



**GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL**  
**Secretaría del Medio Ambiente**

**Dirección General de Gestión Ambiental del Aire**



SERIE DE ANÁLISIS DEL SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO  
DE LA CIUDAD DE MÉXICO

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SEMANAL DEL OZONO  
EN LA CIUDAD DE MÉXICO, 1990 - 2003

Nota Técnica No. 1.

Enero, 2004

**Cristina Ortuño Mojica**  
**Mónica del Carmen Jaimes Palomera**  
**Roberto Muñoz Cruz**  
**Ma. Guadalupe Granados Gutiérrez**

Agradecimientos:

Al personal de la subdirección de monitoreo atmosférico por su valioso trabajo en campo y al personal del área de adquisición de datos por su labor en la validación de la información.

**calidadaire@sma.df.gob.mx**  
**<http://www.sma.df.gob.mx/simat/>**

## ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SEMANAL DEL OZONO EN LA CIUDAD DE MÉXICO , 1990 - 2003

### Propósito

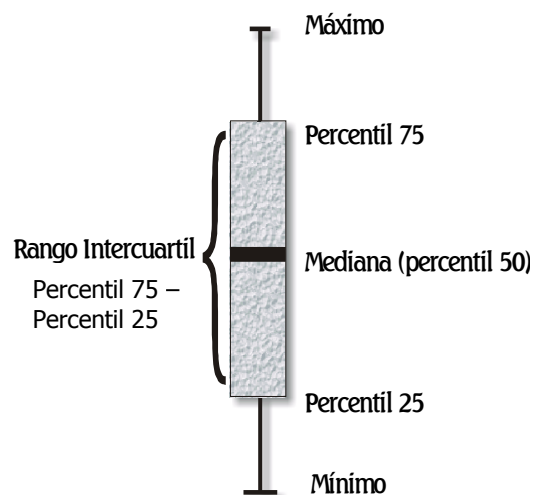
Evaluar el estado de la calidad del aire por ozono que prevalece en cada día de la semana.

### Metodología

Se considera información de las estaciones que monitorean ozono y cumplen con el mejor desempeño histórico<sup>1</sup>. Se analizan 2 aspectos de este contaminante:

- **Comportamiento de las concentraciones máximas diarias por día de la semana:** El análisis previo del comportamiento del ozono, sugiere la conveniencia de realizar el presente análisis considerando los siguientes períodos de años: 1990-1994, 1995-1997, 1998-2000 y 2001-2003. El análisis descriptivo del comportamiento del ozono en los días de la semana se realiza por medio de gráficas de caja (boxplot), destacando el comportamiento del máximo maximorum y su relación con los límites que establece la Norma Oficial Mexicana de protección a la salud (NOM) y el Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA), así como los percentiles y el rango Intercuartil.

Gráfico de caja y bigotes (boxplot)



Con la finalidad de identificar de mejor manera las diferencias entre los días de la semana del período 1990–1994 y del período 2001–2003, se realiza un análisis inferencial mediante la prueba estadística de Quade y comprobar la hipótesis: las poblaciones son iguales vs alguna diferente (sin identificar cual de ellas). Cuando se rechaza la hipótesis de igualdad se realizan comparaciones múltiples entre pares de poblaciones (se compara la población de datos del lunes vs la población de datos del martes). Las diferencias se evalúan con un nivel de confianza del 95%.

- **Comportamiento del período de horas con concentraciones arriba del límite:** El análisis de la presencia de concentraciones de ozono arriba del valor límite de la NOM(0.110 ppm como promedio horario) y su evolución en el tiempo, se realiza con dos esquemas
  - Número de días en los años 1990 a 2003 con diferentes períodos de horas.
  - Porcentaje de diferentes períodos de horas en cada día de la semana en los años 2000 a 2003.

<sup>1/</sup> Por mejor desempeño histórico se considera a las estaciones que en el período de 1990 a 2002 han registrado 75% o más de los años con 75% o más registros horarios, es decir: LAG, TAC, AZC, TLA, XAL, MER, PED, CES, PLA, HAN, UIZ, BJU y TAX.

