



# Análisis y Evaluación de la Contaminación del Aire del Valle de México

## Calidad del Aire

Correa-García, A., Rico, A. E., Coronado, M. M., Maubert-Franco, M.  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto  
Politécnico Nacional, Universidad Autónoma Metropolitana

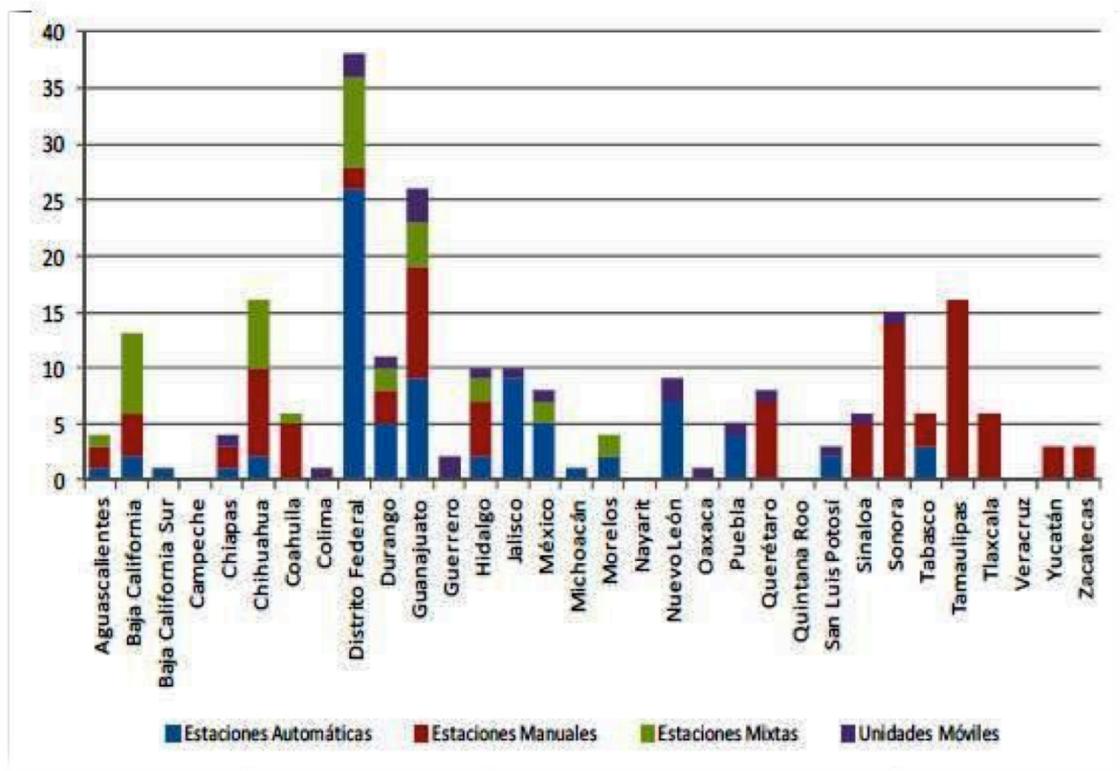


Sede regional:  
Centro-Occidente



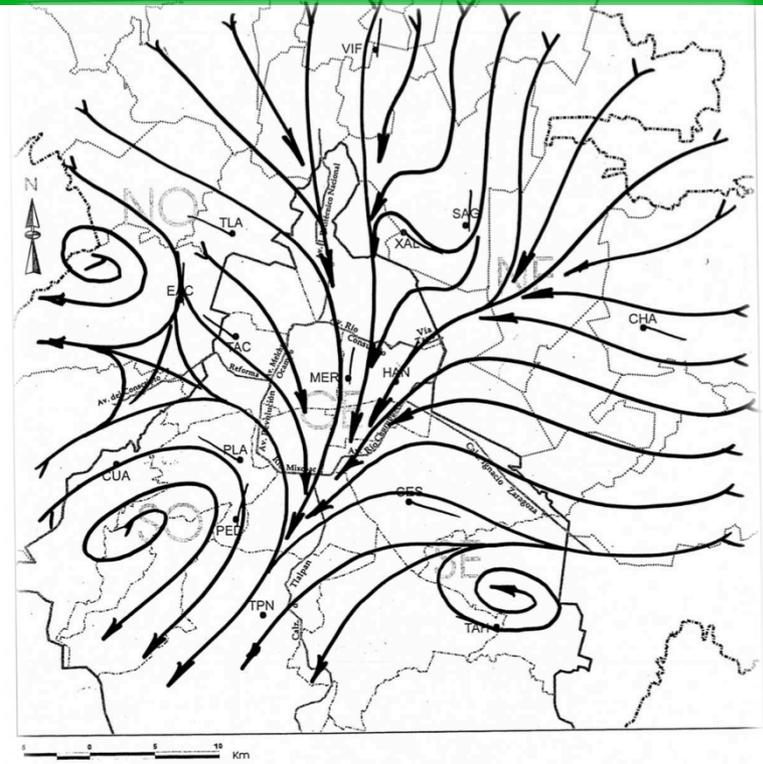
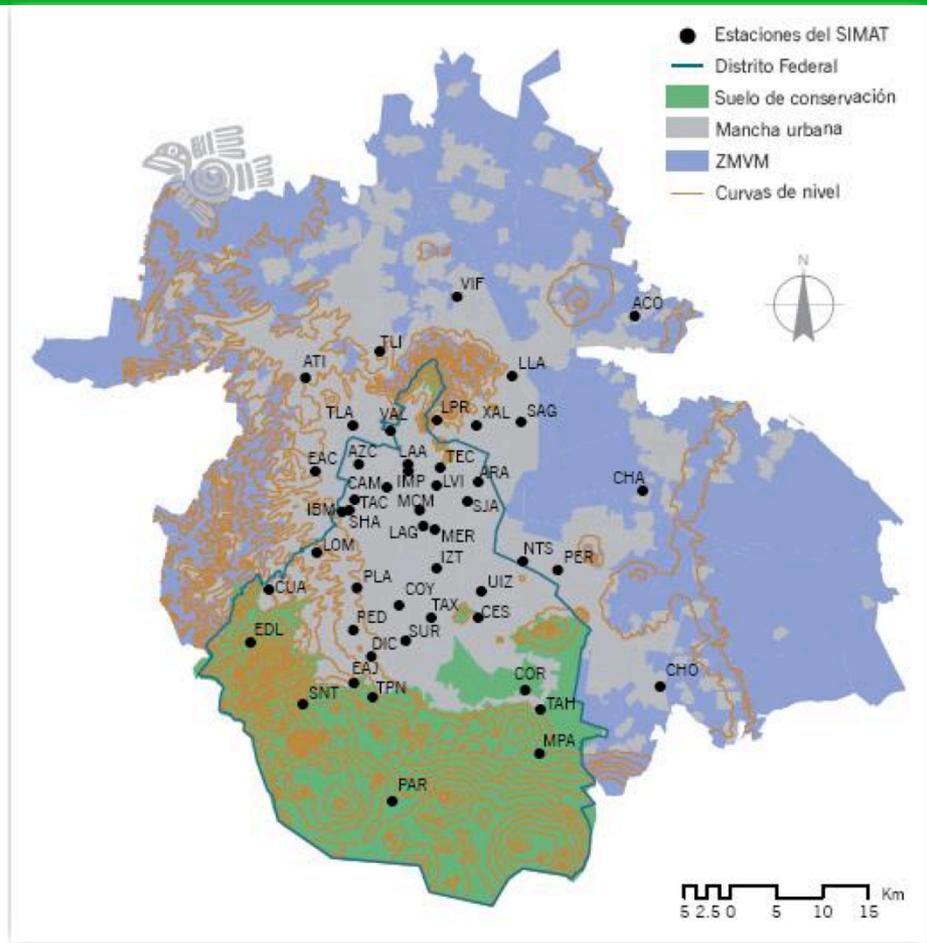
# Introducción

La Ciudad de México tiene 36 estaciones de monitoreo que realizan mediciones sucesivas de ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), partículas menores de 10-2.5 micras (PM<sub>10-2.5</sub>) y ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S); siendo este tipo de información, la herramienta principal para evaluar las políticas de control de la contaminación (Gramsch *et al.*, 2006; Broday and Broday, 2006; Chen *et al.*, 2006).





