study using personal monitoring of carbon monoxide - Direct and indirect methods. Environ Int 11:413-418.
23. Kaur et al. Personal exposure of street canyon intersection users to pm2.5, ultrafine particle counts and carbon monoxide in central London, UK. Atmospheric Environment, number 39 pp. 3629–3641, London U.K. 2005
24. Laia et al. Personal exposures and microenvironment concentrations of pm2.5, VOC, NO<sub>2</sub> and CO in Oxford, UK. Atmospheric Environment number 38 pp. 6399–6410, Oxford U.K. 2004
25. Langan Leon. Langan model T15v high resolution comeasurer. San Francisco,USA. July 2003.
26. Mcmurry Peter, *et al.* Particulate matter science for pollicy makers a NARSTO assessment. Editorial Cambridge University Press. USA 2004, pp 510
27. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993, Salud ambiental. México, D.F., a 22 de junio de 2005. Diario Oficial de la Federación, 2005.
28. Norma Oficial Mexicana, NOM-022-SSA1-1993, Diario Oficial de la Federación, 23 de diciembre de 1994.
29. Norma Oficial Mexicana, NOM-021-SSA1-1993, Diario Oficial de la Federación, 23 de diciembre de 1994.
30. Office of Research and Development. Air quality criteria for ozone and related photochemical oxidants. U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C. 1993.
31. Quezada Rodrigo et al. Comparación de los niveles de monóxido de carbono espirado por transeúntes de un área urbana y un área rural. Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias. Volumen 10 número 1, enero-marzo 1997.



32. Segundo almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en seis ciudades mexicanas 2004. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, 2004.
33. Shuenn-Chin Chang · Chung-Te Lee. Evaluation of the trend of air quality in Taipei, Taiwan from 1994 to 2003. Environ Monit Assess DOI 10.1007/s10661-006-9262-1.
34. Specifications of zero air system model 701. Teledyne Instruments, advanced pollution instruments. San Diego California, 2005.
35. Stoker, H. S. y Seager L. S., Química Ambiental, Ed. Blume, Barcelona, España 1981.
36. Tercer informe sobre la calidad del aire en ciudades mexicanas 1998. Instituto Nacional Ecología. Diciembre de 1999
37. Vellopoulou Angelica and R. Ashmore Michael. Personal exposures to carbon monoxide in the city of Athens: i. commuters' exposures. Centre for Environmental Technology, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London, U.K. 1998.
38. Venegas Laura and Mazzeo Nicolas. Carbon monoxide concentration in a street canyon of Buenos Aires city (Argentina). Environmental Monitoring and Assessment 65: 417–424, Buenos Aires Argentina 2000.
39. Xie-Kang Wang a, Wei-Zhen Lu. Seasonal variation of air pollution index: Hong Kong case study. Chemosphere number 63 p.p. 1261–1272, Hong Kong 2006.
40. Yuri Bruinen De Bruin et al. Personal carbon monoxide exposure levels: contribution of local sources to exposures and microenvironment concentrations in Milan. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, number 14, pp. 312–322, Italy 2004.

#### Bibliografía electrónica.

a. <http://www.e-nergias.com/www/jornadas/2002/gasUN/Carbon%20monoxide.htm>  
Consultada en: 03-julio-2006

b. <http://ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/ENV/envsp/Vol334.htm>  
Consultada en 02-agosto-2006

c. [www.inegi.gob.mx/est/librerias/tabulados](http://www.inegi.gob.mx/est/librerias/tabulados) Consultada en: 20-Agosto-2006.



## 10 Anexo I. Tablas de estadísticas de concentraciones de CO (ppm).

**Tabla 9.1. Concentraciones de CO en el exterior e interior de las casas de los sitios (ppm)**

		Exterior <sup>a</sup>		Interior <sup>b</sup>		I/E
		Media <sup>1</sup>	DE <sup>2</sup>	Media <sup>1</sup>	DE <sup>2</sup>	
T 0	Media	2.4	0.7	2.9	1.3	1.2
	Máximo	8.3	3.4	13.5	10.4	1.6
	Percentil 90	4.3	1.3	4.8	1.6	1.1
T 1	Media	2.4	0.4	2.9	1.5	1.2
	Máximo	6.0	0.3	5.7	2.9	0.9
	Percentil 90	3.6	0.5	3.6	1.6	1.0
T 2	Media	1.1	0.6	1.8	.	1.6
	Máximo	2.9	.	3.2	.	1.1
	Percentil 90	1.8	.	2.2	.	1.2
TT	Media	1.0	0.3	1.4	0.4	1.5
	Máximo	6.9	9.2	8.9	5.2	1.3
	Percentil 90	1.6	0.5	2.1	0.8	1.4

Número de muestras, <sup>a</sup>Exterior: T0=14, T1=3, T2=1, TT=4. <sup>b</sup>Interior= T0= 13, T1=2, T2=1, TT=4.

<sup>1</sup>Media: es la media de los diferentes parámetros estadísticos calculados.

<sup>2</sup>DEr es la desviación estándar de los diferentes parámetros estadísticos calculados.