## Resultados

### Comportamiento de las concentraciones máximas diarias por día de la semana (Figura 1)

- Máximo maximorum.
  - En la secuencia de gráficos del período 1990–1994 al período 2001–2003 de la figura 1, se observa una disminución paulatina de la magnitud de las concentraciones máximas en cada día de la semana.
  - Lo anterior conlleva una disminución de eventos que activan la Fase I del PCAA<sup>2</sup>,. Entre 1998 y 2000 la posibilidad de instrumentar esta fase ocurrió en viernes. La última ocasión en que se instrumentó fue el miércoles 18 de septiembre de 2002.
  - También hay una disminución de los eventos que activan la Fase de Precontingencia. Desde 2001 más del 90% de los días presentan concentraciones de ozono inferiores al límite que activa una Precontingencia, por lo que prácticamente no se registran en domingo y cuando ocurren tienen una mayor incidencia en miércoles. Durante el período 1990 - 1994 se instrumentó esta fase al menos en 30% de los jueves, viernes, miércoles y martes, mientras que en el período 1995 - 1997 se instrumentó al menos en el 25% de estos días
- Mediana (percentil 50), percentil 75 y rango Intercuartil.
  - En la secuencia de gráficos de la figura 1, el percentil 75 y el percentil 50 indican que en el período 1990-1994 predominan concentraciones mayores en martes, miércoles, jueves y viernes. El rango intercuartil de los viernes y miércoles indica una mayor variación en el valor de las concentraciones máximas.
  - El análisis de diferencias entre días de la semana del período 1990-1994, mediante la Prueba de Quade (Tabla 1), arroja un rechazo contundente a la hipótesis de similitud entre los siete días de la semana (mayor diferencia entre el estadístico y el valor a contrastar). No obstante, por medio de comparaciones múltiples se encuentra que los domingos difieren estadísticamente (nivel de confianza del 95%) del resto de los días de la semana, mientras que de martes a viernes hay similitudes. En el caso de los lunes, éstos difieren estadísticamente de los martes, jueves y viernes; en tanto que los sábados difieren de los jueves y viernes (Tabla 2).
  - En los períodos 1995-1997 y 1998 - 2000 hay un aumento en el valor del percentil 75 y el percentil 50 en sábado, al parecer el patrón de concentraciones altas de ozono se extiende al sábado. En ambos períodos el rango intercuartil del viernes señala una mayor variación entre los valores de concentración.
  - A partir de 2001 el valor del percentil 75 y el percentil 50 es similar los lunes, martes, miércoles, jueves y sábados. En viernes el valor de ambos indicadores disminuye y son semejantes a los obtenidos en los domingos. Es importante notar que en la mayoría de los días, el 25% de concentraciones máximas (percentil 25) están por abajo del valor de 0.110 ppm que señala la NOM como límite.
  - ◆ El análisis de diferencias entre días de la semana del período 2001 - 2003, mediante la Prueba de Quade (Tabla 1), permite rechazar la hipótesis de similitud entre los siete días de la semana; no obstante, mediante comparaciones múltiples se identifica semejanza estadística en las concentraciones registradas de lunes a jueves. Por su parte los viernes difieren estadísticamente de los martes, miércoles y sábados, y los domingos son diferentes del resto de la semana (Tabla 2).

<sup>2</sup> PCAA: Plan de Contingencias Ambientales Atmosféricas

- La menor amplitud del rango intercuartil en los 7 días del período 2001 – 2003, comparada con la amplitud de otros períodos, indica que la variación entre las concentraciones máximas diarias es menor en los últimos años.

