

# ***Charla 9: Investigación y Gestión de la Calidad del Aire en la Ciudad de México***

## **Taller Centroamericano de Pronosticado de la Calidad del Aire**

San Jose, Costa Rica

*17-21 de Octubre de 2011*

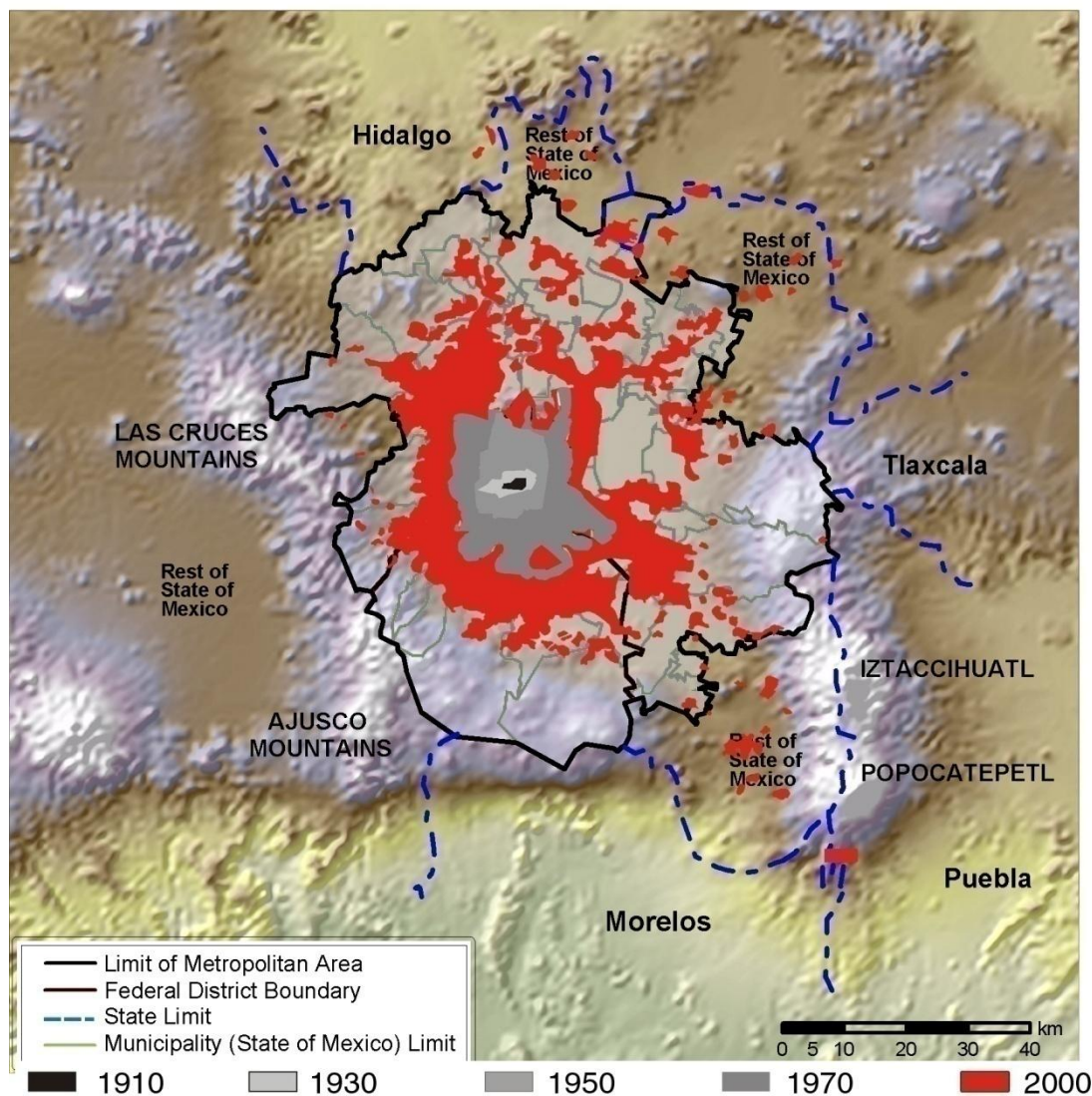


# Desarrollos recientes en investigación y gestión de la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México

## Esquema de la Presentación

- Demografía, topografía y emisiones en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)
- Historia de los programas de gestión de calidad del aire en la ZMVM
- Programas de gestión de calidad de en la ZMVM
- Estudio de Mediciones en Campo en la ZMVM
  - Campaña de mediciones MCMA 2002/2003
  - Campaña MILAGRO 2006
- Documental:  
Megaciudades: MILAGRO en la Ciudad de México

# Mapa Topográfico de la Ciudad de México donde se muestra la expansión urbana



## ➤ Crecimiento Poblacional

- 18 millones (2000):  
aumentó 20 veces desde 1900

## ➤ Expansión Urbana

- 1500 km<sup>2</sup> (2000):  
aumentó 10 veces desde 1960
- Expansión hacia áreas periféricas

## ➤ Condiciones Geográficas y Topográficas

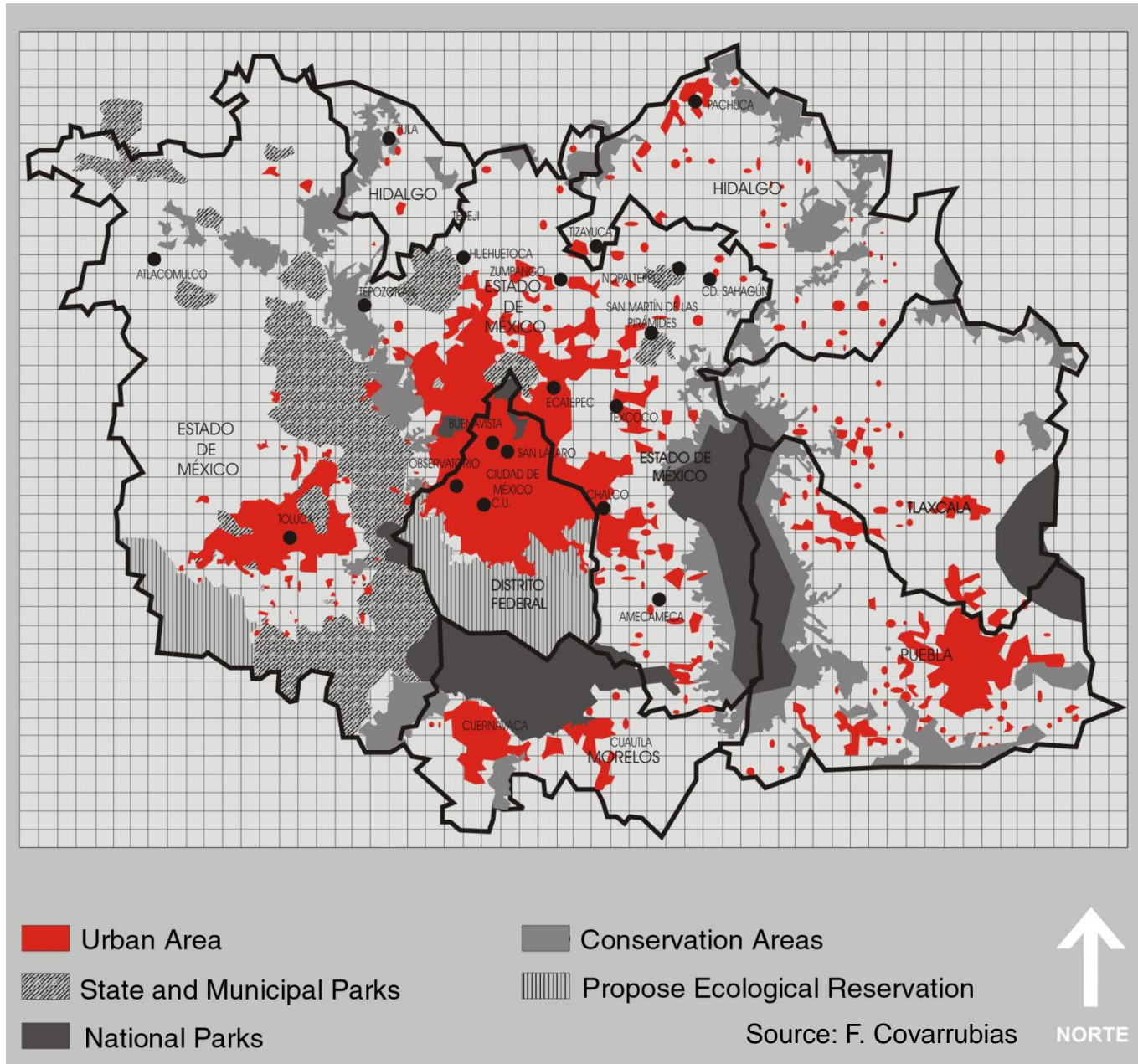
- Gran altitud (2240m): procesos de combustión menos eficientes
- Las montañas son barreras físicas para el viento
- Las 2da mas grande mega ciudad en el mundo

>Inversiones de temperatura en época seca

## ➤ Aumento en las Fuentes de Emisión

Source: L.T. Molina and M.J. Molina, ed., Air Quality in the Mexico Megacity: An Integrated Assessment, Kluwer Publishers, 2002.

# Megalopolis en 2000



# Zona Metropolitana del Valle de México

- La población de la ZMVM se encuentra dividida de igual manera en dos circunscripciones locales diferentes: el Distrito Federal y el Estado de México; también es la capital del país y el sitio del gobierno federal.
- La Comisión Ambiental Metropolitana fué creada para coordinar las políticas y programas que se aplican en la ZMVM. Los miembros incluyen: a nivel federal la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, la Secretaria de Salud; a nivel local el jefe del gobierno del Distrito Federal y el gobernador del Estado de México.
- 20 millones de habitantes, incluyendo:
  - 2.2 millones de niños
  - 250,000 vendedores ambulantes
  - 250,000 conductores de taxis, microbuses y camiones
- Más de 30 millones de recorridos realizados por personas diariamente
- Los habitantes invierten en promedio 3 horas al día trasladándose de un lugar a otro, mientras que 20% emplean 4 o más horas
- Los niveles de exposición de CO, PM, COVs y NO<sub>x</sub> son de 3 a 4 veces mayores en los microambientes creados por el desplazamiento vehicular, que en las estaciones dentro de los sitios de monitoreo fijos.