- Sin embargo, en el contexto de una meteorología compleja y el uso de suelo en el Distrito Federal, el carácter puntual y la carencia de detalle en la química de los datos podrían conferir información conflictiva o sesgada Cruz-Núñez & Jazcilevich-Diamant (2007).



DIRECCION DE INVENTARIOS Y MODELACION DE EMISIONES  
SUBDIRECCION DE METEOROLOGIA Y MODELACION

Análisis de: VIENTO

Fecha: 28/OCT/2004 Hora: 9:00

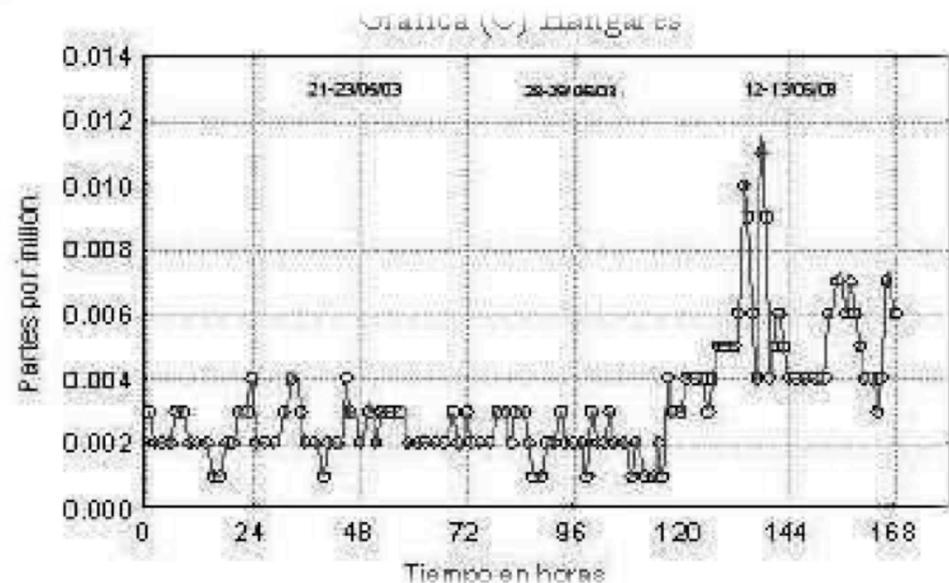
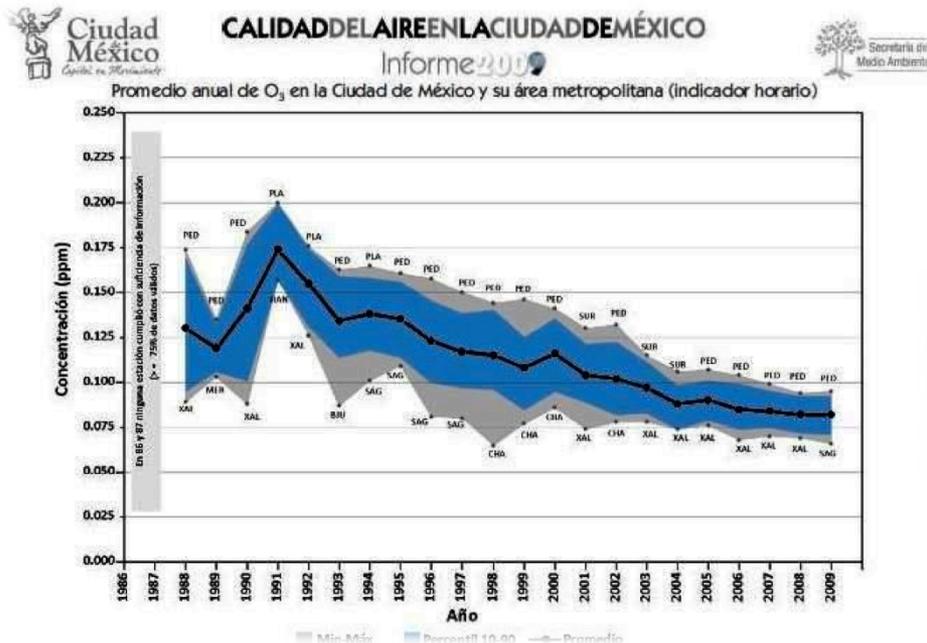
# EL FUTURO DE LA INVESTIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO



Asociado a esto, en los últimos 20 años la contaminación del aire disminuyó de manera notable en la Zona Metropolitana del Valle de México SMADF, (2010). Pese a esto, la (USEPA, 2003, 2005) encontró imprecisiones en varios analizadores de ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ); los cuales, coincidieron con los reportados en (Correa-García & Rico, 2005; Rico *et al.*, 2005); últimamente la SMADF, (2011) admitió que varios sitios del SIMAT, no cumplieron con el 75% de suficiencia de datos en 1986/87.

## Promedio anual de $\text{O}_3$ 1988-2009 en varios sitios de muestreo Cd. México

## Interferencias en las mediciones de $\text{SO}_2$ en Hangares Tomado de Correa García y Rico, (2005)



Por otra parte, la SMADF, (2011) informó sobre cambios importantes en la infraestructura y operación de la red, entre los cuales, sobresale la sustitución de unidades de medición en partes por millón (ppm) a partes por billón (1 ppm=1000 ppb) desde julio 2011. Debido a esto, en este trabajo se presenta de manera general el contenido y aporte del libro “Análisis y Evaluación de la Contaminación del Aire del Valle de México” con el propósito de comprender entre otros aspectos, la infraestructura actual del sistema de monitoreo atmosférico (SIMAT), existente en la Ciudad de México.

## Boletín informativo SIMAT, 2011



Secretaría del Medio Ambiente  
Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire  
Dirección de Monitoreo Atmosférico

México, D.F., a 5 de agosto de 2011.

Boletín no. 02/0811

### BOLETÍN INFORMATIVO

#### Estimados Usuarios:

Durante el año de 2011 y en el marco de la celebración de los 25 años del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT), la Dirección de Monitoreo Atmosférico se encuentra realizando cambios importantes en su infraestructura y operación, orientados principalmente a reforzar y mejorar las actividades de monitoreo de la calidad del aire en beneficio de los habitantes de la ciudad y su área metropolitana.

Como parte de estas actividades, en el año 2010 se realizó una revisión detallada de cada una de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire con el propósito de conocer su representatividad, cobertura espacial y capacidad para el cumplimiento de los objetivos del monitoreo. Los resultados nos han permitido realizar un cambio en el número de estaciones activas en la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), e incrementar el número de parámetros que se evalúan en cada una de ellas. Adicionalmente, se identificaron localidades para instalar nuevas estaciones de monitoreo que ampliarán la cobertura espacial del SIMAT. La configuración actual de las estaciones de la RAMA se describe en el anexo al final de este documento.

A partir del mes de julio, el SIMAT cuenta con 24 estaciones activas para el monitoreo de la calidad del aire. Las estaciones que han dejado de operar son las siguientes: Aragón (ARA), Azcapotzalco (AZC), Cerro de la Estrella (CES), Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), Lagunilla (LAG), La Villa (LVI), Plateros (PLA), Tacuba (TAC), Taxqueña (TAX) y Vallejo (VAL). Por otra parte, se realizó un cambio en el nombre y clave de las siguientes estaciones: Chapingo (CHA) por Montecillo (MON), ENEP-Acatlán (EAC) por FES-Acatlán (FAC) y La Perla (PER) por Nezahualcóyotl (NEZ).

