



GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL
Secretaría del Medio Ambiente

Dirección General de Gestión Ambiental del Aire
Dirección de Monitoreo Atmosférico
Subdirección de Análisis



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

PRONOSTICO DEL COMPORTAMIENTO DEL OZONO EN LOS AÑOS 2005-2008.

Participantes

Biól. Roberto Muñoz Cruz

Téc. María Guadalupe Granados Gutiérrez

Ing. María del Rocío Carmona Mártir

Dirección de Monitoreo Atmosférico / Dirección General de Gestión Ambiental del Aire / Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal

Abril 2005

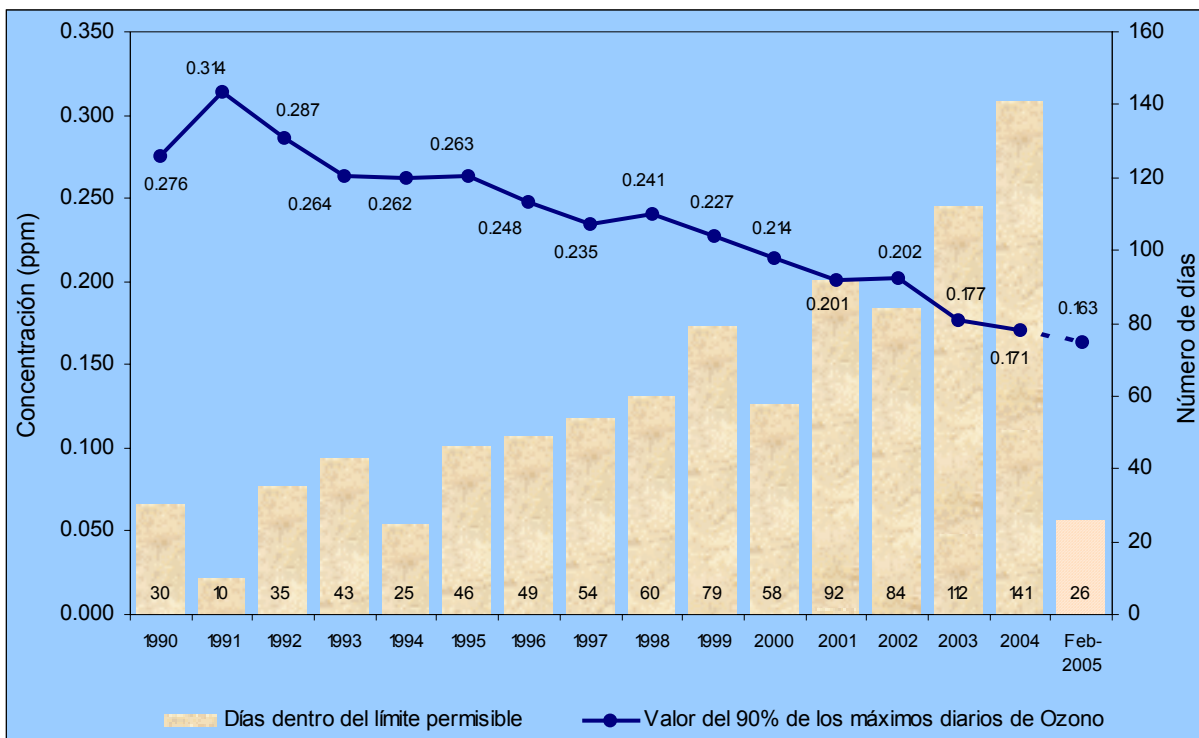
calidadaire@sma.df.gob.mx
<http://www.sma.df.gob.mx/simat/>

Objetivo: Analizar los indicadores de ozono de 1990 a 2004 para simular su comportamiento en los próximos años (2005-2008).

Antecedentes

En los últimos años el comportamiento de las concentraciones máximas de ozono en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) muestra una tendencia decreciente paulatina, aparentemente lineal desde 1991. En el año 2004 el percentil 90 de ozono fue de 0.171 ppm, esto indica que el 90% de las concentraciones en ese año estuvieron por debajo de este valor (Gráfica 1). Este decremento también se observa al contabilizar el número de días en que la concentración máxima está dentro del valor de 0.11 ppm, que señala como límite la norma de este contaminante (NOM-020-SSA1-1993¹).