# Estado de la Calidad del Aire en la ZMVM

## ➤ A principios de la década de los años 80 - 90:

- Se excedían de manera frecuente los Estándares de Calidad del Aire de **TODOS LOS CONTAMINANTES CRITERIO**
- En 90% de los días del año se excedía la norma para los niveles de ozono
- Los niveles pico de ozono eran mayores a 300 ppb en 40 a 50 días del año

## ➤ A finales de la década de los años 90:

- Los niveles de Pb y SO<sub>2</sub> se mantuvieron dentro de los valores establecidos por los estándares de calidad
- Los niveles de CO y NO<sub>2</sub> raramente excedieron los niveles permitidos
- Los niveles pico de ozono por encima de los 300 ppb de 3 a 4 días al año únicamente
- Los niveles de ozono todavía se encontraban por encima de los valores que establece la norma en 85% de los días
- PM10 partículas sobrepasaban los niveles permitidos de 20 a 30% de los días

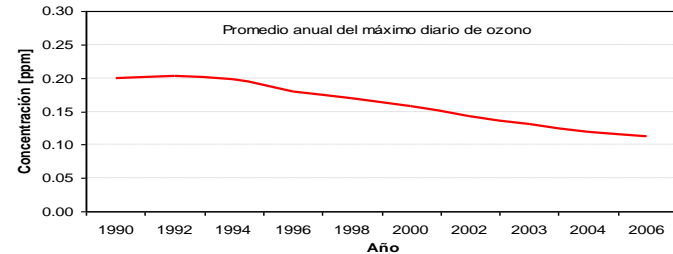
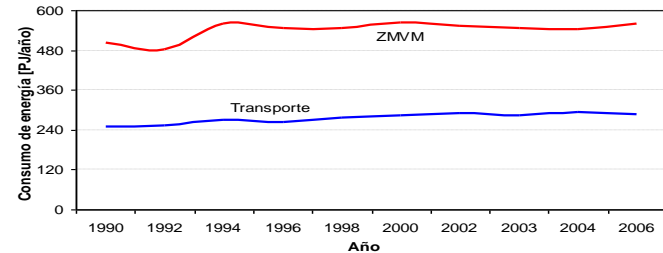
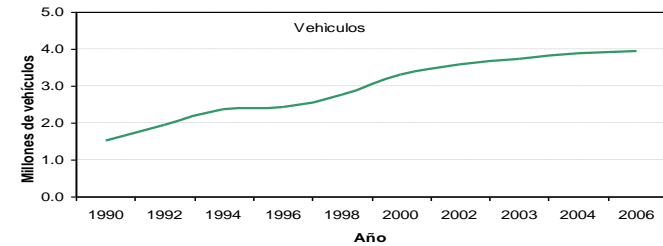
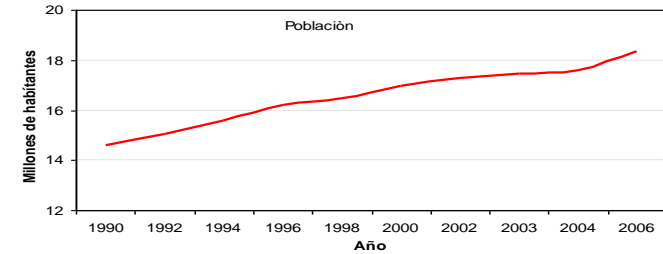
## ➤ Actualmente:

- Los niveles de ozono sobrepasaban los niveles permitidos de 50% de los días
- Las partículas PM10 sobrepasaban los niveles permitidos de 10% de los días
- Las partículas PM2.5 (iniciando en 2003) superan la norma anual de calidad del aire en todos los sitios donde las mediciones se encuentran disponibles.

# Normas de Calidad del Aire en México

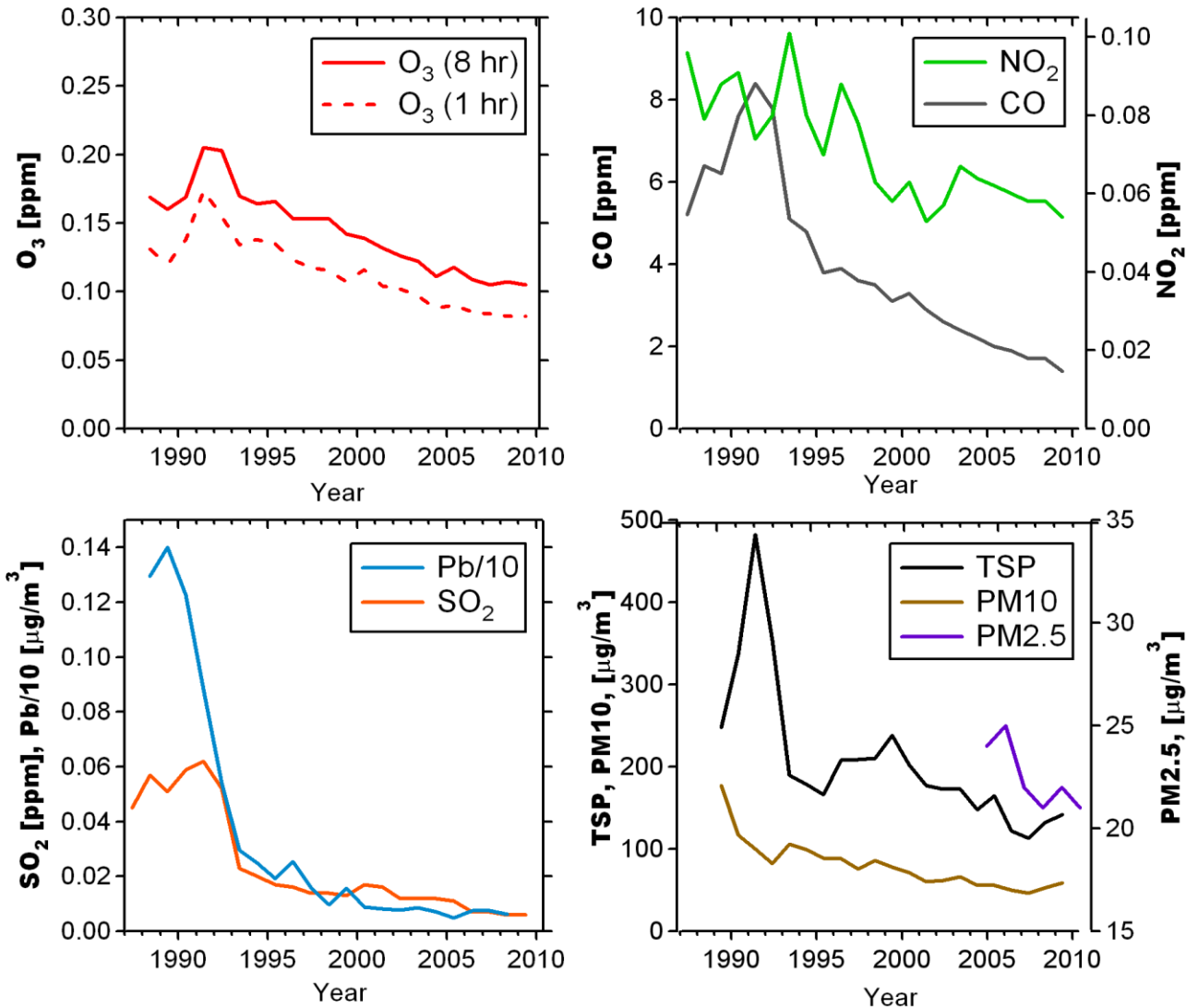
POLLUTANT	NORMA	
	Estados Unidos	Mexico
<b>Monóxido de Carbono (CO)</b>		
Promedio 8-horas	9 ppm	11 ppm
Promedio 1-hora	35 ppm	
<b>Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)</b>		
Promedio Anual	0.053 ppm	
Promedio 1-hora		0.21 ppm
<b>Ozono (O<sub>3</sub>)</b>		
Promedio 8-horas	0.08 ppm	
Promedio 1-hora	0.12 ppm	0.11 ppm
<b>Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)</b>		
Promedio Anual	0.030 ppm	0.030 ppm
Promedio 24-horas	0.14 ppm	0.13 ppm
<b>PM<sub>2.5</sub></b>		
Promedio Anual	15 µg/m <sup>3</sup>	
Promedio 24-horas	65 µg/m <sup>3</sup>	
<b>PM<sub>10</sub></b>		
Promedio Anual	50 µg/m <sup>3</sup>	50 µg/m <sup>3</sup>
Promedio 24-horas	150 µg/m <sup>3</sup>	150 µg/m <sup>3</sup>
<b>Partículas Suspendidas Totales (PST)</b>		
Promedio Anual		75 µg/m <sup>3</sup>
Promedio 24-horas		260 µg/m <sup>3</sup>
<b>Plomo (Pb)</b>		
Promedio trimestral	1.5 µg/m <sup>3</sup>	1.5 µg/m <sup>3</sup>

# Población, Flota Vehicular, Consumo de Energía y and tendencias de la Concentración de Ozono en la ZMVM (1990-2006)



(<http://www.sma.df.gob.mx>)

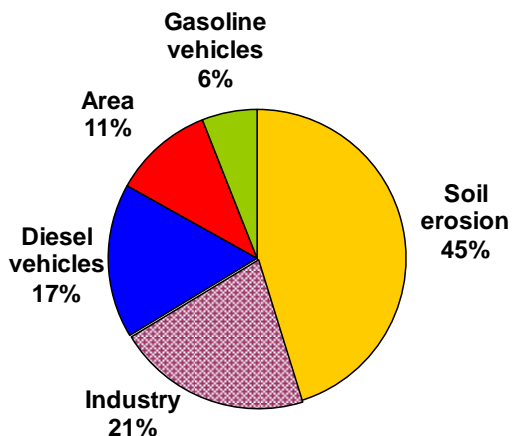
# Tendencia de la Calidad del Aire en la Ciudad de México



Tendencias de calidad del aire en la ZMVM. Las gráficas muestran las concentraciones calculadas como el promedio máximo del quinto año de todas las estaciones con datos válidos para un año determinado para los contaminantes criterios: O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, Pb (dividido entre 10), PST (partículas suspendidas totales), PM10 y PM2.5. (Datos proporcionados por SMA-GDF, 2009)

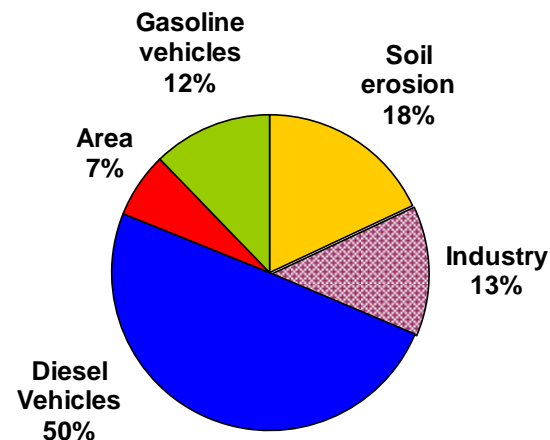
# Fuentes de Emisión en la Ciudad de México (2006)

