

*“ESTIMACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE OZONO CON
LA SIMULACIÓN DE 13 MEDIDAS DE CONTROL DE
EMISIONES, INCLUIDAS EN EL PROAIRE 2002-2010”*



Secretaría del Medio Ambiente - G.D.F.

M. en I. Francisco Hernández Ortega
Ing. David Alejandro Parra Romero

Unidad Departamental de Modelación y SIG

Diciembre de 2005

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	2
OBJETIVO.....	..2
MATERIAL Y MÉTODO.....	3
Escenarios.....	3
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	10
Caso Base Febrero del 2002.....	..

INTRODUCCIÓN

El “Programa para mejorar la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010” (PROAIRE) es un documento de referencia donde se plantea la instrumentación de medidas de control de emisiones orientadas al mejoramiento de la calidad el aire en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

En el PROAIRE se plantearon diversas medidas de control de emisiones para fuentes industriales, servicios y fuentes móviles. Las cuales incluyen acciones como la sustitución de microbuses por transporte de gran capacidad (autobuses); sustitución de convertidores catalíticos, construcción de puentes para agilizar el tráfico vehicular, modernización del programa de verificación vehicular, uso de combustibles alternos, actualización del programa hoy no circula, renovación de taxis y del transporte público operado por RTP, el programa de reducción de emisiones en las 300 industrias mas emisoras, reducción de fugas de gas licuado de petróleo, construcción del corredor Insurgentes (metrobus), etc.

Cabe resaltar que el PROAIRE es revisado bianualmente con objeto de darle seguimiento a las medidas planteadas en el mismo. Por lo que es fundamental realizar tareas que permitan evaluar los avances y beneficios que se tienen con la aplicación de las medidas de control de emisiones.

Una de las herramientas para evaluar el beneficio ambiental que puede tener la instrumentación de medidas de control de emisiones, propuestas en el PROAIRE, son los modelos matemáticos determinísticos. A través de estos modelos es posible simular dichas medidas y estimar como varían las concentraciones de contaminantes como el ozono.

Particularmente para la modelación de escenarios de diagnóstico (escenarios en que pueden simularse medidas de control de emisiones en la Ciudad de México), se ha utilizado el modelo fotoquímico Multiscale Climate Chemistry Model (MCCM por sus siglas en inglés). El cual cuenta con capacidad para determinar concentraciones de ozono en función de variables como las emisiones, la topografía, la meteorología, etc.

Con la finalidad de tener una estimación de los avances esperados con la implantación las medidas de control arriba citadas, se desarrollaron escenarios para modelación fotoquímica con MCCM, en los cuales se simularon tales medidas para alcanzar el siguiente objetivo:

OBJETIVO

Estimar las variaciones de ozono al implantar 13 medidas de control de emisiones incluidas en el PROAIRE 2002-2010.

MATERIAL Y MÉTODO

Para realizar las estimaciones de ozono fue necesario desarrollar escenarios de diagnóstico y modelar los mismos. Un escenario ó línea base (Caso Base) en el cual se modeló la topografía y la meteorología del periodo 13 al 15 de Febrero del año 2002.

Periodo seleccionado a través del análisis estadístico de humedad relativa, velocidad y dirección del viento, temperatura, frecuencia de inversiones térmicas, radiación UV y global, altura de capa de mezclado y precipitación acumulada semanal en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). El periodo seleccionado se considero representativo para condiciones meteorológicas promedio de la temporada seca fría en la Cuenca de México.

Respecto a las emisiones, en este trabajo se utilizó como base el inventario de emisiones del año 2002 (Tabla 1). Cuyas emisiones se utilizaron como referencia para desarrollar los escenarios de diagnóstico, particularmente el Caso Base Febrero del 2002.

Escenarios:

- *Caso Base Febrero del 2000 (CBFEB 2002):* Escenario en el cual se incluyó la meteorología del 13 al 15 de Febrero del 2002 y emisiones basadas en el inventario de emisiones del mismo año.
- *Escenario de diagnóstico con modificaciones de emisiones derivadas de la instrumentación de 13 medidas de control incluidas en el PROAIRE (Escen PROAIRE):* En este escenario se incluyó la misma información meteorológica que en el CBFEB 2002, pero las emisiones fueron modificadas considerando la aplicación de las siguientes medidas de control:
 1. Modernización del “Programa de Verificación Vehicular”.
 2. La sustitución de convertidores catalíticos.
 3. Programa ostensiblemente contaminante.
 4. Uso de combustibles alternos.
 5. Actualización del programa “Hoy No Circula”.
 6. Programa de autorregulación de unidades a diesel.
 7. Substitución del transporte de pasajeros de mediana capacidad por vehículos nuevos de alta capacidad.
 8. Renovación de taxis.
 9. Renovación del transporte público operado por RTP.

Tabla 1. Resumen de emisiones estimadas para el año 2002 (ton/año).

FUENTE	CO	COT	NOx	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂
Área	4,723	146,819	6,267	2,231	442	13
Móviles	1'094,295	123,614	106,367	3,187	2,552	2,980
Puntuales	1,097	42,748	2,188	1,260	126	793

Tabla 2. Reducciones (-) e incrementos (+) de emisiones (ton/año) por la aplicación de cada medida de control.

Medida	CO	COT	NOx	PM ₁₀	PM _{2.5}
1	-68,796.00	-4,322.00	-1,882.00		
2	-52,717.00	-6,325.00	-8,733.00		
3	-1,382.00	-146.00	-242.00		
4	-1,396.00	-865.00	-10,309.00		
5	-19,980.00	-1,127.00	-743.00		
6	-348.00	-128.00	-316.00	-33.00	
7	-17,310.00	-1040.00	+452.00		
8	43,298.00	-4,656.00	-1,474.00		
9	+31.00	-56.00	-471.00		
10	-55,040.00	-7,894.00	-11,310.00	-136.00	
11		-658.31	-205.73	-1000.30	-0.01
12		-101.00			
13	-9,709.00	-1,180.00	-206.00	-1.00	

10.Construcción del segundo piso del periférico, otras vialidades y distribuidores.

11.Programa de reducción de emisiones de las 300 industrias más emisoras.

12.Reducción de fugas de gas licuado de petróleo.

13.Construcción del corredor Insurgentes (metrobus).

La Tabla 2 muestra que la aplicación de medidas de control se refleja en importantes variaciones de las emisiones en cada tipo de fuente. Destacan por sus reducciones en CO las medidas Modernización del “Programa de Verificación Vehicular”, la Substitución de convertidores catalíticos, Construcción del segundo piso del periférico, otras vialidades y distribuidores y la Renovación de taxis. Mientras que las medidas que producen las mayores reducciones de COT son la Construcción del segundo piso del periférico, otras vialidades y distribuidores y la substitución de convertidores catalíticos. En cuanto a NOx, las medidas más sobresalientes son la Construcción del segundo piso del periférico, otras vialidades y distribuidores, el Uso de combustibles alternos y la Substitución de convertidores catalíticos.

La simulaciones de ambos escenarios se realizaron utilizando el Modelo Químico y Climático de Multiescala. Este proceso requirió desarrollar 4 coberturas geográficas (dominios) para simulación (Figura 1): Un Dominio 1 (D1), con malla de $i=90 \times j=115$ celdas y resolución de 27 Km; el Dominio 2 (anidado dentro del D1), con malla de $i=100 \times j=112$ celdas y resolución de 9 Km; un Dominio 3 (anidado en el D2), con malla de $i=76 \times j=94$ celdas y resolución de 3 Km; y un Dominio 4 (Zona Metropolitana del Valle de México ó ZMVM) (anidado en el D3), con malla de $i=91 \times j=100$ celdas y resolución de 1 Km.

