

LA DISTRIBUCION ESPACIAL Y TEMPORAL DEL MONOXIDO DE CARBONO EN LA CIUDAD DE MEXICO, Y SU RELACION CON ALGUNOS FACTORES METEOROLOGICOS

Por Ernesto Jáuregui Ostos¹

RESUMEN

Se examinan las variaciones espaciales y temporales del CO en la ciudad de México, en los años de 1976 y 1978. Los niveles de concentración de CO son máximos en el centro del área urbana y decrecen a una cuarta parte en los suburbios. Durante el día se presentan dos valores máximos de CO que coinciden con los picos de mayor actividad vehicular.

La calidad del aire medida por este contaminante resultó en general satisfactoria, ya que sólo en diciembre del año 1978 se excedió la norma en un 20% del tiempo, en el sector del centro de la ciudad.

SUMMARY

Time and space variations for carbon monoxide in Mexico City are examined for the years 1976 and 1978. Concentration levels for CO decrease towards the suburbs to 1/4 of its maximum value in the downtown sector. The diurnal variation of CO exhibits two maxima corresponding with peaks in vehicular activity. Air quality as estimated by this pollutant was in general satisfactory; only on December 1978 the standard (14 ppm) was exceeded 20% of the time in the downtown area.

1. INTRODUCCION

El monóxido de carbono es el gas contaminante más abundante en las atmósferas urbanas. Si bien la producción del CO por combustión de fuentes estacionarias (procesos industriales) es considerable, los principales productores de este gas son los vehículos automotores (ver p. ej. Memorándum Técnico SMA, 1978, o NAPCA, 1970).

¹ Investigador del Instituto de Geografía de la UNAM.

Hasta ahora no se ha identificado ninguna fuente natural importante de CO, siendo el hombre el productor de los grandes volúmenes que de este gas se observan en las áreas urbanas. Entre las fuentes naturales de CO se pueden citar los volcanes y las tormentas eléctricas (WHITE, 1931). Los incendios forestales (causados por descargas eléctricas o por el hombre), frecuentes en la segunda mitad de la estación de seca en nuestro país, son también otra fuente natural de producción del monóxido de carbono. En todo caso, los niveles de CO en ambientes impolutos, alejados de áreas urbanas, son, según Junge (1963) muy bajos: del orden de 0.01 a 0.2 mg/m³ (0.01 a 0.2 ppm).

Las concentraciones de CO en un área urbana varían en el espacio y con el tiempo. Sin embargo, a diferencia de otros contaminantes que como el O₃ resultan de reacciones complejas que requieren de cierto tiempo, el CO es un gas inerte, por lo que resulta menos difícil evaluar los efectos que las condiciones atmosféricas tienen sobre él.

En el presente trabajo se describen dichas variaciones de las concentraciones de monóxido de carbono que se observan en la ciudad de México, utilizando los datos de la red de muestreo que la subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, entonces en funcionamiento, obtuvo en 1976 y 1978. Además, se hace una interpretación de los efectos que sobre las variaciones del CO tienen algunos factores meteorológicos. Con la información que resulte de este análisis de los datos se podrá estimar la frecuencia con que ocurren determinados niveles de concentración en ciertos puntos de la ciudad.

2. PROPIEDADES DEL CO Y SUS EFECTOS EN LA SALUD

El CO es un gas, sin color ni olor, que no mantiene la combustión. La cantidad de CO que se produce anualmente en el mundo sería suficiente para elevar el nivel en 0.03 ppm/año (NAPCA, 1970); sin embargo, como las concentraciones de fondo no parecen aumentar,

se piensa que debe haber en el planeta regiones de "sumidero" de este gas, tales como el mar o las capas altas de la atmósfera. Empero, hasta la fecha no se ha logrado identificar el proceso de remoción de CO de la atmósfera. El tiempo de residencia del monóxido de carbono varía de un mes a cinco años.

En cuanto a los efectos de este gas sobre la salud humana, son reversibles y temporales cuando los niveles no son tóxicos. Se manifiestan en forma de fatiga, debilidad, mareo y cambios en el comportamiento del corazón. Estos efectos dependen de la combinación del nivel de concentración de CO y el tiempo de exposición. Si una persona se mueve de aire contaminado con niveles altos de CO a otro en el que las concentraciones de este gas son bajas, sus facultades regresan a la normalidad sin quedar efectos. Sin embargo, los periodos de varias horas de exposición con alto nivel de CO son peligrosos para la salud (NAPCA, 1979).

3. LOS DATOS

Los datos utilizados corresponden a las 6, 10, 14 y 20 horas de los 10 días centrales (del 11 al 20) de cada mes del año 1976. También se ha empleado la información de niveles de CO que aparece en las hojas diarias para el cálculo del Índice de Calidad del Aire (IMEXCA), para los 5 sectores de la ciudad, en el año de 1978. En la fig. 1 aparece la ubicación de las estaciones de muestreo de la subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente que se han utilizado en este trabajo. Las estaciones cumplen, en general, con los criterios establecidos para una correcta toma de la muestra lo más representativa posible. La altura de la toma está a 3 ± 0.5 m y la distancia al obstáculo más cercano es más de 1 m. La distancia a la intersección de calles es de más de 10 m, excepto en las estaciones 1, 6 y 9.

Conviene señalar que los edificios y habitaciones, en general actúan como barreras o pantallas para la contaminación, y puesto que una parte considerable de los capitalinos se encuentra (cuando

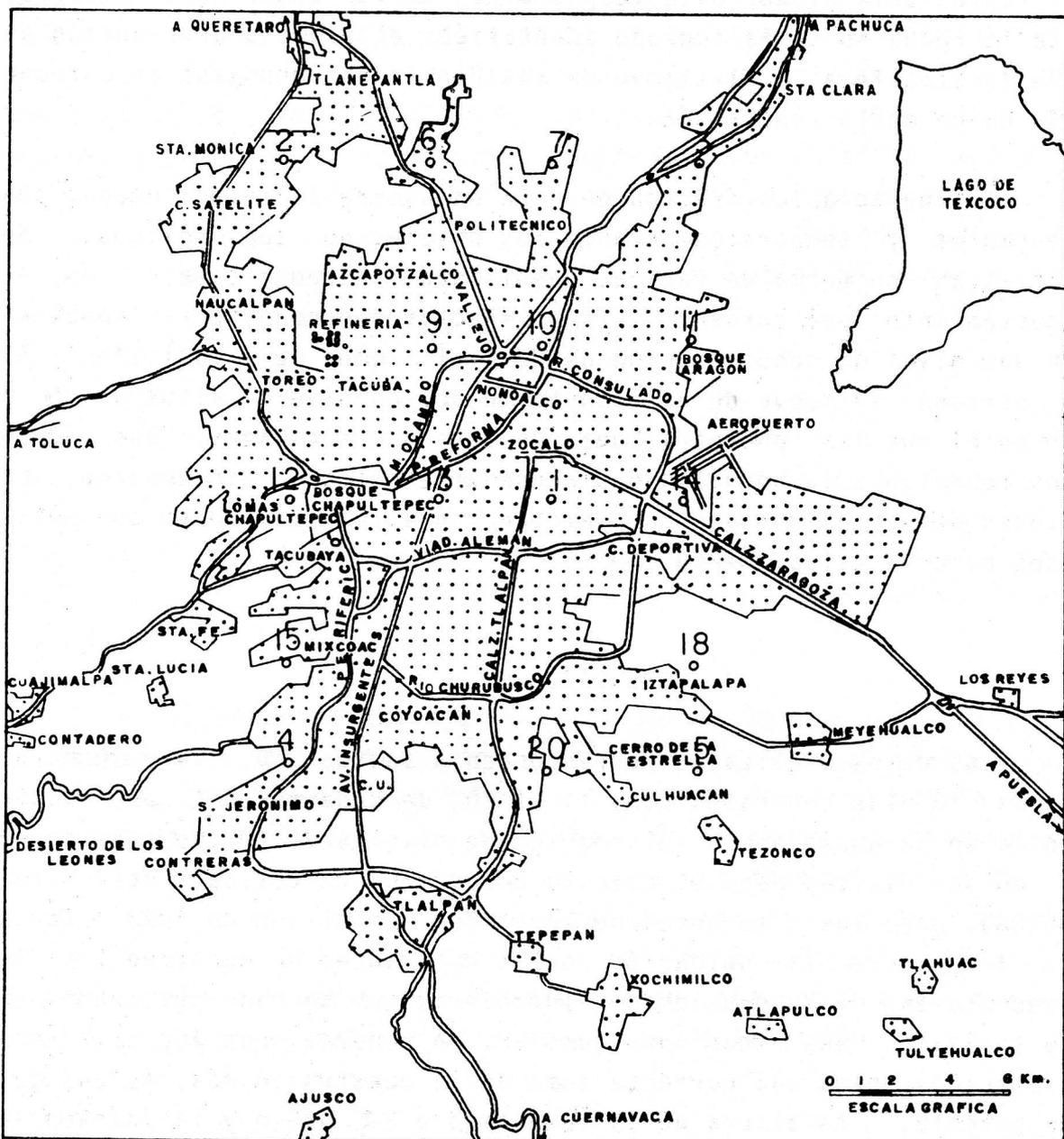


FIG. I.- LOCALIZACION DE ESTACIONES DE MONITOREO UTILIZADAS.

ocurren los máximos de CO) en oficinas, comercios o habitaciones, los niveles de CO medidos en el exterior por los monitores sobreestiman la exposición real. En general, los taxistas, agentes de tránsito, vendedores ambulantes, etc., están expuestos durante periodos más largos de tiempo a niveles de CO que son varias veces más altos que los que se registran en las estaciones de muestreo de la ciudad.

4. CIRCULACION DEL AIRE SUPERFICIAL

En un trabajo anterior relativo a la distribución espacial del SO_2 , se describen con cierto detalle los patrones de circulación del aire más característicos que se observan en el área centro y sur del Valle de México (Jáuregui, 1979); aquí sólo señalaremos los rasgos principales de los movimientos locales (y regionales) del aire en el área en estudio.

a) Los Vientos de Montaña

En ausencia de vientos regionales, prevalecen en el Valle de México vientos débiles o aire en calma durante la noche y al amanecer. Estos vientos, que son convergentes hacia el centro del área urbana, son reforzados por la circulación, también convergente, que induce la llamada "isla de calor" de la ciudad (Jáuregui, 1971). En estas condiciones la dispersión lateral de contaminantes atmosféricos hacia fuera de la ciudad es muy limitada; además, la inversión superficial de temperatura a estas mismas horas, reduce al mínimo la dispersión de las impurezas en el sentido vertical.