Estos cambios se reflejan también en nuestra base de datos y en la información que ponemos a disposición de nuestros usuarios a través del portal en Internet <http://www.calidadaire.df.gob.mx>, por lo que a partir del mes de julio las bases de datos para descarga tendrán las siguientes modificaciones:

#### Análisis y evaluación de la contaminación del aire del Valle de México

Este libro presenta una perspectiva de la contaminación del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) del periodo 1986-2004, el análisis comprende los 30 sitios de muestreo del Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT). Se plantean 332 modelos matemáticos, que describen un patrón histórico de los contaminantes atmosféricos y las variaciones de los elementos del estado del tiempo y del clima. Los modelos se basan en teoría de muestreo, pruebas de normalidad y análisis de correlación y regresión múltiple. A partir de los cuales, se logró calcular 830 valores esperados para el año 2005, con relación al 2004. Los resultados mostraron una regresión en el 2005, de los niveles de emisión de contaminantes y formación de O<sub>3</sub> con respecto de los observados en la década de los 80/90' del siglo pasado, siendo las regiones más afectadas el Sureste-Noreste y Suroeste de la ZMVM. También advierte de los alcances y limitaciones de las redes de monitoreo, la propia información de los datos y su tendencia 2011. Por su contenido teórico-práctico, la obra está dirigida a especialistas en el tema, profesores y estudiantes de licenciatura y posgrado en ciencias biológicas y de la salud.



A. Correa-García  
Estudió biología en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Sus estudios se centran sobre contaminación atmosférica. Es autor del libro Contaminantes Atmosféricos en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (2004) Primera reimpresión 2009. Actualmente es técnico de monitoreo atmosférico del H. Ayuntamiento de Morelia, México.



978-3-659-02520-4

editorial académica española

ANAEV, Contaminación Valle de México

Correa-García, Rico A., Coronado M.



A. Correa-García · E. Rico A · M. Coronado M.

### Análisis y evaluación de la contaminación del aire del Valle de México

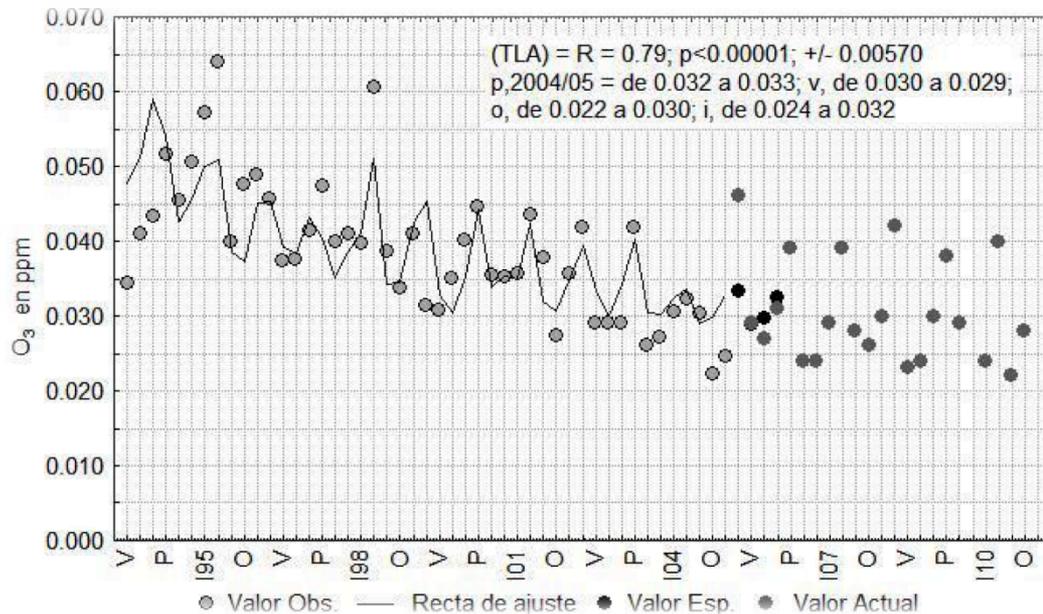
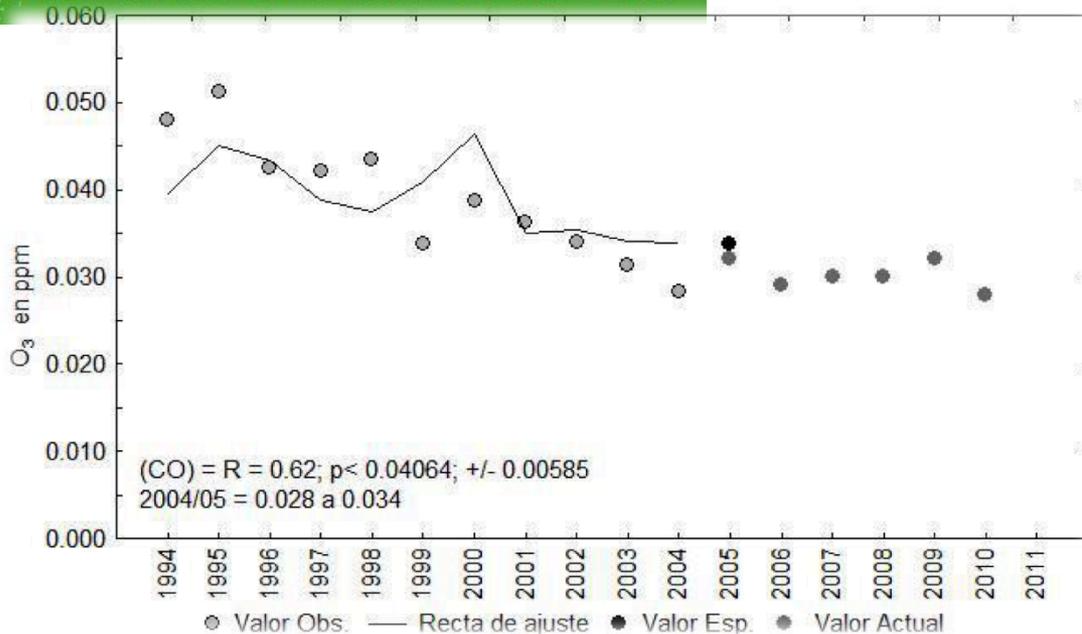
Un cuarto de siglo monitoreando la atmósfera de la cuenca de México.

En términos generales, las herramientas científicas empleadas para predecir los cambios ambientales que pueden ocurrir en la atmósfera, por la presencia de contaminantes, es la formulación de modelos matemáticos que consisten de supuestos y aproximaciones que reducen el problema físico real, a un problema idealizado de los procesos fisicoquímicos que se presentan en la atmósfera. Los modelos se dividen en dos grupos: Pronóstico y diagnóstico; los primeros utilizan los principios fundamentales de la fisicoquímica, mientras que los de diagnóstico se basan en la descripción estadística de los datos (Ruiz-Santoyo y Cruz-Núñez, 1991).