## PM10



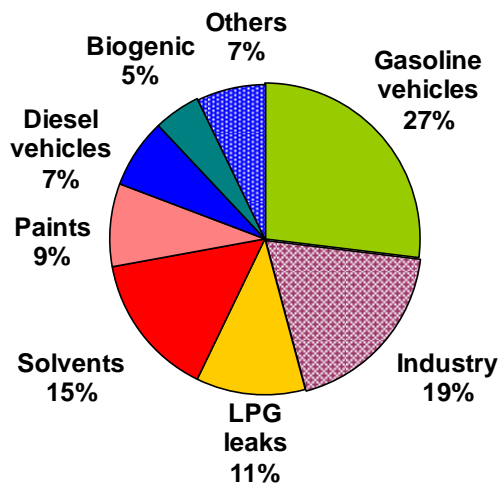
**Total: 23,000 tons/año**

## PM2.5



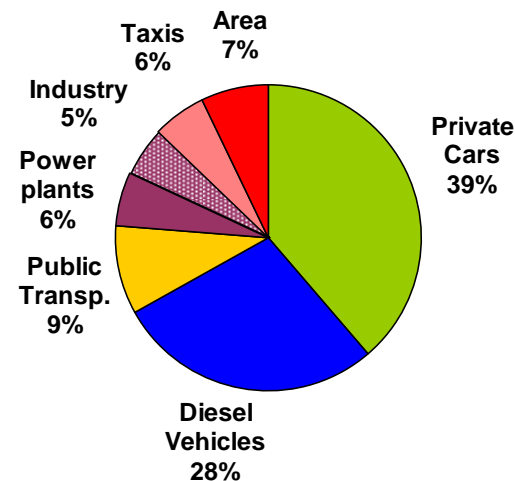
**Total: 6,200 tons/año**

## COVs



**Total: 566,000 tons/año**

## NOx



**Total: 195,000 tons/año**

**Las fuentes móviles contribuyen**

<b>PM2.5</b>	<b>56%</b>
<b>PM10</b>	<b>23%</b>
<b>VOC</b>	<b>35%</b>
<b>NOx</b>	<b>83%</b>

# Historia de la Gestión de la Calidad del Aire en la ZMVM (1)

- 1960s: - Por primera vez se identifican problemas serios de calidad del aire por la Universidad Nacional Autónoma de México.
- 1970s: - Se instalan las primeras estaciones de monitoreo de contaminantes,
  - Se elabora el primer inventario de emisiones,
  - Se inicia la recopilación sistemática de datos de SO<sub>2</sub> y partículas suspendidas totales
- 1971: - Primer marco jurídico-- Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental
- 1979: - Programa Coordinado para mejorar la calidad del aire en el Valle de México para reducir emisiones vehiculares e industriales.
- 1982: - Ley Federal de Protección al Ambiente (modificada en 1984 para incluir la red de vigilancia de la calidad del aire)
- 1985: - Creación de la Comisión Nacional de Ecología-- para coordinar las diferentes instituciones que se ocupan de acciones ambientales)

***Las crisis financieras de principios de los 1980s y el terremoto de 1985 en la Cd de Mexico desviaron la atención y recursos para la aplicación de programas de gestión de calidad del aire***

## Historia de la Gestión de la Calidad del Aire en MCMA (2)

**1980s:** - La red de monitoreo de calidad del aire revela altas concentraciones de contaminantes

- **TODOS LOS CONTAMINANTES** con frecuencia sobrepasan las normas de calidad del aire
- La norma de ozono se superó el 90% de los días,
- Los picos de ozono sobre 300 ppb 40-50 días al año alcanzando valores cercanos a 400 ppb
- El público y grupos ambientales exigieron acciones del Gobierno al empeorar la calidad del aire
- Gobierno mexicano puso en marcha las acciones de emergencia:
  - “21 medidas para controlar la contaminación en MCMA” 1986
  - “100 medidas necesarias para reducir la contaminación” 1987

**1988:** - Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

- Programa de verificación vehicular se vuelve obligatorio
- Primer plan de contingencia para días con alta contaminación.
- “Hoy No Circula”

# Historia de la Gestión de la Calidad del Aire en MCMA (3)

- 1990: - Primer programa de gestión de la calidad del aire - PICCA
  - Se introduce la gasolina sin plomo
- 1992: - Se crea la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM)
- 1993: - Diesel con 500 ppm de azufre; catalizadores de 3-vías
- 1994: - Se crea la Secretaria del Ambiente Federal (SEMARNAP)
- 1995: - Segundo Programa para mejorar la calidad del aire (PROAIRE 1995-2000 )
  - Fondo Fiduciario Ambiental (impuesto a gasolina)
- 1997: - Se elimina la gasolina con plomo
  - Inicia la instalación de sistemas de recuperación de vapor
  - Modificación al programa “Hoy No Circula”
  - Cambios a la Ley General Ambiental (participación pública y acceso a la información)
- 1999: - Se aplican la normas TIER I para vehiculos nuevos
- 2001: - Tercer PROAIRE 2002-2010
- 2007: - Plan Verde

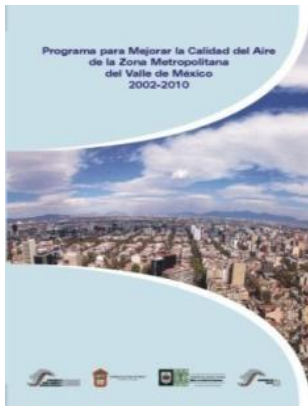
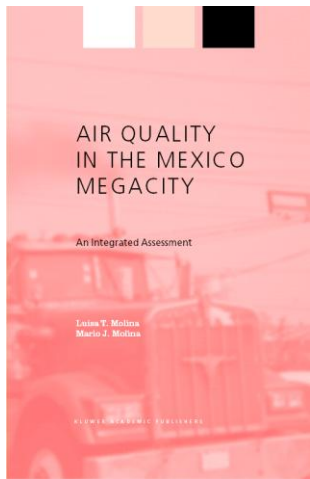
# Gestión de la Calidad del Aire en la ZMVM (PROAIRE 2002-2010)

El Programa PROAIRE actual contiene una serie de 89 medidas --- extraídas de las conclusiones basadas en la ciencia y las recomendaciones del **MIT Integrated Program on Urban, Regional and Global Air Pollution**

➤ Investigación de colaboración y programa de educación involucrando la participación de México, Estados Unidos y otras instituciones internacionales.

➤ Diseñar una estrategia integral para la gestión de la calidad del aire en la ZMVM en apoyo del desarrollo de PROAIRE 2002 - 2010.

- Evaluación integrada de la calidad del aire
- Modelación de la calidad del aire y exposición a la contaminación
- Evaluación de los efectos en salud de la contaminación
- Diseño y evaluación de estrategias de control
- El análisis económico de las estrategias
- Análisis Integrado
- Formación y educación de personal en gestión de calidad del aire



# Recomendaciones del Proyecto de la Ciudad de México: Monitoreo Atmosférico y Mediciones

- Inventario de emisiones - actualizar, evaluar y desarrollar factores de emisión locales
- Fortalecer el monitoreo de la calidad del aire (añadir PM2.5 y otros contaminantes; más estaciones)
- Mediciones de compuestos tóxicos en el aire y estudios de exposición
- Mediciones intensivas de campo:
  - Transformación urbana y regional de las emisiones
  - Procesos de formación de ozono
  - Fuentes y composición de las partículas finas
  - Pronóstico Meteorológico
  - Modelación de la calidad del aire

(La Campaña MCMA-2002/2003 fue patrocinada por la Comisión Ambiental Metropolitana del Valle de México)

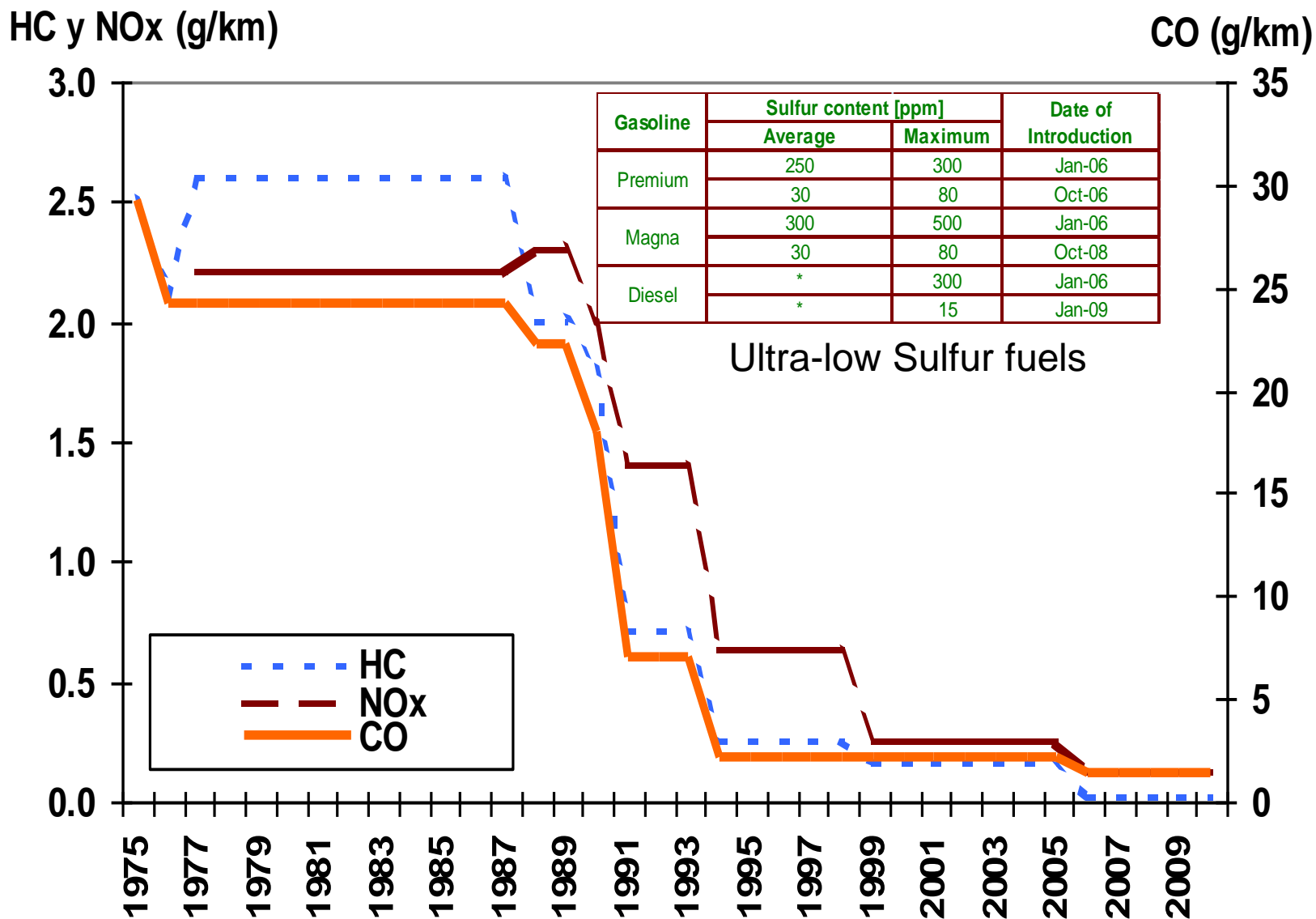
# Recomendaciones del Proyecto de la Ciudad de México : Estrategias para reducir emisiones en el transporte

- Lanzar un programa de modernización o retirar las flotas de camiones, autobuses y automóviles mas contaminantes.
- Ajustar "normas en los tubos de escape (tailpipe)" en todos los autos nuevos, camiones y autobuses vendidos en México, para que cumplan con los estándares mundiales.
- Introducir combustibles ultra bajo azufre, tanto para gasolina como diesel, que se requiere para las tecnologías de autos y camiones limpios.
- Construir corredores estratégicos que reduzcan los congestionamientos y mejoren la calidad del aire.
- Sustituir los autobuses de poca capacidad por Autobuses de Transito Rápido (BRT)
- Actividades de divulgación y participación de los interesados

# Ejemplo del Cumplimiento del PROAIRE en la ZMVM

- Desarrollo del Transporte Rápido de Pasajeros (**Metrobus**).
- 45 nuevos trenes del metro fueron comisionados.
- Más de 35.000 taxis y 2422 microbuses han sido sustituidos, y 1,006 autobuses nuevos se incorporaron al Sistema de Transporte Público.
- Mejorar la infraestructura vial de la ciudad, la construcción de autopistas y circunvalaciones en los cruces conflictivos.
- La medición de PM2.5 se inicia en el 2003 en la ZMVM.
- Actualización de la norma para los límites de emisión para vehículos de gasolina y evitar trampas durante el programa de I/M.
- Reducir las emisiones de las industrias más contaminadas en el DF a través de la promoción de las exenciones al Programa de Contingencia de Contaminación del Aire, la autorregulación, el desarrollo de auditorías ambientales y la promoción de incentivos fiscales.