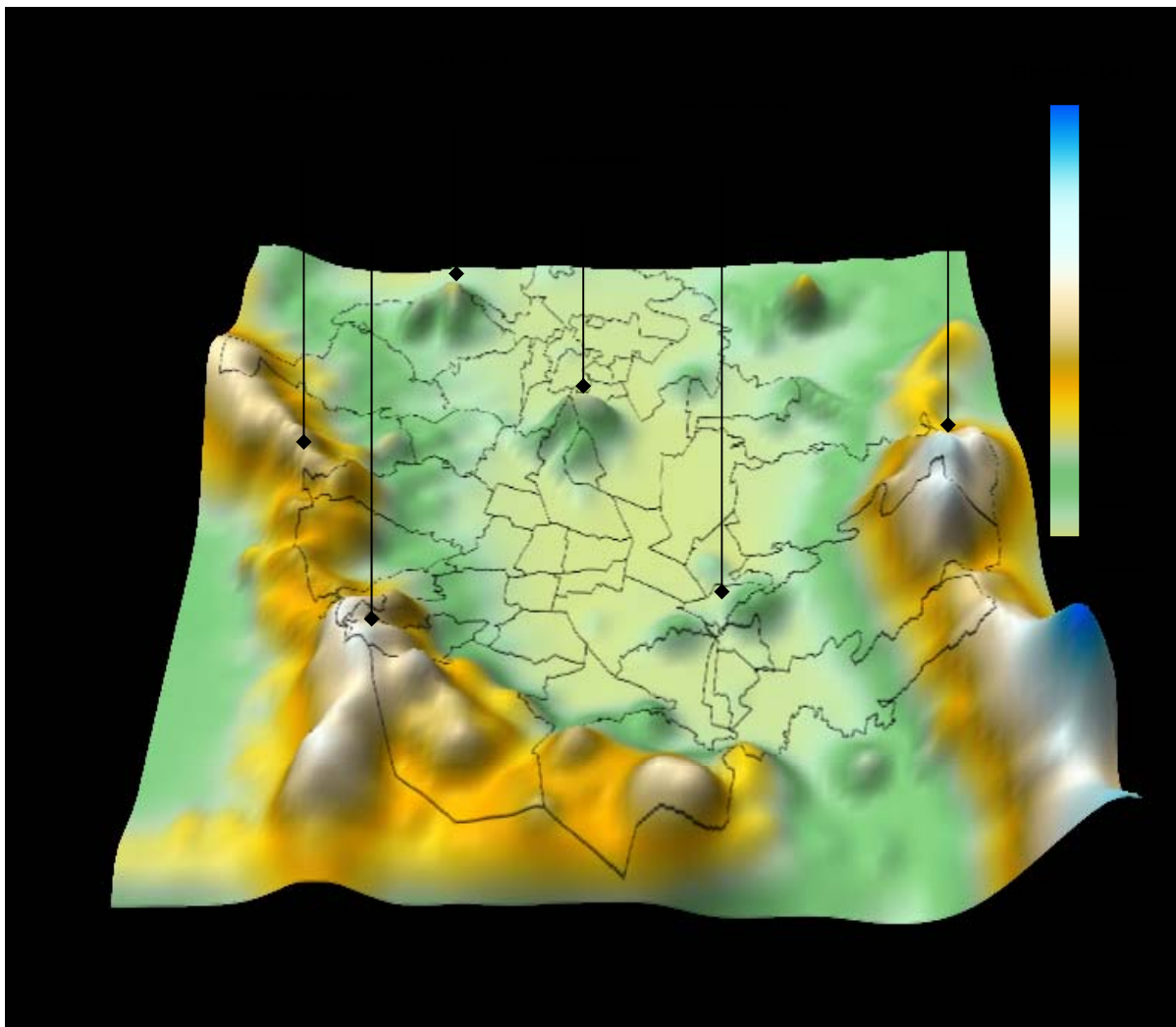
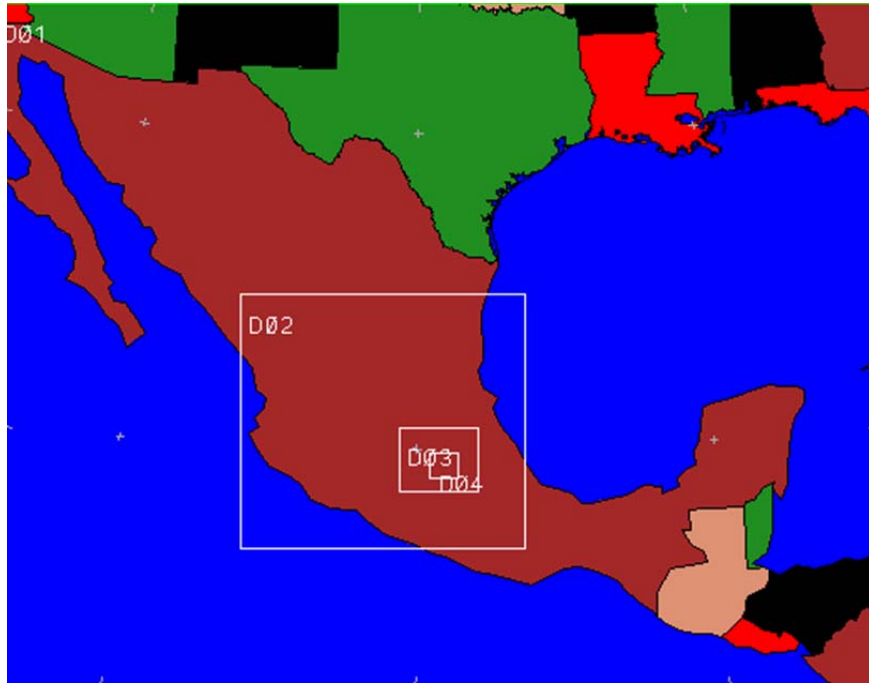


Figura 1. Arriba anidamiento de los cuatro dominios para modelación y abajo vista de la topografía y división política del Dominio 4 (ZMVM).

Tabla 3. Resolución vertical empleada en los escenarios.

Nivel sigma (full sigma)	Presión (mb)	Altura (m) de niveles sigma medios (half-sigma)
1.000	1,013.250	0.000
0.999	1,012.337	3.828
0.989	1,003.204	46.093
0.960	976.720	197.622
0.930	949.323	430.350
0.890	912.793	713.928
0.850	876.263	1,047.214
0.800	830.600	1,436.472
0.750	784.938	1,886.319
0.700	739.275	2,357.284
0.650	693.613	2,851.724
0.600	647.950	3,372.428
0.550	602.288	3,922.740
0.500	556.625	4,506.713
0.450	510.963	5,129.337
0.400	465.300	5,796.856
0.350	419.638	6,517.237
0.300	373.975	7,300.894
0.250	328.313	8,161.829
0.200	282.650	9,119.565
0.150	236.988	10,202.605
0.100	191.325	11,455.211
0.050	145.663	12,952.404
0.000	100.000	14,839.797

La resolución vertical empleada en los escenarios fue de 24 capas atmosféricas completas (full-sigma layers) y 23 capas medias (half-sigma layers). Las estimaciones efectuadas por el modelo numérico son interpoladas dentro de cada capa sigma completa, y los valores estimados se reportan en cada capa sigma media. Como se puede apreciar en la Tabla 3, el espesor de las capas disminuye conforme decrementa la altitud, lo cual da por resultado una gran resolución en la capa superficial (Figura 2).

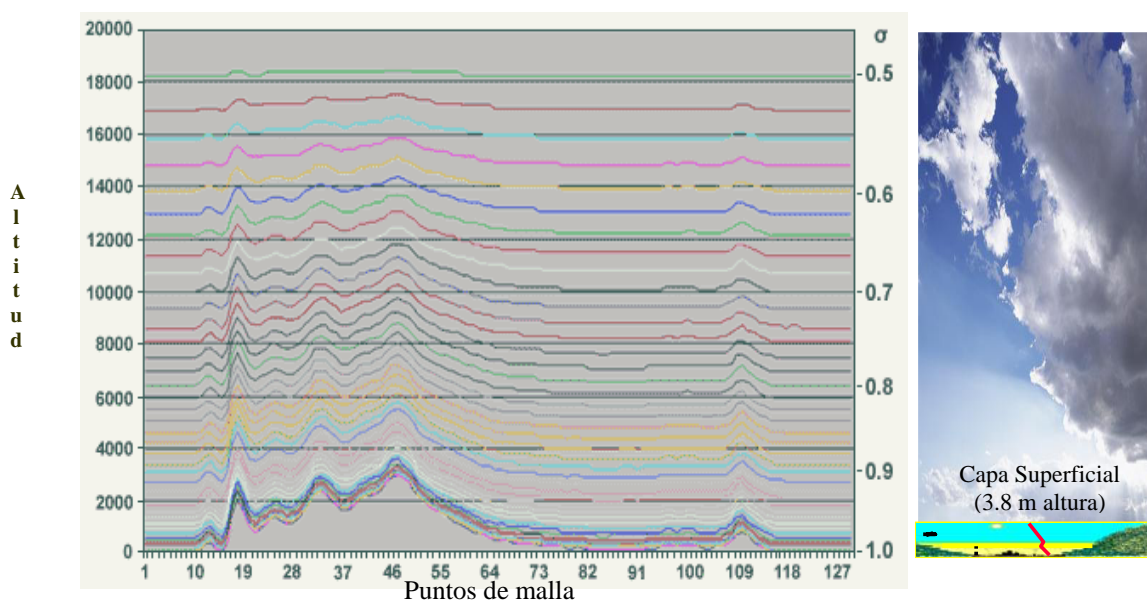


Figura 2. Esquemización de la distribución vertical de las capas en que fue dividida la atmósfera, para las modelaciones de los escenarios.