Gráfica 1. Percentil 90 y número de días dentro del límite permisible de ozono



La información que contiene esta gráfica proviene de estaciones que cuentan con “Mejor desempeño histórico”, es decir, que han registrado al menos el 75% de los datos anuales, en el 75% de años que han operado.

¹ 30 de Octubre 2002. Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993, Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al Ozono (O₃). Valor normado para la concentración de Ozono (O₃) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.

La disminución de las concentraciones máximas de ozono también se refleja en la disminución de casos de contingencia ambiental. El Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA)² tiene como antecedente el programa diseñado por la Comisión Nacional de Ecología en 1985 y al inicio se instrumentaba cuando los niveles de ozono excedían una concentración de 0.294 ppm, equivalente a 250 puntos del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA). En 1998 se actualizó el PCAA al reducir el umbral de ozono para su instrumentación y al incluir un umbral para partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀); así como un umbral para situaciones simultáneas de concentraciones altas de ozono y PM₁₀ (Tabla 1).

Tabla 1. Activación y desactivación de la Fase I del PCAA a partir de 1998

Contingencias por:	Activación	Desactivación
Ozono	Niveles > 240 IMECA (0.282 ppm)	Niveles < 180 IMECA (0.208 ppm)
PM ₁₀	Niveles > 175 IMECA (300µg/m ³)	Niveles < 150 IMECA (250 µg/m ³)
ozono y PM ₁₀	Simultáneamente niveles > 225 IMECA (0.263 ppm) de ozono y 125 IMECA (200 µg/m ³) de PM ₁₀	Niveles de ozono < 180 IMECA (0.208 ppm)

En el año 1993 el PCAA por ozono se instrumentó en 12 ocasiones y desde el año 2000 a 2004 sólo se ha instrumentado en una ocasión. En el caso de las PM₁₀, desde 1998 se ha instrumentado en 4 ocasiones, 2 de éstas en el período 2000 a febrero 2005.

Con base en el comportamiento del ozono entre 1990 y 2004 descrito anteriormente, es posible suponer que en los próximos años sus concentraciones máximas continúen disminuyendo de igual forma, lo cual se puede asociar con las acciones instrumentadas para su disminución. A partir de este supuesto en este trabajo se simula el comportamiento del ozono en los próximos años con base a su comportamiento previo, para aportar insumos de apoyo para la gestión del PCAA por medio de escenarios de las concentraciones máximas y su distribución en intervalos.

Metodología

En el presente trabajo se realizó un análisis del posible comportamiento de las concentraciones máximas diarias de ozono entre 2005 y 2008, para lo cual se definieron dos componentes:

Estimación de indicadores futuros de ozono. En esta componente se obtuvieron los indicadores de las poblaciones anuales de datos de ozono (1990-2004) y se estimaron los posibles valores de cada indicador en el periodo de 2005 a 2008.

Escenarios de la distribución en intervalos de ozono entre 2005 y 2008. A partir de las estimaciones mencionadas, se calcularon las distribuciones de las concentraciones máximas diarias de ozono de 2005 a 2008.

Estimación de indicadores futuros de ozono

La estimación de los indicadores de las concentraciones máximas se realizó con base a los parámetros y la forma como se instrumenta el PCAA por ozono, esto significa que la información proviene de las 20 estaciones de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA)³ que midieron este contaminante entre 1990-2004. En este análisis no se consideró el desempeño histórico de las estaciones, debido a que

² De acuerdo con la Ley Ambiental del Distrito Federal, la *contingencia ambiental* es la situación eventual y transitoria declarada por las autoridades competentes, cuando la concentración de contaminantes en la atmósfera alcance niveles dañinos a la salud de la población en general.

³ Lagunilla (LAG), Tacuba (TAC), ENEP Acatlán (EAC), San Agustín (SAG), Azcapotzalco (AZC), Tlalnepantla (TLA), Xalostoc (XAL), Merced (MER), Pedregal (PED), Cerro de la Estrella (CES), Plateros (PLA), Hangares (HAN), UAM-Iztapalapa (UIZ), Benito Juárez (BJU), Taxqueña (TAX), Cuajimalpa (CUA), Tlalpan (TPN), Chapingo (CHA), Tlahuac (TAH) y Santa Ursula (SUR).

el PCAA opera de forma automática y contempla la información de todas las estaciones, sin considerar el tiempo que tienen en operación.