Esta circulación de los vientos débiles de montaña se prolonga hasta las 8 o 9 de la mañana, precisamente cuando ocurre el primer máximo de actividad vehicular que, dadas las condiciones meteorológicas desfavorables antes descritas, se refleja en una elevación acentuada de los niveles de CO, como se verá más adelante.

b) Los Vientos de Valle

Los vientos de valle se establecen por insolación diferencial en el aire superficial (los primeros 100 a 500 m), entre el centro del valle y su periferia. El calentamiento de la capa de aire superficial induce movimientos turbulentos de convección que originan la disipación de la inversión nocturna. El resultado es que entre las 10 y las 12 horas comienza a establecerse la circulación de los vientos de valle, que usualmente tiene una dirección de N a S o NE a SW. De modo que, desde estas horas y hasta que cae la tarde, el monóxido de carbono emitido en la parte norte y centro de la ciudad es generalmente acarreado hacia el sur y poniente de la ciudad por los vientos de valle, al mismo tiempo que se difunden verticalmente debido a la acción turbulenta tanto mecánica (debido a los edificios y construcciones de la ciudad) como convectiva de estos vientos que son algo más intensos (unos 3 o 4 m/s) que los vientos nocturnos (de 1 o 2 m/s) o catabáticos.

Al anochecer, una vez que cesa la actividad convectiva, el balance de radiación se vuelve negativo y se establece nuevamente el flujo convergente originado por los vientos que descienden de las montañas (serranías de Guadalupe, por el norte; de las Cruces, por el oeste, y del Ajusco, por el sur).

c) Los Vientos Regionales

Estos son vientos que se observan en el valle debido al paso de una perturbación. El caso más característico de perturbación es la llegada al valle de una masa de aire durante el semestre centrado en el invierno. Los vientos asociados a estos sistemas son suficientemente enérgicos (de 4 a 5 m/s en la ciudad) como para impedir la formación de los vientos locales.

Con el paso de una de estas vaguadas frontales, los contaminantes (y entre ellos el CO) son transportados (usualmente de NE a SW o de SW a NE) rápidamente hacia fuera de la ciudad, abatiéndose

bruscamente los niveles de CO en la ciudad.

5. DISTRIBUCION ESPACIAL DEL CO

Siendo los vehículos automotores la principal fuente de emisión de CO es lógico esperar que los niveles más altos de este gas se registren en las áreas de mayor tránsito en la ciudad, las que se localizan en la zona del centro, en general.

En las figs. 2 a 5 se muestra la distribución del CO (en ppm), promedio anual en la ciudad de México, para cuatro horas del día: 6, 10, 14 y 20 horas.

Los valores más altos en los cuatro mapas se localizan en la zona del centro de la ciudad, alargándose hacia el N y hacia el S, según una dirección NNW - SSE.

A las 6 a.m. (fig. 2) el máximo de CO en el centro es de algo más de 1 ppm solamente, siendo el gradiente de las isolíneas bastante débil hacia el perímetro urbano, donde los niveles de CO son de menos de 1 ppm.

A las 10 de la mañana (fig. 3) se presenta el máximo más importante (de hasta 7 ppm) en el área industrial de Vallejo-Tacuba-Azcapotzalco. Como resultado se aprecia una intensificación del gradiente de las isolíneas de concentración del CO, que abarca casi toda la mitad poniente de la ciudad (fig. 3), donde, además de las emisiones vehiculares locales, se comienza a recibir cantidades crecientes de CO que provienen del sector NE de la ciudad, las que impulsadas por la circulación del N o NE, que prevalece a partir de esas horas (ver Jáuregui, 1979, figs. 2, 3, 4 y 5), aumentan los niveles de CO (y de otros contaminantes) en los sectores poniente y sur de la capital.

A las 14 h la capa de mezcla sobre la ciudad alcanza su máxima

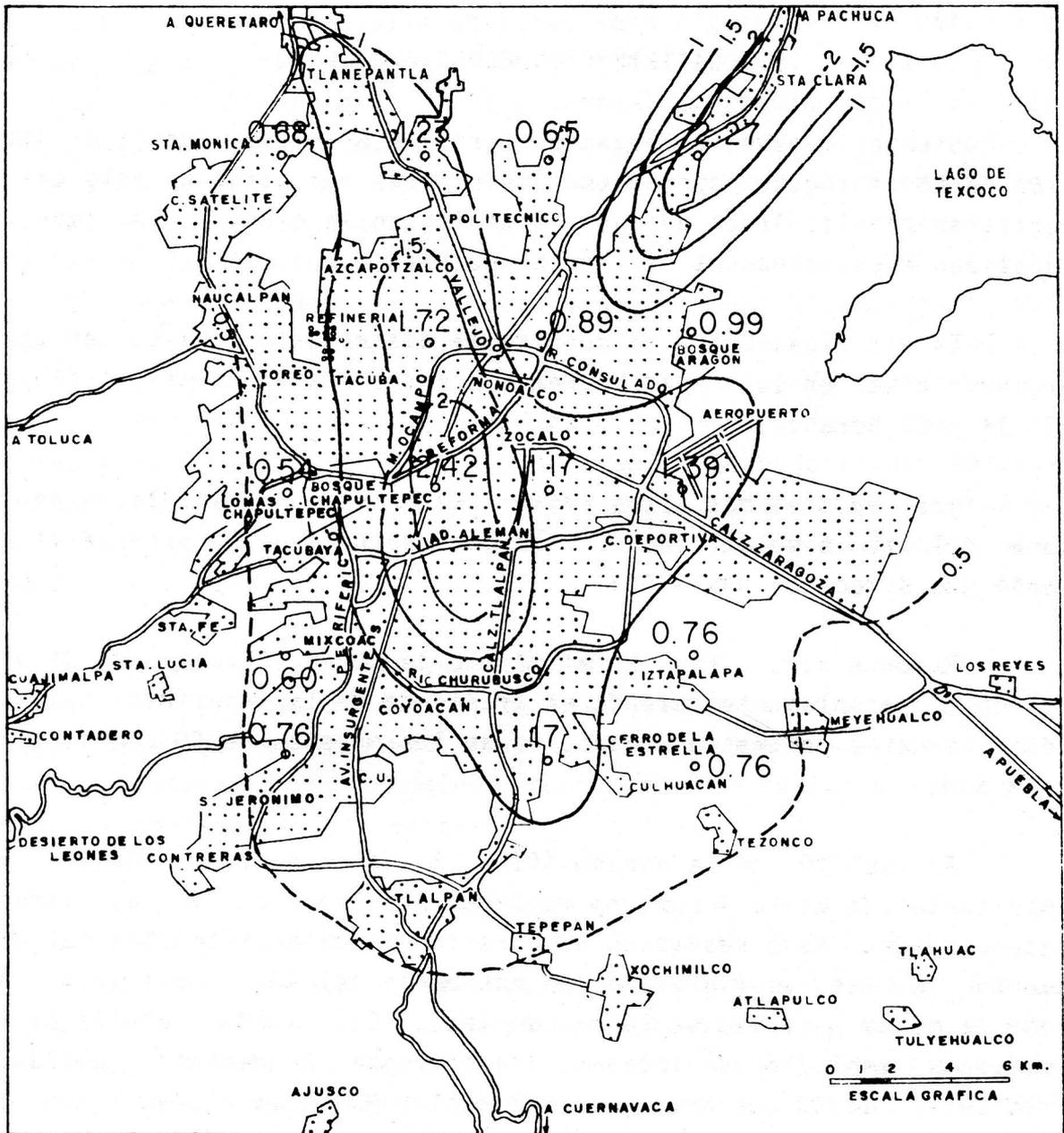


FIG 2.- PROMEDIO (aritmético) ANUAL (ppm) DE LAS CONCENTRACIONES DE CO A LAS 6 A.M. AÑO DE 1976

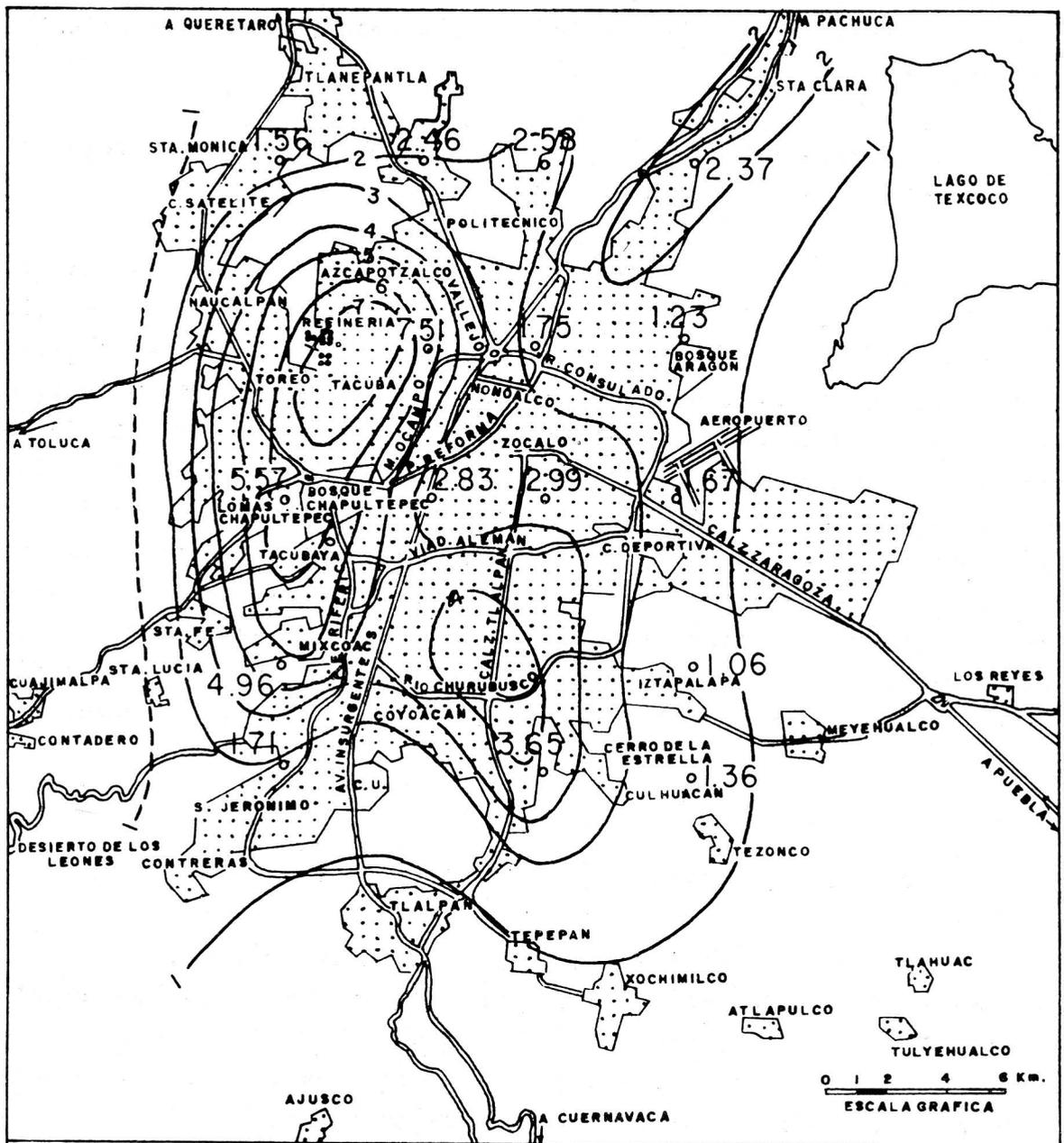


FIG. 3.- PROMEDIO (aritmético) ANUAL (en ppm) DE LAS CONCENTRACIONES DE CO A LAS 10 A.M. AÑO 1976.

profundidad (ver Jáuregui, 1979) y, consecuentemente, entonces la difusión del CO en la vertical es muy enérgica, decreciendo ligeramente los niveles de este contaminante a pesar de la intensa actividad vehicular.