### Comportamiento del período de horas con concentraciones arriba del límite

- Número de días para diferentes períodos de horas en los años 1990 a 2003 (Figura 2).
  - De 1991 al 2003 hay una disminución paulatina de los períodos de horas con concentraciones superiores al límite que establece la NOM de protección a la salud.
  - En 1991 predominan los días con períodos de 5 a 9 horas (aproximadamente el 70%), cabe destacar que en dos días se presentaron períodos de 12 horas
  - De 1992 a 1996 predominan los días con períodos de 5 a 8 horas, gradualmente se incrementan los días con períodos de 4 horas.
  - Entre 1997 y 2000 predominan los días con períodos de 4 a 6 horas, gradualmente disminuyen los días de 7 horas y se incrementan los días con períodos de 3 horas.
  - De 2001 a 2003 aumentan los días con períodos de 2 horas, aunque prevalecen los días con períodos de 3 a 6 horas (aproximadamente el 70%). En 2001 los días con períodos de 7 y 8 horas representan menos del 8 % anual y a partir de 2002 no se han registrado períodos de 8 horas.
- Porcentaje de eventos para diferentes períodos de horas en cada día de la semana en los años 2000 a 2003 (Figura 3).
  - Entre 2000 y 2003 prevalecen períodos de 3 a 6 horas en los siete días de la semana. En este lapso de años hay un aumento gradual de la frecuencia de días con eventos de 4 horas o menos, los lunes pasaron del 45% al 75%, los miércoles del 20% al 65%, los viernes del 40% al 80% y los sábados del 50% al 70%.
  - Los días miércoles y jueves presentan un cambio importante a partir de 2001, debido a que tienen una mayor frecuencia de eventos de una hora por arriba del límite de la NOM. En 2003 los sábados destacan por registrar una mayor cantidad de eventos de una hora (cerca del 20%), seguidos de los miércoles y martes (cerca del 15% y 10 % respectivamente).
  - Los eventos con 8 horas arriba del límite de la NOM en el año 2000 ocurrieron en 5 viernes y 2 lunes, una sola ocasión se presentaron en martes, miércoles y sábado. En el año 2001 estos eventos se presentaron en una sola ocasión de domingo a jueves.

### Conclusiones

1. Desde 1990 disminuye la magnitud de las concentraciones máximas de ozono registradas en cada día de la semana, consecuentemente disminuyen las ocasiones en que es necesario instrumentar la Fase I del PCAA y la Fase de Precontingencia. Desde 2001 el domingo es el único día que no registra concentraciones superiores a 0.233 ppm que activan la Fase de Precontingencia, el resto de los días rebasan esta concentración en 10% de las ocasiones.
2. En la actualidad la mayoría de los días de la semana tienen al menos un 25% de concentraciones máximas por abajo del valor límite de 0.110 ppm, en tanto que la variación (rango intercuartil) de las concentraciones de ozono es similar de lunes a jueves y en sábados. Esta similitud se sustenta estadísticamente con un nivel de confianza del 95%. Cabe mencionar que los domingos son estadísticamente diferentes al resto de la semana al tener valores bajos la mayor parte del año.
3. Desde 1990 disminuyen paulatinamente los períodos de horas con concentraciones superiores al límite que establece la NOM. Antes de 1996 prevalecían períodos de 4 a 9 horas, entre 1997 y 2000

duraban entre 4 y 6 horas. Desde 2001 el 80% de los días del año tienen períodos de 2 a 6 horas, predominando los períodos de 4 horas.

4. En años recientes, de lunes a jueves y los sábados, prevalecen los períodos entre 3 y 6 horas con concentraciones que superan el límite de la NOM; sin embargo, los períodos con 2 o una hora comienzan a tener mayor presencia y los períodos de 7 u 8 horas son menos frecuentes.
5. Desde 2001 los viernes han dejado de registrar las concentraciones máximas para este contaminante y presentan en mayor frecuencia valores por abajo del límite de la NOM, de hecho sus valores de rango intercuartil, percentil 75 y 50, son similares a los de los domingos y estadísticamente ambos días son similares. En viernes prevalecen períodos de 4 horas con concentraciones superiores al límite de la NOM y comienzan a presentarse períodos de 2 y una hora con mayor frecuencia.
6. En 2003 los sábados se distinguen del resto de la semana por registrar la mayor cantidad de eventos de una hora.

**Tabla 1.** Prueba de igualdad de días de la semana (Prueba de Quade)

Período	Estadístico de prueba	Valor a contrastar ( $\alpha=5\%$ )	Conclusión
1990 – 1994	10.0870	2.1043	Hay diferencias entre los días de la semana
2001 – 2003	2.955	2.1082	Hay diferencias entre los días de la semana

**Tabla 2.** Comparaciones múltiples entre días de la semana

Período 1990-1994							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Lunes		19385	10038	20595	20908	5419	25131
Martes	19385		9347	1210	1523	13967	44517
Miércoles	10038	9347		10557	10870	4619	35169
Jueves	20595	1210	10557		314	15176	45726
Viernes	20908	1523	10870	314		15490	46040
Sábado	5419	13967	4619	15176	15490		30550
Domingo	25131	44517	35169	45726	46040	30550	
							Valor en tablas ( $\alpha=5\%$ ) = 14370