- Posteriormente se obtuvieron como indicadores para cada año, la concentración máxima anual y los percentiles 98, 90, 75, 50 y 25.
- Para cada indicador se estimó su comportamiento entre 2005 y 2008 con base en su “tendencia” estimada mediante mínimos cuadrados⁴. Este método tiene como ventaja la facilidad de cálculo y que es una herramienta estadística comúnmente utilizada para el pronóstico de datos.

Escenarios de la distribución en intervalos de ozono, entre 2005 y 2008.

Los escenarios de contaminación se estimaron de la siguiente forma:

- A partir de los indicadores observados y pronosticados para ozono, se calculó el porcentaje de cambio anual de cada uno y se conformó una matriz para los indicadores de cada contaminante. En la Figura 1 se ilustra un caso hipotético de porcentajes de cambio anual para cada indicador, el tipo de indicador “observado” de 2000 a 2004 se refiere a que el porcentaje de cambio se obtuvo con datos reales, mientras que el tipo de indicador “observado/pronosticado” se refiere a que los datos de 2004 son reales y los datos de 2005 son pronosticados.

Figura 1. Caso hipotético, porcentaje de cambio de indicadores de un contaminante

Cambio anual	Tipo de indicador	máximo	P98	P90	P75	P50	P25
2000 a 2001	Observado	-12.1	-6.1	-5.9	-4.9	-3.3	2.1
2001 a 2002	Observado	-7.4	-3.8	-3.2	-4.3	-6.6	-9.0
2002 a 2003	Observado	-7.0	-6.7	-3.9	-5.4	-7.6	-8.9
2003 a 2004	Observado	12.6	5.2	5.9	6.4	3.5	2.8
2004 a 2005	Observado- Pronosticado	-2.8	-1.1	-4.6	-5.8	-8.1	-5.9
2005 a 2006	Pronosticado	-1.5	-5.0	-7.7	-6.8	-6.2	-6.8
2006 a 2007	Pronosticado	4.8	-2.3	-1.9	-4.3	-2.5	1.7
2007 a 2008	Pronosticado	-3.9	-2.3	-4.9	-4.6	-7.6	-11.4

- Para estimar las concentraciones futuras de ozono en el periodo de 2005 a 2008, se consideraron a los datos registrados en el año 2004 como información base, bajo el supuesto de que estos datos representan el estado actual de la calidad del aire de este contaminante.
- Para llevar a cabo esta estimación se ordenaron de mayor a menor las concentraciones del año 2004 y se localizaron los diferentes indicadores. En la Figura 2 se ilustra en un caso hipotético la localización de los indicadores sobre una imagen de barras y bigotes que resume la distribución de la población de datos.
- Posteriormente se definen los intervalos de concentración sobre los que se aplicarán los porcentajes de cambio. En el caso hipotético que se ilustra en la figura 2, el primer intervalo de concentraciones se encuentra entre el máximo y el percentil 98, a este grupo de datos se aplica el

⁴ El método de mínimos cuadrados lineal, se utiliza para ajustar datos a una línea recta de la forma $y=ax+b$. Para ello se minimiza el valor real

con respecto al valor calculado aplicando la siguiente ecuación:

$$F \min = \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i + b)]^2$$
 Donde: F es la mínima diferencia entre los valores reales (y_i) y los valores calculados a partir de: $y_{cal}=ax_i+b$

porcentaje de cambio de -2.8% . El siguiente intervalo de concentraciones se encuentra entre el percentil 98 y el percentil 90, y les corresponde un porcentaje de cambio de -1.1% .

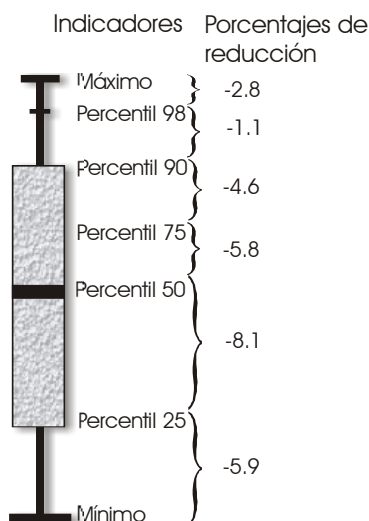


Figura 2. Caso hipotético, asignación de los porcentajes de cambio a los intervalos de concentración que agrupan los indicadores de una población de datos

- Las concentraciones estimadas en el año 2005 fueron la base para el cálculo de concentraciones en 2006 y éstas últimas fueron la base para el 2007, a partir de estas últimas se calcularon las concentraciones del 2008.
- Finalmente, se obtuvieron los indicadores concentración máxima anual y los percentiles 98, 90, 75, 50 y 25, para cada uno de los años estimados (2005 a 2008).