La información de meteorología sinóptica para determinar las condiciones meteorológicas iniciales y de frontera (CMIF) cada 6 horas, se obtuvo de la página electrónica ftp.cdc.noaa.gov. A partir de la misma, se interpolaron horizontalmente las CMIF para las coberturas de los dominios 1, 2, 3 y 4 mediante la aplicación del preprocesador REGRID. Posteriormente se realizó la interpolación vertical de las CMIF de cada dominio, para las capas citadas en la Tabla 3, utilizando el preprocesador INTERP. Cabe señalar que para el dominio 2, la preparación de las CMIF se realizó interpolando éstas a partir la salida de MCCM del dominio 1; y sucesivamente, para obtener las CMIF del dominio 3 y 4, éstas se interpolaron a partir de la salida de MCCM del dominio previo. Las tres últimas interpolaciones se desarrollaron mediante la aplicación del preprocesador NESTDOWN.

La información de emisiones utilizada está basada en el inventario de emisiones 2002 (IE), preparado por la Dirección de Inventarios de Emisiones y Fuentes Estacionarias de la Secretaría del Medio Ambiente – G.D.F en unidades de Kilogramo por día. Dicho IE para modelaje fotoquímico fue distribuido temporalmente y geográficamente como se menciona enseguida.

Apoyándose en la información de aforos vehiculares y utilizando líneas geo-referenciadas para representar las avenidas, se realizó la distribución geográfica de emisiones de fuentes móviles en tramos de líneas representando con éstos las vialidades primarias y secundarias (Figura 3). Las emisiones de fuentes móviles estimadas por tramo se distribuyeron temporalmente con base en información de 31 estaciones de aforos vehiculares. Esta distribución temporal y la posterior distribución de emisiones en celdas del dominio 4, se realizó con el Sistema de Procesamiento de Emisiones a la Atmósfera (SPEA).

Las emisiones de fuentes de área ó servicios fueron calculadas por Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) geo-referenciadas. La distribución temporal con SPEA se realizó utilizando patrones temporales determinados a partir la información recabada en las Licencias Ambientales Únicas y Cédulas de Operación Anual del 2002. Después las emisiones calculadas por AGEB fueron distribuidas geográficamente en celdas del dominio 4 aplicando SPEA.

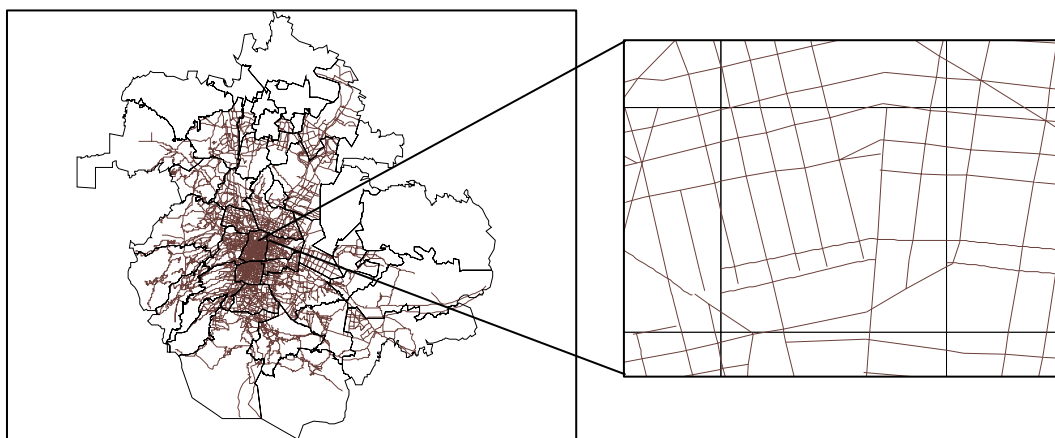


Figura 3. Tramos utilizados para la distribución de emisiones de fuentes móviles y distribución de los mismos en celdas del dominio 4 (derecha).

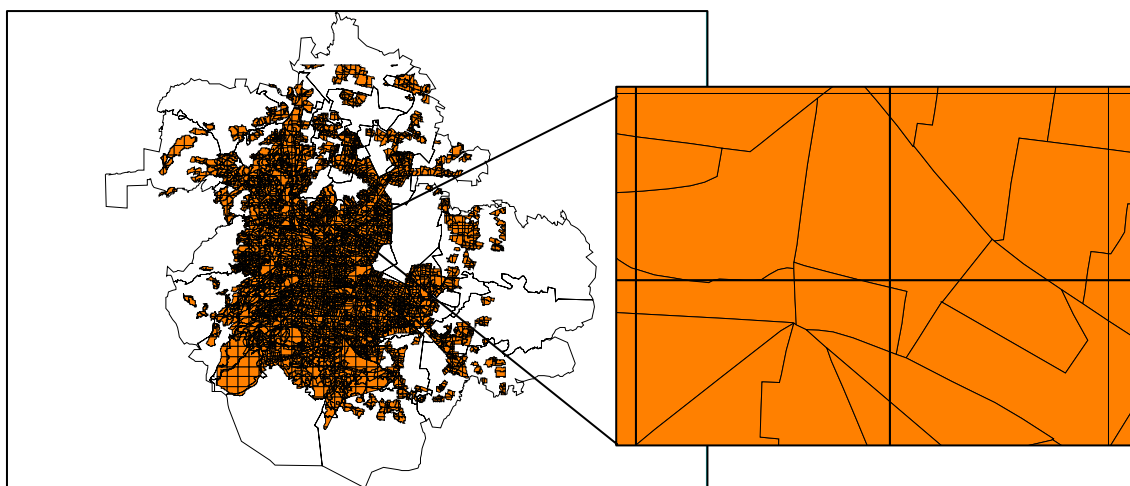


Figura 4. Representación de AGEB (polígonos irregulares color naranja) y distribución de éstos en celdas del dominio 4 (derecha).

Las emisiones de fuentes puntuales fueron estimadas por industria y ubicadas geográficamente con coordenadas correspondientes a la localización de la chimenea principal de cada empresa (Figura 5). La distribución temporal de las emisiones correspondientes se efectuó con información de las Licencias Ambientales Únicas y Cédulas de Operación Anual del 2002, y se aplicaron patrones temporales para cada contaminante (SO_2 , NO_x , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, COT y CO). Posteriormente a la distribución temporal, se desarrolló con SPEA la distribución de emisiones industriales en celdas.

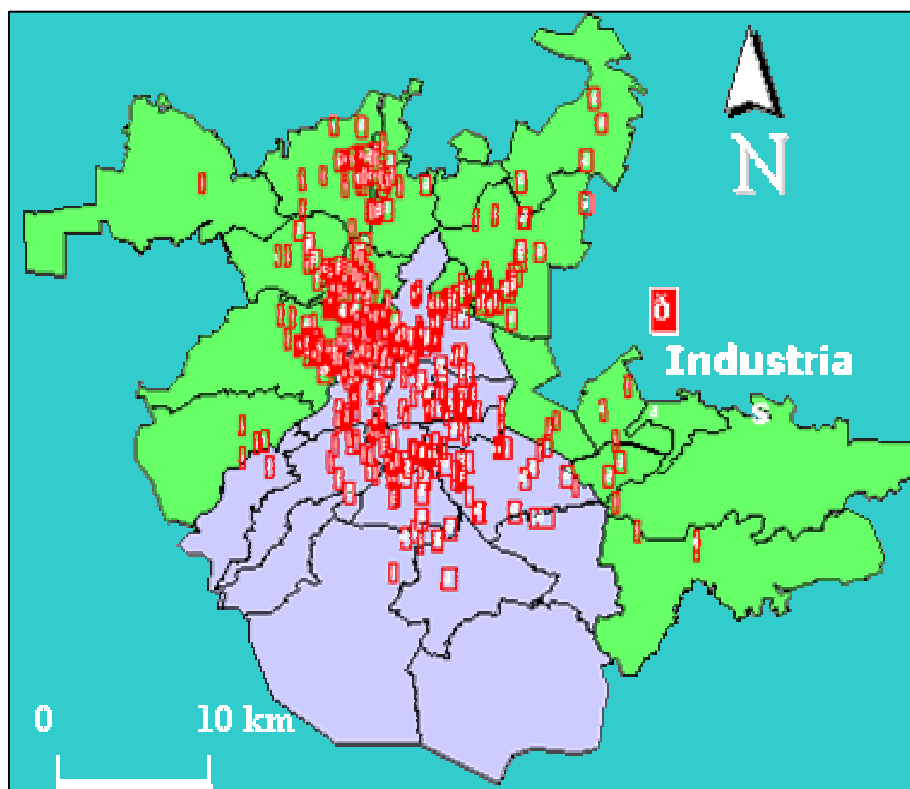


Figura 5. Ubicación geográfica de las principales industrias establecidas en la ZMVM.