El máximo valor se localiza en la zona de Tacuba-Azcapotzalco, hacia el NW de la ciudad.

Esta misma distribución de las isoconcentraciones persiste hasta las 8 p.m. (fig. 5), con aproximadamente los mismos niveles; alrededor de esta hora tiene lugar el segundo máximo de actividad vehicular, al mismo tiempo que desaparecen los movimientos turbulentos del aire en la capa planetaria y se establece la circulación convergente de los vientos de montaña. La producción vehicular de CO se reduce drásticamente al disminuir el tráfico después de las 10 u 11 de la noche. Después de estas horas, aun cuando la estratificación del aire reduce la dispersión del CO en la vertical, y a pesar de que horizontalmente los vientos son, en general, convergentes, la difusión lateral es suficiente para que se reduzcan los niveles de CO en el periodo nocturno, hasta la cuarta parte de su valor o menos (fig. 2).

6. VARIACIONES ESTACIONALES DEL CO

Con objeto de ver si existe una variación estacional de estos patrones de distribución, se han trazado los mapas de isoconcentraciones de CO que corresponden a los promedios de los semestres centrados en el invierno (fig. 6) y en el verano (fig. 7), y para las 10 de la mañana, cuando ocurre el máximo de emisiones de CO.

a) Epoca de Secas

La prevalencia de inversiones superficiales de temperatura (que restringen la difusión vertical del CO), y la intensificación del flujo convergente que limita la dispersión lateral redundan en

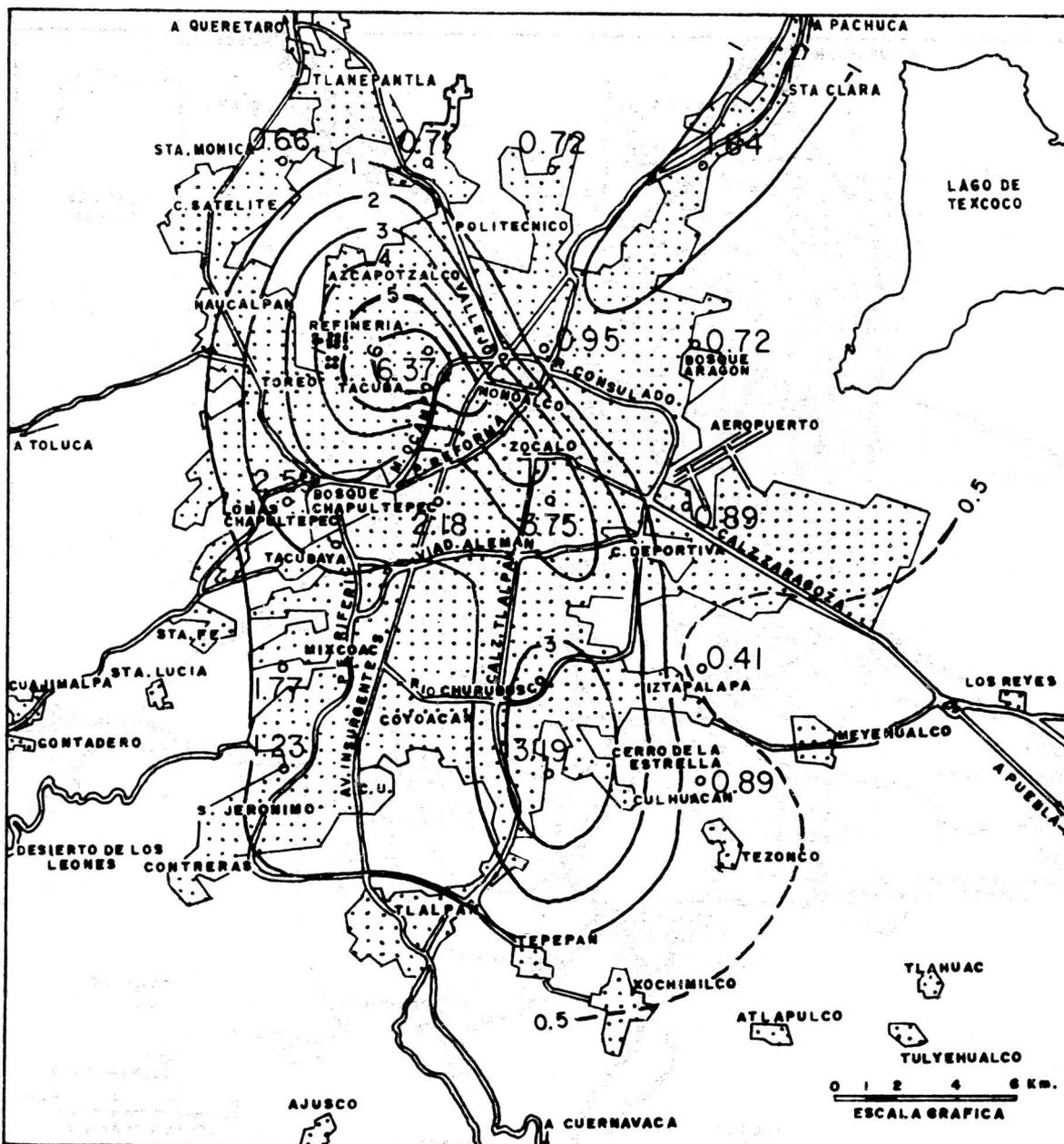


FIG. 4.- PROMEDIO (aritmético) ANUAL DE LAS CONCENTRACIONES DE CO (en ppm) A LAS 14HS. EN 1976.

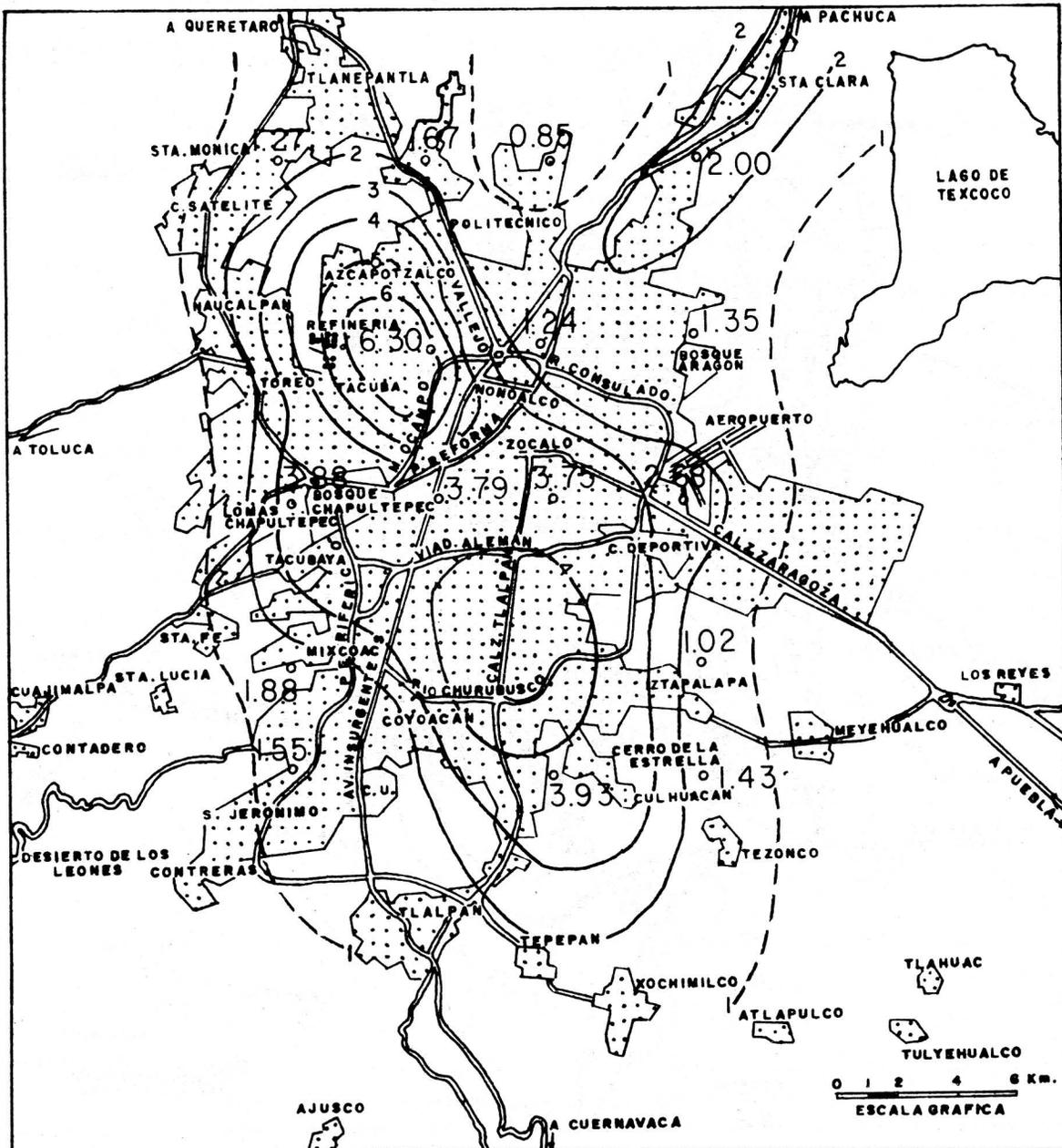


FIG. 5.- PROMEDIO (aritmético) ANUAL DE LAS CONCENTRACIONES DE CO (en ppm) A LAS 20 HS EN 1976.

una elevación de los niveles de este contaminante en las mañanas del periodo de secas (fig. 6), los cuales son los más altos del año (hasta 9 ppm). Nuevamente el ligero flujo de aire del NE acumula contra las laderas del poniente la nube de CO, por lo que el gradiente más fuerte de las isoconcentraciones se observa en la mitad poniente de la ciudad, en una línea que va de Azcapotzalco-Tacuba-Chapultepec- Tacubaya-Mixcoac.

b) Epoca de Lluvias

Durante este periodo decrece la frecuencia de las inversiones (ver Jáuregui, 1973, 1974), además de que los contrastes térmicos ciudad-campo se debilitan; ambos fenómenos se deben a la presencia de mayor cantidad de vapor de agua. Los movimientos turbulentos del aire, que favorecen la difusión, prevalecen durante más tiempo en esta época debido a mayor inestabilidad atmosférica. El resultado es un ligero abatimiento de los niveles de CO, en general, y un debilitamiento del gradiente de las isoconcentraciones por la mañana (fig. 7).