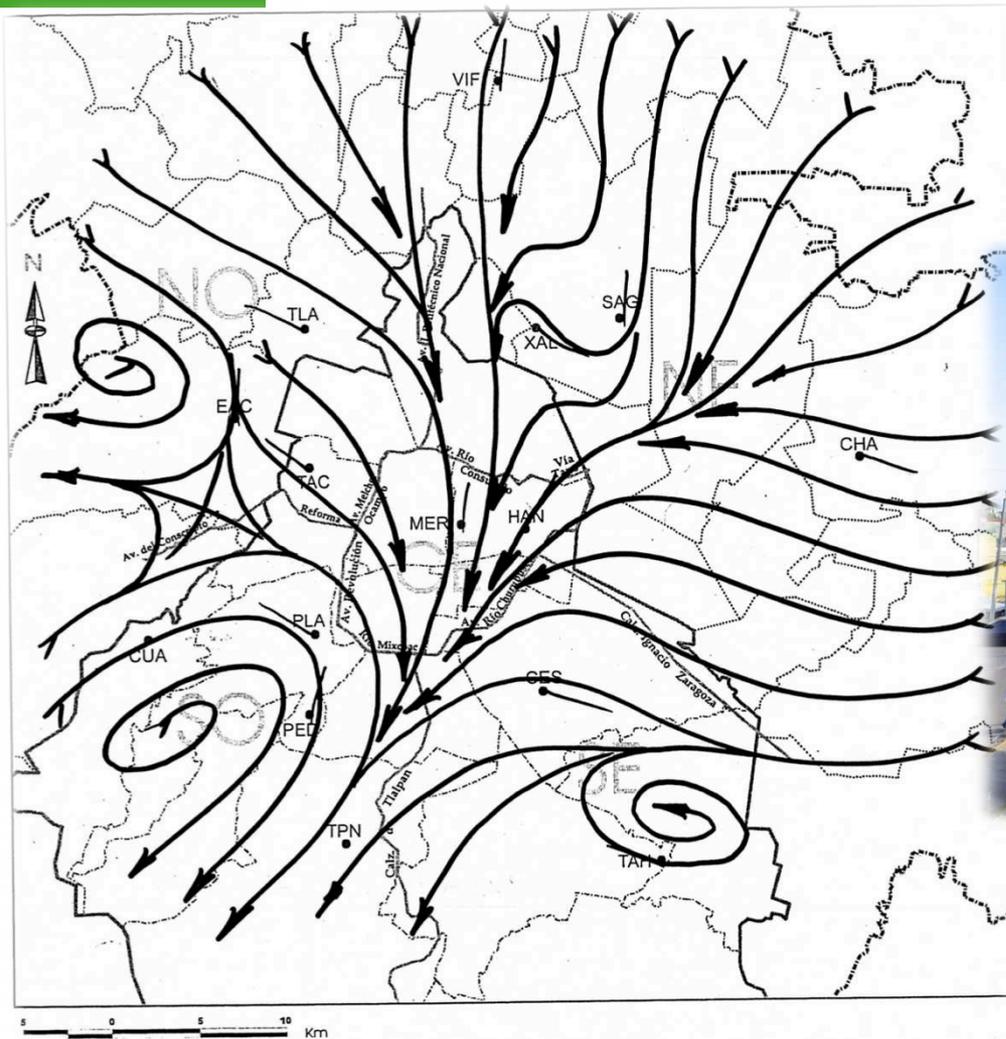
Con base en la descripción anterior Correa-García *et al.*, (2012) plantearon 166 modelos matemáticos de tendencia anual y 166 por época del año, en total 332 modelos de diagnóstico que describen un patrón histórico de los contaminantes atmosféricos y las variaciones de los elementos del estado del tiempo y del clima para el periodo 1986-2004.

Estos modelos, se basan en teoría de muestreo, pruebas de normalidad y análisis de correlación y regresión múltiple. A partir de los cuales, se logró calcular 830 valores esperados para el año 2005, con relación al 2004 en los 30 sitios de monitoreo del SIMAT.

# EL FUTURO DE LA INVESTIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO



# EL FUTURO DE LA INVESTIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO



DIRECCION DE INVENTARIOS Y MODELACION DE EMISIONES  
SUBDIRECCION DE METEOROLOGIA Y MODELACION

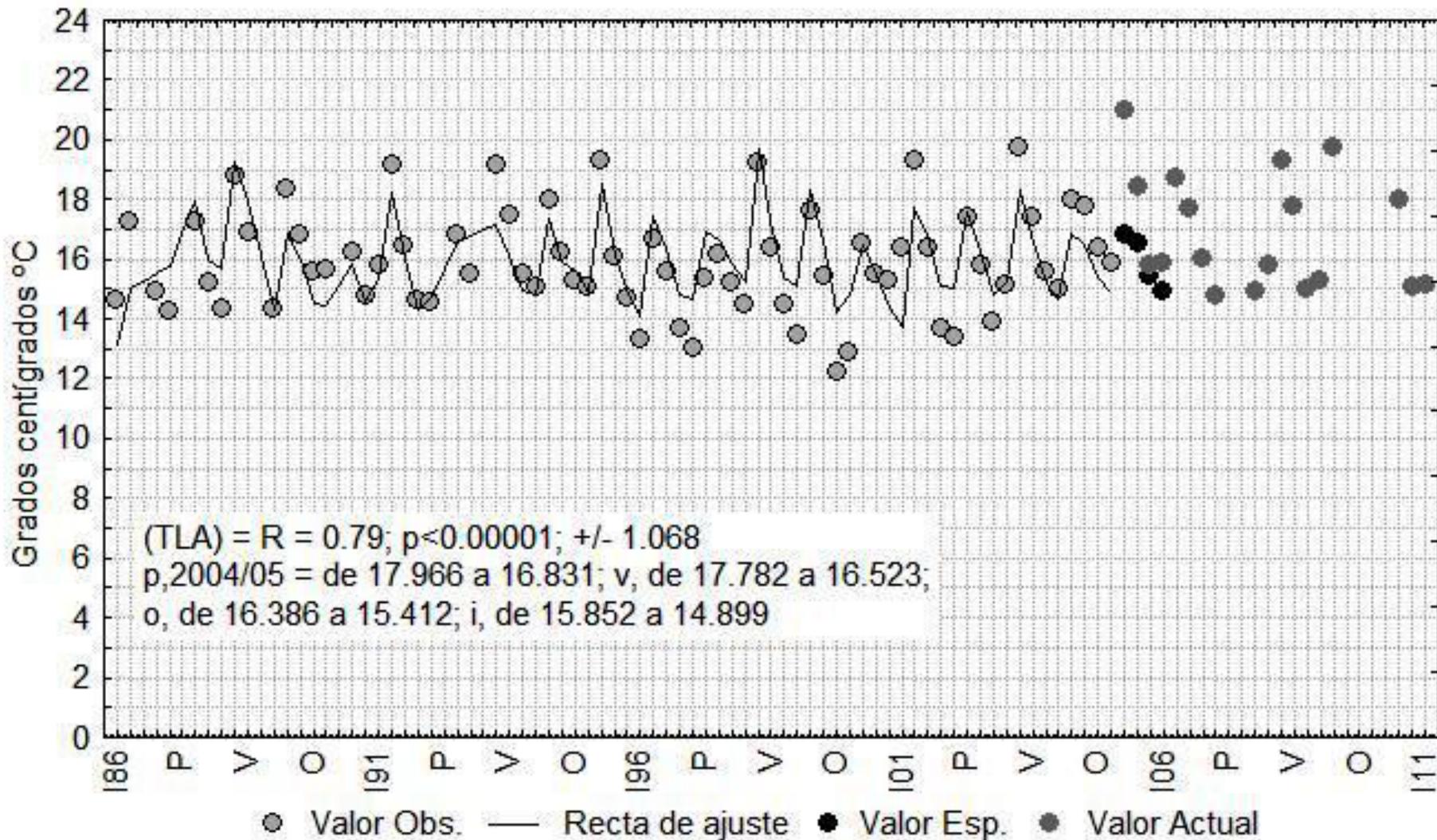
Análisis de: VIENTO.

Fecha: 28/OCT/2004. Hora: 9:00.