Resultados

Estimación de indicadores futuros de ozono

El comportamiento general de los indicadores de ozono muestra un decremento paulatino de sus valores de 1991 a 2004 (Tabla 2), esto indica que el decremento de las concentraciones de ozono en este período ha ocurrido en toda la población de datos. No obstante, sobresale que en los años 1991 y 1998 hay un aumento en la mayoría de los percentiles. En forma porcentual, es notable el aumento que ocurrió en 1991 (Tabla A del Anexo).

El análisis de los indicadores estimados en el periodo de 2005 a 2008, refleja la continuidad del comportamiento general decreciente de 1991 a 2004 descrito anteriormente; sin embargo también refleja un aumento de los valores de los percentiles 90, 75, 50 y 25 en el año 2005 (Tabla 2 y Figura B del Anexo). En forma porcentual, el aumento para el año 2005 es menor que los aumentos observados en los años 1991 y 1998, no obstante el aumento de las concentraciones bajas(percentil 50 y 25) será mayor.

El aumento de las concentraciones de ozono en 1991 y 1998, y que se estima en 2005, puede asociarse con los efectos del fenómeno climático mundial "El Niño"⁵, el cual se ha presentado cada 7 años.

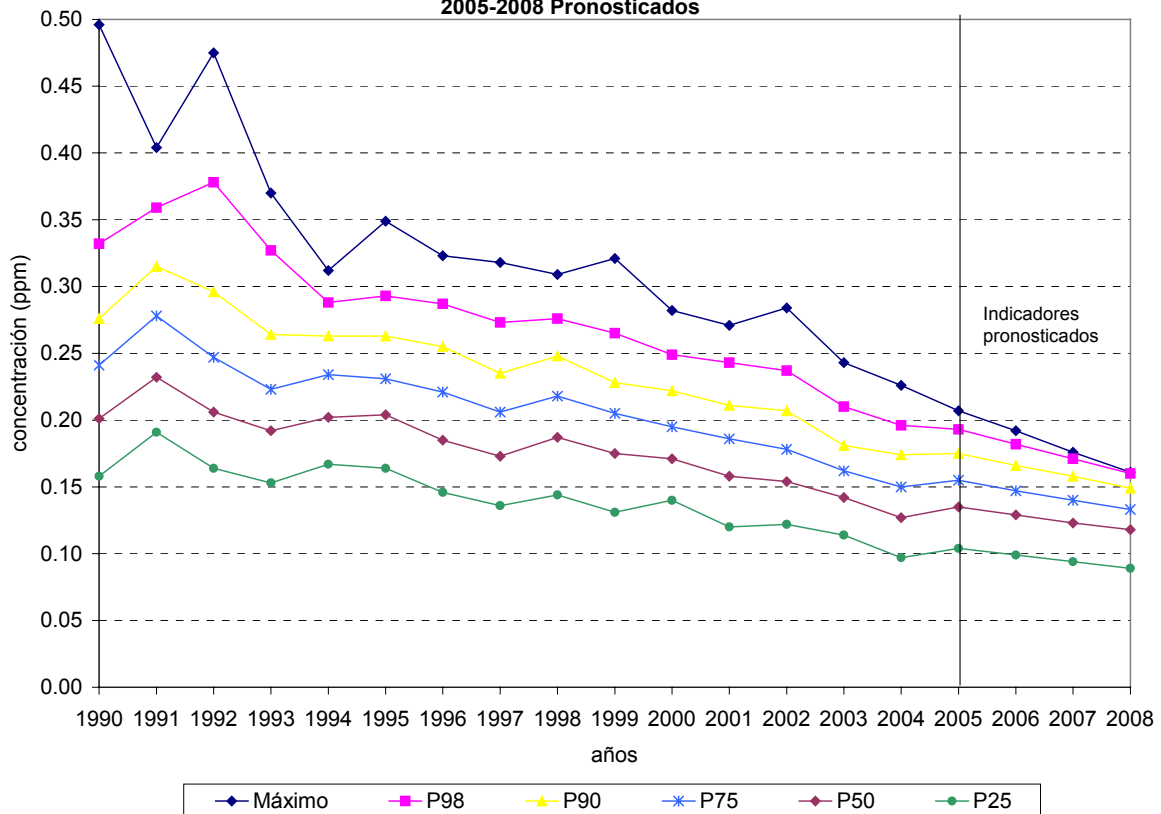
⁵ En nuestro país el fenómeno del Niño tiene grandes repercusiones en el clima, estudios recientes muestran que los regímenes de lluvias de invierno y verano se ven afectados. Las lluvias de invierno se intensifican, y por el contrario durante el verano las lluvias en la mayor parte de México disminuyen, por lo que la sequía comienza a aparecer.
<http://ccaunam.atmosfcu.unam.mx/cambio/nino.htm>