En resumen, se puede decir que, siendo los patrones de tráfico ciudadano relativamente constantes a través del año, las variaciones estacionales de los niveles de CO que se han descrito son el resultado, en gran parte, de las variaciones estacionales de algunos factores meteorológicos. Las altas concentraciones de CO ocurren en la estación seca, cuando es alta la frecuencia de inversiones térmicas superficiales y prevalecen periodos largos de viento débil o aire en calma. Los niveles más bajos de CO se observan durante el semestre de lluvias, cuando las inversiones de temperatura son menos frecuentes.

7. VARIACION DIURNA DE LOS NIVELES DE CO

Las variaciones diurnas de las concentraciones de CO dependen principalmente de la actividad vehicular (ver p. ej. HAMMING et al,

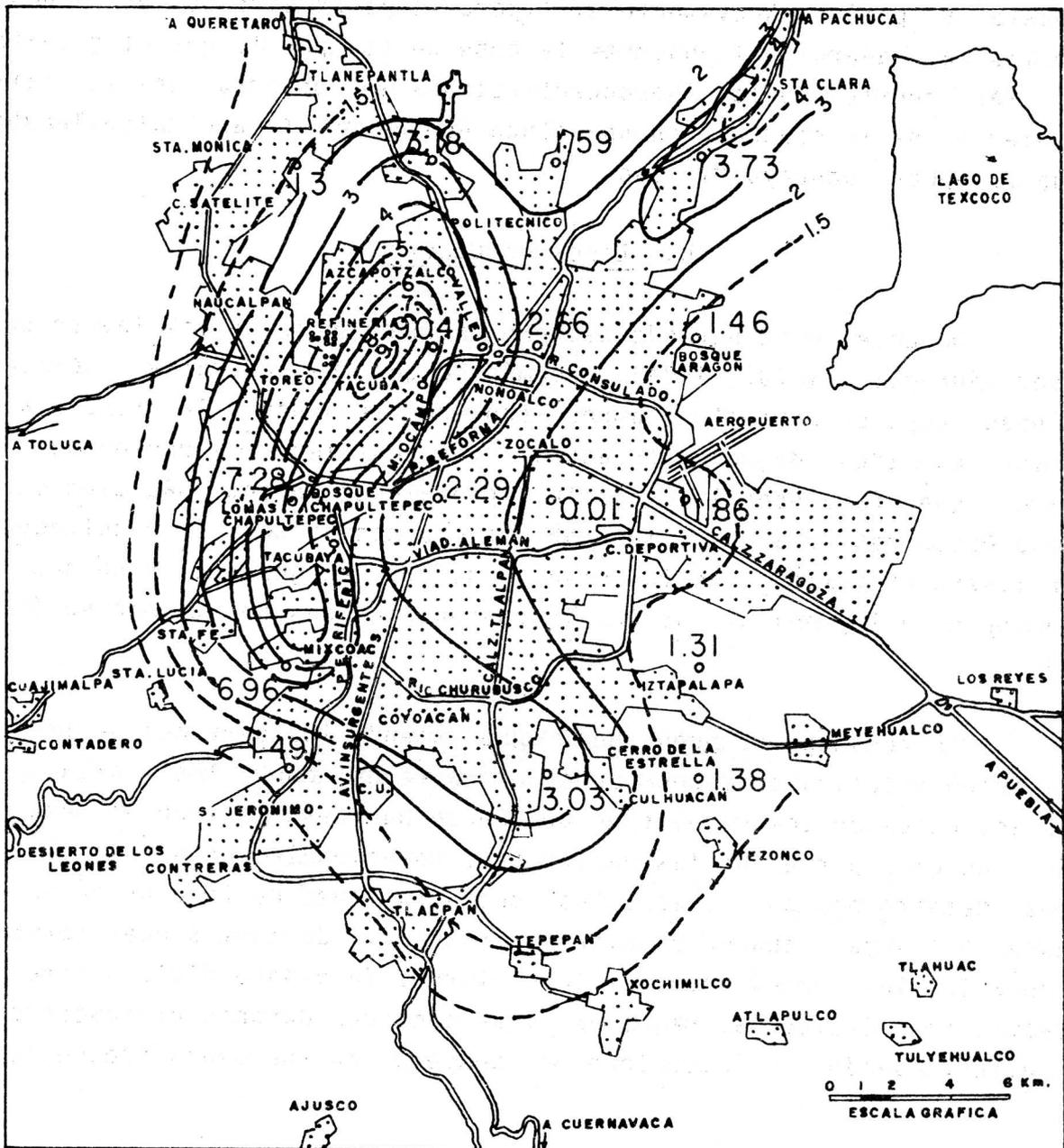


FIG 6.- PROMEDIO (aritmético) DE LAS CONCENTRACIONES DE CO A LAS 10 AM EN LOS MESES DE SECA (NOV - ABR) (en ppm) AÑO 1976.

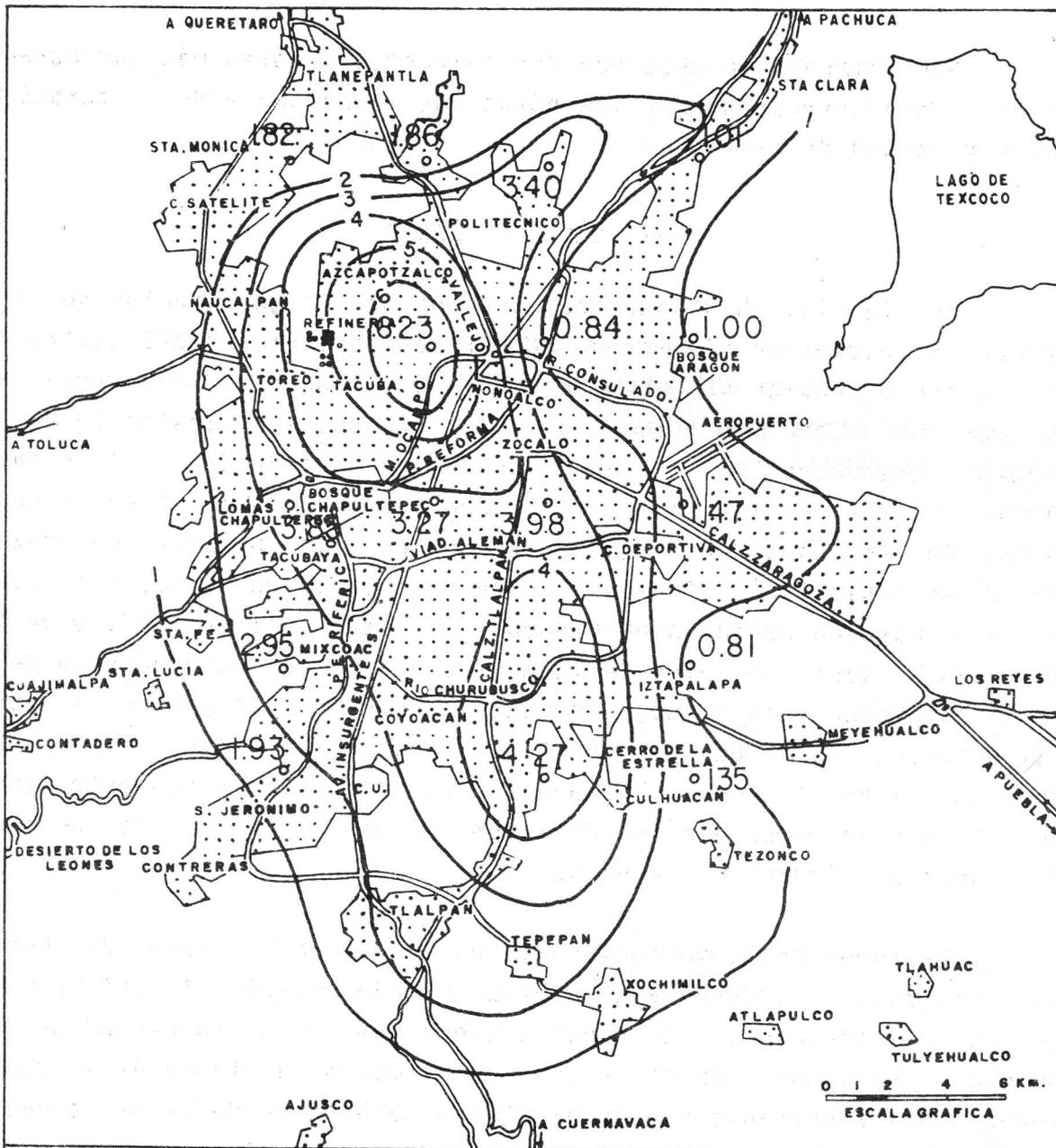


FIG. 7 PROMEDIO (aritmetico) DE LAS CONCENTRACIONES DE CO (ppm) A LAS 10 AM EN LOS MESES DE LLUVIA (MAY-OCT) EN 1976.

1960; BRIEF et al, 1960). Asimismo, los factores meteorológicos también ejercen influencia en estas variaciones.

Generalmente se observan dos "picos" o valores máximos durante el día, que corresponden a las horas (de la mañana y de la tarde) de mayor densidad de tráfico.

a) Epoca de Secas

En la fig. 8 se muestra (para un mes de la estación seca) la variación diurna de niveles de CO para dos estaciones del centro de la ciudad de México ubicadas cerca del área donde se registran los valores más altos (ver figs. 3 y 6): Chapultepec (estación 12) y Vallejo (estación 9). Se aprecian dos máximos de CO: el primero entre las 9 y las 10 a.m. y el segundo de las 7 a las 8 de la noche (estación de Chapultepec) que corresponden a los periodos de máxima actividad vehicular. En la estación 9 el valle entre los dos picos es poco marcado debido probablemente al alto nivel de tráfico en su vecindad. Tanto el pico de la mañana como el correspondiente de la tarde alcanzan valores muy semejantes. Entre la 1 y 4 de la tarde los niveles de CO bajan a una tercera parte (estación 12) de los máximos, y por la noche, después de las 11 p.m. las concentraciones de este gas decrecen a menos de 2 ppm, llegando a un mínimo (de menos de 1 ppm) al término de la noche.