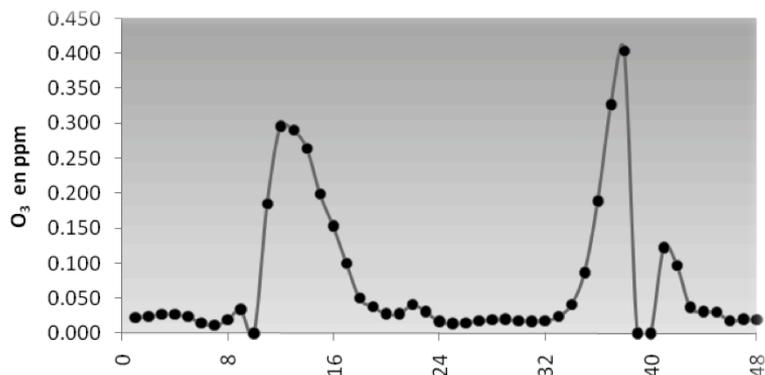
# EL FUTURO DE LA INVESTIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO



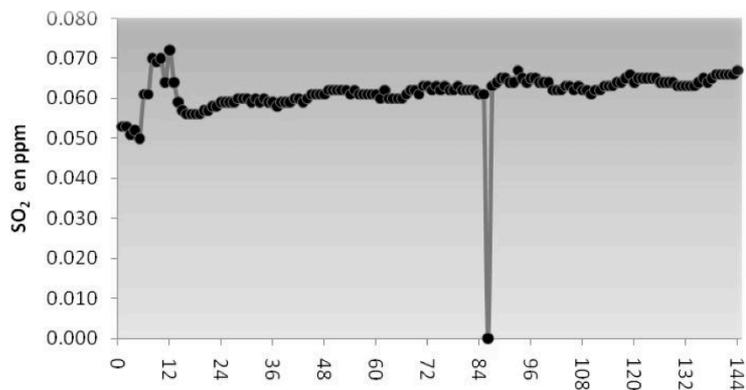
| TENDENCIA           |       |       |       |       |       |       |       |     | TENDENCIA   |      |      |      |      |      |      |      |     |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Óxidos de Nitrógeno |       |       |       |       |       |       |       |     | Temperatura |      |      |      |      |      |      |      |     |
| Tacuba              |       |       |       |       |       |       |       | 6.6 | Tacuba      |      |      |      |      |      |      |      |     |
| Invierno            | 1994  | 2000  | 2002  | 2005  | 2006  | 2007  | 2010  |     | Invierno    | 1986 | 2000 | 2002 | 2005 | 2006 | 2007 | 2011 |     |
| Media               | 0.083 | 0.074 | 0.051 | 0.066 | 0.076 | 0.066 | 0.062 | -25 | Media       | 14.6 | 12.9 | 13.4 | 15.9 | 15.9 | 14.8 | 15.2 | 4   |
| Num. Datos          | 1995  | 2002  | 1488  | 2060  | 2091  | 2095  | 2073  |     | Num. Datos  | 1371 | 2002 | 2158 | 2135 | 2153 | 1139 | 1614 |     |
| Primavera           | 1993  | 2000  | 2002  | 2004  | 2005  | 2006  | 2010  |     | Primavera   | 1986 | 2000 | 2002 | 2004 | 2005 | 2006 | 2009 |     |
| Media               | 0.057 | 0.061 | 0.038 | 0.058 | 0.070 | 0.051 | 0.045 | -21 | Media       | 17.3 | 16.5 | 17.4 | 18.0 | 21.0 | 18.7 | 19.7 | 14  |
| Num. Datos          | 1809  | 2069  | 1486  | 2167  | 2051  | 1923  | 2136  |     | Num. Datos  | 1685 | 2068 | 2203 | 1872 | 2185 | 2200 | 2195 |     |
| Verano              | 1993  | 2000  | 2002  | 2004  | 2005  | 2006  | 2010  |     | Verano      | 1987 | 2000 | 2002 | 2004 | 2005 | 2006 | 2010 |     |
| Media               | 0.061 | 0.043 | 0.047 | 0.050 | 0.040 | 0.044 | 0.035 | -43 | Media       | 17.2 | 15.5 | 15.8 | 17.8 | 18.4 | 17.7 | 18.0 | 4   |
| Num. Datos          | 1762  | 2017  | 2226  | 2142  | 2238  | 2128  | 2184  |     | Num. Datos  | 1814 | 2018 | 2253 | 2051 | 2248 | 2198 | 2234 |     |
| Otoño               | 1993  | 2000  | 2002  | 2004  | 2005  | 2006  | 2010  |     | Otoño       | 1986 | 2000 | 2002 | 2004 | 2005 | 2006 | 2010 |     |
| Media               | 0.084 | 0.065 | 0.057 | 0.063 | 0.061 | 0.062 | 0.058 | -31 | Media       | 14.9 | 15.3 | 13.9 | 16.4 | 15.8 | 16.0 | 15.0 | 1   |
| Num. Datos          | 1797  | 2133  | 2100  | 1939  | 2115  | 2016  | 2113  |     | Num. Datos  | 1193 | 2132 | 2092 | 2079 | 1964 | 2032 | 2132 |     |
| Tacuba              |       |       | Ozono |       |       |       |       | 6.7 | Tacuba      |      |      |      |      |      |      |      |     |
| Invierno            | 1994  | 2000  | 2002  | 2005  | 2006  | 2007  | 2010  |     | Invierno    | 1986 | 2000 | 2002 | 2005 | 2006 | 2007 | 2011 |     |
| Media               | 0.043 | 0.040 | 0.036 | 0.024 | 0.031 | 0.029 | 0.024 | -44 | Media       | 29   | 41   | 40   | 45   | 42   | 45   | 38   | 31  |
| Num. Datos          | 2073  | 2182  | 2151  | 2062  | 2079  | 2122  | 2052  |     | Num. Datos  | 1390 | 2002 | 2157 | 2144 | 2153 | 2153 | 1614 |     |
| Primavera           | 1994  | 2000  | 2002  | 2004  | 2005  | 2006  | 2010  |     | Primavera   | 1986 | 2000 | 2002 | 2004 | 2005 | 2006 | 2009 |     |
| Media               | 0.052 | 0.045 | 0.042 | 0.032 | 0.046 | 0.039 | 0.040 | -23 | Media       | 52   | 42   | 45   | 55   | 45   | 45   | 42   | -20 |
| Num. Datos          | 2202  | 2202  | 2187  | 2190  | 2150  | 2052  | 2128  |     | Num. Datos  | 1645 | 1869 | 2193 | 2192 | 2185 | 1346 | 2195 |     |
| Verano              | 1993  | 2000  | 2002  | 2004  | 2005  | 2006  | 2010  |     | Verano      | 1987 | 2000 | 2002 | 2004 | 2005 | 2006 | 2010 |     |
| Media               | 0.034 | 0.035 | 0.029 | 0.030 | 0.029 | 0.024 | 0.022 | -35 | Media       | 64   | 47   | 64   | 70   | 68   | 70   | 70   | 10  |
| Num. Datos          | 1882  | 2243  | 2226  | 2124  | 2239  | 2016  | 2185  |     | Num. Datos  | 1551 | 2017 | 2237 | 2185 | 2251 | 2198 | 2234 |     |
| Otoño               | 1993  | 2000  | 2002  | 2004  | 2005  | 2006  | 2010  |     | Otoño       | 1986 | 2000 | 2002 | 2004 | 2005 | 2006 | 2010 |     |
| Media               | 0.041 | 0.035 | 0.029 | 0.022 | 0.027 | 0.024 | 0.028 | -32 | Media       | 53   | 35   | 55   | 56   | 57   | 60   | 46   | -14 |
| Num. Datos          | 1790  | 2126  | 2118  | 2004  | 2116  | 2022  | 1919  |     | Num. Datos  | 1174 | 2133 | 1990 | 1989 | 2125 | 1965 | 2131 |     |



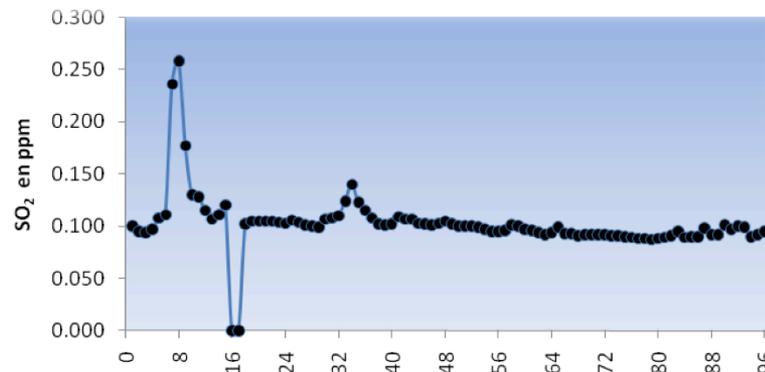
No obstante, que la contaminación del aire bajó en toda la ZMVM, se observó los alcances-limitaciones de operación-funcionamiento del SIMAT desde 1986; la diversidad de imprecisiones en los datos, reportadas en este libro, podrían considerarse como un problema bien identificado, que debe atenderse en futuros trabajos de investigación