Tabla 2. Indicadores de ozono

Año	Máximo	P98	P90	P75	P50	P25
1990	0.496	0.332	0.276	0.241	0.201	0.158
1991	0.404	0.359	0.315	0.278	0.232	0.191
1992	0.475	0.378	0.296	0.247	0.206	0.164
1993	0.370	0.327	0.264	0.223	0.192	0.153
1994	0.312	0.288	0.263	0.234	0.202	0.167
1995	0.349	0.293	0.263	0.231	0.204	0.164
1996	0.323	0.287	0.255	0.221	0.185	0.146
1997	0.318	0.273	0.235	0.206	0.173	0.136
1998	0.309	0.276	0.248	0.218	0.187	0.144
1999	0.321	0.265	0.228	0.205	0.175	0.131
2000	0.282	0.249	0.222	0.195	0.171	0.140
2001	0.271	0.243	0.211	0.186	0.158	0.120
2002	0.284	0.237	0.207	0.178	0.154	0.122
2003	0.243	0.210	0.181	0.162	0.142	0.114
2004	0.226	0.196	0.174	0.150	0.127	0.097
Concentración pronosticada						
2005	0.207	0.193	0.175	0.155	0.135	0.104
2006	0.192	0.182	0.166	0.147	0.129	0.099
2007	0.176	0.171	0.158	0.140	0.123	0.094
2008	0.161	0.160	0.149	0.133	0.118	0.089

Indicadores de ozono

1990-2004 Observados
2005-2008 Pronosticados



Escenarios de la distribución en intervalos de ozono, entre 2005 y 2008.

Después de estimar las concentraciones futuras con base a los datos del año 2004, se espera que en 15 días del año 2005 se rebase una concentración de 0.184 ppm (equivalente a 160 puntos del IMECA) y que en un día se supere una concentración de 0.196 ppm (equivalente a 170 puntos del IMECA). Por otra parte, se estima que aumentará el número de días con concentraciones máximas con valores entre 0.11 y 0.171 ppm, y decrecerá el número de ocasiones (13%) en que estén por debajo del valor de 0.11 ppm que señala como límite la Norma Oficial Mexicana (Tabla 3).

En el período 2006 a 2008 se estima un aumento gradual del número de días con concentraciones máximas con valores inferiores al que señala como límite su norma de salud. En el año 2008 se espera que el 41% de los días tengan valores inferiores a este límite.

En el caso de las concentraciones mayores, en 2006 se espera que en 17 días se presenten concentraciones superiores a 0.171 ppm (equivalente a 150 puntos del IMECA), en 2 de estos días se estiman concentraciones superiores a 0.184 ppm (equivalente a 160 puntos del IMECA).

En 2007 se estima que habrá 21 días con concentraciones mayores a 0.159 ppm (equivalente a 140 puntos del IMECA), en 5 de estos días se esperan concentraciones superiores a 0.171 ppm (equivalente a 150 puntos del IMECA).

Para el año 2008 se estima que en 28 días habrá concentraciones superiores a 0.147 ppm (equivalente a 130 puntos del IMECA), en 6 de estos días se presentarán concentraciones superiores a 0.159 ppm (equivalente a 140 puntos del IMECA).