La forma de la variación diurna del CO en la ciudad de México es semejante a la observada en otras grandes metrópolis ubicadas en valles o planicies. En conurbaciones que, como la ciudad de Los Angeles, se encuentran en la costa, el máximo de la tarde se vuelve mucho menos importante debido al efecto turbulento de la brisa que se establece después del mediodía y aumenta la dilución.

En el caso de la ciudad de México, si la densidad de tráfico a las "horas pico" de la mañana y de la tarde fuera la misma es de esperarse que el pico de CO de la tarde fuera, en promedio, menos importante que el correspondiente de la mañana, ya que la intensidad

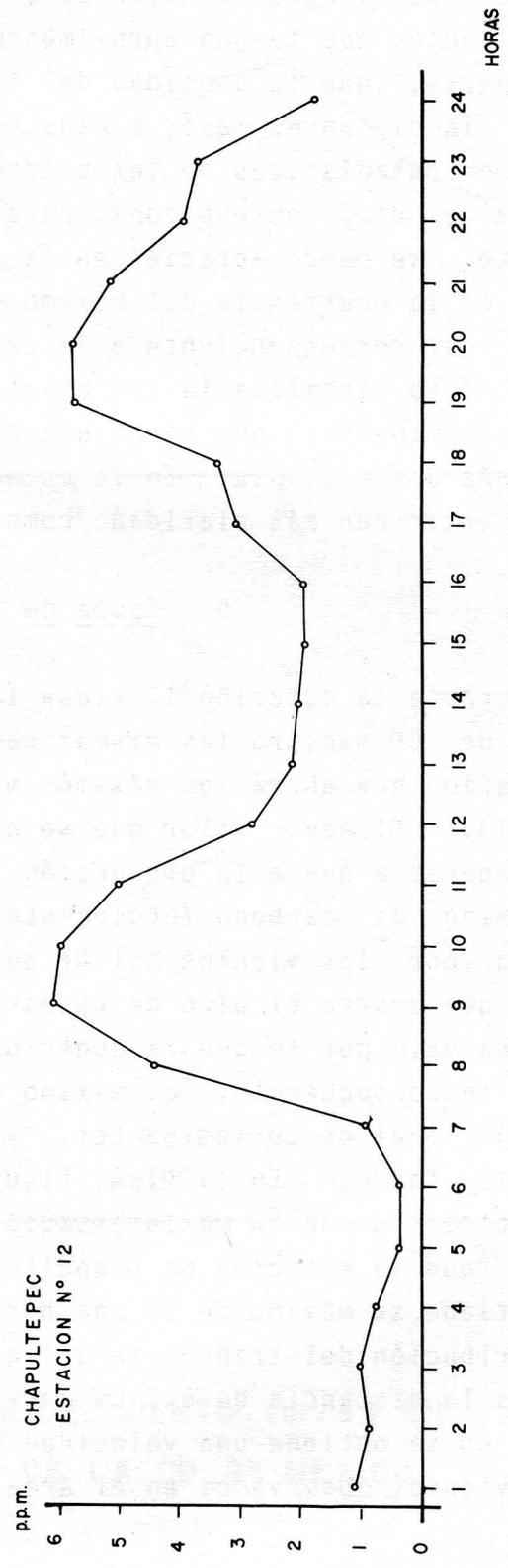
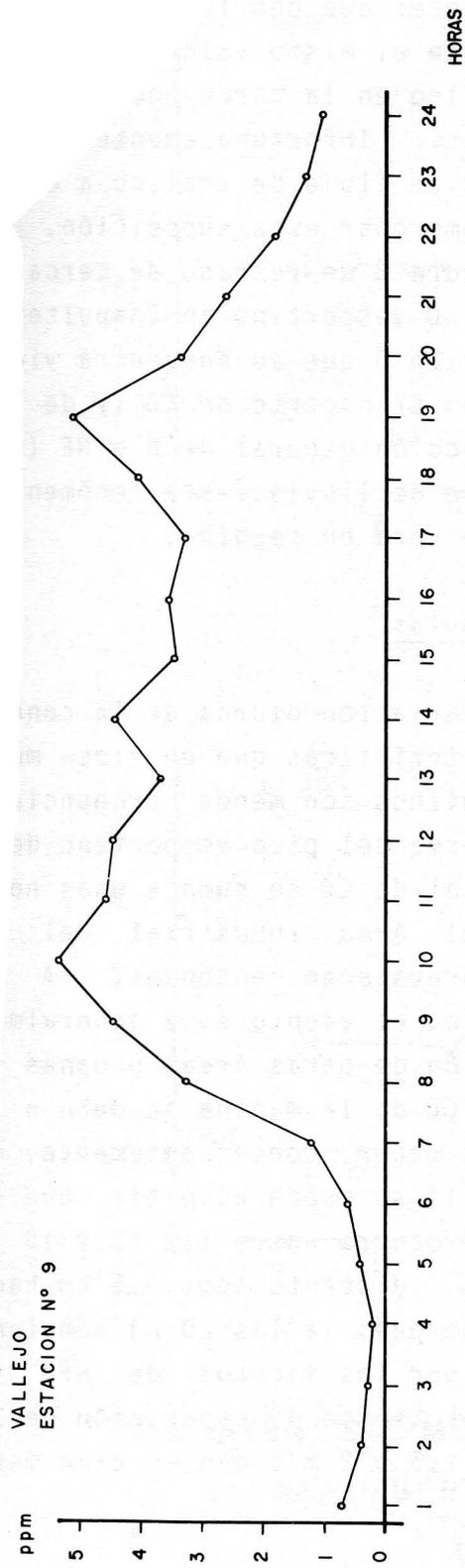


FIG. 8. VARIACION DIURNA (horaria) DEL CO EN LAS ESTACIONES 9 (Vallejo)
Y 12 (Chapultepec) EN EL MES DE NOVIEMBRE DE 1978

media de los vientos es mayor al atardecer que por la mañana (fig. 9). El hecho que tengan aproximadamente el mismo valor indicaría, por una parte, que la densidad del tráfico en la tarde-noche en esa zona de la ciudad es mayor a esas horas. Infortunadamente no se cuenta con estadísticas de intensidades de flujo de tráfico a diversas horas del día, en esa zona, para comprobar esta suposición. Por otra parte, se puede apreciar en la figura 8 un retraso de cerca de una hora en la ocurrencia del máximo de CO vespertino en Chapultepec, respecto del correspondiente a la estación 9 que se encuentra viento arriba. Esto significaría que existe un transporte de CO (y de los demás contaminantes) que tiene una dirección general de N o NE (fig. 10) después del mediodía. En la estación de lluvias este fenómeno se puede advertir con más claridad, como se verá en seguida.

b) Epoca de Lluvias

Durante la estación lluviosa la variación diurna de la concentración de CO muestra las mismas características que en los meses secos, sólo que ahora los máximos matutinos son menos pronunciados (fig. 11). El mayor valor que se observa del pico vespertino de CO podría deberse a que a la producción local de CO se suma a esas horas el monóxido de carbono (procedente del área industrial del NE) acarreado por los vientos del NE que prevalecen entonces. A las horas en que ocurre el pico de CO matutino el viento está generalmente en calma, por lo que la contribución de otras áreas urbanas es mínima; en consecuencia, el máximo de CO de la mañana se debe a la producción local de contaminantes, y es menor, consecuentemente, que el de la tarde. En la misma figura 11 se puede advertir que el máximo vespertino de CO en la estación 9 ocurre entre las 18 y 19 h, mientras que la estación de Chapultepec, distante unos 6.5 km hacia el SW, tiene su máximo de CO una hora después (a las 20 h) señalando la contribución del transporte del gas por los vientos de NE. Si dividimos la distancia de 6.5 km entre el tiempo de separación de los picos de CO se obtiene una velocidad de 1.5 o 2 m/s que es algo menor que los vientos observados en el área.

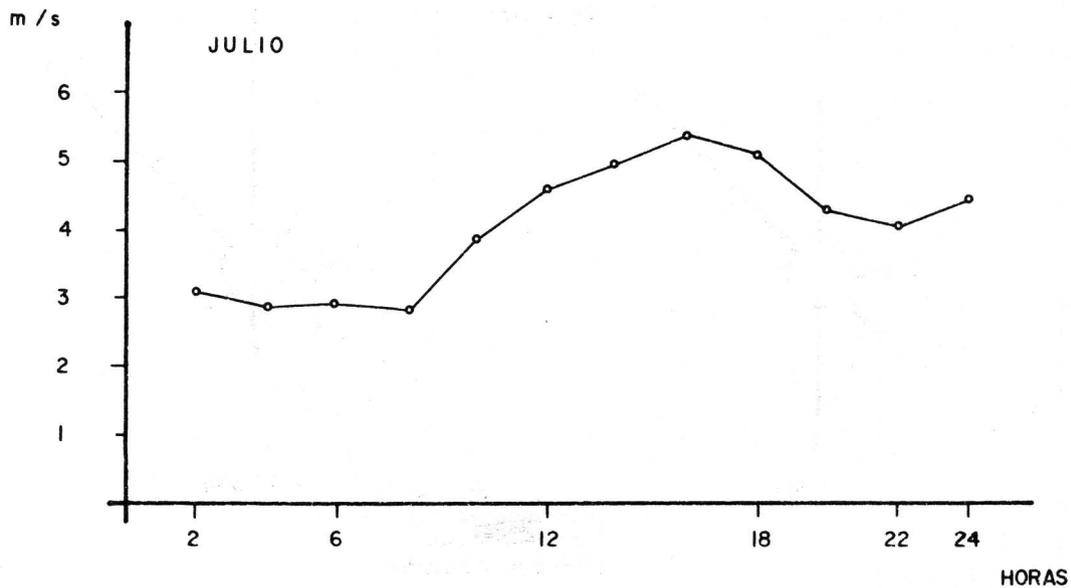
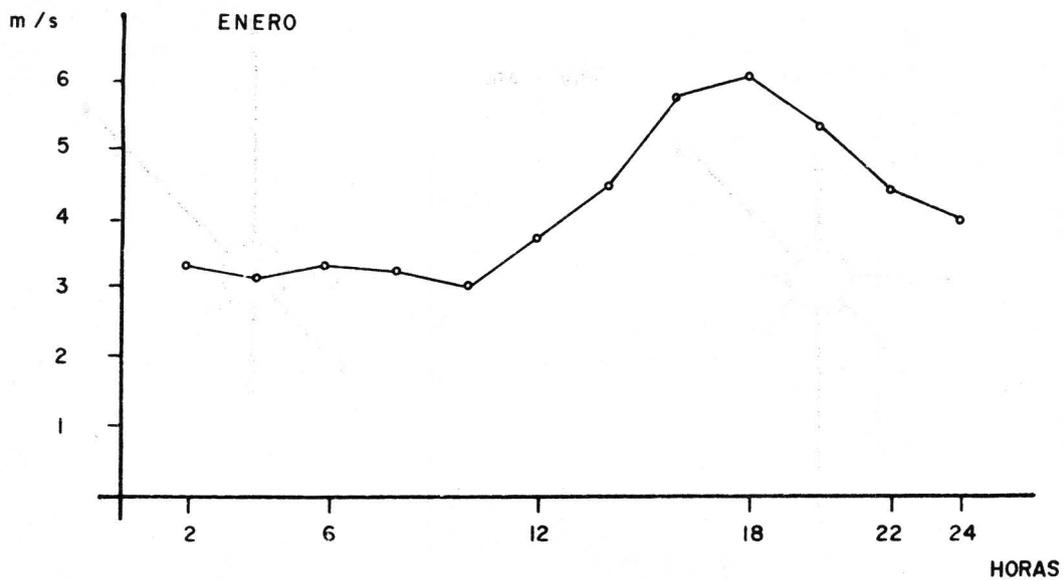