Cabe mencionar que en el caso de las emisiones de COT; además de las distribuciones temporal y geográficas; se desarrolló y utilizó una base de datos con 96 perfiles de emisión y 551 compuestos, para realizar la caracterización de éstos en compuestos químicos mediante el SPEA. Utilizándose para ello los perfiles de emisión asociados a cada giro mostrado en la Tabla 4.

Posteriormente a la caracterización de COT, los compuestos químicos emitidos por cada fuente fueron agregados en clases del mecanismo químico Regional Acid Deposition Model 2, implantado en MCCM para resolver fotoquímica, reacciones térmicas de química orgánica/inorgánica y formación de aerosoles.

Tabla 3. Giros utilizados para realizar la caracterización de COT.

<i>Industria</i>	<i>Sericios</i>	<i>F. Móviles</i>
Industria de la carne	Combustión industrial (GN)	Vehículos a diesel
Elaboración de productos lácteos	Combustión comercial-institucional (GLP)	Vehículos a gasolina
Elaboración de conservas alimenticias	Combustión comercial-institucional (GN)	Vehículos a GLP
Beneficio y molienda de cereales y otros productos agrícolas	Combustión habitacional (GLP)	Vehículos a GN
Elaboración de productos de panadería	Combustión habitacional (GN)	Partículas de caminos
Molienda de Nixtamal y fabricación de tortillas	Operación de aeronaves	
Fabricación de aceites y grasas comestibles	Locomotoras (foráneas/ patio)	
Fab. de cocoa, chocolate y artículos de confitería	Terminales de Autobuses de pasajeros	
Elaboración de otros productos alimenticios para consumo humano	Recubrimiento de superficies Industriales	
Elaboración de alimentos preparados para animales	Pintura automotriz	
Industria de la bebida	Recubrimiento de superficies arquitectónicas (pintura vinílica)	
Industria del tabaco	Recubrimiento de superficies arquitectónicas (pintura acrílica)	
Industria textil de fibras duras y cordelería de todo tipo	Pintura de tránsito	
Hilado, tejido y acabado de fibras blandas.	Limpieza en superficie industrial	
Confección con materiales textiles	Lavado en seco (Percloroetileno)	
Fab. de tejidos de punto	Lavado en seco (Gas nafta)	
Confección de prendas de vestir	Artes gráficas	
Industria del cuero, pieles y sus productos	Aplicación de asfalto	
Industria del calzado. Excluye de hule y/o plástico	Productos de cuidado personal	
Fab. de productos de aserradero y carpintería	Productos misceláneos	
Fab. de envases y otros productos de madera y corcho	Productos de consumo doméstico	
Fab. y reparación de muebles principalmente de madera	Uso doméstico y comercial de pesticidas	
Manufactura de celulosa, papel y sus productos	Uso comercial y doméstico de pinturas en aerosol	
Imprentas, Editoriales e industrias conexas	Productos para el cuidado automotriz	
Petroquímica básica	Uso comercial y doméstico de adhesivos y selladores	
Fab. de sustancias químicas básicas	Distribución y almacenamiento de gasolina	
Industria de las fibras artificiales y/o sintéticas	Carga de combustibles en aeronaves	
Industria farmacéutica	Distribución y almacenamiento de GLP	
Fab. de otras sustancias y productos químicos	Fugas de GLP en instalaciones	
Industria del coque.	HCNQ en la combustión de GLP	
Industria del hule	Panaderías	
Elaboración de productos de plástico	Esterilización en hospitales	
Alfarería y cerámica (Excluye materiales de construcción)	Rellenos sanitarios	
Fab. de materiales de arcilla para la construcción	Tratamiento de aguas residuales	
Fab. de vidrio y productos de vidrio	Incendios en estructuras	
Fab. de cemento, cal, yeso y otros productos.	Almacenamiento masivo de gasolina	
Industria básica del hierro y del acero	Incendios Forestales	
Industrias básicas de metales no ferrosos.	Amoniaco doméstico	
Fundición y moldeo de piezas metálicas, ferrosas y no ferrosas		
Fab. de estructuras metálicas, tanques y calderas industriales		
Fab. y reparación de muebles metálicos		
Fab. de otros productos metálicos.		
Fab. y reparación de maquinaria (Incluye maquinaria agrícola)		
Fab. y reparación de maquinaria (Incluye armamento)		
Fab. y/o ensamble de maquinas de oficina y procesamiento informático		
Fab. y/o ensamble de maquinaria, equipo y accesorios eléctricos		
Fab. y/o ensamble de equipo electrónico de radio, TV y de uso medico		
Fab. y/o ensambles de aparatos y accesorios de uso domestico.		
Industria automotriz		
Fab., reparación y/o ensamble de equipo de transporte y sus partes.		
Fab., reparación y/o ensamble de instrumentos y equipo de precisión		
Otras industrias manufactureras		
Generación y transmisión de energía eléctrica		

Finalmente, los archivos salida de SPEA (con emisiones en Kg/h) son formateados mediante los sistemas RUNAREA para emisiones a nivel de piso (área y móviles) y RUNPOINT para fuentes elevadas (industrias con chimeneas). Con lo que la información de emisiones queda en unidades de ppm-m/min para las clases del mecanismo de reacción Regional Acid Deposition Model 2 y puede ser procesada por MCCM.

Cabe mencionar que sólo se realizó modelación fotoquímica del dominio 4, debido a que únicamente para ésta última cobertura se tiene información de emisiones.

Dada la alta resolución empleada, las simulaciones requirieron tiempos de procesamiento considerables, siendo necesarias aproximadamente 48 h para la modelación meteorológica de los Dominios 1, 2 y 3. Mientras que para cada corrida con meteorología y fotoquímica del CBFEB 2002 (con el inventario de emisiones 2002 sin modificaciones) y el Escen PROAIRE se requirieron 9.5 días. Cabe Resaltar que el CBFEB 2002 se simuló 6 veces hasta obtener un mejor ajuste de las estimaciones de ozono respecto a los datos medidos.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Escenario Caso Base Febrero de 2002 (CBFEB 2002)

La comparación de las estimaciones de ozono respecto a las mediciones del mismo, hechas por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), mostró un ajuste aceptable al verificar las correlaciones entre ambas poblaciones de datos para el periodo 13 al 15 de Febrero de 2002; y en el día 15 del mismo mes, usado para realizar las comparaciones entre los dos escenarios modelados. Como se presenta en la Tabla 4, los sectores Centro y Sur Este fue donde se obtuvieron mejores ajustes de las estimaciones respecto a los datos monitoreados de ozono durante el periodo citado. Mientras que el

Tabla 4. Correlaciones entre las estimaciones de ozono y datos medidos.

