
Evaluación de la Contaminación por Monóxido de Carbono en Bogotá

En este estudio se evalúa el grado de contaminación atmosférica por CO de origen automotor en Bogotá. Las medidas de los niveles de este contaminante se efectuaron en ocho vías de la ciudad con un alto flujo de vehículos y a lo largo de un recorrido urbano. Paralelamente se adaptó un modelo matemático y se aplicó una ecuación de regresión lineal, que permiten conocer la concentración teórica promedio de CO sin necesidad de instrumento de medición.

De acuerdo con los estimativos, para 1985 los niveles de CO se incrementarán en 22% y para 1998 serán el doble de las medidas en 1980. Esto significa que dentro de cinco años, la Av. Caracas y las Carreras 13, 7a. y 10a., habrán sobrepasado considerablemente el límite máximo permitido para una hora de exposición.

El instrumento de muestreo es un equipo Ecolyzer-2000 de medición continua y confiabilidad cercana al 100%.

Quim. GERMAN OLAYA REYES
Ing. Ambiental, M.S.
Universidad Nacional de Colombia

La contaminación por monóxido de carbono de origen automotor es actualmente uno de los problemas más graves que se presentan en las grandes ciudades. Los habitantes urbanos principalmente de los países en desarrollo, se encuentran sometidos a una gran cantidad de efectos nocivos a su salud y bienestar, sin que sus dirigentes se preocupen por solucionar esta avalancha de problemas ambientales cada día más críticos.

El transporte junto con la industria producen todo tipo de contaminantes atmosféricos, desde partículas sólidas hasta sustancias gaseosas. En Colombia, el transporte arroja el 65.7% de las impurezas que entran al aire; la industria manufacturera el 33.5% y la energética el 0.8%. La emisión total de contaminantes gaseosos en nuestro país se estima cercana a los dos millones de toneladas, de las cuales el 90% es monóxido de carbono; 7.5% hidrocarburos; 1.8% óxidos de nitrógeno; 0.3% óxidos de azufre y 0.3% partículas (1).

En lo que hace referencia a Bogotá, la ciudad más importante de nuestro país y una de las más populosas de Latinoamérica, se encuentra hoy abocada a una serie de problemas de diferente índole, donde resalta de manera especial la contaminación ambiental. Esta ciudad con más de cinco millones de habitantes, tiene actualmente cerca de 200.000 vehículos matriculados, sin totalizar los pertenecientes a otras regiones del país, aproximadamente 35.000 automotores que circulan diariamente por sus calles y que arrojan la no despreciable cantidad de 600.000 toneladas de sustancias tóxicas por año de las cuales 540.000 son monóxido de carbono (2).

Efectos sobre la salud

Los principales efectos del CO derivan de su capacidad para formar un compuesto estable con la hemoglobina, carboxihemoglobina, reduciendo la eficacia de la sangre para transportar oxígeno. Los síntomas consisten en la disminución de la tolerancia al ejercicio, confu-

sión colapso e inconciencia; estos síntomas pueden aparecer en un corto tiempo o desarrollarse progresivamente si la concentración es baja pero prolongada. El grado de saturación de la hemoglobina depende de la concentración del CO en el aire inspirado y del tiempo de exposición. La gravedad de los síntomas depende del estado de actividad del individuo, sus necesidades de oxígeno y su concentración de hemoglobina (3).

Relación aproximada entre las [CO] atmosféricas, la cantidad de carboxihemoglobina y los principales síntomas. (4)

[CO]	Tiempo de exposición (Min)	[COHb] %	Principales síntomas
50	150	7	Ligero dolor de cabeza
100	120	12	Dolor de cabeza y mareo
250	120	25	Fuerte dolor de cabeza y mareo
500	90	45	Náuseas, vómitos, posible colapso
1000	60	60	Coma
10000	5	95	Muerte

Los conductores de vehículos pueden correr peligro si hay un escape de gas en la cabina, ya que los gases de los motores de combustión interna contienen hasta un 7% de CO.

Antecedentes

Los estudios realizados hasta hoy en Colombia sobre contaminación atmosférica, son bastante escasos y algunos solamente plantean el problema o se limitan a efectuar una evaluación con datos estadísticos.