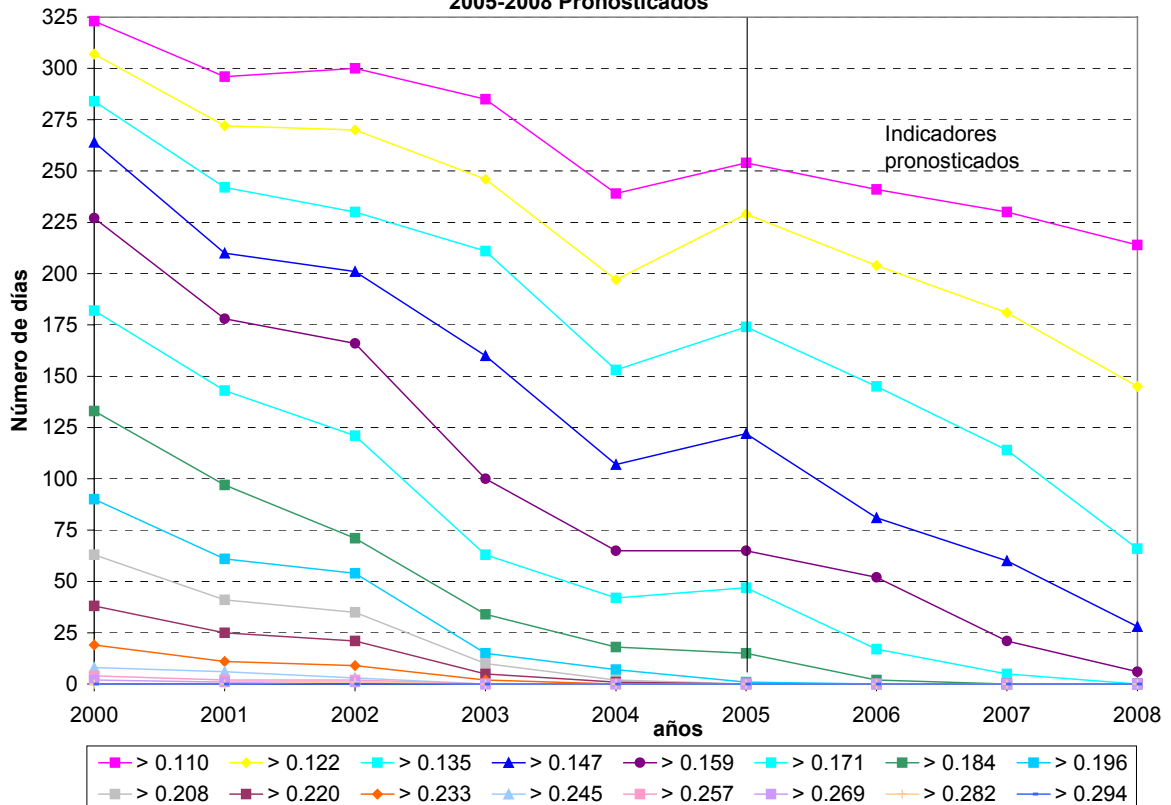
Tabla 3. Número de días observados y pronosticados en intervalos de concentración de ozono

IMECA	PPM	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<=100	<=0.110	43	70	66	81	127	111	124	135	151
>100	> 0.110	323	296	300	285	239	254	241	230	214
>110	> 0.122	307	272	270	246	197	229	204	181	145
>120	> 0.135	284	242	230	211	153	174	145	114	66
>130	> 0.147	264	210	201	160	107	122	81	60	28
>140	> 0.159	227	178	166	100	65	65	52	21	6
>150	> 0.171	182	143	121	63	42	47	17	5	0
>160	> 0.184	133	97	71	34	18	15	2	0	0
>170	> 0.196	90	61	54	15	7	1	0	0	0
>180	> 0.208	63	41	35	10	2	0	0	0	0
>190	> 0.220	38	25	21	5	1	0	0	0	0
>200	> 0.233	19	11	9	2	0	0	0	0	0
>210	> 0.245	8	6	3	0	0	0	0	0	0
>220	> 0.257	4	2	2	0	0	0	0	0	0
>230	> 0.269	2	1	1	0	0	0	0	0	0
>240	> 0.282	0	0	1	0	0	0	0	0	0
>250	> 0.294	0	0	0	0	0	0	0	0	0

En la Tabla C del Anexo se presenta la tabla completa del periodo de análisis (1990 a 2008)