I/E Es la relación que hay entre los valores medios en el interior respecto al exterior.

**Tabla 9.2. Concentraciones de CO en el exterior e interior de las escuelas de los sitios (ppm).**

		Exterior <sup>a</sup>		Interior <sup>b</sup>		I/E
		Media <sup>1</sup>	DE <sup>2</sup>	Media <sup>1</sup>	DE <sup>2</sup>	
T 0	Media	1.4	0.1	1.5	0.1	1.1
	Máximo	5.1	0.3	5.1	0.3	1.0
	Percentil 90	3.5	0.7	3.8	0.1	1.1
T 1	Media	1.0	.	1.5	0.4	1.5
	Máximo	5.4	.	1.0	8.4	1.8
	Percentil 90	1.8	.	1.9	0.5	1.1
T 2	Media	1.2	.	1.7	.	1.5
	Máximo	2.3	.	5.9	.	2.5
	Percentil 90	1.8	.	2.2	.	1.2
TT	Media	0.4	.	0.7	.	1.5
	Máximo	1.2	.	1.1	.	1.0
	Percentil 90	0.9	.	0.8	.	0.9

Número de muestras, <sup>a</sup>Exterior: T0=2, T1=1, T2=1, TT=1. <sup>b</sup>Interior= T0= 2, T1=2, T2=1, TT=1.

<sup>1</sup>Media: es la media de los diferentes parámetros estadísticos calculados.

<sup>2</sup>DE es la desviación estándar de los diferentes parámetros estadísticos calculados.

I/E Es la relación que hay entre los valores medios en el interior respecto al exterior.



**Tabla 9.3. Relación de exteriores e interiores en casas respecto a escuelas.**

		Exterior			Interior		
		Casa	Escuela	C/E	Casa	Escuela	C/E
		Media <sup>1</sup>	Media <sup>1</sup>		Media <sup>1</sup>	Media <sup>1</sup>	
T0	Media	2.4	1.4	1.6	2.9	1.5	1.8
	Máximo	8.3	5.1	1.6	13.5	5.1	2.6
	Percentil 90	4.3	3.5	1.2	4.8	3.8	1.2
T1	Media	2.4	1.0	2.4	2.9	1.5	1.9
	Máximo	6.0	5.4	1.1	5.7	10.0	0.6
	Percentil 90	3.6	1.8	2.1	3.6	1.9	2.0
T2	Media	1.1	1.2	0.9	1.8	1.7	1.1
	Máximo	2.9	2.3	1.2	3.2	5.9	0.5
	Percentil 90	1.8	1.8	1.0	2.2	2.2	1.0
TT	Media	1.0	0.4	2.2	1.4	0.7	2.2
	Máximo	6.9	1.2	6.0	8.9	1.1	7.9
	Percentil 90	1.6	0.9	1.8	2.1	0.8	2.7

<sup>1</sup> Media es la media de los diferentes parámetros estadísticos calculados.

C/E Es la relación que hay entre los valores medios de la casa respecto a la escuela.

**Tabla 9.4. Exposición de CO en adultos en los diferentes sitios (ppm)**

		Media <sup>1</sup>	Desviación estándar <sup>2</sup>
T 0	Media	2.5	1.3
	Máximo	16.3	11.3
	Percentil 90	5.2	3.5
T 1	Media	3.2	0.8
	Máximo	16.9	8.0
	Percentil 90	6.4	2.3
T 2	Media	2.4	1.6
	Máximo	9.2	8.8
	Percentil 90	4.3	3.7

Número de muestras, T0=21, T1=10, T2=12, TT=0.

<sup>1</sup>Media: es la media de los diferentes parámetros estadísticos calculados.

<sup>2</sup>DE es la desviación estándar de los diferentes parámetros estadísticos calculados.



**Tabla 9.5. Concentraciones de CO de monitores colocados al lado de las estaciones de monitoreo en los diferentes sitios (ppm)**

		Media <sup>1</sup>	DE <sup>2</sup>
T 0	Media	1.7	0.3
	Máximo	5.3	1.3
	Percentil 90	3.4	0.7
T 1	Media	1.4	0.7
	Máximo	3.3	0.6
	Percentil 90	2.1	0.6
TT	Media	1.0	0.3
	Máximo	4.1	0.3
	Percentil 90	1.7	0.7

Número de muestras, T0=5, T1=4, T2=0, TT=2.

<sup>1</sup>Media: es la media de los diferentes parámetros estadísticos calculados.

<sup>2</sup>DE es la desviación estándar de los diferentes parámetros estadísticos calculados.

<sup>3</sup>Media geométrica es la media geométrica de los diferentes parámetros estadísticos calculados.