ESTACIÓN	SECTOR	R del periodo 13 al 15/Feb/02	R sólo del 15/Feb/02
BJU	CENTRO	0.90391	0.9677
HAN	CENTRO	0.87192	0.9638
LAG	CENTRO	0.87600	0.9636
MER	CENTRO	0.86656	0.9662
CES	SE	0.90598	0.9287
TAH	SE	0.51764	0.7345
TAX	SE	0.82551	0.7851
UIZ	SE	0.87583	0.9529
CHA	NE	0.61761	0.8832
SAG	NE	0.76991	0.7961
XAL	NE	0.81205	0.8401
AZC	NO	0.73673	0.9331
EAC	NO	0.79693	0.9374
TAC	NO	0.76524	0.9149
TLA	NO	0.79266	0.9463
PED	SO	0.81517	0.9332
PLA	SO	0.79208	0.9706
TPN	SO	0.62710	0.9266
CUA	SO	0.60663	0.8536

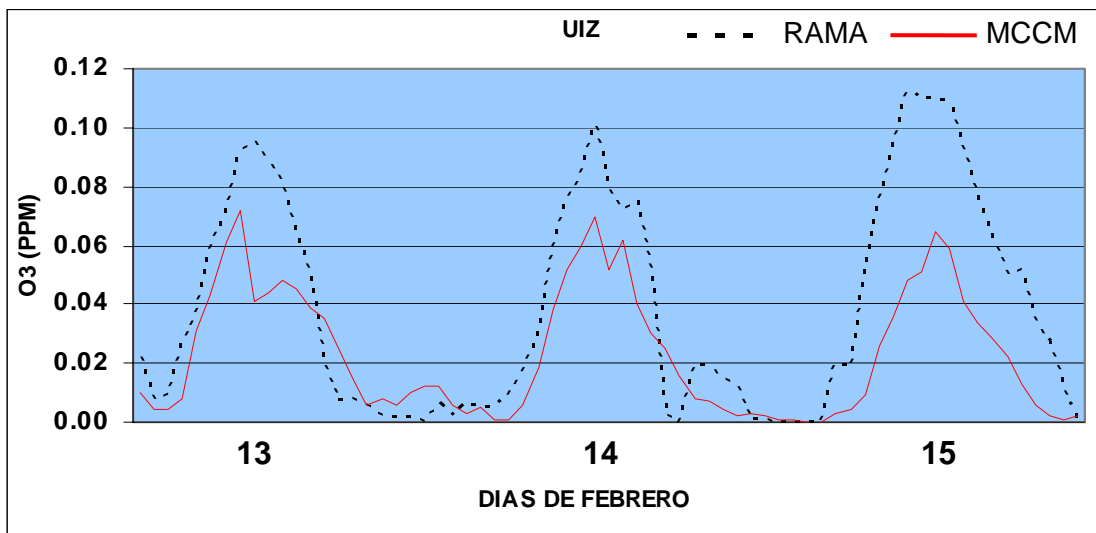


Figura 6. Comparación de ozono estimado y medido en UAM Iztapalapa.

15 de Febrero las correlaciones son mayores a 0.91 en los sitios BJU, HAN, LAG, MER, CES, TPN, AZC, EAC, TAC, TLA, PED, PLA y UIZ (Figura 6). Es decir el día 15 de Febrero las estimaciones tienen un ajuste mayor al 90% en cuatro sitios del Centro, dos del Sur Este, cuatro del Nor Oeste, y tres del Sur Oeste. Mientras que en el Nor Este la correlación más alta en éste día fue de 0.88 en CHA y de 0.84 en XAL (Tabla 4 y Figura 7).

Escenario de diagnóstico con modificaciones de emisiones derivadas de la instrumentación de 13 medidas de control incluidas en el PROAIRE (Escen PROAIRE)

Las comparaciones del Escen PROAIRE respecto a al CBFEB 2002 (al igual que las estimaciones del CBFEB 2002 frente a las mediciones de ozono) se efectuaron sólo con las estimaciones de MCCM en la capa superficial, a una altura de 3.8 m.

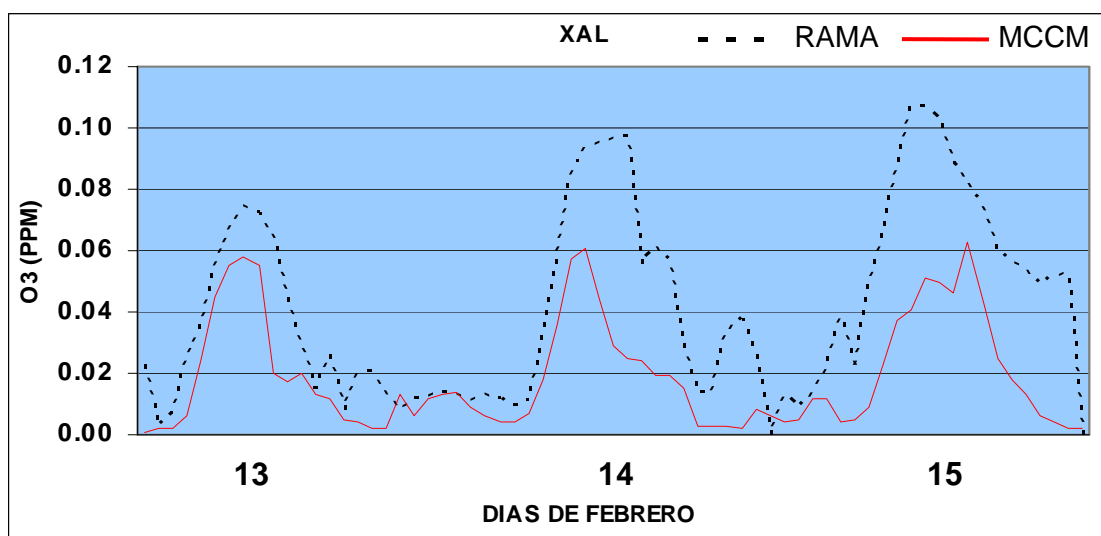


Figura 7. Comparación de ozono estimado y medido en Xalostoc.

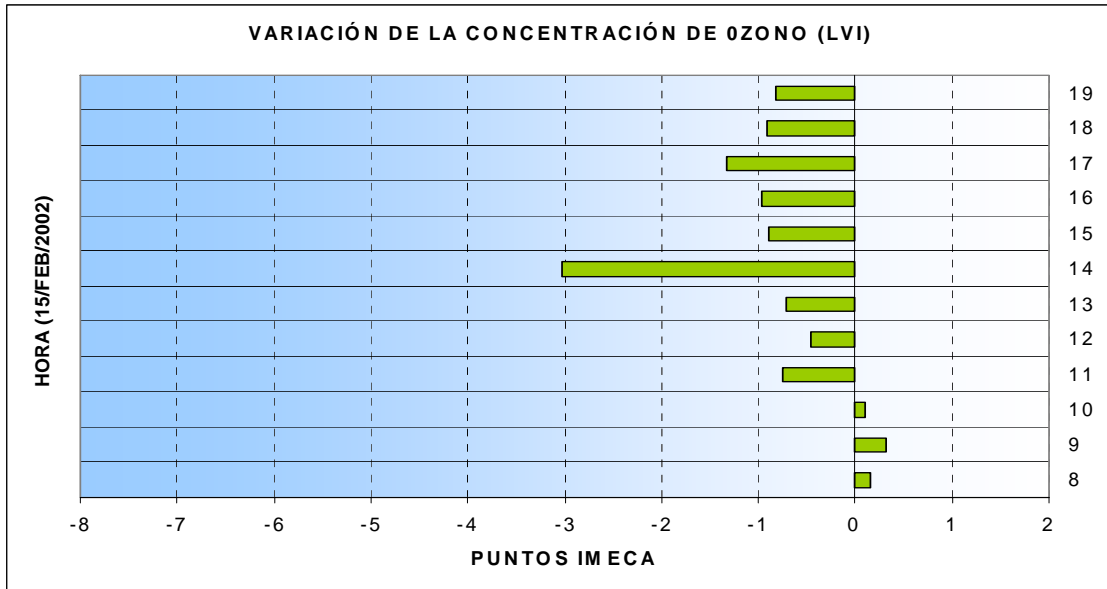


Figura 8. Variaciones (disminuciones en negativos) del ozono estimado con el Escen PROAIRE respecto al CBFEB 2002, en el sitio La Villa.

Dentro del periodo de modelación, el análisis se centro en el día 15 de Febrero por ser el que tuvo mejor ajuste de los tres días modelados. Y las figuras comparativas mostradas a continuación, se elaboraron con las estimaciones del periodo diurno de 8 a 19 h, del día antes mencionado.

En el sector Nor Este, dos de los sitios que mostraron tener disminuciones relevantes de ozono durante la mayor parte del día fueron **La Villa** y **Xalostoc** (Figuras 8 y 9). En el caso del primero, a las **14 h bajo el ozono 3 puntos** IMECA y en las horas subsiguientes también se estimaron concentraciones menores en casi un punto IMECA al aplicar las medidas de control.