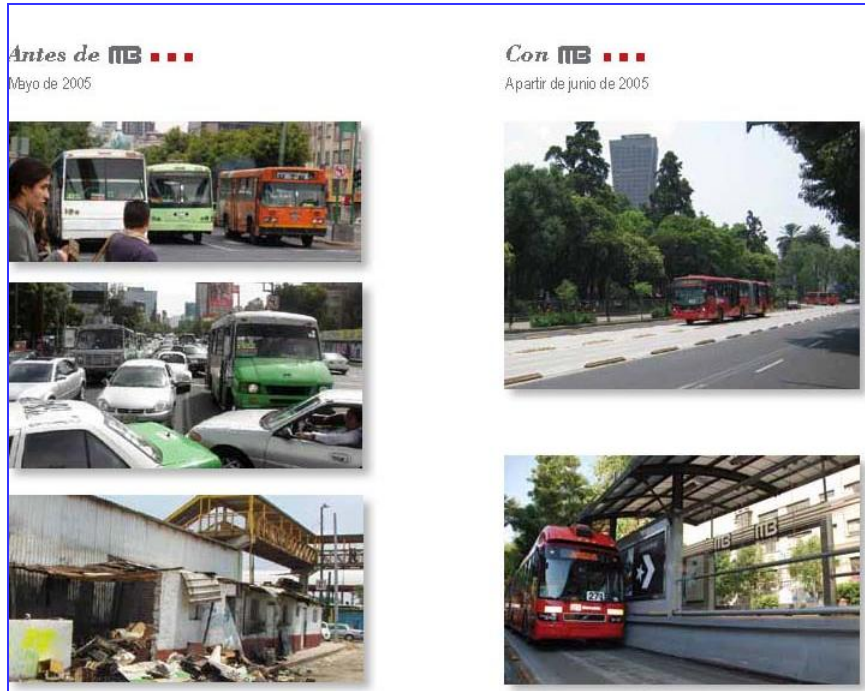
# Evolución de las normas de emisión para vehículos nuevos a gasolina en México



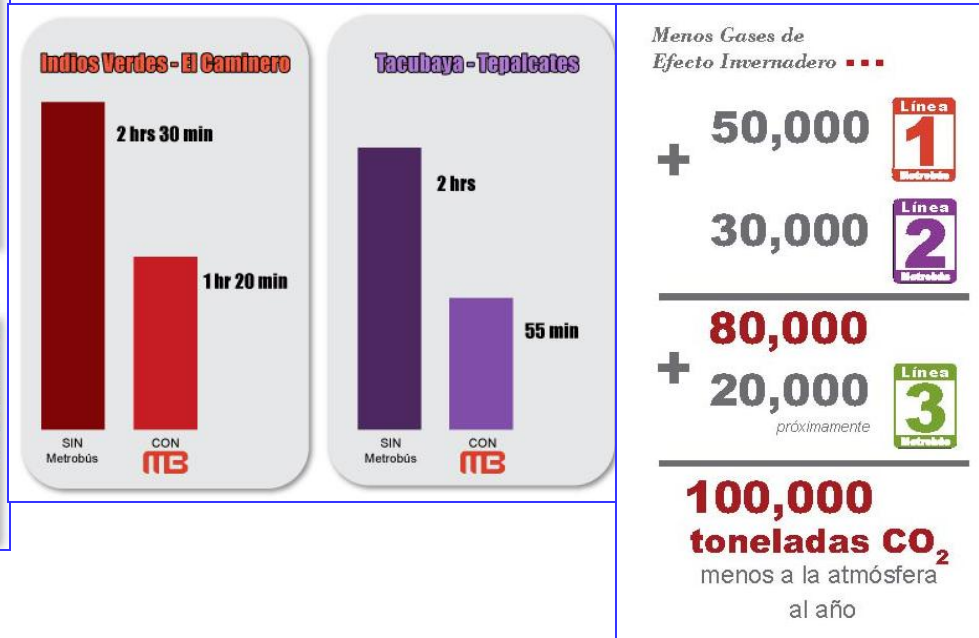
# Estrategias Actuales para Mejorar la Calidad del Aire y la Movilidad y Reducir los Gases de Efecto Invernadero

- Desarrollo del sistema BRT (Metrobus, la tecnología Euro IV), con la construcción de 10 nuevos corredores, dos cada año hasta el 2012.
  - El primer corredor de transporte confinado público fue inaugurado en junio 2005
  - Capacidad de pasajeros – 160; transporte de 236,000 personas cada día; reemplazamiento de 250 autobuses y microbuses en esa avenida
- Ampliación del sistema de metro subterráneo (cruzan la ciudad de oeste a este)
- La construcción de 300 km de carriles para bicicletas y sendas verdes
- Implementación del uso obligatorio de transporte escolar en escuelas privadas para reducir el tráfico durante horas pico
- Restricción a la circulación de camiones pesados comerciales y de carga
- Coordinar los objetivos de calidad del aire con programas de reducción de gases de efecto invernadero para obtener beneficios conjuntos de las políticas aplicadas.

# Metrobus: Impacta sobre la circulación, calidad del aire y las emisiones de gases de Efecto Invernadero



Based upon successful experiences of BRT in Curitiba and TransMileneo in Bogota.



- Reducción en las emisiones locales e impactos resultantes en la salud
- Reducción en el tiempo de traslado (de ~40% con la construcción de 2 líneas)
- Reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero
  - Primer proyecto para vender reducciones como parte de su financiamiento.
  - Sept, 2009: oficialmente aprobado para vender bonos de carbono en el mercado internacional.

# **Campaña de Mediciones**

**MCMA-2002/2003 y MILAGRO -2006**

# La urbanización y sus impactos locales, regionales y globales



El uso creciente de energía en zonas urbanas aunado a las actividades industriales y a los automóviles, producen altas concentraciones de gases y aerosoles en la atmósfera.

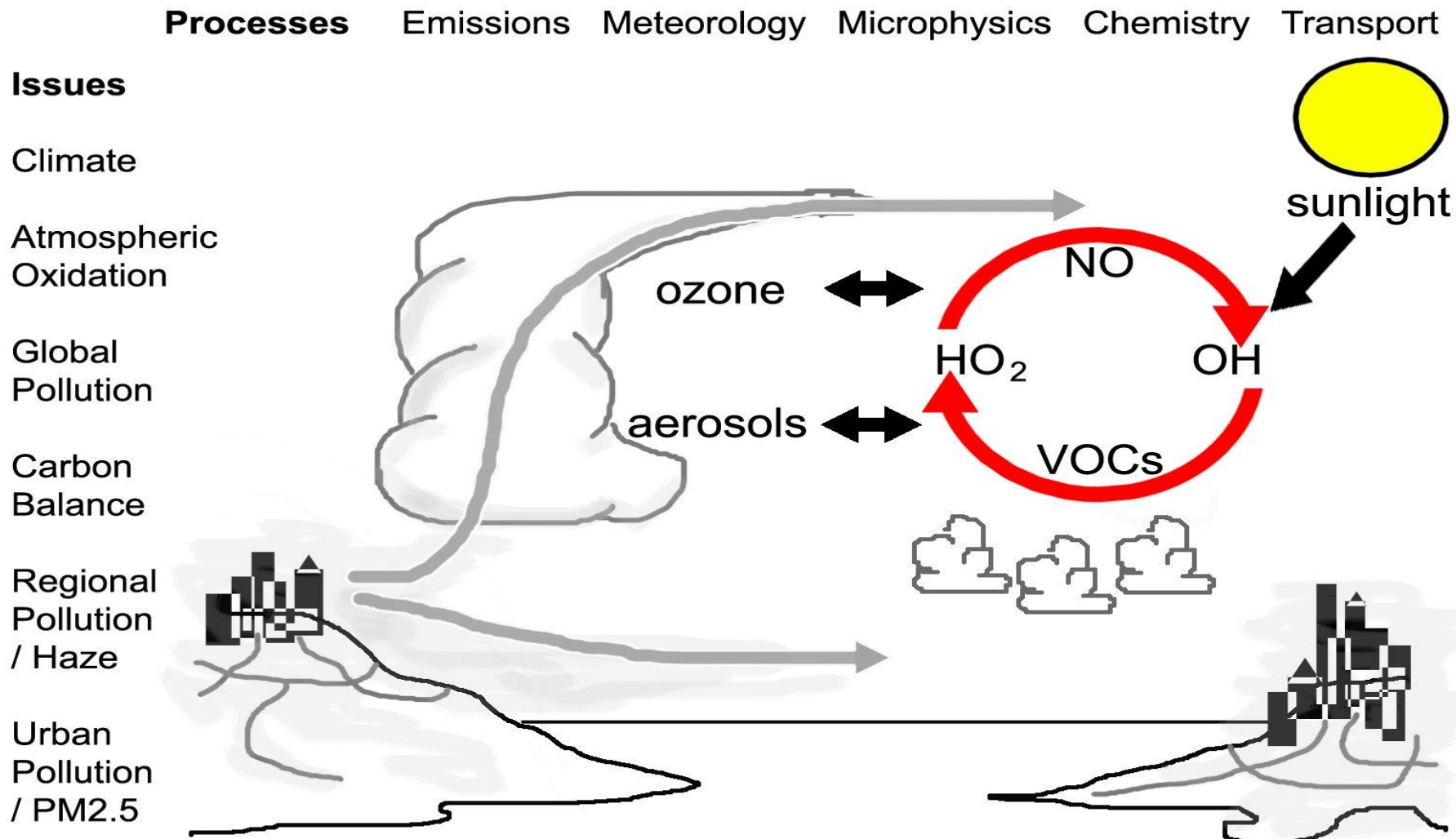
- *deterioro en la calidad del aire en las ciudades;*
- *efectos crónicos y agudos en la salud;*
- *disminución en la visibilidad.*

Los contaminantes emitidos en zonas urbanas reaccionan con la luz del sol y forman otros productos, aún en zonas lejanas a la propia ciudad.