Período 2001-2003							
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Lunes		1520	1667	933	5428	2664	8417
Martes	1520		147	587	6948	1144	9937
Miércoles	1667	147		734	7095	997	10084
Jueves	933	587	734		6361	1732	9350
Viernes	5428	6948	7095	6361		8093	2989
Sábado	2664	1144	997	1732	8093		11081
Domingo	8417	9937	10084	9350	2989	11081	
							Valor en tablas ( $\alpha=5\%$ ) = 6794

Figura 1. Comportamiento de los máximos diarios de Ozono por día de la semana.

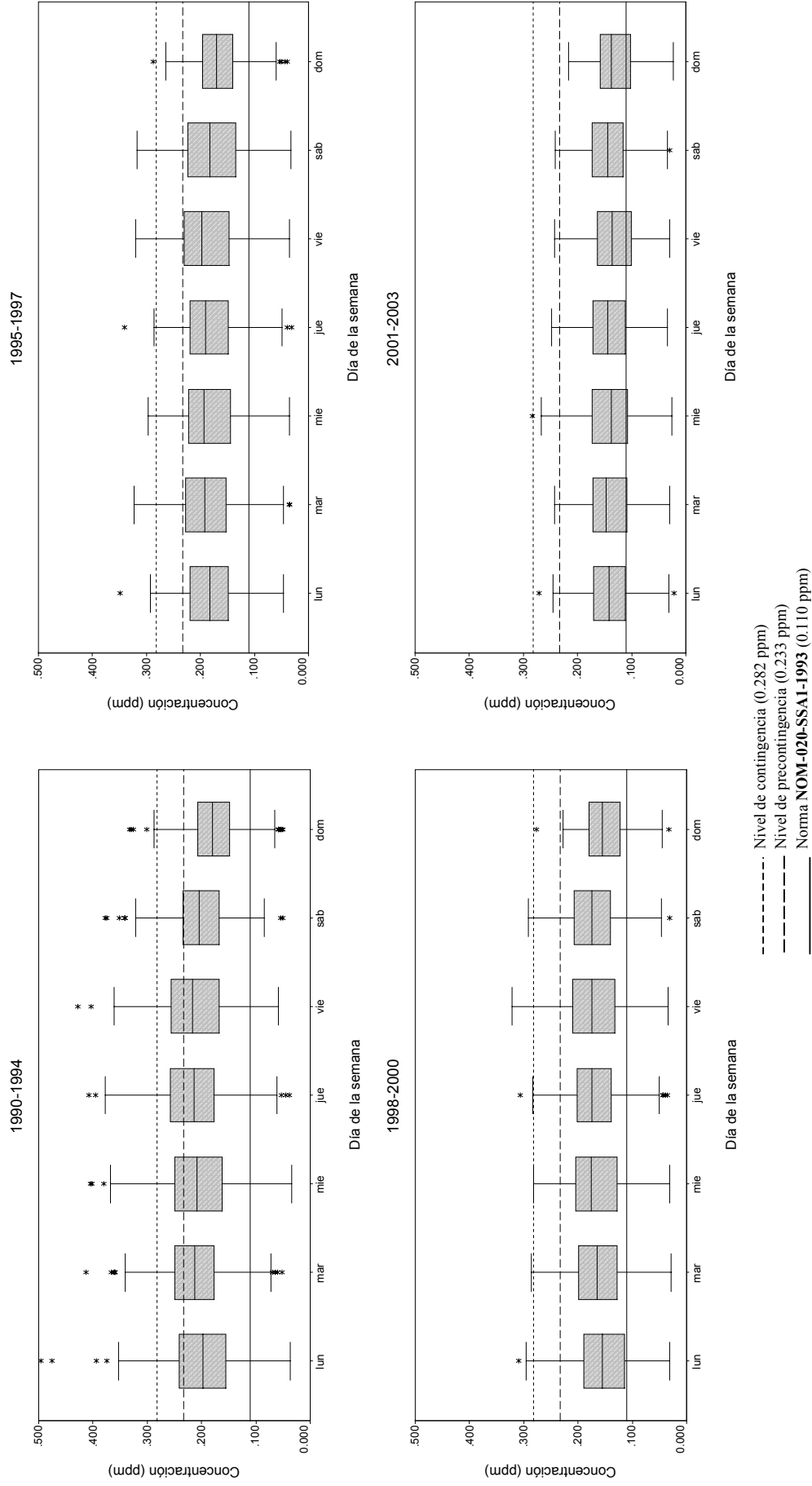


Figura 2. Horas de duración de eventos diarios arriba del valor límite permisible.