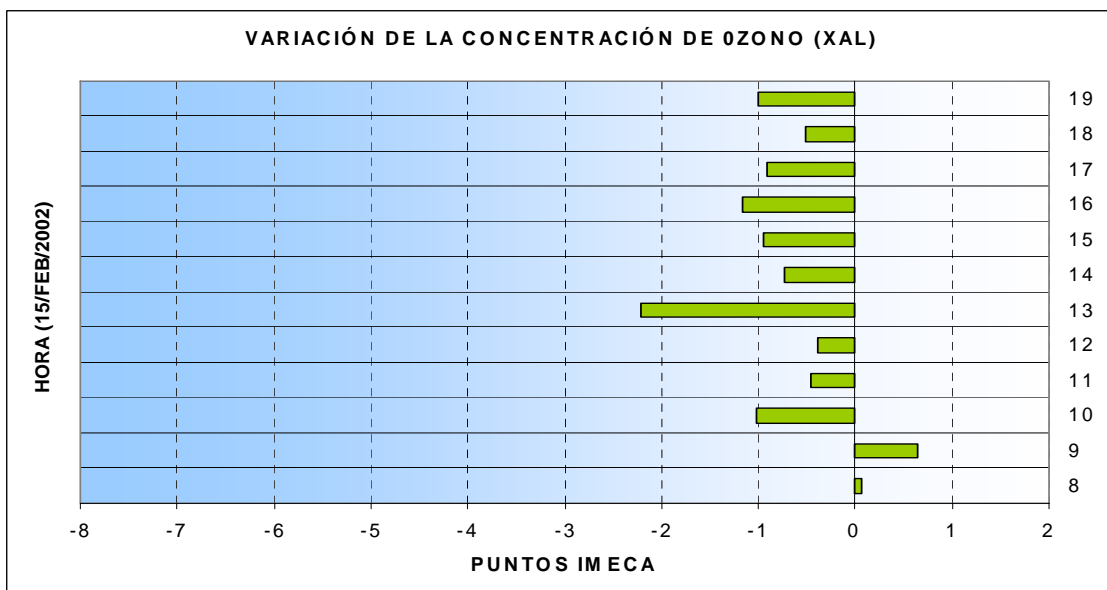


Figura 9. Variaciones (disminuciones en negativos) del ozono estimado con el Escen PROAIRE respecto al CBFEB 2002, en el sitio Xalostoc.

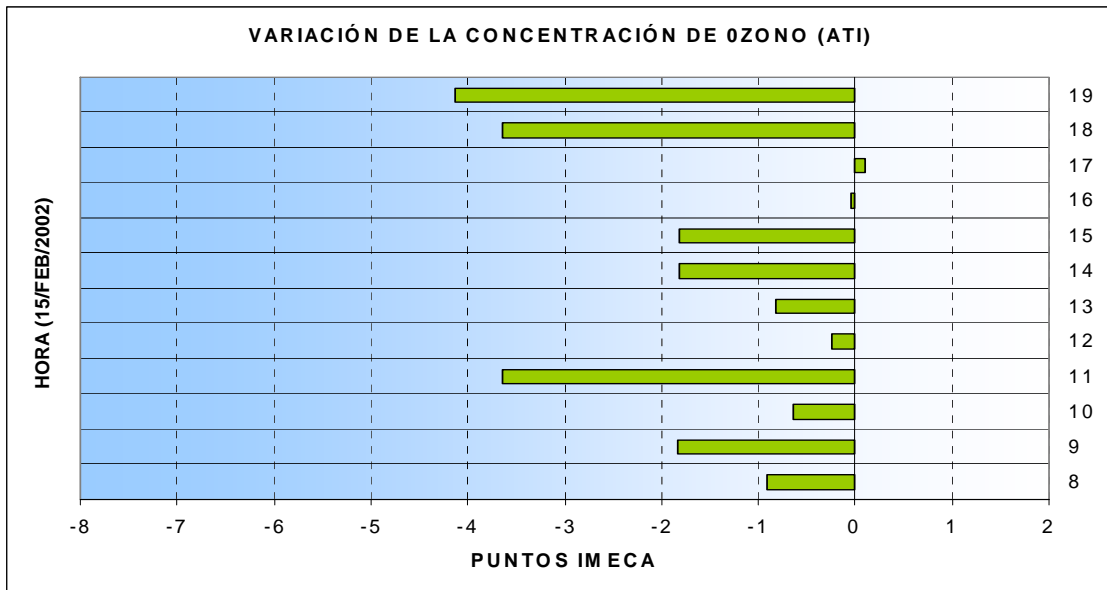


Figura 10. Variaciones del O₃ en Escen PROAIRE vs CBFEB 2002, en Atizapan.

Mientras que en Xalostoc disminuyó el ozono poco más de 2 puntos IMECA a las 13 h con la aplicación del control de emisiones; y al igual que en La Villa, en horas subsecuentes se mantuvo casi un punto IMECA por abajo del escenario sin control de emisiones.

El sector Nor Oeste tuvo en **Atizapan** el sitio con disminuciones de ozono más importantes, pues a las **11 y 19 h se estimó que éste contaminante baja casi 4 puntos IMECA** en el Escen PROAIRE y además de 13 a 15 h también alcanza decrementos de 2 puntos IMECA (Figura 10). También en el sector Nor Oeste, en la Zona de la ENEP Acatlan (EAC), Tlalnepantla, Tacuba y Azcapotzalco se observaron disminuciones de ozono parecidas. Particularmente en EAC y TLA se estimó que el ozono tuvo casi 2 puntos IMECA menos al aplicar control de emisiones (Figura 11).

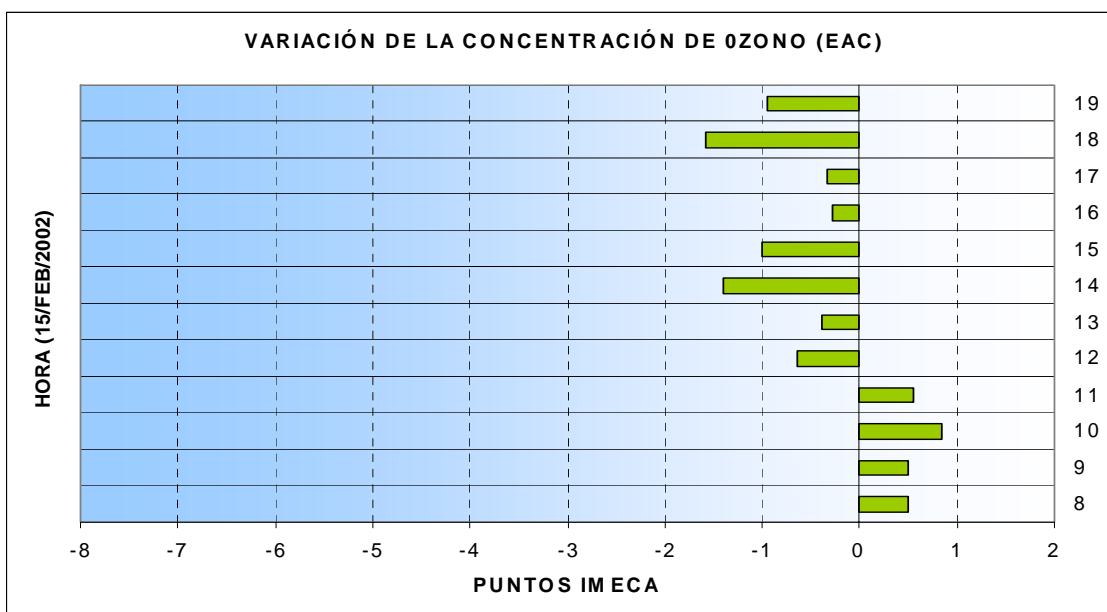


Figura 11. Variaciones del O₃ en Escen PROAIRE vs CBFEB 2002, en EAC.