Número de días de concentraciones de ozono

2000-2004 Observados
2005-2008 Pronosticados



Conclusiones

1. Los valores de los indicadores de ozono (valor máximo, percentiles 98, 90, 75, 50 y 25) obtenidos de 1990 a 2004, muestran que el decremento de este contaminante ha ocurrido en toda la población de datos, no sólo en las concentraciones máximas.
2. Con los datos de ozono disponibles hasta 2004, es posible identificar aumentos en la población de datos en periodos de 7 años (1990, 1998). Este comportamiento se asocia en primer instancia al fenómeno "El Niño".
3. El comportamiento del ozono estimado para el periodo 2005-2008, puede calificarse como una buena aproximación, ya que muestra la continuidad del comportamiento decreciente (1990-2004) y el incremento registrado cada 7 años.
4. En la estimación de los datos de las concentraciones máximas diarias de ozono resalta que en 2005 disminuirá el número de días con valores inferiores a 0.11 ppm que señala como límite la norma de salud; sin embargo, en los años posteriores (2006-2008) se espera que hasta en 151 días (41% de 2008) se registren concentraciones debajo de este límite.
5. En términos del uso de estos resultados para evaluar o modificar el PCAA podemos señalar lo siguiente:
 - 5.1 En 2005 se estima que en 15 días se rebase una concentración de 0.184 ppm (160 puntos del IMECA) y uno de esos días se supere una concentración de 0.196 ppm (170 puntos del IMECA).
 - 5.2 En el 2006 se estima que en 17 días se registren concentraciones superiores a 0.171 ppm (150 puntos del IMECA), 2 de estos días con concentraciones superiores a 0.184 ppm (160 puntos del IMECA).
 - 5.3 Para el 2007 se esperan 21 días con concentraciones mayores a 0.159 ppm (140 puntos del IMECA), en 5 de estos días con concentraciones superiores a 0.171 ppm (150 puntos del IMECA).
 - 5.4 En el año 2008 se estima que en 28 días habrá concentraciones superiores a 0.147 ppm (130 puntos del IMECA), en 6 de estos días se presentarán concentraciones superiores a 0.159 ppm (140 puntos del IMECA).

Anexo

Tabla A. Porcentaje de cambio de indicadores de ozono

	Máximo	Percentil 98	Percentil 90	Percentil 75	Percentil 50	Percentil 25
1990-1991	-18.5	8.3	13.9	15.4	15.4	21.0
1991-1992	17.6	5.2	-5.9	-11.1	-11.2	-14.2
1992-1993	-22.1	-13.4	-10.8	-10.0	-6.8	-7.0
1993-1994	-15.7	-12.0	-0.5	5.2	5.2	9.5
1994-1995	11.9	1.7	0.2	-1.3	1.0	-1.8
1995-1996	-7.4	-1.8	-3.2	-4.3	-9.6	-11.0
1996-1997	-1.5	-5.0	-7.7	-6.8	-6.2	-6.8
1997-1998	-2.8	1.1	5.6	5.8	8.1	5.9
1998-1999	3.9	-4.1	-8.1	-6.0	-6.4	-9.0
1999-2000	-12.1	-6.1	-2.9	-4.9	-2.3	7.1
2000-2001	-3.9	-2.3	-4.9	-4.6	-7.6	-14.4
2001-2002	4.8	-2.3	-1.9	-4.3	-2.5	1.7
2002-2003	-14.4	-11.6	-12.4	-9.0	-7.8	-6.6
2003-2004	-7.0	-6.7	-3.9	-7.4	-10.6	-14.9
2004-2005	-8.2	-1.4	0.3	3.1	6.1	6.9
2005-2006	-7.5	-5.7	-4.9	-4.6	-4.2	-4.7
2006-2007	-8.1	-6.0	-5.1	-4.8	-4.4	-5.0
2007-2008	-8.8	-6.4	-5.4	-5.1	-4.6	-5.2