En 1976, A. Villegas de la Universidad Nacional efectuó un estudio sobre el impacto ambiental de la contaminación por automotores en la carrera 10a. de Bogotá. (5)

G. Prada del IIT, en 1977, realizó un trabajo sobre la contaminación de origen automotor en Bogotá, donde presenta una descripción de los contaminantes emitidos por los vehículos automotores, las reacciones químicas y los efectos sobre el organismo humano. (6)

Colciencias contrató en 1978 a un grupo de profesionales entre los cuales se encontraba G. Gómez, Director de esta tesis, con el objeto de realizar un estudio para un proyecto de ley sobre protección ambiental de la contaminación atmosférica. (1)

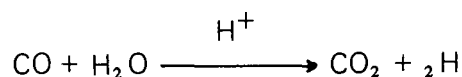
En 1979, H. García de la Universidad Nacional, realizó un estudio sobre la evaluación de CO y su correlación con el flujo de vehículos en la Avenida Caracas y en las Carreras 13 y 7a. de Bogotá. (7)

J. Abad y otros en U.P.B. realizaron una tesis sobre la contaminación

ron mediciones en tres arterias periféricas: Avenida El Dorado, Carrera 30 y Calle 68.

Adicionalmente se efectuaron determinaciones a lo largo de un recorrido que abarcó la mayoría de los ocho sitios fijos de muestreo, para medir los niveles de CO en las principales intersecciones, en los puntos donde se detuvo el vehículo que transportaba el equipo de muestreo y con respecto al tiempo de recorrido.

El instrumento utilizado para efectuar las determinaciones es un equipo Ecolyzer — 2000 de medición continua y confiabilidad del 100%. El método de análisis es la electrooxidación del monóxido de carbono. (9):



1— Toma de muestras

Las lecturas de las concentraciones de CO se tomaron diariamente a intervalos de un minuto durante tres horas continuas de lunes a viernes. El instrumento se instaló a una altura de 1,40 m del nivel del piso.

2— Puntos de muestreo

- Av. Caracas Calle 53
- Costado oriental Secretaría de Salud
- Carrera 7a. Calle 14
- Costado oriental Almacén Sears.
- Carrera 13 Calle 28
- Costado oriental Edificio Bavaria.
- Carrera 10a. Calle 21
- Costado oriental Ministerio de Relaciones.
- Av. Eldorado Carrera 28
- Costado norte Universidad Nacional.
- Carrera 30 Calle 45
- Costado occidental Universidad Nacional.
- Carrera 5a. Calle 49
- Costado oriental Hospital Militar
- Calle 68 Carrera 30
- Costado Norte los Alcázares.

3— Flujo de vehículos

Simultáneamente con las lecturas de [CO] se determinó el flujo de ve-

por CO en Medellín y su relación con el tráfico automotor. (8)

Objetivos

1. Determinar la concentración de CO en las principales arterias de la ciudad de Bogotá, durante los períodos de mayor tráfico automotor.
2. Proponer estrategias de control de emisión.
3. Efectuar la proyección de los niveles de monóxido de carbono para los próximos cinco años.

Metodología

Las medidas de los niveles de CO se efectuaron en cinco vías céntricas de Bogotá: Avenida Caracas y Carreras 13, 7a. 10a, y 5a., donde simultáneamente existe un alto flujo de vehículos y diariamente una gran masa de población se encuentra expuesta a concentraciones altas de contaminantes. Además se efectua-

hículos mediante el conteo del total de automotores que cruzaban frente al instrumento de medición. Los vehículos se clasificaron en tres categorías: buses y busetas, camiones y automóviles.

4- Velocidad de la vía

La velocidad de desplazamiento de los vehículos se determinó registrando el tiempo empleado por los automóviles en recorrer una longitud de referencia para cada una de las vías.

RESULTADOS

1- Estaciones fijas

Para poder tener un marco de referencia y con base en la norma para una hora, se elaboró la siguiente tabla para los diferentes niveles de CO

Nivel	Límites de [CO] ppm
Bueno	1 a 2
Aceptable	2 a 5
Bajo	5 a 10
Medio	10 a 20
Alto	20 a 30
Muy alto	30 a 40
Peligroso	> 40

Cuadro 1. Niveles de referencia para CO. Norma para una hora 39.6 ppm.