- *deposición acida;*
- *degradación de los ecosistemas;*
- *cambios en el clima regional.*

*Los impactos globales que tienen los gases traza y aerosoles pueden modificar la meteorología y el clima del planeta.*

# Procesos Importantes en la Contaminación del Aire

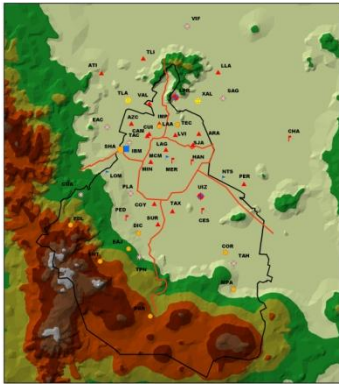


(figure from W. Brune)

**Para reducir la contaminación se deben conocer todos estos procesos. Nuestro nivel de conocimiento actual es bueno, pero no es suficiente. ¡Necesitamos un sistema de observación y modelación!**

# Estrategia para realizar Estudios sobre Contaminación

## Red de Monitoreo



**SIMBOLOGIA**  
▲ STAN    ▲ STAN MEDIO ALTO  
● STAN MEDIO ALTO    ● STAN MEDIO ALTO  
○ STAN MEDIO ALTO    ○ STAN MEDIO ALTO  
○ STAN MEDIO ALTO    ○ STAN MEDIO ALTO

SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE  
GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL

### ventajas

- Mediciones continuas de contaminantes criterio
- Los estudios especiales adicionan otros contaminantes

### desventajas

- Se tienen pocos sitios
- Son pocos los contaminantes medidos de manera ininterrumpida

## Aeronaves



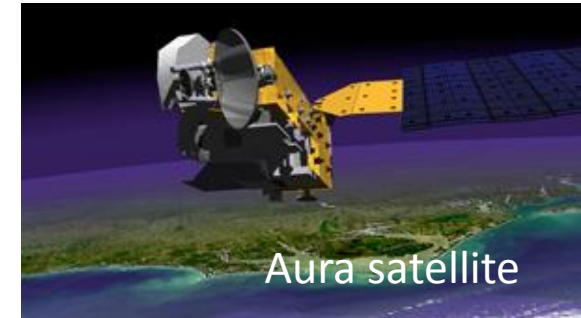
### ventajas

- Alcance regional
- Capacidad de persecución de la pluma de contaminantes
- Son posibles los cargamentos químicos completos

### desventajas

- Solo se utilizan para estudios especiales
- **Únicamente un lugar a la vez**
- El costo es relativamente caro (varios millones de dólares)

## Satélites



Aura satellite

### ventajas

- Observaciones globales diarias
- Vigilancia constante de contaminantes criterio

### desventajas

- Número limitado de mediciones de contaminantes
- Algunos satélites no logran observar el suelo
- Costo elevado (cientos de millones de dólares)

***Debemos utilizar las tres plataformas y muchos modelos***

# La Campaña MILAGRO

## Megacity Initiative: Local And Global Research Observations

### Objetivos Científicos:

- ¿Cuál es la extensión temporal y espacial de las plumas de contaminantes de las megaciudades?
- ¿Cómo y dónde son removidos los contaminantes urbanos de la atmósfera?
- ¿Cuáles son los impactos regionales y globales de las plumas de contaminantes de las zonas urbanas?

### ¿Por qué la Ciudad de México?

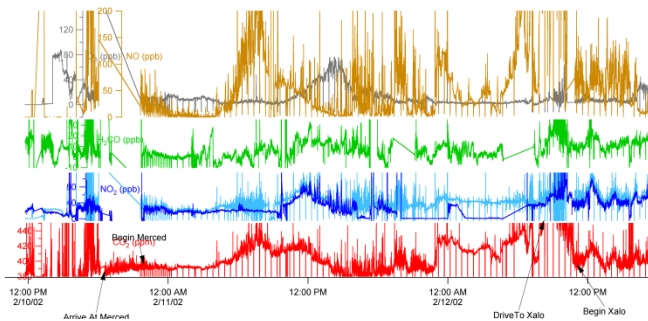
- Es representativa de una megaciudad tropical
- Red extensiva de monitoreo de la calidad del aire
- Buen apoyo meteorológico, inventarios de emisiones e infraestructura
- Excelente colaboración científica
- Campañas anteriores: MCMA-2002/2003:
  - Bastantes aerosoles en el área representativa – señal grande
  - Elevada actividad fotoquímica para maximizar los cambios químicos
  - Compuestos orgánicos de importancia en aerosoles orgánicos secundarios
  - Operaciones de superficie y aéreas – sitios viento abajo
  - Ciudad dominante en la región – ubicación única para estudiar plumas de contaminantes

# Campaña de mediciones MCMA-2002/2003

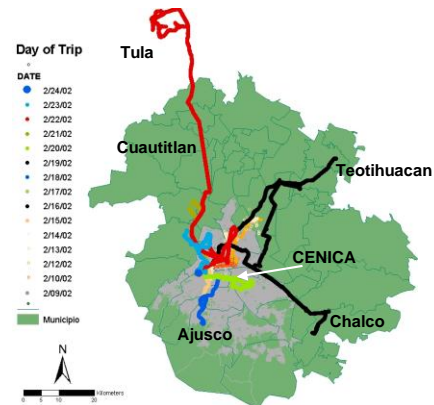
- **Misión Exploratoria en Febrero del 2002**  
Periodo de dos semanas utilizando Laboratorios Móviles
- **Campaña Intensiva de Mediciones en Abril del 2003**  
Periodo de cinco semanas (incluyendo Semana Santa)  
Laboratorios Móviles, Supersitios, Unidades Móviles en Sitios Frontera  
Más de 100 investigadores; **30 instituciones de México, EU y Europa**
- **Patrocinadores:** Comisión Ambiental Metropolitana, MIT, NSF, PEMEX, otros.

## El laboratorio móvil de Aerodyne:

### Muestreo Fijo



### Muestreo móvil/Mapeo



### Siguiendo Vehículos



# Campaña MILAGRO : Cobertura Geográfica



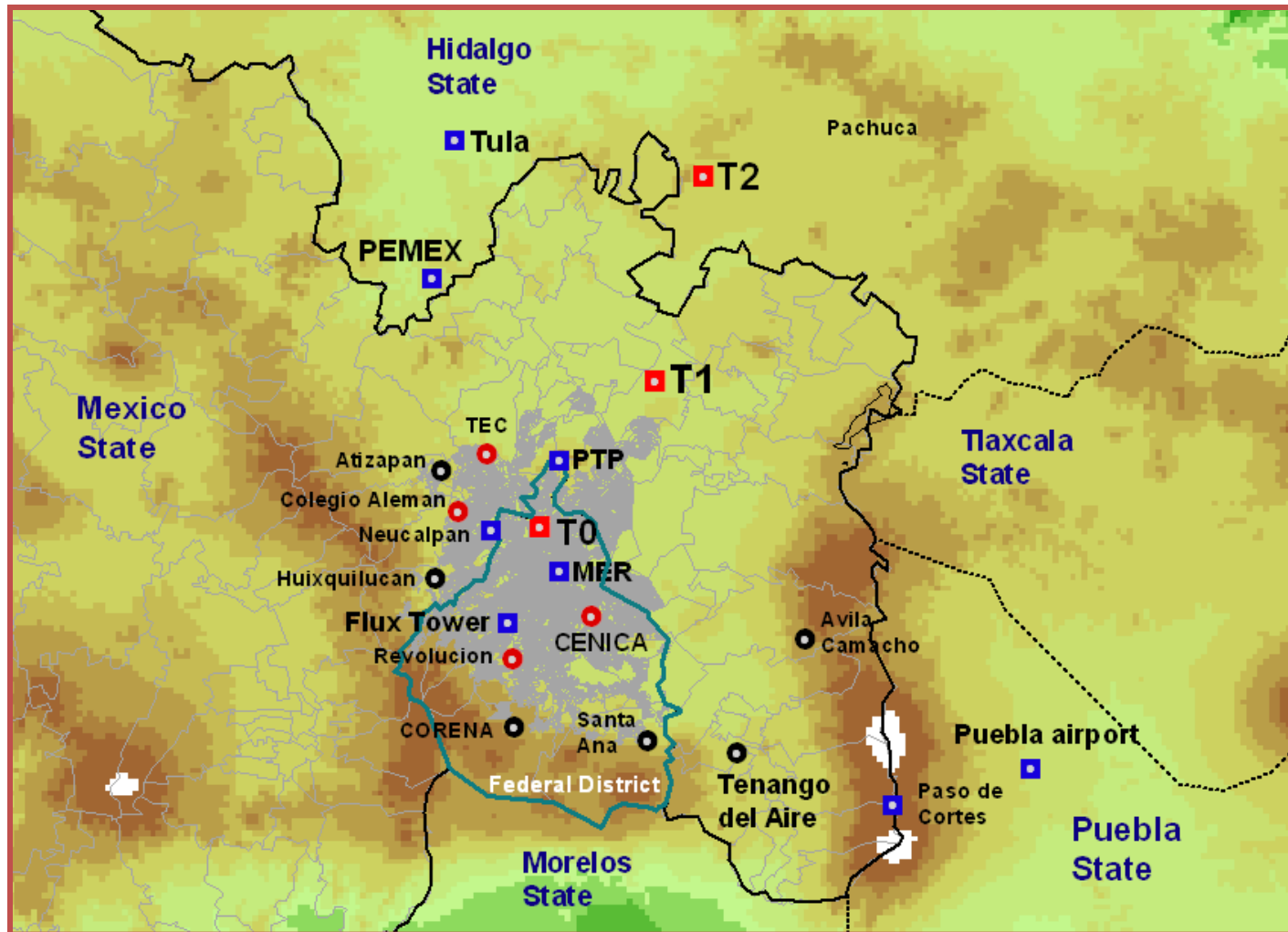
**INTEX-B**  
**NASA DC-8**  
**J-31, Satélites**

**MIRAGE-Mex**  
**NSF C-130,**  
**King Air, Superficie**

**MAX-Mex**  
**DOE G-1,**  
**KingAir, Superficie**

**MCMA-2006**  
**Superficie,**  
**Laboratorios Móviles**

# MCMA-2006: Sitios de Monitoreo



- Supersites (T0, T1, T2)**
- SIMAT (Flux Tower)**
- CENICA**
- Tula (refinery, power plant)**
- Naucaplan (industrial zone)**
- RAMA (36 monitoring stations)**
- Mobile units (9 stations)**
- Mobil Labs**
  - ARI Mobile Lab
  - U. Iowa (Lidar)
  - Chalmers (DOAS)
- Ultralight airplane**
- Paso de Cortes**
- AOT Network**

● Fixed site    ● Mobile site    ■ Supersite    ■ Other measurements

# Campaña MILAGRO: Supersitios



**T0: supersite of MCMA-2006**, equipped with instruments to measure gases, aerosols, radiation and meteorological parameters to characterize the emissions of pollutants from the urban area



**T0: Instituto Mexicano del Petróleo, DF**



**T1: Universidad Tecnológica de Tecámac, EM**  
examine outflow of urban plume

**T2: Rancho La Bisnaga**  
(near Tizayuca, Hidalgo)  
study the evolution of aerosols

# Pronósticos de MILAGRO

## El Equipo de Pronósticos del Centro de Operaciones de Veracruz

- **Reuniones informativas todos los días a las 11:00**
  - 7 Modelos de Simulación Específicos para la Campaña
  - La experiencia de meteorólogos locales
  - Modelos de Pronósticos Globales
  - Observaciones de Radar y Satelitales
  - Redes de Mediciones de Superficie y en las alturas
- **Productos de Pronósticos Específicos**
- **Interpretación individual e instrucciones** para planes, globos, laboratorios móviles, sitios fijos y todas las partes interesadas.