El signo (-) significa decremento en las concentraciones

Figura B. Distribución de las concentraciones de ozono

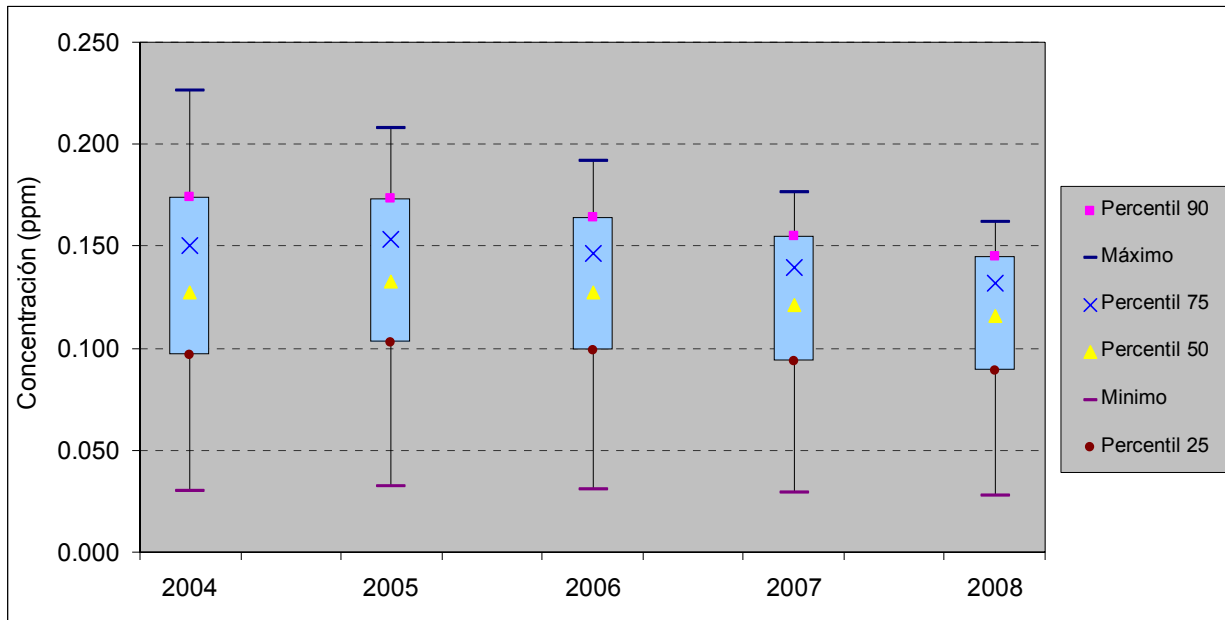


Tabla C. Número de días observados y pronosticados en intervalos de concentración de ozono

IMECA	PPM	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<=100	<=0.110	30	11	35	43	22	45	47	55	48	66	43	70	66	81	127	111	124	135	151
>100	> 0.110	326	336	317	321	344	321	319	311	318	300	323	296	300	285	239	254	241	230	214
>110	> 0.122	317	326	305	311	333	314	310	300	304	282	307	272	270	246	197	229	204	181	145
>120	> 0.135	303	322	298	295	326	302	294	274	289	269	284	242	230	211	153	174	145	114	66
>130	> 0.147	286	312	283	279	317	292	272	246	264	245	264	210	201	160	107	122	81	60	28
>140	> 0.159	259	299	271	259	293	281	245	221	239	218	227	178	166	100	65	65	52	21	6
>150	> 0.171	238	286	254	233	261	261	221	188	215	188	182	143	121	63	42	47	17	5	0
>160	> 0.184	211	269	221	196	230	237	183	153	187	150	133	97	71	34	18	15	2	0	0
>170	> 0.196	188	249	197	162	197	208	145	119	154	117	90	61	54	15	7	1	0	0	0
>180	> 0.208	155	226	169	134	165	171	117	83	113	84	63	41	35	10	2	0	0	0	0
>190	> 0.220	134	193	143	96	129	123	94	63	89	58	38	25	21	5	1	0	0	0	0
>200	> 0.233	101	170	112	75	92	87	63	39	58	30	19	11	9	2	0	0	0	0	0
>210	> 0.245	81	141	95	59	63	65	45	26	39	16	8	6	3	0	0	0	0	0	0
>220	> 0.257	61	118	73	46	44	41	33	20	21	10	4	2	2	0	0	0	0	0	0
>230	> 0.269	46	101	58	31	26	29	21	10	13	6	2	1	1	0	0	0	0	0	0
>240	> 0.282	30	76	41	17	14	14	10	4	6	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0
>250	> 0.294	23	60	36	13	4	6	5	2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0