Los resultados de los promedios horario de CO para una hora y en las ocho vías estudiadas se presenta en el cuadro 2.

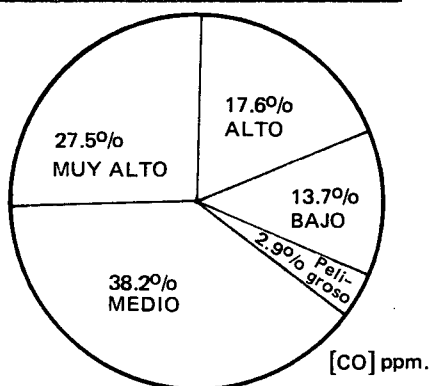
Unicamente el 13.7% de los 102 promedios horario son concentraciones inferiores a 10 ppm, lo que corresponde a niveles bajos.

El mayor porcentaje, 38.2% corresponde a niveles de CO medios, es decir concentraciones entre 10 y 20 ppm.

El 17.6% corresponde a niveles altos, es decir concentraciones entre 20 y 30 ppm.

Un poco menos de la tercera parte de estos promedios para una hora, 27% corresponde a niveles muy altos, lo que hace que Bogotá se considere como una ciudad bastante contaminada por CO o mejor con una gran tendencia a estarlo en los próximos años; a pesar que, únicamente el 3% de los promedios horario sobrepasa la norma para una hora.

A continuación se presentan en forma gráfica los resultados obtenidos tanto para los promedios horario de CO como para el flujo de vehículos y la velocidad de desplazamiento de los automotores.



Cuadro 2.

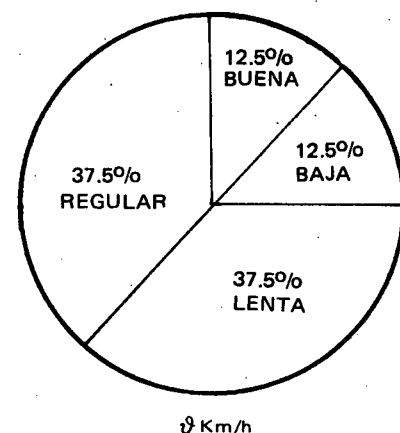
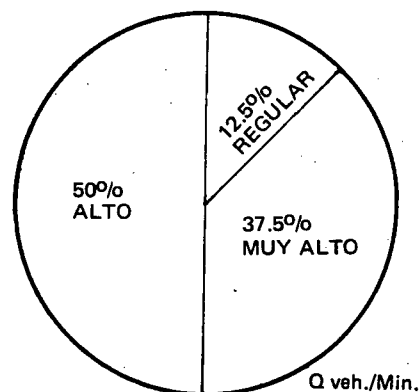
2- Muestreo a través de recorrido urbano

La distancia total recorrida fué 19.6 km en un tiempo de una hora y 29 minutos, se cruzó por 35 intersecciones principales, se efectuaron 89 lecturas de los niveles de CO uno cada minuto y el vehículo se detuvo en 84 oportunidades.

La velocidad media para la ruta fue 13.2 km/h.

Las máximas concentraciones de CO en las principales intersecciones se encontraron en los cruces de la carrera 13 con calle 63, 180 ppm.; y en la carrera 10a con calle 1a y con la Avenida Jiménez, 110 y 115 ppm, respectivamente.

De las 84 oportunidades en las cuales se detuvo el vehículo que transportaba el equipo de medición, aproximadamente la mitad tuvieron lugar en la carrera 10a., donde se encontraron valores extremadamente altos del orden de 160 a 200 ppm. Algo similar se encontró en la carrera 13 donde se hallaron concentraciones instantáneas por encima de 200 ppm.



Nivel	Ave. Car.	Cra. 7a.	Cra. 13	Cra. 10a.	Ave. Eld.	Cra. 30	Cra. 5a.	Cil. 68 prom.	Tot.	%
Buen.									0	0
Acep.									0	0
Bajo					13			1	14	13.7
Med.		2	1		2	13	7	14	39	38.2
Alto	2	3	5	1		2	5		18	17.6
Muy alto	8	5	4	11					28	27.5
Pelig.				3					3	2.9
Total pr.hr.	10	10	10	15	15	15	12	15	102	100.0

La [CO] promedio para el tiempo total del recorrido fue 53 ppm, valor que sobrepasa la norma para una hora.