### **Repaso General:**

Principios de marzo: caluroso y seco – eventos O<sub>3</sub>-sur

Mediados y fines de marzo: Tormentas en Estados Unidos – O<sub>3</sub>-Norte, transporte Langragiano

Finales de marzo: “El Norte” (Frente Frío) – clima frío y mojado

**En general, los pronósticos ayudaron a localizar la pluma de contaminantes  
Actualmente se realiza la evaluación y la intercomparación de modelos**

# Hallazgos de MCMA-2003/MILAGRO-2006

- **Un conjunto de datos extremadamente abundante:**
  - El uso de la base de datos completa tomara algunos años de trabajo conjunto.
- **Los datos están disponibles a la comunidad científica internacional desde Marzo de 2008**
- **Dos ediciones especiales en Atmospheric Chemistry and Physics:**
  - **MCMA-2003 Field Measurement Campaign**  
[http://www.atmos-chem-phys.net/special\\_issue21.html](http://www.atmos-chem-phys.net/special_issue21.html)
  - **MILAGRO/INTEX-B 2006 Campaign**  
[http://www.atmos-chem-phys.net/special\\_issue8](http://www.atmos-chem-phys.net/special_issue8)
- **Total de Publicaciones:** ~ 55 de MCMA-2003; ~ 125 de MILAGRO-2006
- **Síntesis de los artículos:**
  - Molina, L.T., et al.: An overview of the MILAGRO 2006 campaign: Mexico City emissions and their transport and transformation, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 8697-8760, 2010.
  - Molina, L.T., et al.: Air Quality in North America's Most Populous City – Overview of MCMA-2003 Campaign. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, 2447–2473, 2007

# Clasificación de la ZMVM-2003 Eventos Meteorológicos

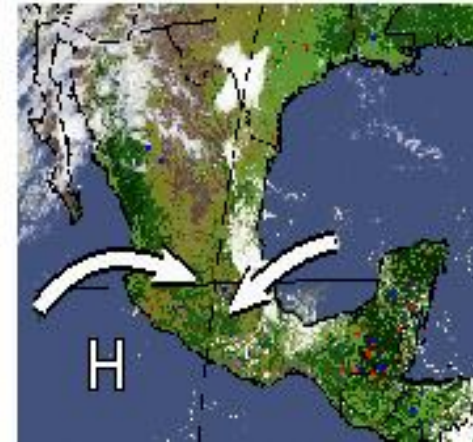
Tres episodios que corresponden a tres patrones de flujo de la cuenca y las diferentes características de escala sinóptica

Frente Frío

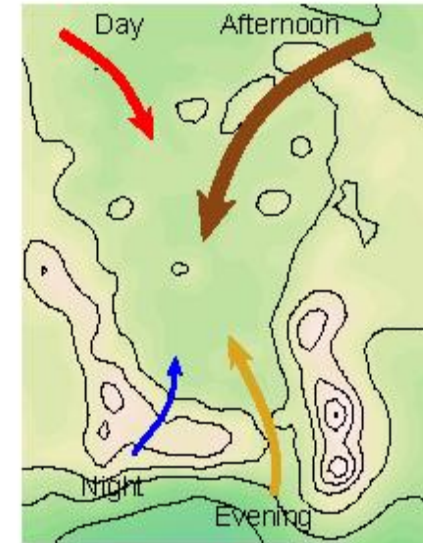
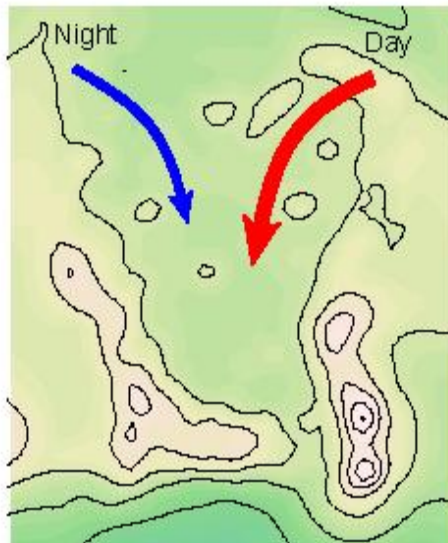
O3-Norte

O3-Sur

GOES-12



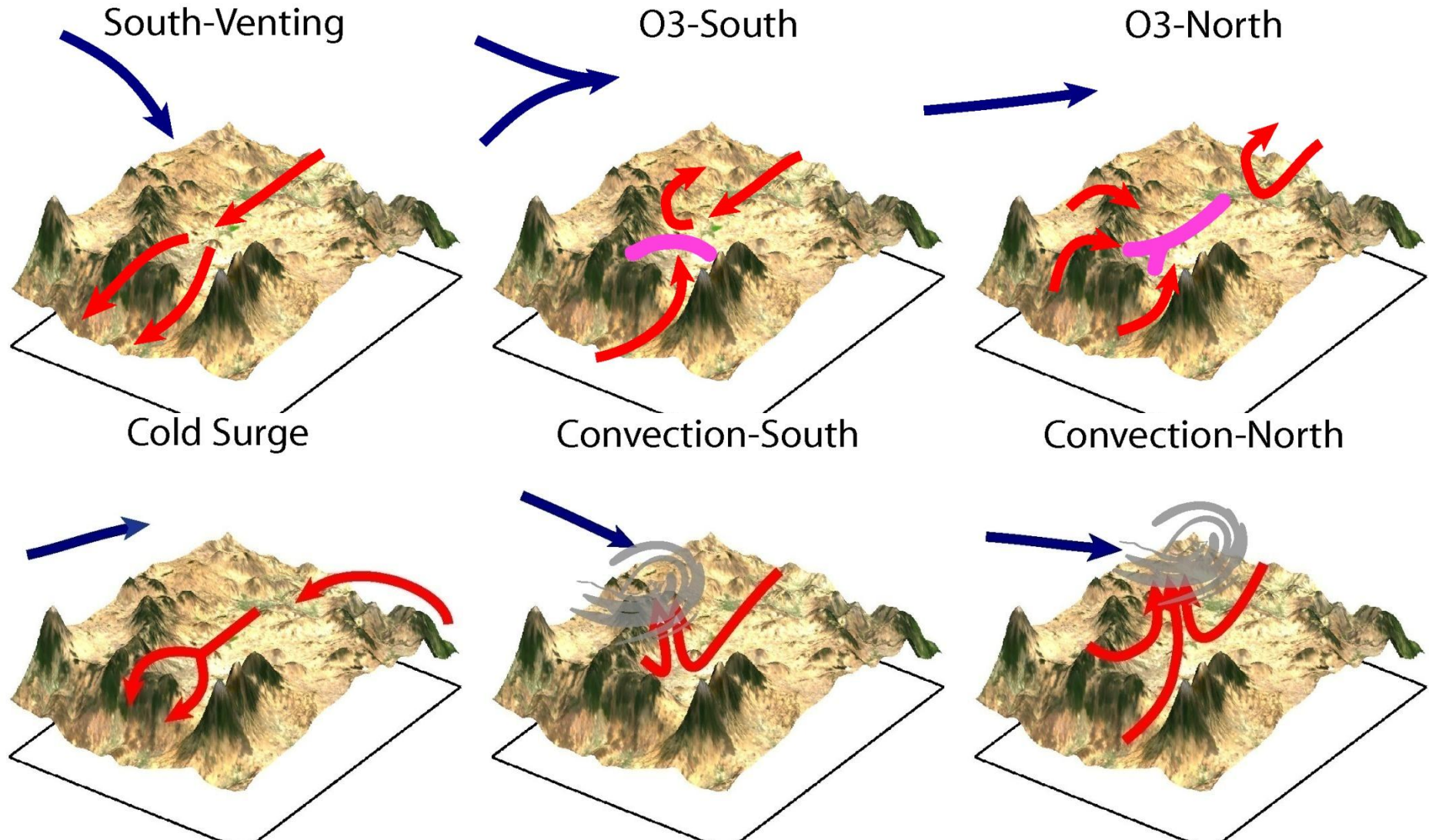
Esquema de la Cuenca



(Source: de Foy et al., 2006)

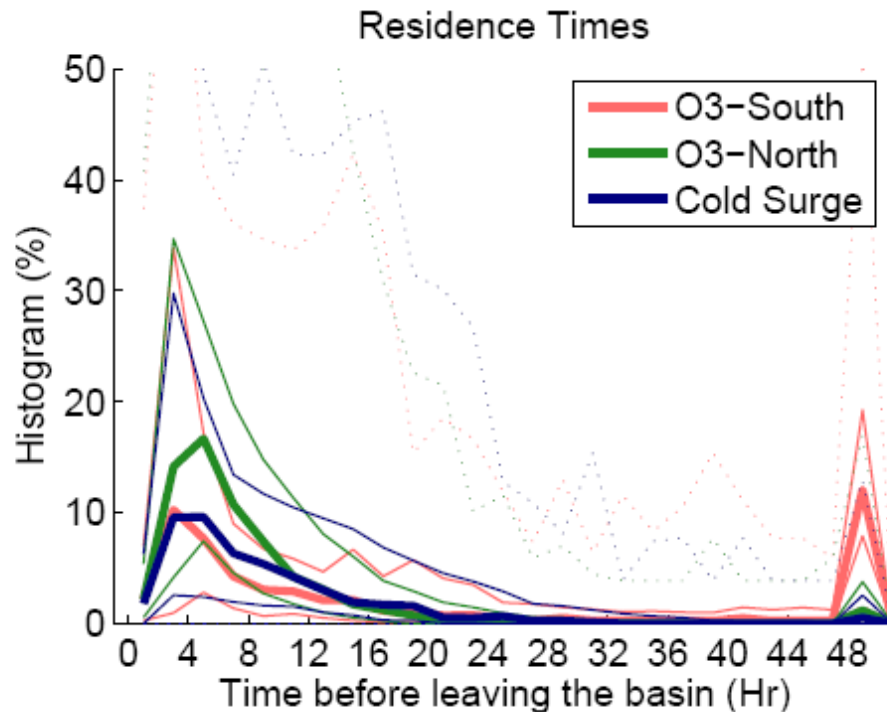
# Síntesis de Flujos en MCMA-2006 - MILAGRO

útiles para la atribución de los efectos meteorológicos sobre los cambios observados en los gases traza y PM

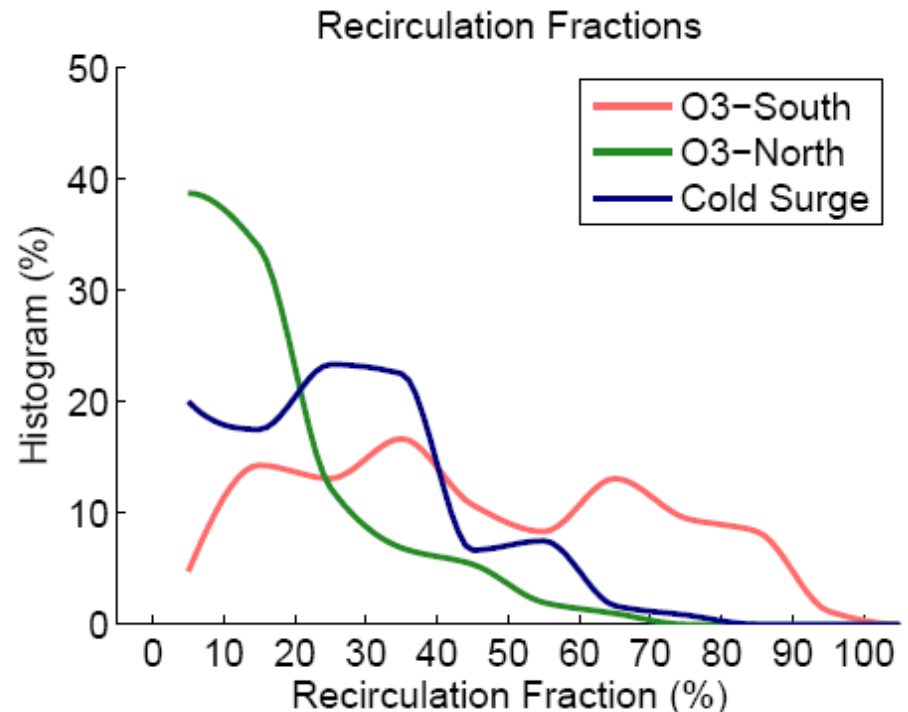


de Foy et al., Basin-scale wind transport during the MILAGRO field campaign and comparison to climatology using cluster analysis, *Atmospheric Chemistry and Physics*.