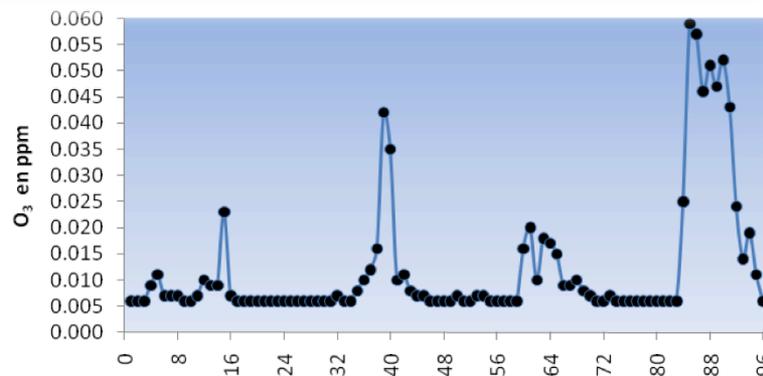
● Agosto 09-10, 1990 en PED



● Octubre 22-27, 1991 en TLA

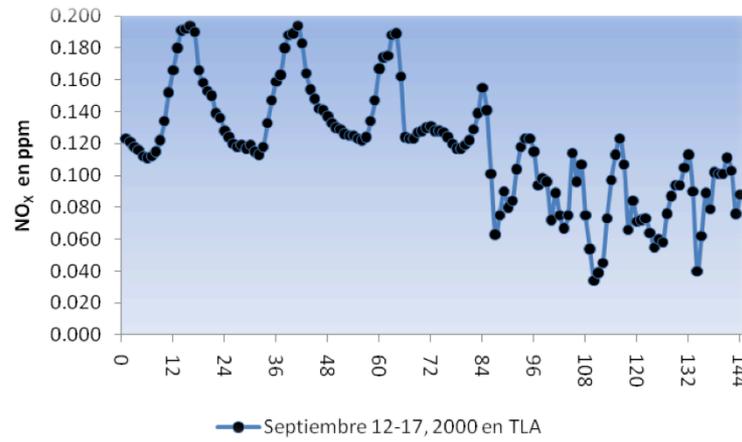
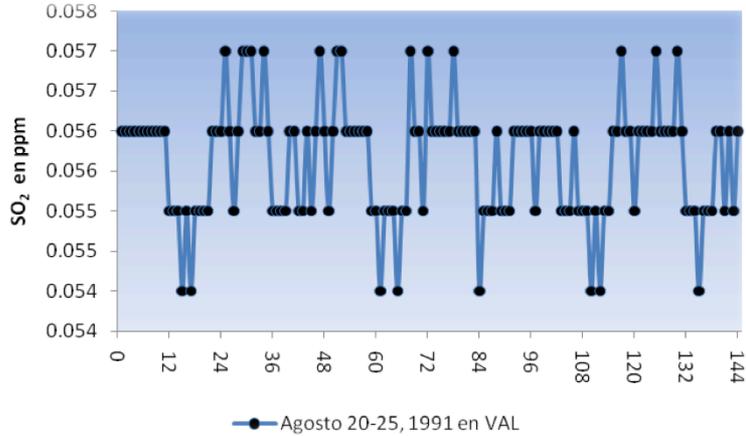


● Septiembre 13-16, 1991 en XAL

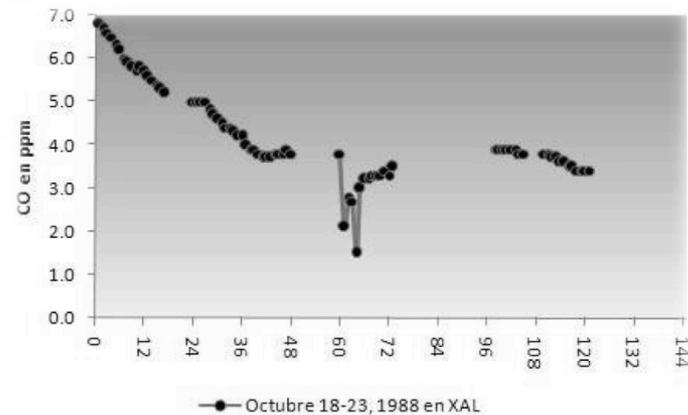
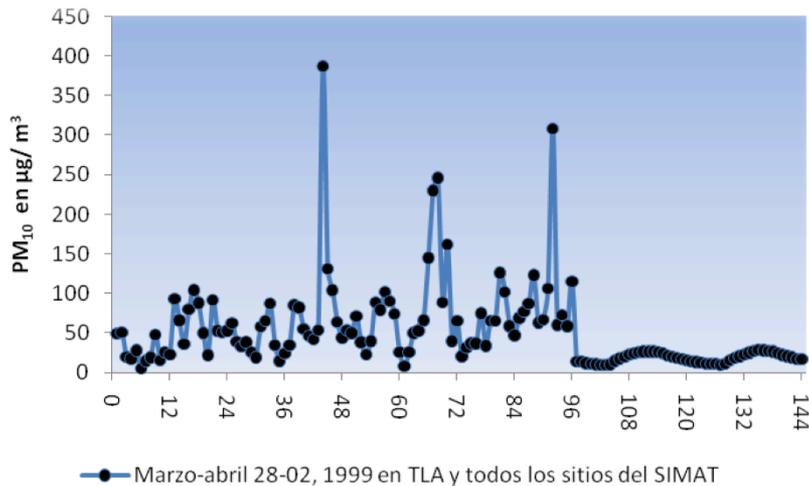
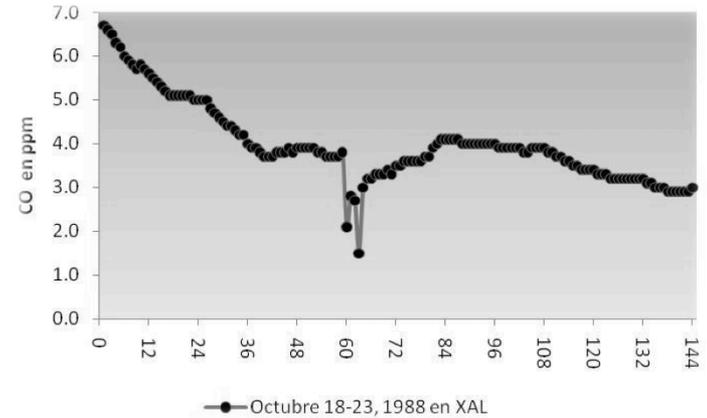