FIG. 9. INTENSIDAD MEDIA DEL VIENTO (m/s) EN
EL AEROPUERTO DE LA CD. DE MEXICO.
(AÑO 1976)

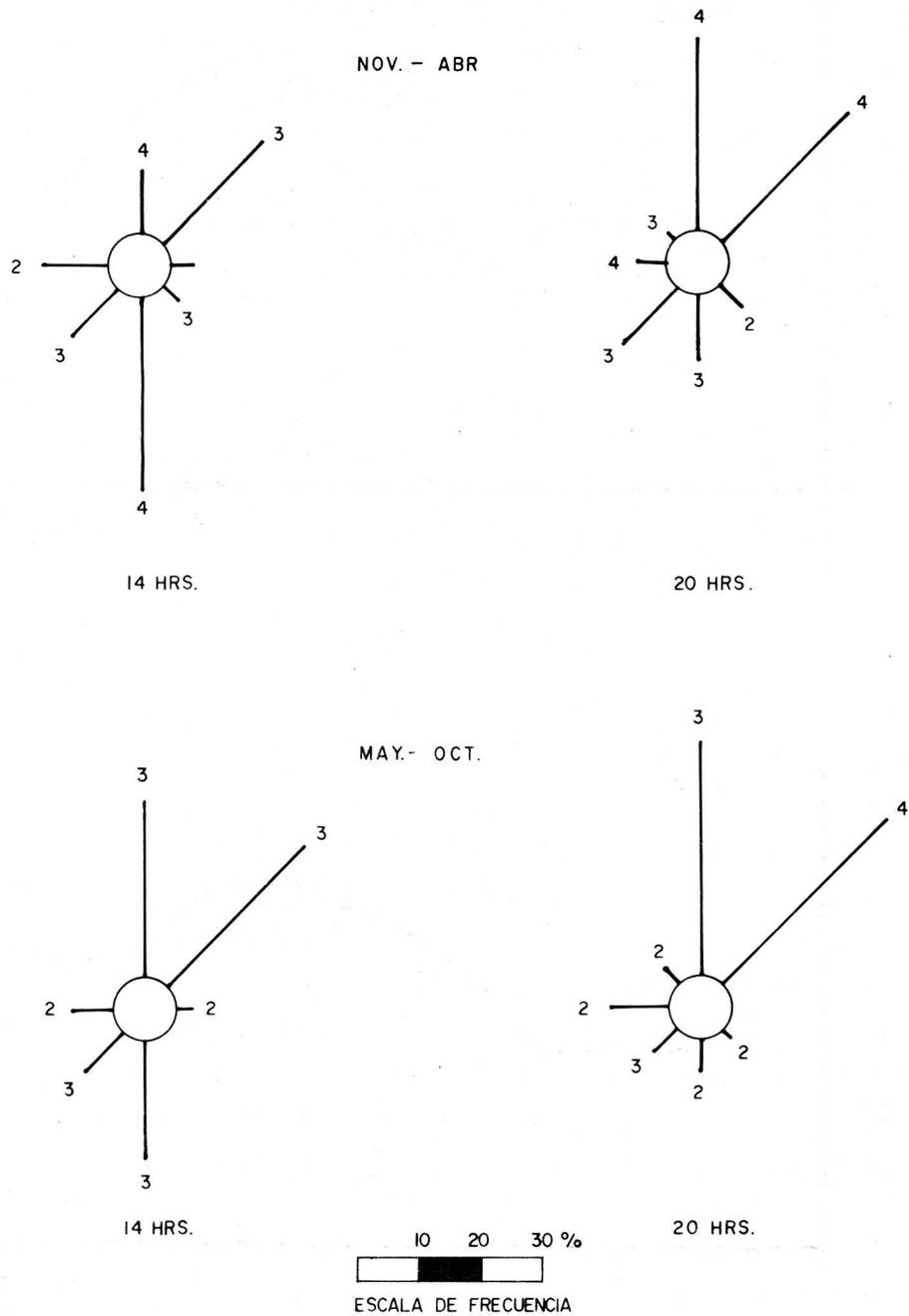


FIG. 10. ROSAS DE VIENTO SUPERFICIAL PARA LAS 14 Y 20 HRS. DE LA ESTACION XALOSTOC AL NE. DE LA CD. DE MEXICO. EL N° EN EL EXTREMO DE LA BARRA INDICA LA INTENSIDAD MEDIA DEL VIENTO (en m/s)

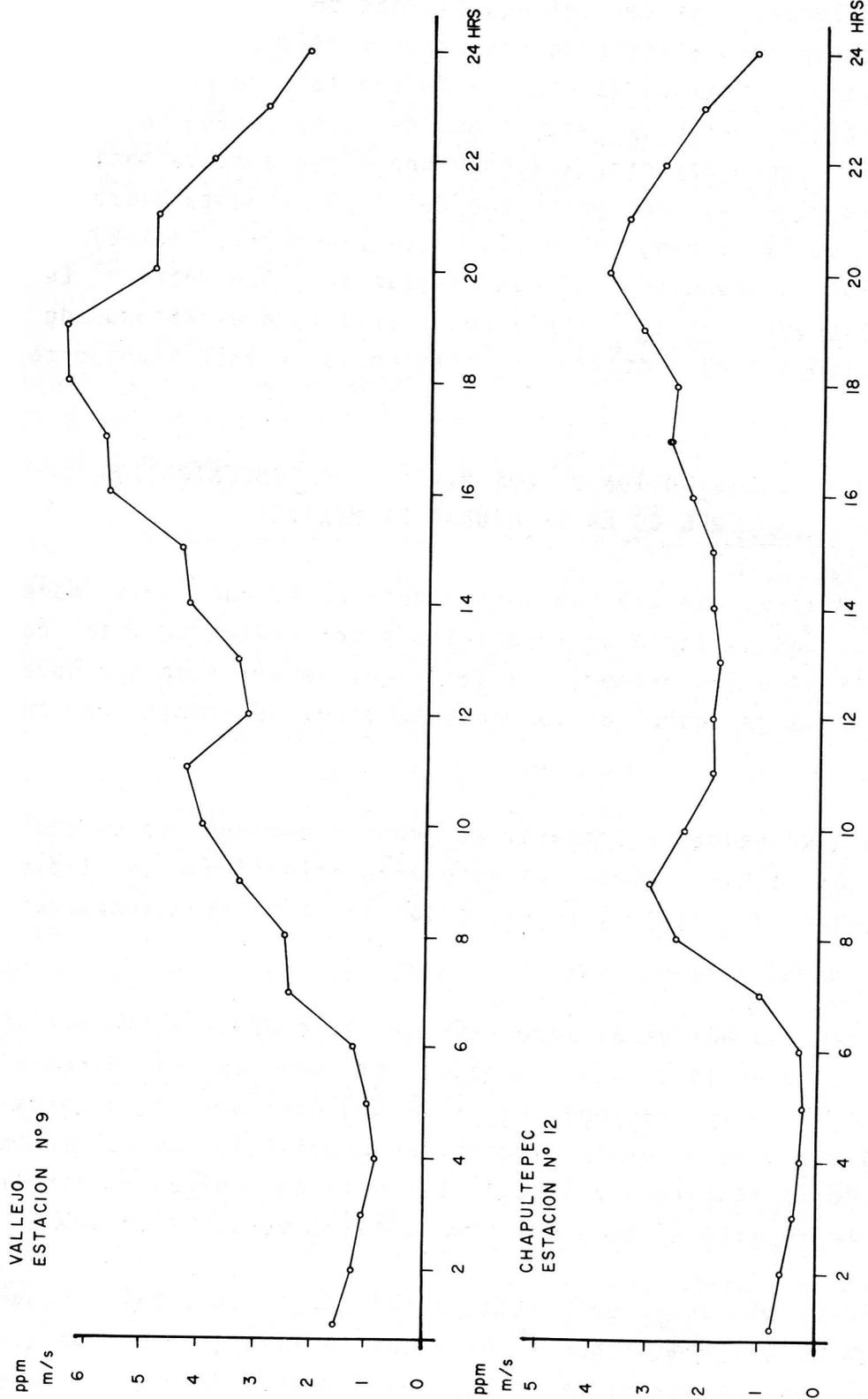


FIG. II. VARIACION DIURNA DEL CO EN LAS ESTACIONES 9 (Vallejo) Y 12 (Chapultepec). EN JUNIO 1978.

En resumen, las variaciones diurnas de CO muestran dos máximos que corresponden a los picos de mayor tráfico. Los picos que tienen los valores máximos diurnos de CO señalan que existe un transporte importante de CO (y desde luego de otros gases) después del mediodía, con una trayectoria (según una curva cóncava hacia el E), en general de NE a SW, que partiendo del área de Santa Clara (en el extremo NE de la ciudad) se desvía hacia la colonia Vallejo, para seguir por Tacuba-Chapultepec-Tacubaya-Mixcoac y San Angel. En otro trabajo (Jáuregui, et al, 1981) se ha utilizado el método de las autocorrelaciones para demostrar la existencia de este transporte.

8. LA DISTRIBUCION DE LOS NIVELES DE CONCENTRACION DEL CO EN LA CIUDAD DE MEXICO

Los valores de las concentraciones de CO que hemos manejado para analizar las variaciones espaciales y temporales de este contaminante, han sido los promedios aritméticos horarios de las observaciones llevadas a cabo en la red automática de monitoreo de la ciudad.