# MCMA-2003: Ventilación rápida de la Pluma ZMVM



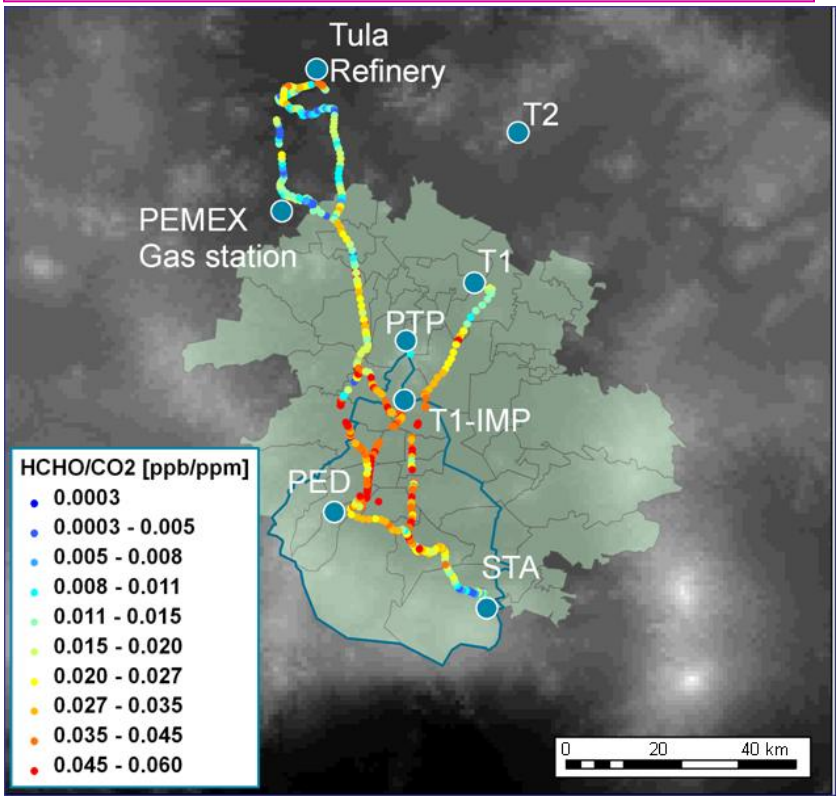
Los tiempos de residencia fueron calculados utilizando trayectorias hacia adelante para los diferentes episodios. Esto demuestra que la mayor parte de la cuenca se ventila en menos de 10 horas.



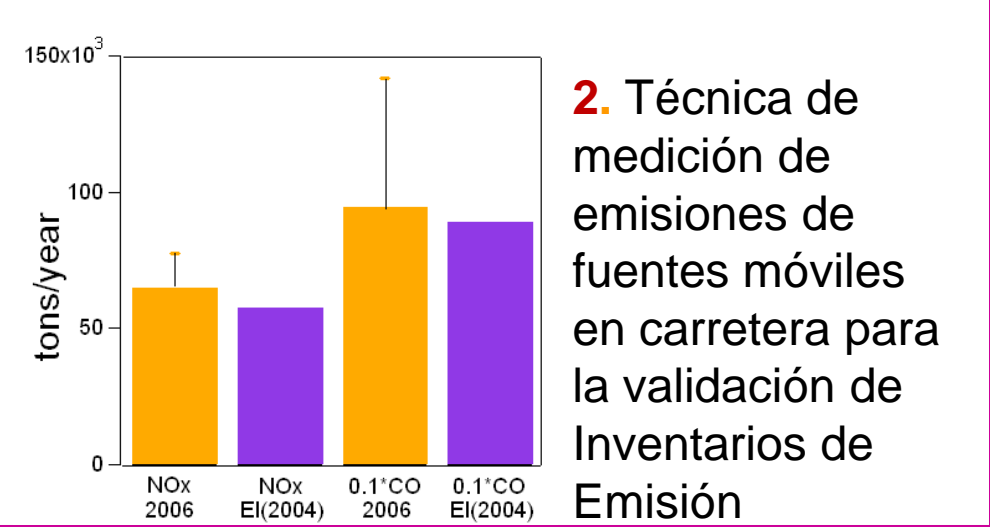
La fracción de recirculación es la fracción de partículas que salen y vuelven a entrar en el dominio. Esto demuestra que para la mayoría de los casos es inferior al 25%, aunque ocurren eventos de alta recirculación.

# Emissiones móviles en la ZMVM usando las observaciones de MCMA/2003 y MCMA/2006

**1.** Se observó una distribución altamente no homogénea de la distribución de las emisiones

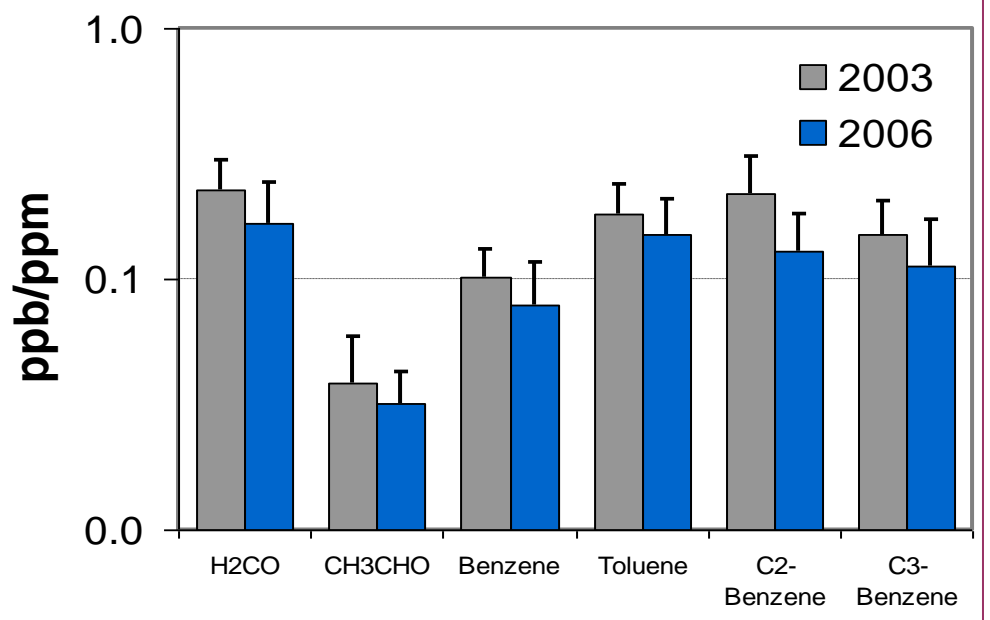


Zavala et al., 2007; 2009

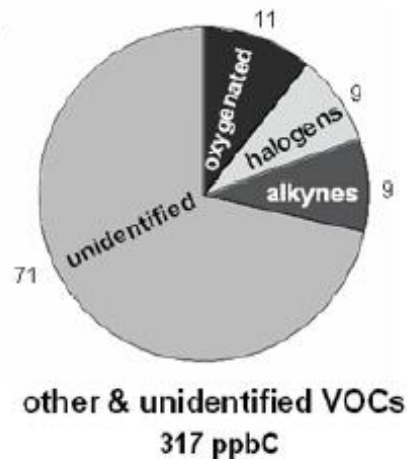
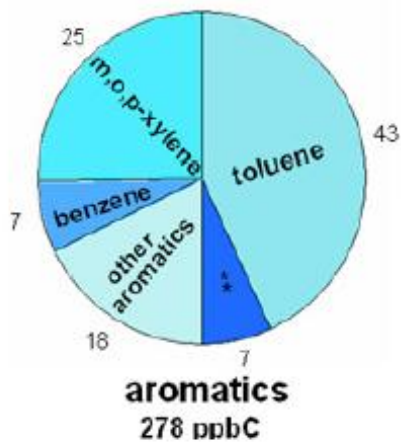
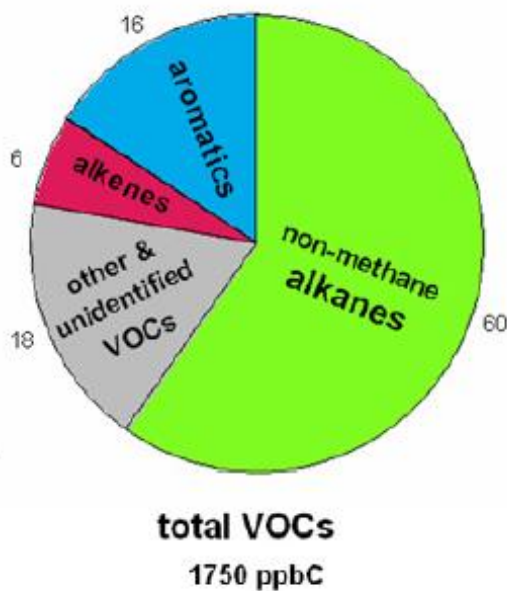
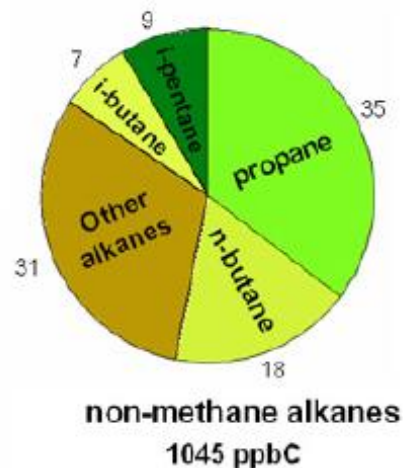
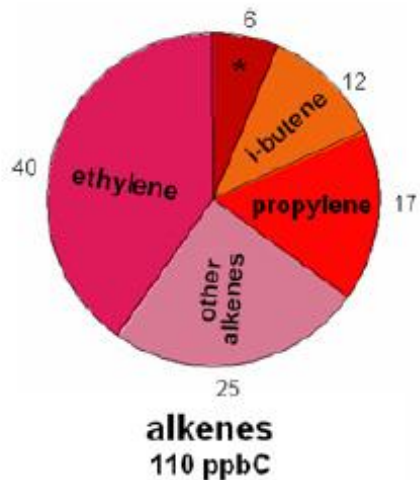


**2.** Técnica de medición de emisiones de fuentes móviles en carretera para la validación de Inventarios de Emisión

**3.** Reducción de las tasas de emisiones de COV medida en la Ciudad de México



# Distribución de compuestos orgánicos volátiles en la Ciudad de México (en el periodo de las 6-9 a.m.)



Alcanos de bajo peso molecular: 65% de GLP usado para cocinar y calentar agua.