3- Regresión lineal

Con el objeto de conocer los niveles promedio de CO en las calles de Bogotá, sin necesidad de utilizar instrumentos de medición y únicamente determinando el flujo de vehículos/minuto, la velocidad de desplazamiento en km/h., y las dimensiones de las vías, se elaboró un programa de estadística que proporcionó una ecuación matemática de tipo lineal donde intervienen las variables involucradas en este estudio. La expresión matemática es:

$$[CO] = K + \sum_{i=1}^6 B_i X_i + E$$

K = 0.83114	X ₁ = volumen de dilución, m ³
B ₁ = -0.00064	X ₂ = flujo de vehículos, veh/min
B ₂ = -0.12094	X ₃ = velocidad, km/h.
B ₃ = -0.13143	X ₄ y X ₅ = ancho y alto de la vía, m
B ₄ = 1.95597	X ₆ = área efectiva, m ²
B ₅ = 0.39582	E = 5.46154
B ₆ = 0.05214	

promedio horaria de CO mínima y máxima no proviene del total de vehículos que cruzan en este tiempo, sino que se trata de un remanente que permanece en el ambiente y los factores meteorológicos o mecánicos no alcanzan a dispersarlo.

5. La velocidad de desplazamiento no se considera.

De acuerdo con lo anterior se concluye que la concentración de CO para un año en Bogotá a partir de 1981, es igual a la concentración del año inmediatamente anterior, más un factor que depende del 50% del nivel de este contaminante en cada sitio y del porcentaje de aumento de vehículos por año en Bogotá, la expresión matemática que relaciona estas concentraciones es:

$$[CO]_{n+1} = 1.04 [CO]_n$$

h y n + 1: años consecutivos
1.04: factor de proyección

En el cuadro 3 se muestran los resultados obtenidos de la proyección de las (CO) y el flujo de vehículos para los próximos cinco años en las ocho vías estudiadas.

Sitio	Flujo de vehículos Veh/h	[CO] mínima ppm	[CO] máxima ppm
Avenida Caracas	2117	30.7	46.1
Carrera 7a.	1499	22.9	46.8
Carrera 13	1852	23.3	40.6
Carrera 10a.	1058	32.0	50.3
Ave. Eldorado	2822	7.2	13.1
Carrera 30	2999	16.5	26.7
Carrera 5a.	1764	12.8	30.6
Calle 68	2734	11.1	22.3

Cuadro 3. (CO) y flujo de vehículos proyectados para 1985

Fácilmente se puede deducir que al término de cinco años el flujo de vehículos aumentará en un 47% y las concentraciones de CO se habrán incrementado en un 22%.

En el lapso de 9 años aproximadamente, el flujo de vehículos se aumentará en un 100%, mientras que los niveles de CO se habrán duplicado para 1998.

Para 1985 cuatro vías de las estudiadas tendrán niveles de CO superiores a la norma para una hora y en otras tres arterias las concentraciones de CO serán superiores al 50% del límite máximo permisible.

Conclusiones y recomendaciones

1. Los niveles promedio máximos de monóxido de carbono, en ppm, medidos experimentalmente y para los lugares indicados son:

Avenida Caracas	32.9
Carrera 7a.	29.2
Carrera 13	28.5
Carrera 10a.	35.8
Carrera 30	16.8
Avenida Eldorado	8.2
Carrera 5a	17.6
Calle 68	12.2

Niveles preocupantes para la salud y bienestar de los habitantes de Bogotá.

2. Los niveles de CO son más altos a través de un recorrido urbano que en las aceras de las calles.

3. Las emisiones de CO alcanzan valores extremadamente altos, ▶

Proyecciones

Al estimar la [CO] en las ocho vías estudiadas para los próximos cinco años, fue necesario asumir una serie de restricciones y fijar los siguientes criterios:

1. En cada sitio se toma el valor promedio más bajo y más alto para efectuar la proyección de la concentración mínima y máxima respectivamente.

2. Se toma el menor flujo de vehículos.

3. El aumento de vehículos/año, a partir de 1981 se asume constante e igual al promedio de los porcentajes de los últimos cinco años.