Cuando se requiere comparar las concentraciones de CO con las observadas en otras ciudades es necesario seleccionar un lapso de tiempo estándar para el cual se promedian las concentraciones universalmente.

El periodo más usual para expresar la concentración media de CO es el de 8 horas. Este lapso es el que aproximadamente se requiere (con concentraciones bajas de CO) para que los niveles de hemoglobina del cuerpo humano alcancen un equilibrio con el monóxido de carbono de la atmósfera urbana. El periodo de 8 horas es aproximadamente, como se verá en seguida, una milésima parte de un año.

La forma más usual de sintetizar el cúmulo de datos de concentraciones de un gas contaminante es el de la distribución que tienen las frecuencias con que se presentan los diversos valores. En esta

forma se puede determinar la probabilidad de ocurrencia de un cierto valor observado.

En la tabla 1 se muestra, para las estaciones de la red, la distribución de la frecuencia (en %) con que ocurrieron las diversas categorías de concentraciones horarias de CO (en ppm) para muestra de los 10 días centrales (y 4 horas representativas en el día) de cada mes en el año de 1976.

Se puede advertir en la tabla que las concentraciones más frecuentes que se observaron fueron menores que 1 ppm (entre un 45 y un 65% del total), mientras que los valores mayores de 8 ppm ocurrieron, en general, en menos de un 5% del total de observaciones.

De la tabla 1 se puede advertir que la distribución de la frecuencia de las concentraciones de CO es la llamada distribución logaritmo-normal que es característica de las concentraciones de contaminantes atmosféricos en general (ver p. ej. LARSEN, 1969). En un trabajo anterior se ha demostrado (Jáuregui, 1979) que las concentraciones de SO₂ en la ciudad de México exhiben también este tipo de distribución. Al valor de la mediana en esta distribución se le denomina promedio geométrico, y teóricamente se encuentra a la mitad de las observaciones cuando éstas han sido ordenadas de la menor a la mayor. De modo que este promedio geométrico significa que la mitad de todos los valores observados se encuentran por debajo de él, o que la mitad del tiempo las concentraciones medidas serán menores que dicho promedio geométrico.

De lo anteriormente expuesto es fácil deducir que el promedio aritmético, en una serie de datos de concentraciones distribuidos logaritmo-normalmente, es mayor que el promedio geométrico o mediana. Consecuentemente, los valores promedio (aritmético) de las concentraciones de CO que se han utilizado en el análisis de las distribuciones espaciales y temporales de la primera parte de este trabajo, tienen una ocurrencia menor del 50% del tiempo.

TABLA 1. FRECUENCIA ANUAL POR CLASES (No. SUPERIOR) Y CUMULATIVA (No. INFERIOR) (EN %) DE LAS CONCENTRACIONES DE CO OBSERVADAS EN LA RED DE ESTACIONES DE LA CIUDAD DE MEXICO DURANTE 1976. (SOLO LOS 10 DIAS CENTRALES DE CADA MES Y PARA CUATRO HORAS DEL DIA).

ESTACION	CONCENTRACION DE CO (en ppm)							
	< 1.0	1.1-2	2.1-5	5.1-8	8.1-10	10.1-15	15.1-20	> 20
1	46	12 58	21 79	12 91	7 98	2 100		
2	64	21 85	13 98	1 99	-	1 100		
3	48	24 72	20 92	4 96	1 97	1 98	1 99	
4	63	20 83	14 97	2 99	-	-	1 100	
5	68	18 86	12 98	1 99	-	0	-	1 100
6	52	23 75	21 96	2 98	1 99	1 100		
7	70	15 89	10 99	-	-	1 100		
9*	27	16 43	20 63	13 76	6 82	8 90	8 98	2 100
10	70	13 83	12 95	3 98	1 99	1 100		
11	67	20 87	11 98	2 100				
12	29	17 46	37 83	10 93	3 96	3 99		1 100
13**	78	5 83	8 91	3 94	1 95	3 98	2 100	
14	52	18 70	24 94	5 99	1 100			
15	46	19 65	24 89	6 95	1 96	2 98	1 99	1 100
18	76	14	9	1	-	-	-	-
20	30	15 53	25 73	13 91	4 95	4 99		

* Sólo 9 meses de datos

** Sólo 8 meses de datos

9. LAS CONCENTRACIONES DE CO EN EL AÑO 1978 EN
RELACION CON LA NORMA RESPECTIVA

Las normas de calidad del aire para el monóxido de carbono están referidas usualmente al promedio de 8 valores horarios consecutivos. De los tres periodos de 8 horas del día se selecciona el que resulta más elevado. Los valores individuales (promedio de 8 h) de cada estación se promedian con el resto de las estaciones que representan cada sector de la ciudad, como se muestra en la tabla 2.

TABLA 2. ESTACIONES UTILIZADAS PARA PROMEDIAR LAS
CONCENTRACIONES DE CO EN CADA SECTOR DE
CIUDAD (SMA/DGSAT, 1978).

SECTOR	ESTACIONES
CENTRO	1, 9, 13, 14
NW	2, 6, 9, 12
NE	3, 10, 11, 14
SW	4, 12, 13, 15
SE	5, 14, 18, 20

Como puede verse en la tabla 2, la estación 9 se utiliza tanto para representar al sector centro como al sector NW, y la estación 14 (aeropuerto) se emplea para promediar los niveles de CO en los sectores centro, NE y SE. Asimismo, la estación 12 (Chapultepec) se usa para promediar las concentraciones de CO en los sectores NW y SW. Este procedimiento tiende a reducir las discrepancias entre las concentraciones de CO de los sectores de la ciudad.

El promedio que resulta para cada sector se compara con la norma para CO, que para la ciudad de México es de 14 ppm (promedio de 8 h) (ver IMEXCA, SMA-DGSATT, 1979).

En la tabla 3 se muestran las normas de calidad del aire para

monóxido de carbono, y sus equivalencias con el índice de calidad del aire que se han propuesto por la subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente.

TABLA 3. NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE PARA EL MONOXIDO DE CARBONO (SMA/DGSAT)

INDICE DE CALIDAD DEL AIRE	NIVEL DE LA CALIDAD DEL AIRE	CONCENTRACION DE CO (ppm) 8 h.
50	B U E N O	7
100-150	SATISFACTORIO	14
151-200	NO SATISFACTORIO	23
201-300	M A L O	32
301-500	M U Y M A L O	41 - 50

La tabla 4 muestra, para el segundo semestre de 1978, la frecuencia con que se presentaron, para diversas categorías, las concentraciones de CO en los 5 sectores de la ciudad. Las concentraciones más frecuentes (más del 60%) fueron entre 1 y 4.5 ppm. La categoría siguiente en importancia por su frecuencia fue la comprendida entre 4.6 y 9 ppm. Esta categoría fue menor de 25% durante los meses de lluvia y subió su frecuencia hasta 50% en los meses de noviembre y diciembre. Las concentraciones mayores de 10 ppm tuvieron una frecuencia baja en general (menos de 5%), excepto en el sector del centro y durante el mes de diciembre cuando la frecuencia de concentraciones de 20 a 30 ppm ascendió a un 20%.

10. COMPARACION DE LOS NIVELES DE CO DE LA CIUDAD DE MEXICO Y LOS ANGELES, CAL.

¿Qué tan altos son los niveles de CO observados en la ciudad

TABLA 4. FRECUENCIA (EN %) DE LAS CONCENTRACIONES (POR CLASES) DE CO (PROMEDIO DE 8 H) PARA CADA CINCO SECTORES DE LA CIUDAD DE MEXICO DURANTE EL PERIODO JUN - DIC 1978.

		J	U	N	J	U	L	A	G	O			
CO													
SEC	ppm	1.0	1.0-4.5	4.6-9.0	9.1-15.0	1.0	1.0-4.5	4.6-9.0	9.1-15.0	1.0	1.0-4.5	4.6-9.0	9.1-15.0
TOR													
NW		0	72	17	10	0	74	26	0	7	89	4	0
NE		0	100	0	0	0	97	3	0	4	96	0	0
C		0	79	17	3	0	75	25	0	4	89	7	0
SW		0	90	10	0	0	97	3	0	0	86	14	0
SE		0	79	21	0	0	81	19	0	0	96	4	0

		S	E	P	O	C	T	N	O	V	D	I	C
CO													
SEC	ppm	1.0	1.0-4.5	4.6-9.0	9.1-15.0	1.0	1.0-4.5	4.6-9.0	9.1-15.0	1.0	1.0-4.5	4.6-9.0	9.1-15.0
TOR													
NW		19	63	18	0	17	70	14	0	4	54	42	0
NE		15	82	4	0	3	97	0	0	0	85	15	0
C		0	63	37	0	0	80	20	0	0	58	38	4
SW		4	96	0	0	3	93	0	0	0	65	31	4
SE		0	93	7	0	0	90	10	0	0	96	4	0

de México en comparación con los correspondientes a otra metrópoli?

Para contestar esta pregunta, en la fig. 12 aparece la variación diurna y estacional media (aritmética) de los valores de CO en lugares céntricos de las dos ciudades: Los Angeles y México. Infortunadamente los periodos de observación no son coincidentes en el tiempo.

a) Variación Estacional de CO

En ambas ciudades la mayor frecuencia de inversiones térmicas bajas o superficiales ocurre en el invierno. Esta coincidencia climática influye para que la dilución de contaminantes se restrinja en este periodo del año, por lo que los niveles de CO son más elevados, entonces, en ambas ciudades (fig. 12a). Se supone que la actividad vehicular se mantiene relativamente constante durante el año.

Exceptuando el valor del mes de febrero, es notable la semejanza de las curvas de CO para ambas ciudades (fig. 12a), aun cuando los valores son, en general, algo más altos en Los Angeles. Esto, desde luego, es explicable si se recuerda que el número de vehículos en la ciudad de Los Angeles, a mediados de los años setenta era considerablemente superior al correspondiente en la ciudad de México.