**Tabla 9.6. Valores de p en la prueba de significancia.**

Prueba de significancia		P
t-test	T0-T1ext.casas	0.7249
t-test	T0-TTtext.casas	0.00443 *
t-test	T0-TTint.casas	0.01241 *
t-test	T1-TTtext.casas	0.00452 *
t-test	T0-T1sitio	0.3336
Wilcoxon-test	T0-T1personal	0.01937 *
Wilcoxon-test	T2-T1personal	0.01115 *
Wilcoxon-test	T2-T0personal	0.4487
t-test	T0intcasa-pers	0.3397

\*  $P \leq 0.05$





15. ¿Ha comprado recientemente alguna alfombra nueva para su casa? Si NO

16. Por lo regular, durante el día, el tráfico en su calle es:

1) Escaso (paso ocasional de autos) 3) Intenso (paso constante y frecuente congestionamiento)

2) Moderado (paso constante de autos, sin congestión) 4) Muy Intenso (paso constante de autos y camiones)

17. ¿Se puede oler dentro de la casa los humos del calentador de agua? 1) Si 2) No

18. ¿Durante el día o la noche llegan olores extraños a la casa?

19. 1) Si. ¿De donde vienen? \_\_\_\_\_ 2) No

Almacena dentro de su casa alguna de estas sustancias dentro de su casa:

	SI	NO
20. Solventes		
21. Pinturas		
22. Lacas		
23. Barnices		
24. Limpiadores		

25. ¿Alguna de estas sustancias se pueden oler dentro de su casa?

1) Si. ¿Cuál? \_\_\_\_\_ 2) No.

26. El padre o la madre ¿realizan algún tipo de trabajo con esas sustancias dentro de la casa?

1) Si. ¿cual? \_\_\_\_\_ 2) No.

27. ¿Existe alguna fábrica cerca de su domicilio?

1) Si. ¿Qué produce? \_\_\_\_\_ 2) No.

28. ¿Existen gasolineras cerca de su domicilio?

1) Si. ¿Cuántas? \_\_\_\_\_ 2) No.

29. ¿Utiliza leña para cocinar?

1) Si. 2) No.

30. ¿Ha fumigado su casa recientemente?

1) Si. ¿Con que producto? \_\_\_\_\_ 2) No.

31. ¿Usa en su hogar alguna sustancia para el control de insectos?

1) Si. ¿cual? \_\_\_\_\_ 2) No.

32. ¿Cerca de su casa se aplican insecticidas u otras sustancias para el control de plagas?

1) Si. ¿a que distancia? \_\_\_\_\_ 2) No.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES-ZARAGOZA, UNAM

DIARIO DE ACTIVIDADES (Día 1)

NOMBRE:	FECHA:	ESC:	No.
---------	--------	------	-----

- Instrucciones:
- Describa de forma breve en la **columna 1**, en periodos de 30 minutos, que actividad realizó la niña(o). Iniciando a la 8 de la mañana.
  - Indique **con una X** si se encontraba en movimiento, en un sitio fijo, cerca de alguien fumando o en la cocina.
  - Además, señale en la última columna si alguna ventana o puerta estaba abierta.

Ejemplo: Si usted sale a las 7:30 camina hacia la escuela y a las 8:00 se encuentra en la escuela. Además si se expuso a un fumador, se indica así

HORA	DESCRIBA LA ACTIVIDAD	2. EN MOVIMIENTO						3. EN UN SITIO FIJO						4. OTRAS ACTIVIDADES		
		A PIE	MOTO	AUTO O TAXI	CAMION	MICRO	METRO	HOGAR		ESCUELA		OTRO SITIO		EN LA COCINA	CERCA DE PERSONA FUMANDO	SITIO CON VENTANA ABIERTA
								Dentro	Fuera	Dentro	Fuera	Dentro	Fuera			
7	30	X														
8	00									X				X		

A continuación inicie con el registro de sus actividades durante las últimas 24 horas de las 8 de la mañana de ayer a las 8 de hoy.

HORA	DESCRIBA LA ACTIVIDAD	2. EN MOVIMIENTO						3. EN UN SITIO FIJO						4. OTRAS ACTIVIDADES		
		A PIE	MOTO	AUTO O TAXI	CAMION	MICRO	METRO	HOGAR		ESCUELA		OTRO SITIO		EN LA COCINA	CERCA DE PERSONA FUMANDO	SITIO CON VENTANA ABIERTA
								Dentro	Fuera	Dentro	Fuera	Dentro	Fuera			
8	00															
	30															
9	00															
	30															
10	00															
	30															
11	00															
	30															
12	00															
	30															
13	00															
	30															
14	00															
	30															
15	00															
	30															
16	00															
	30															



HORA	1. DESCRIBA LA ACTIVIDAD	2. EN MOVIMIENTO						3. EN UN SITIO FIJO						4. OTRAS ACTIVIDADES		
		A PIE	MOTO	AUTO O TAXI	CAMION	MICRO	METRO	HOGAR		ESCUELA		OTRO SITIO		EN LA COCINA	CERCA DE PERSONA FUMANDO	SITIO CON VENTANA ABIERTA
								Dentro	Fuera	Dentro	Fuera	Dentro	Fuera			
17	00															
	30															
18	00															
	30															
19	00															
	30															
20	00															
	30															
21	00															
	30															
22	00															
	30															
23	00															
	30															
24	00															
	30															
1	00															
	30															
2	00															
	30															
3	00															
	30															
4	00															
	30															
5	00															
	30															
6	00															
	30															
7	00															
	30															