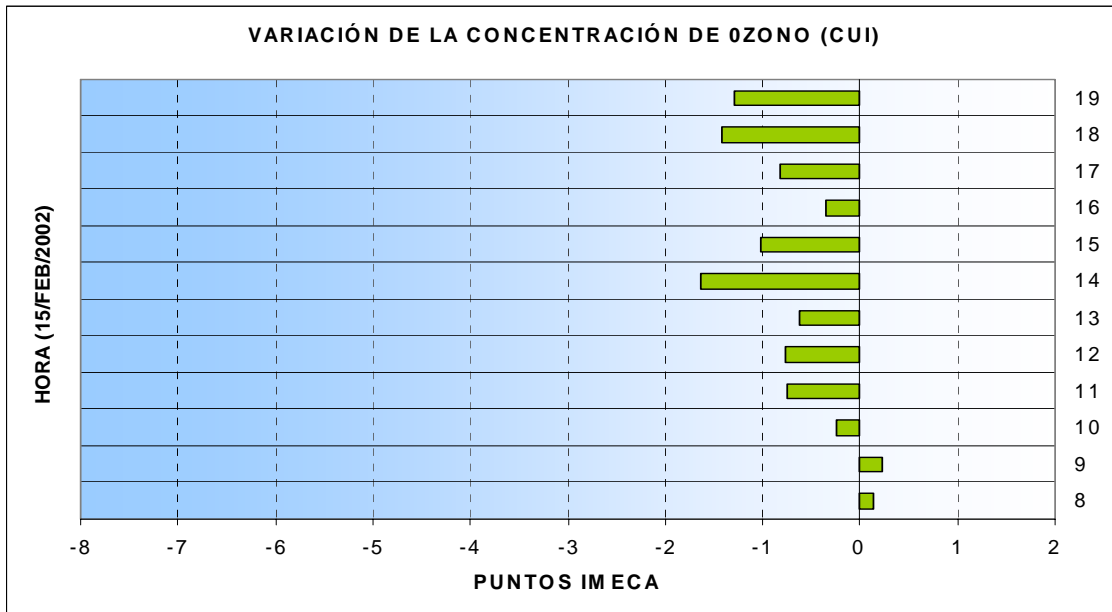


Figura 12. Variaciones del ozono estimado con el Escen PROAIRE respecto al CBFEB 2002, en el sitio Cuitláhuac.

El sector donde se tuvo el mejor ajuste en las estimaciones de ozono respecto a la información de monitoreo fue en el Centro. Y en este sector se apreció en **Cuitláhuac** un decremento de ozono de **1.7** puntos IMECA a las **14 h** sí se aplican medidas de control de emisiones (Figura 12), siendo esta disminución la mas relevante para el centro de la ZMVM.

Además de Cuitláhuac, también en sitios como Benito Juárez y Merced se estimaron disminuciones de ozono. Aunque éstas apenas rebasaron un punto IMECA a las 14, 15 y 18 h en el primero y lo mismo para Merced, solo que a las 17 h (Figura 13).

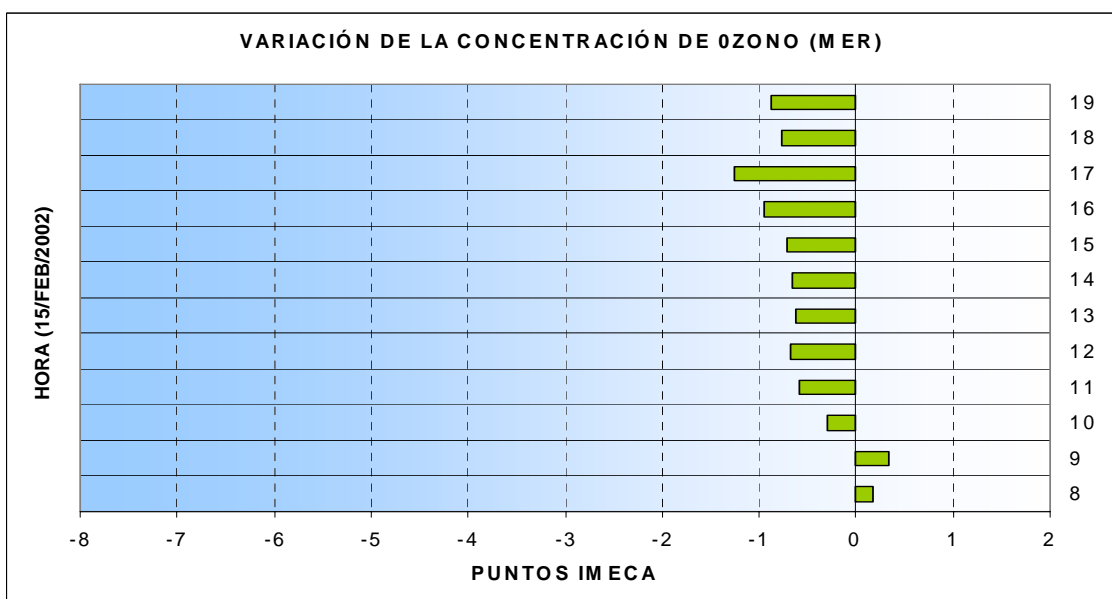


Figura 13. Variaciones del ozono estimado con el Escen PROAIRE respecto al CBFEB 2002, en el sitio Merced.

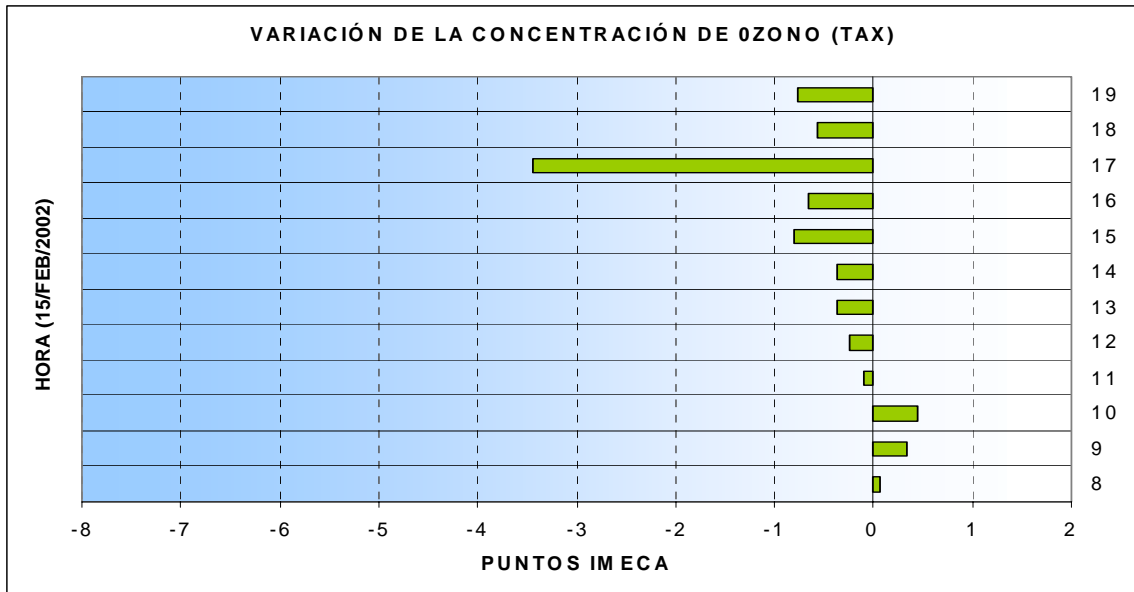


Figura 13. Variaciones del ozono estimado con el Escen PROAIRE respecto al CBFEB 2002, en el sitio Taxqueña.

Taxqueña y **Tláhuac** son los principales puntos del Sur Este, donde se presentaron disminuciones de ozono (Figuras 14 y 15). Siendo de aproximadamente **3.5** puntos IMECA en ambos sitios, sólo que a las 17 h en el primero y a las **13 h en el segundo**.

En la UAM Iztapalapa fue la localidad del Sur Este donde mejor ajuste tuvieron las estimaciones de MCCM respecto a los datos medidos. Y en este sitio, se estimó una disminución ligeramente por arriba de 1 punto IMECA a las 13 h.

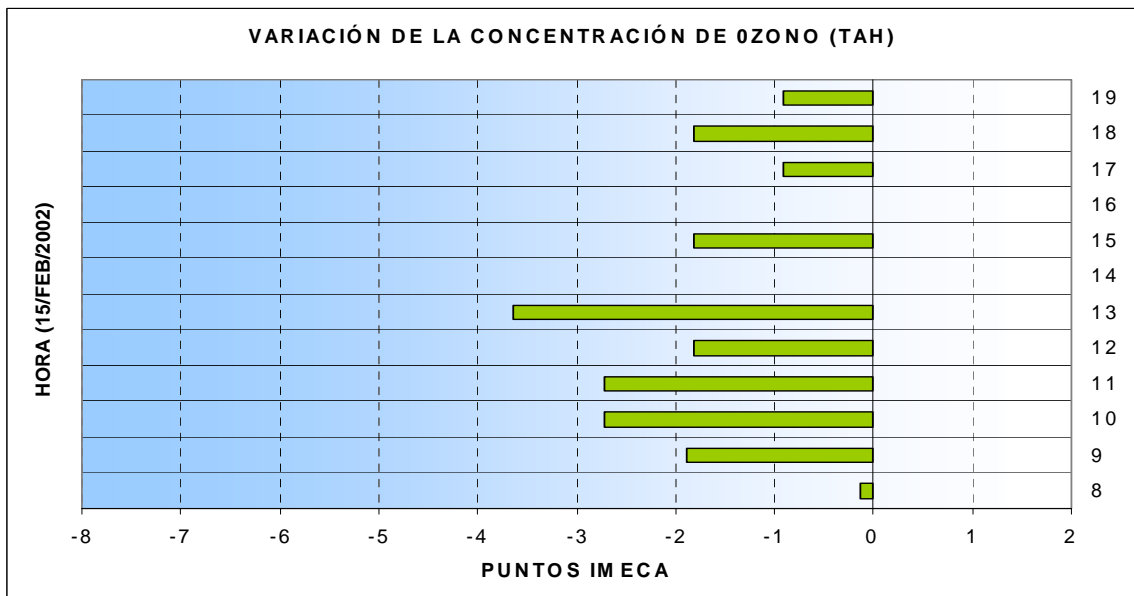


Figura 13. Variaciones del ozono estimado con el Escen PROAIRE respecto al CBFEB 2002, en el sitio Tláhuac.