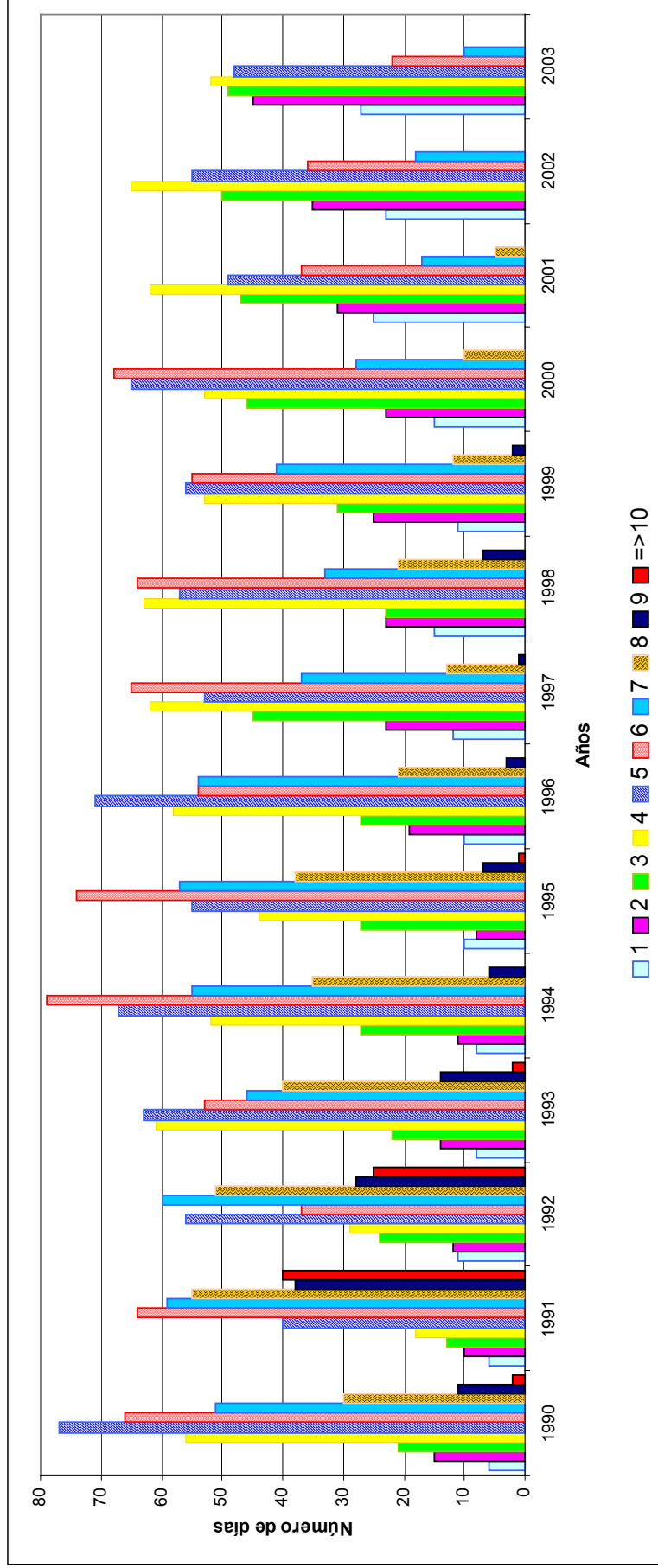
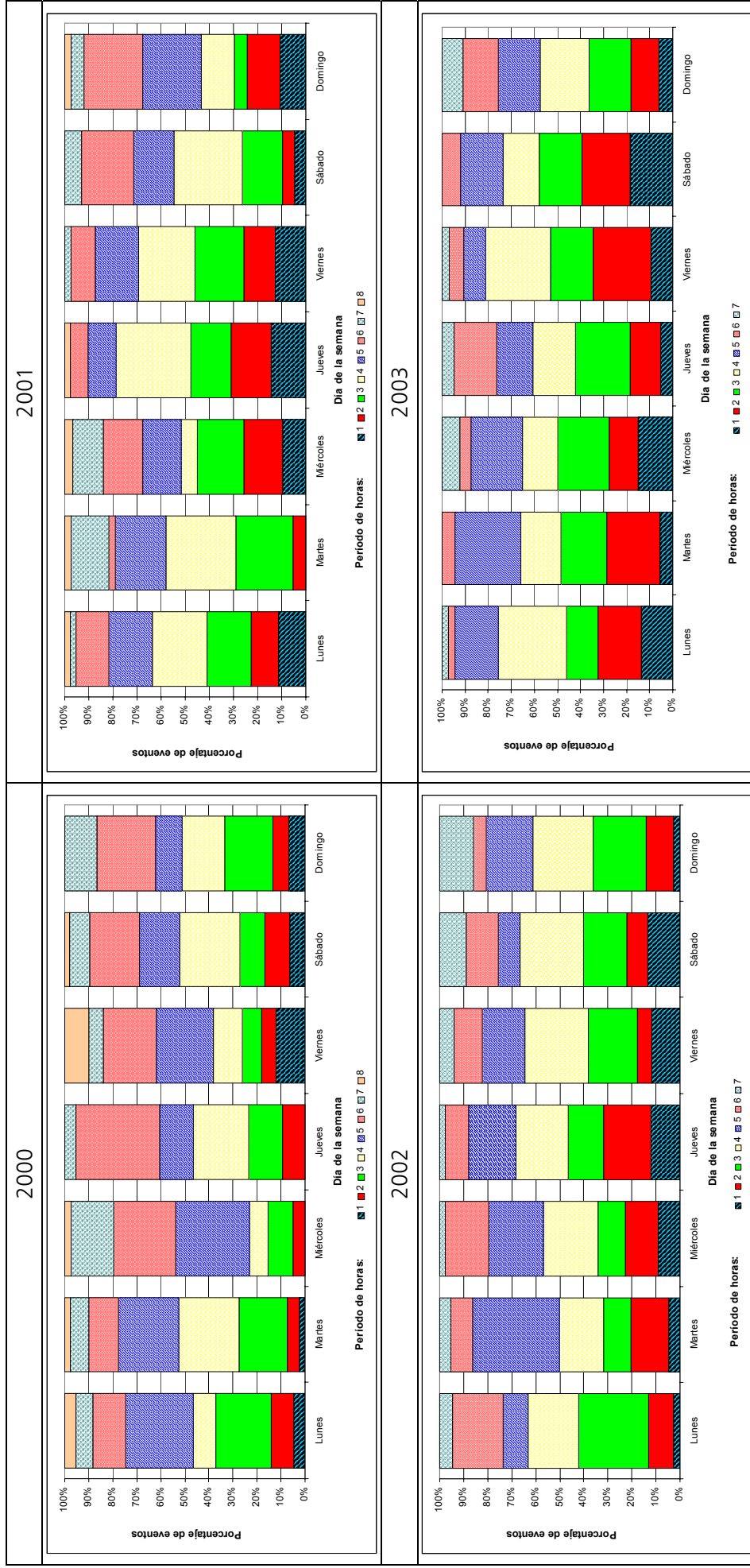




Figura 3. Porcentaje de días por horas de duración en eventos diarios arriba del valor límite permisible de ozono por día de la semana



### Bibliografía

Conover W. J. *Practical Nonparametric Statistics*, 2ed. John Wiley & Sons. 1980

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal  
Dirección General de Gestión Ambiental del Aire  
Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México  
Agricultura #21, 1er piso, Col. Escandón  
Del. Miguel Hidalgo, C. P. 11800, México D. F.



5278-9931 Ext. 6161 y 6130



[calidadaire@sma.df.gob.mx](mailto:calidadaire@sma.df.gob.mx)

<http://www.sma.df.gob.mx/simat/>