● Agosto 07-10, 1998 en HAN

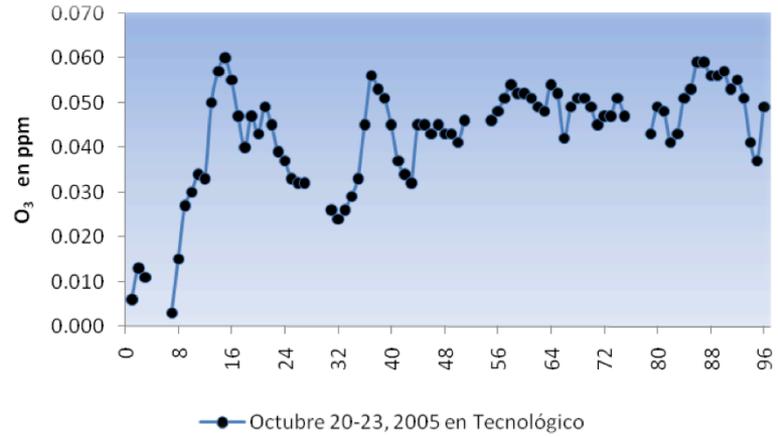
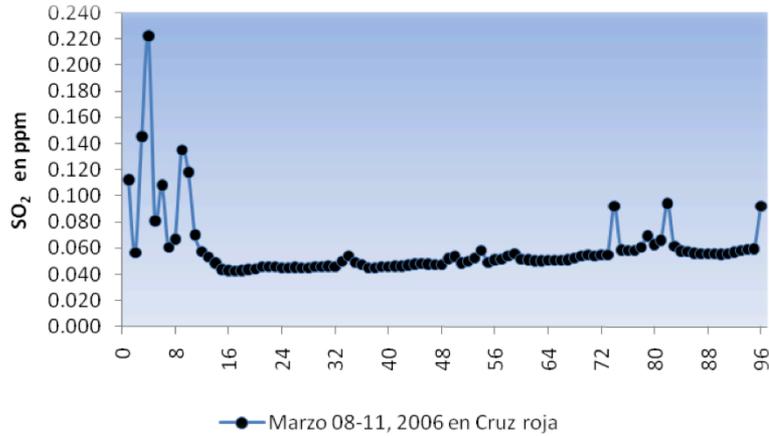
# EL FUTURO DE LA INVESTIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO



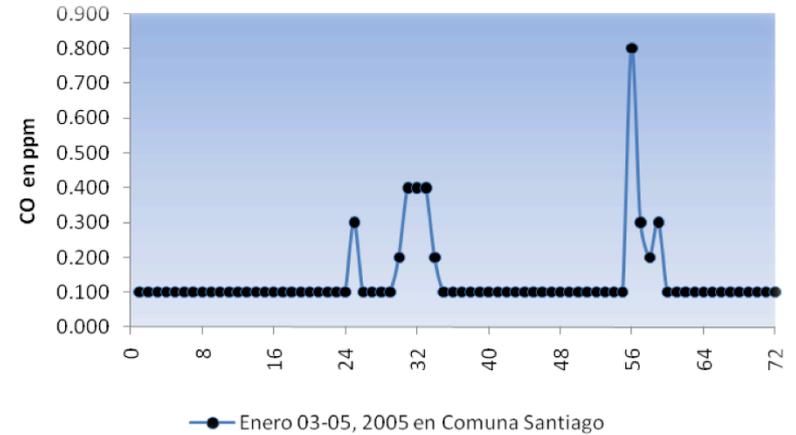
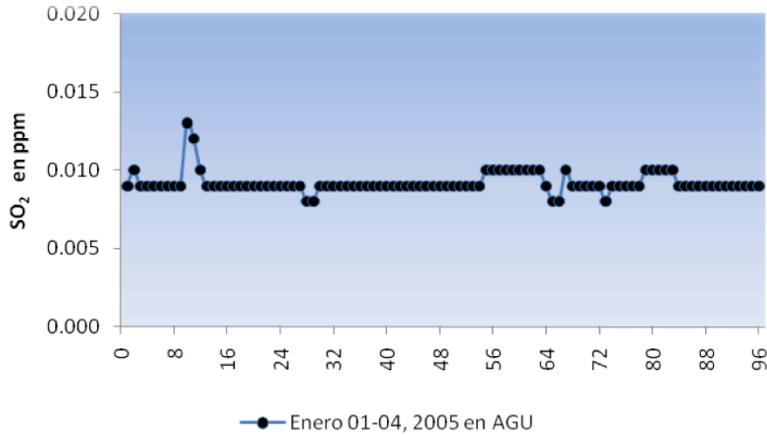
Al revisar la información actual del SIMAT, se encontró que ésta fue modificada parcialmente, quitando sólo aquellos datos que se repiten en más de 4 veces, debido tal vez a la aplicación de criterios de calidad.



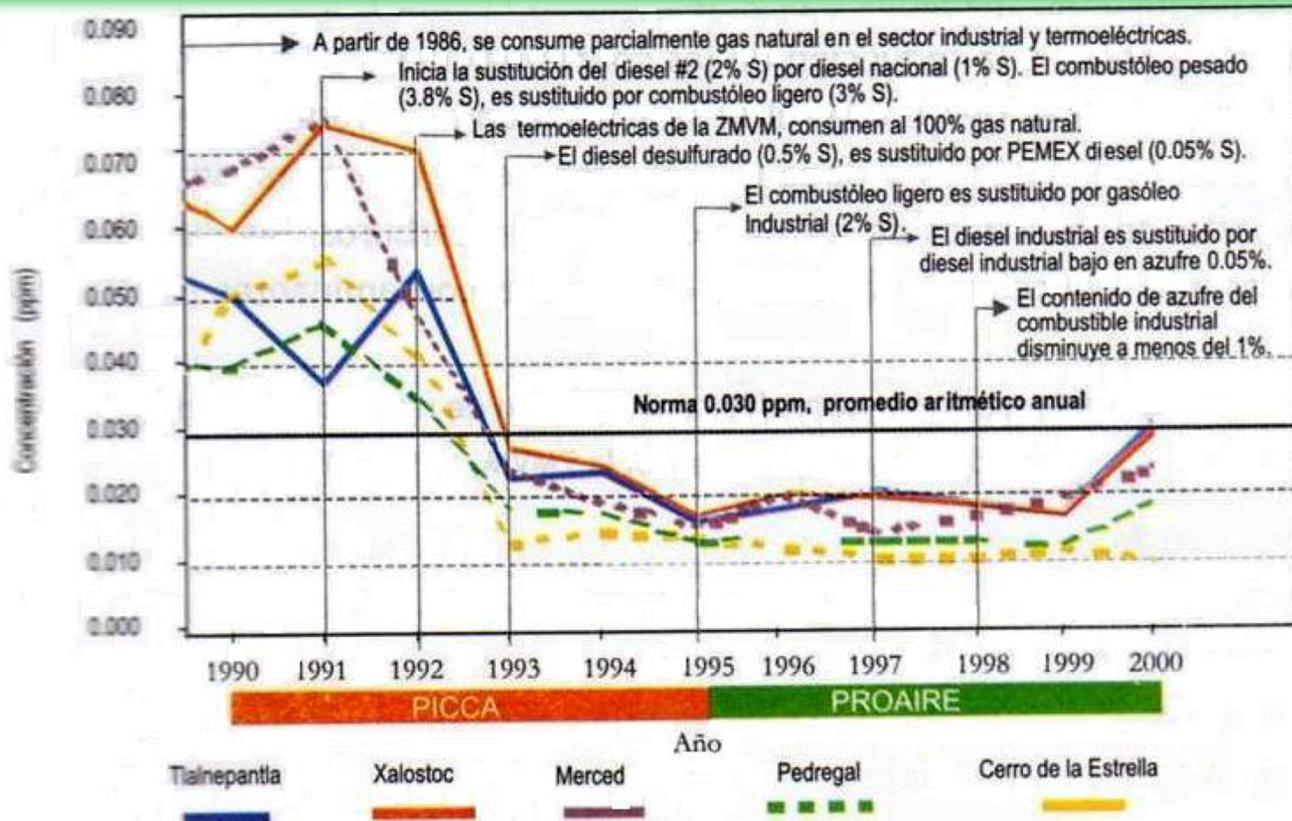
# EL FUTURO DE LA INVESTIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO



**Este problema también se observa en Salamanca, Guadalajara, Tijuana, Santiago de Chile**

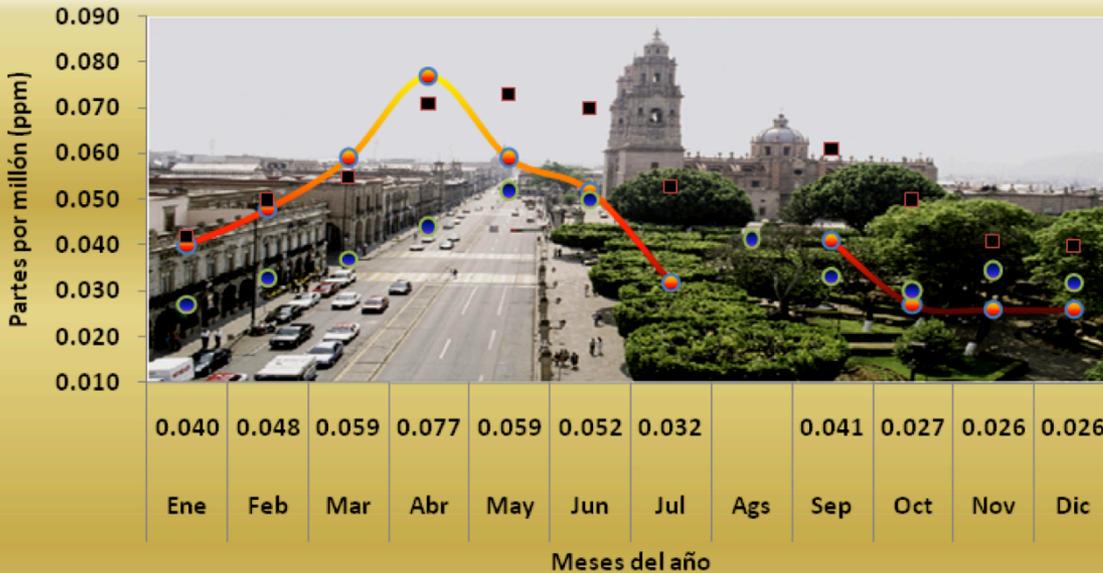


Este escenario de imprecisiones podría facilitar una guía efímera sobre los posibles efectos de los contaminantes atmosféricos en la salud pública y mortalidad de los residentes de la ciudad de México y también aporta elementos suficientes de juicio, que cuestiona inevitablemente la eficiencia, o no de las políticas establecidas para el control de la contaminación del aire en la capital del país; más aún, en presencia de una carencia grande de informes técnicos y control de calidad de los datos en la década de los 80' y 90 del siglo pasado.



# EL FUTURO DE LA INVESTIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

De esta forma, los modelos matemáticos aquí presentados pueden ser aplicados también como método de control y prevención de la contaminación en el corto plazo (Correa-García, 2004; Correa-García et al., 2012). Por ejemplo en la Ciudad de Morelia, Michoacán (Correa García, 2010).

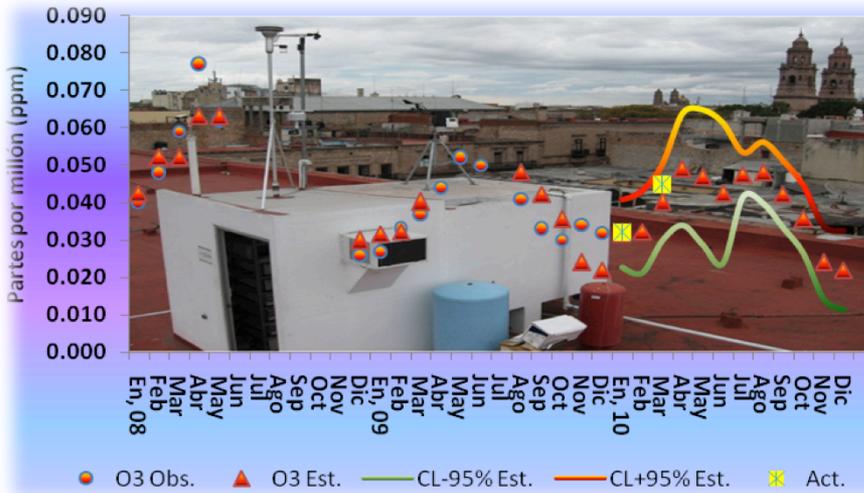


—●— O3 Observado, 2008    ■ O3 Estimado 2009    ● O3 Observado, 2009

|     | Valor Observado Año, 2008 | Valor Esperado Año, 2009 | Valor Observado Año, 2009 | Residual |
|-----|---------------------------|--------------------------|---------------------------|----------|
| Ene | 0.040                     | 0.042                    | 0.027                     | -0.015   |
| Feb | 0.048                     | 0.050                    | 0.033                     | -0.017   |
| Mar | 0.059                     | 0.055                    | 0.037                     | -0.018   |
| Abr | 0.077                     | 0.071                    | 0.044                     | -0.027   |
| May | 0.059                     | 0.073                    | 0.052                     | -0.021   |
| Jun | 0.052                     | 0.070                    | 0.050                     | -0.020   |
| Jul | 0.032                     | 0.053                    |                           |          |
| Ags |                           |                          | 0.041                     |          |
| Sep | 0.041                     | 0.061                    | 0.033                     | -0.028   |
| Oct | 0.027                     | 0.050                    | 0.030                     | -0.020   |
| Nov | 0.026                     | 0.041                    | 0.034                     | -0.007   |
| Dic | 0.026                     | 0.040                    | 0.032                     | -0.008   |

# EL FUTURO DE LA INVESTIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

## Proyección del promedio mensual del O<sub>3</sub>, para el año 2010 Correa García, (2010).



|          | Valor Observado Año, 2009 | Valor Estimado Año, 2010 | Limite de Confianza -95% | Limite de Confianza 95% | Incremento/ ó descenso en % |
|----------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| En, 2010 | 0.027                     | 0.032                    | 0.023                    | 0.041                   | 17.03                       |
| Feb      | 0.033                     | 0.032                    | 0.021                    | 0.043                   | -2.23                       |
| Mar      | 0.037                     | 0.040                    | 0.030                    | 0.050                   | 8.54                        |
| Abr      | 0.044                     | 0.049                    | 0.034                    | 0.064                   | 11.73                       |
| May      | 0.052                     | 0.047                    | 0.029                    | 0.065                   | -9.93                       |
| Jun      | 0.050                     | 0.043                    | 0.024                    | 0.061                   | -14.78                      |
| Jul      |                           | 0.048                    | 0.042                    | 0.053                   |                             |
| Ago      | 0.041                     | 0.048                    | 0.040                    | 0.056                   | 17.22                       |
| Sep      | 0.033                     | 0.042                    | 0.033                    | 0.051                   | 27.99                       |
| Oct      | 0.030                     | 0.036                    | 0.026                    | 0.045                   | 19.14                       |
| Nov      | 0.034                     | 0.024                    | 0.014                    | 0.034                   | -29.29                      |
| Dic      | 0.032                     | 0.022                    | 0.011                    | 0.032                   | -31.41                      |

|  | N              | O              | T | A |
|--|----------------|----------------|---|---|
| <b>A partir del 31 de enero, 2010 el transmisor de datos esta averiado. Se muestrea sistemáticamente cada 1 hora, nueve horas al día desde Marzo</b> |                |                |   |   |
|  | Enero          | Marzo          |   |   |
| Enero, 2010  | O <sub>3</sub> | O <sub>3</sub> |   |   |
| Núm. Datos   | 739            | 117            |   |   |
| Promedio   | 0.032          | 0.045          |   |   |
| Desv. Est.   | 0.014          | 0.017          |   |   |
| Varianza   | 0.000          | 0.000          |   |   |
| Valor máximo   | 0.103          | 0.095          |   |   |
| Valor mínimo   | 0.014          | 0.010          |   |   |
| % de Muestreo  | 99             | 16             |   |   |
| Días monitoreados  | 31             | 5              |   |   |

## Conclusiones

La contaminación del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) descendió en los últimos 25 años. Sin embargo, las interferencias en las mediciones de los contaminantes reportadas en este libro, contradice la eficiencia o no, de las políticas de control de la contaminación del aire del Valle de México, o bien que se desconoce el aporte de estas fallas, sobre la tendencia actual de la contaminación del aire.

Los modelos matemáticos a corto plazo, planteados en este libro podrían aplicarse como una herramienta de control y prevención de la contaminación atmosférica.

Las autoridades encargadas de la aplicación de las contingencias ambientales en la ciudad de México, deben comunicar al público en general, la confiabilidad del evento en tiempo real.

*Por su atención Gracias...*