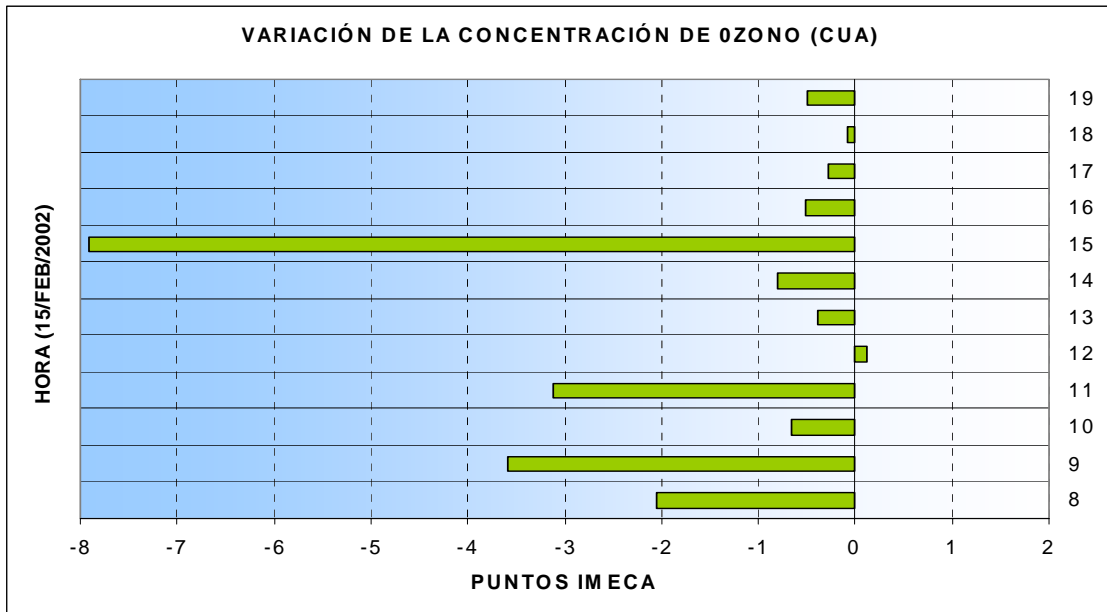


Figura 14. Variaciones del ozono estimado con el Escen PROAIRE respecto al CBFEB 2002, en el sitio Cuajimalpa.

Cabe mencionar que si bien el control de emisiones fue cuantitativamente mayor en fuentes móviles (Tabla 2), las disminuciones de emisiones al simular las medidas se realizaron principalmente en vías primarias, por lo que es de esperarse mayor impacto del control de emisiones en los 2 sectores del Norte y el Sur Oeste, donde se tiene vialidades de gran capacidad como el Periférico, Circuito Interior, los puentes y vialidades de resiente construcción en la zona poniente, Avenida Insurgentes y múltiples ejes viales.

Cuajimalpa es el sitio del Sur Oeste y de toda la ZMVM donde se estimó una disminución de ozono de hasta **ocho puntos IMECA a las 15 h**; y de 3.5 y 3.2 puntos IMECA a las 8h y 11h (Figura 14).

En Pedregal (también en el Sur Oeste) se observó un ligero aumento de ozono en las primeras horas del día, Pero a partir de las 12 h se estimó que el ozono disminuye, apreciándose un decremento de aproximadamente 2 puntos IMECA a las 13 h (Figura 15).

Puede resaltarse que las disminuciones netas de emisiones de los precursores de ozono de COT= 78 ton/día y NOx=97 ton/día se reflejaron en disminuciones de ozono de máximo 8 puntos IMECA. Y los principales decrementos de éste contaminante se observaron en las zonas circundantes al centro de la ciudad, como Atizapan, Tláhuac y Cuajimalpa.

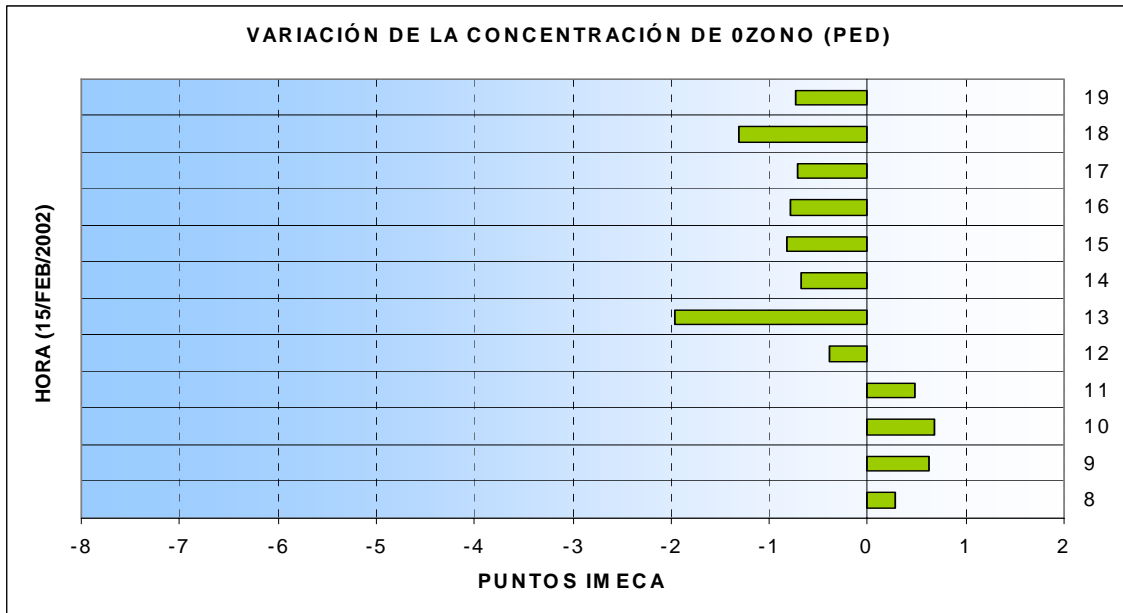


Figura 15. Variaciones del O₃ en Escen PROAIRE vs CBFEB 2002, en Pedregal.

CONCLUSIONES

Las disminuciones de ozono más sobresalientes fueron las siguientes:

Sector	Sitio	Decremento (puntos IMECA)	Hora
Sur Oeste	Cuajimalpa	8.0	15
Sur Este	Tláhuac	3.5	13
Centro	Cuitláhuac	1.7	14
Nor Oeste	Atizapán	4.0	11
Nor Este	La Villa	3.0	14

Aún en las horas (15 y 16 h) en que se monitorearon las concentraciones máximas del periodo simulado en Pedregal, al aplicar las medidas de control se estimó en dicho sitio un decremento de ozono de casi un punto IMECA.

Puede considerarse sobresaliente el decremento de 8 puntos IMECA de ozono en Cuajimalpa, puesto se estimó en la zona Pedregal-Plateros-Cuajimalpa-Tlalpan donde suelen medirse las concentraciones más agudas de este contaminante. Además de que se presentó a la hora en que comúnmente se mide la concentración máxima diurna de ozono.

Con excepción de Tláhuac, los otros sitios donde se estimaron los principales decrementos de ozono están asociados con vialidades primarias de tráfico vehicular importante. Por lo que se considera que las medidas de control de mayor influencia en tales decrementos, fueron las que afectaron la cantidad de emisiones en vialidades primarias.