4. La mitad de la concentración

- ◀ cuando los vehículos son acelerados sin estar en movimiento y en el instante de iniciar la marcha.
4. La vía urbana más contaminada por CO es la carrera 10a. donde además se encontró el menor flujo de vehículos y la velocidad de desplazamiento más lenta.
 5. La Avenida Eldorado posee la atmósfera menos contaminada, a su vez es la arteria más rápida para el desplazamiento de vehículos.
 6. Las velocidades de desplazamiento son bajas, debido principalmente a la falta de disciplina de los conductores de servicio público que en algunos casos se detienen cinco o más veces en un tramo de 100 m.
 7. La velocidad de desplazamiento en ninguno de los casos alcanza el valor mínimo exigido para recorrido urbano en Bogotá.
 8. Existe una marcada correlación entre las concentraciones de CO y la velocidad de desplazamiento. A mayor velocidad, menos emisión de contaminantes.
 9. Para 1998 los niveles de CO se habrán duplicado.
 10. Dentro de los próximos cinco años en la mitad de las vías estudiadas se habrá superado la norma establecida para una hora de exposición.
 11. Se hace necesario e indispensable establecer un riguroso control sobre el tráfico automotor, que básicamente comprenda:
 - a. Aumentar considerablemente la velocidad de desplazamiento urbano.
 - b. Eliminar gran cantidad de cruces sobre las principales arterias.
 - c. Disminuir el número de semáforos en cruces de poca importancia para agilizar el tráfico de las principales vías.
 - d. Imponer el menor número posible de paraderos obligatorios con el fin de evitar gran cantidad de paradas innecesarias.
 12. Se recomienda instalar estaciones fijas de muestreo en las principales vías de Bogotá para efectuar periódicamente mediciones de monóxido de carbono.
 13. Se recomienda diseñar un sistema de muestreo de CO donde simultáneamente se determinen las variables meteorológicas, con el fin de conocer y predecir el comportamiento de este contaminante y su relación con las condiciones naturales de cada sitio.
 14. Exigir a los propietarios y conductores de vehículos mantener en buen estado la sincronización de los motores de sus automóviles, así como su adecuado y periódico mantenimiento y revisión.
 15. Desarrollar una técnica apropiada para la construcción o ensamblaje de motores a base de combustibles menos contaminantes.
 16. Implantar a corto plazo un sistema de transporte masivo para disminuir el alto flujo de vehículos por las principales vías céntricas y que además, no utilice combustibles derivados del petróleo como fuente de energía ◆

BIBLIOGRAFIA

1. OUNDJIAN, O., GOMEZ, G., GOMEZ, M.V. Estudio para un proyecto de ley sobre protección ambiental de la contaminación atmosférica. Colciencias. Bogotá, 1978.
2. INTRA. Parque automotor en Colombia. Oficina de Planeación, División Programación Global. Bogotá. 1980.
3. OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO. Enciclopedia de medicina, higiene y seguridad del trabajo. Madrid. 1975.
4. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD. OPS. Curso de higiene y seguridad industrial. Bogotá. 1968.
5. VILLEGAS, A. Impacto ambiental de la contaminación por automotores en la carrera 10a. de Bogotá. Universidad Nacional Facultad de Ingeniería. Bogotá. 1977.
6. PRADA G. Estudio sobre la contaminación de origen automotor en Bogotá. I.I.T. Bogotá 1977.
7. GARCIA, H. Evaluación de la concentración de CO proveniente de automotores en Bogotá. Universidad Nacional. Bogotá. 1978.
8. ABAD, J.C. y otros. La contaminación por CO en Medellín y su relación con el tráfico automotor. UPB Facultad de Ingeniería. Medellín. 1979.
9. Energetics Science, Inc. Ecolyzer Instructions Manual, 2000 Series Carbon Monoxide. USA. 1975.
10. U.S. Department of health. Ed. and welfare. Air quality criteria for carbon monoxide. Washington. 1970.
11. OBERT, E. Internal combustion engines. International textbook. 3a. Ed. USA. 1972.
12. NATIONAL ENVIRONMENTAL RESEARCH CENTER. The world's air quality standards. USA. 1974.
13. PASQUIL, F. Atmospheric dispersion modeling. J. Air Pollution Control. 117, 29. 1979.
14. OMS. Contaminantes de la atmósfera. Informe comité de expertos. Ginebra. 1973.