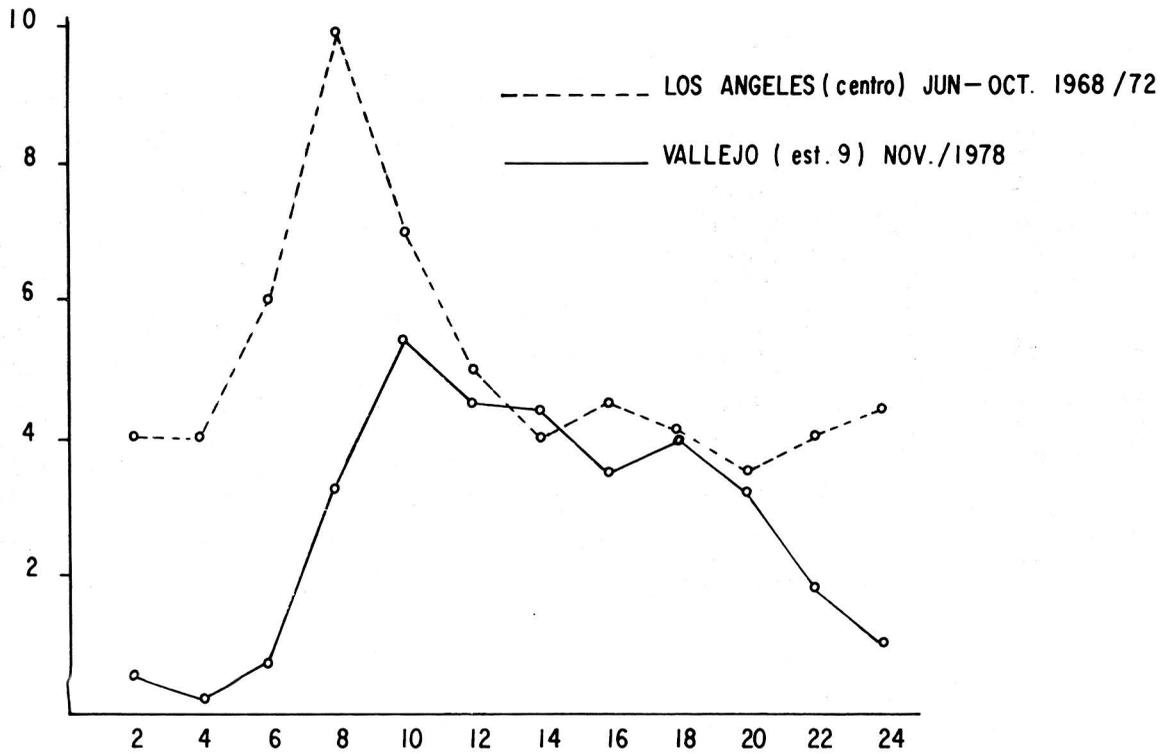
b) Variación Diurna

En la fig. 12b se muestra la variación diurna del CO para estaciones ubicadas cerca del centro en las ciudades de Los Angeles y México.

Ambas curvas del CO muestran dos máximos en el día, correspondientes a los picos usuales de actividad vehicular. Se advierten, sin embargo, las siguientes disimilitudes:

i) El pico de CO en Los Angeles es casi el doble en valor y ocurre unas dos horas antes que el correspondiente a la ciudad de

ppm b)



ppm a)

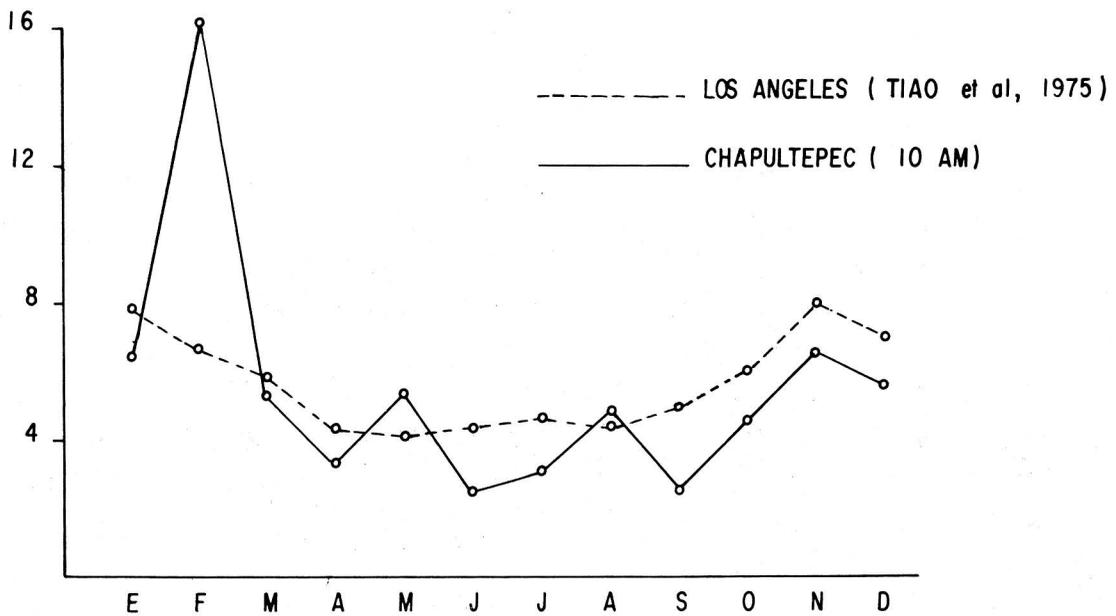


FIG. 12. VARIACION a) ESTACIONAL Y b) DIURNA DEL CO EN LOS ANGELES (TIAO et al, 1975) Y EN LA CIUDAD DE MEXICO (1976)

México. Un mayor volumen de tráfico vehicular y una hora más temprana explican esta discrepancia.

Aunque el pico vespertino de CO en Los Angeles no es tan elevado, ocurre también dos horas antes que el correspondiente en la ciudad de México, revelando la diferencia de horarios de trabajo entre ambas ciudades.

ii) Los niveles de concentración de monóxido de carbono se mantienen sensiblemente constantes (en 4 o 5 ppm) desde el mediodía y hasta las 20 h. (excepto por el ligero pico vespertino), muy semejantes a los observados en la ciudad de México. Esto señala la eficacia que tienen en este periodo del día los agentes de dilución en ambas ciudades (la turbulencia de la brisa marina en Los Angeles y las corrientes convectivas en la ciudad de México).

iii) A partir de las 10 p.m. y hasta el amanecer, los niveles de CO se abaten considerablemente (a menos de 2 ppm) en la ciudad de México, mientras que en Los Angeles se mantienen relativamente elevados, aproximadamente a un medio del valor de la norma para el CO (9 ppm). Este contraste en los niveles de CO nocturno debe tener otro origen que las diferencias en el tráfico vehicular, durante la noche, en ambas metrópolis.

11. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se examina la distribución espacial y temporal del monóxido de carbono en la ciudad de México. El gas, que es el más abundante en el aire urbano de la capital, tiene una distribución horizontal que muestra un valor máximo en la zona del centro, donde se registra la mayor densidad de tráfico vehicular. Los niveles de concentración de CO, que son más altos en la estación invernal, decrecen hacia el perímetro de la ciudad. Siendo los vehículos de motor la principal fuente de emisión de CO, la variación diurna de las concentraciones de este gas acusa dos máximos valores que coinci-

den aproximadamente con los "picos" de mayor actividad vehicular: el primero a las 9 o 10 a.m. y el segundo al caer la tarde. Al examinar los "picos" de CO en diversas estaciones de la red, se advierte un desfase en el tiempo, que revela la existencia de un transporte del CO después del mediodía, de NE hacia el sur y poniente de la ciudad, que es el resultado de la circulación prevaleciente de los vientos superficiales. Las frecuentes inversiones de temperatura que ocurren en el semestre centrado en el invierno restringen la difusión vertical e incrementan las concentraciones de CO en esta época. En la estación lluviosa, en general decrecen las concentraciones de monóxido de carbono. Durante el periodo nocturno (después de las 11 o 12 p.m.) los niveles de CO decrecen a cerca de 1 ppm.

También se examinan las distribuciones de frecuencia de las diversas categorías de concentraciones de CO observadas en la red. Las concentraciones más frecuentes son menores de 1 ppm (entre un 45 y un 65% del total), mientras que los valores mayores de 8 ppm ocurrieron, en general, menos de un 5% del tiempo.

Al examinar los valores promedio de 8 h. (del segundo semestre de 1978) de las concentraciones de CO, que a su vez se promedian para representar los niveles de CO en cinco sectores de la ciudad, se encontró que los valores más frecuentes (más de 60%) fueron entre 1 y 4.5 ppm, mientras que las concentraciones mayores de 10 ppm tuvieron una frecuencia baja (menos de 5%) en general. Sólo durante el mes de diciembre y en el sector del centro la frecuencia de concentraciones de CO de 20 a 30 ppm ascendió a un 20%. En general, los niveles de monóxido de carbono observados en la red automática de la ciudad de México en los periodos analizados, se encuentran muy por debajo de la norma de calidad del aire para este gas.

Al comparar los niveles de CO de la ciudad de México con los del área conurbada de Los Angeles, Cal. se encontró que éstos son semejantes en las horas del mediodía y hasta el anochecer, cuando la turbulencia convectiva abate las concentraciones a unas 4 ppm. En cambio, el máximo valor de CO que por la mañana ocurre en Los Angeles

es, en promedio, el doble (unas 10 ppm) que el correspondiente a la ciudad de México. En ambas áreas metropolitanas el CO exhibe una variación estacional con el máximo nivel en el invierno.

BIBLIOGRAFIA

Brief, R.S., A.R. Jones y J. Joder (1960) Lead, Carbon Monoxide and Traffic, a Correlation Study. J. Air Pollution Control Association. 10(5); 384-388.

Hamming, W.J., R.D. MacPhee y J.R. Taylor (1960) Contaminant Concentrations in Los Angeles Country. J. Air Pollution Control Assoc. 10 (1); 716.

Larsen, R. I. (1964) New Mathematical Model of Air Pollutant Concentration, Averaging Time and Frequency. J. Air Pollution Control Assoc. 19; 24-30.

Jáuregui, E. (1974) "Las investigaciones sobre el clima urbano y contaminación del aire en la República Federal de Alemania". Boletín V. Instituto de Geografía UNAM. México.

Jáuregui, E. (1979) Distribución espacial y temporal del bióxido de azufre en la ciudad de México. Publicación Técnica de la S.M.A. SMA/DGSAt.

Jáuregui, E., D. Klaus y W. Lauer: (1981) "Una primera estimación del transporte de SO₂ sobre la ciudad de México". Geofísica Internacional, Vol. 20 (1), México.

Junge, C.E. (1963) Air Chemistry and Radioactivity. New York, Academic Press. 382 p.

Natural Air Pollution Control Administration (1970) Air Quality Criteria for CO.

Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente. El índice mexicano de la calidad del aire (IMEXCA) SMA/DGSAt/02-78.

Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente. Situación actual de la contaminación atmosférica en la ciudad de México. Memorandum Técnico SMA/DGSAt/04-78.

White, J. (1931) "Carbon Monoxide and its Relation to Air Craft. U.S. Naval Med. Bull, 30 (2); 151-165.

RECONOCIMIENTO

El autor agradece a las autoridades de la subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente (ahora SEDUE) las facilidades para la extracción de la información de calidad del aire. El Lic. Francisco Cruz se encargó de la recolección y procesamiento de los datos, así como de su vaciado en gráficas y mapas.