Olefinas y aromáticos: principalmente de emisiones vehiculares.

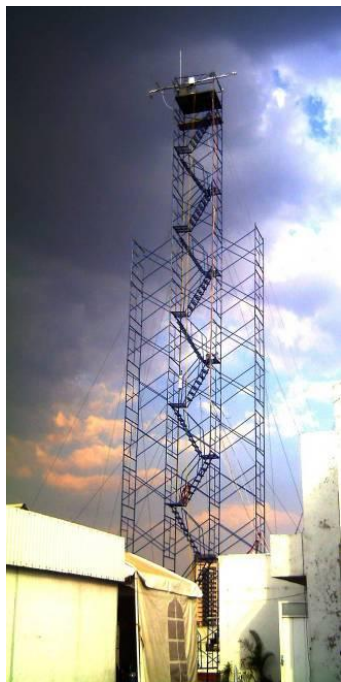
Las concentraciones de COVs Totales son menores que las obtenidas en campañas previas

Los números alrededor indican la contribución porcentual de cada compuesto

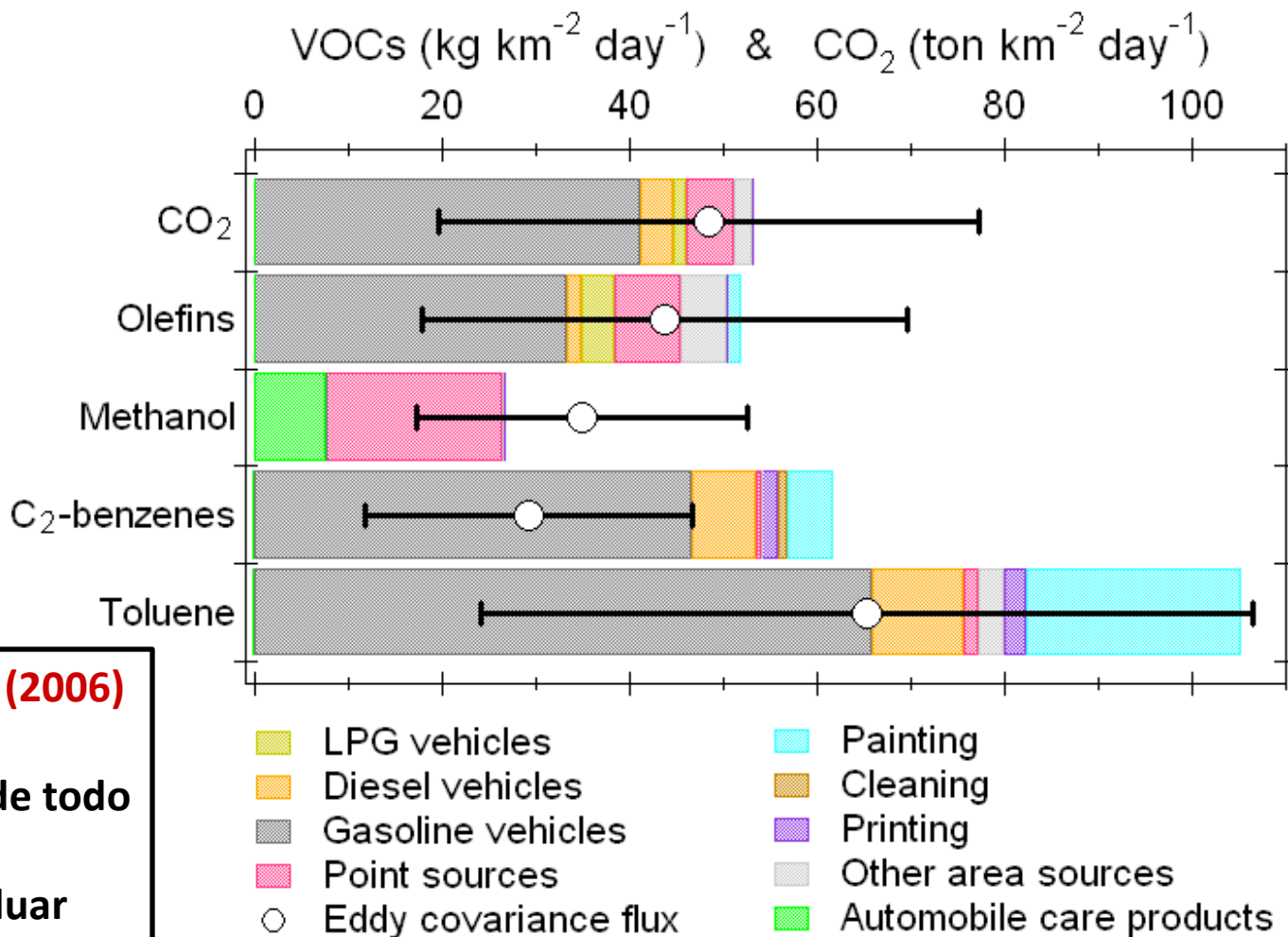
\*2-methyl-1-butene, \*\*1,2,4-trimethylbenzene

(Velasco et al. Atmos. Chem. Phys. 7, 329-353, 2007.)

# Comparación de los flujos diarios medidos para CO<sub>2</sub> y COVs con el Inventarios de Emisiones 2006



**Torre de flujos en SIMAT (2006)**  
 - 42 km snm  
 - 3 km radio: emisiones de todo tipo de fuentes  
 - sirve para validar y evaluar inventarios de emision



**(2003: Primeras mediciones de flujos de gases traza en un país subdesarrollado)**

(Source: E. Velasco, 2009).

# Emisiones de Quema de Biomasa

## Estación de Secas (Marzo – Junio)

- Incendios Forestales (sabanas de pino cerca de las montañas)
- Incendios de la Agricultura
- Humo de leña, quema de basura

## Marcadores de Incendio Detectados frecuentemente:

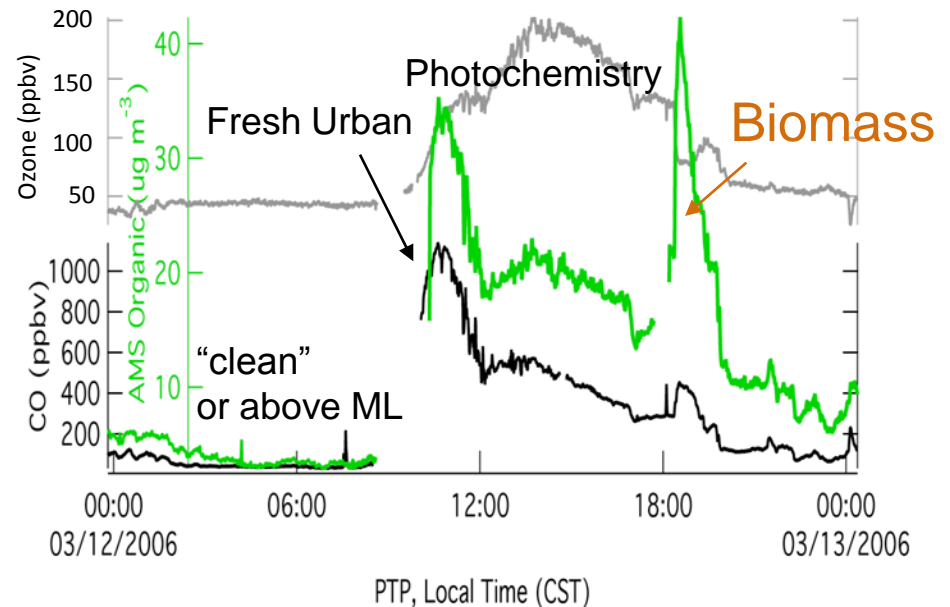
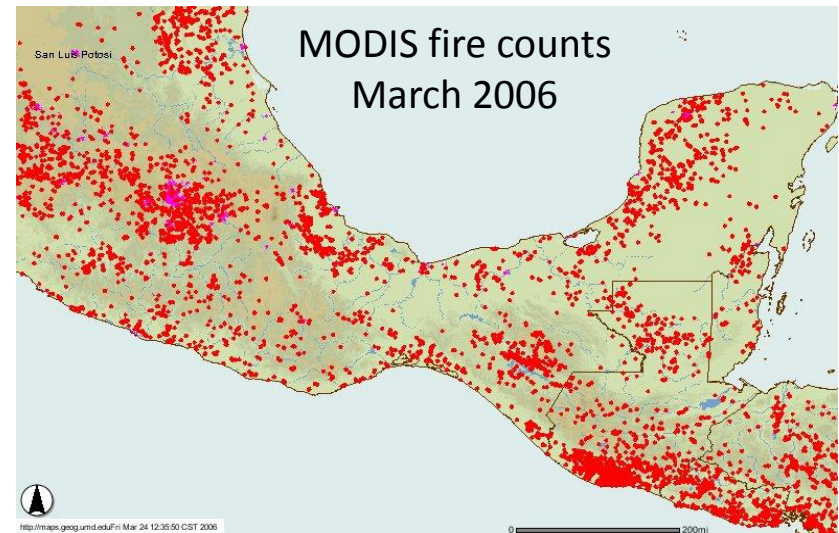
### Aerosoles

- Levoglucosan (de la celulosa)
- $^{14}\text{C}$  (carbono moderno)
- Análisis individual de partículas

### Gases

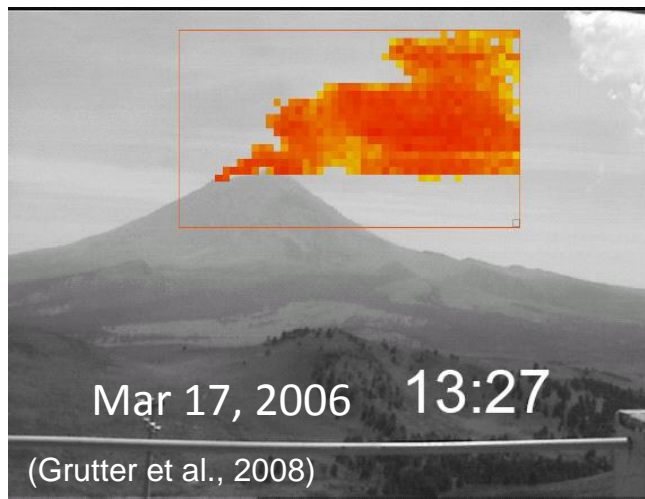
- HCN,  $\text{CH}_3\text{CN}$  (pero estos pueden tener también fuentes vehiculares)

**Hay incertidumbres importantes en la determinación de las fuentes y la contribución de Quema de Biomasa en la cuenca.**

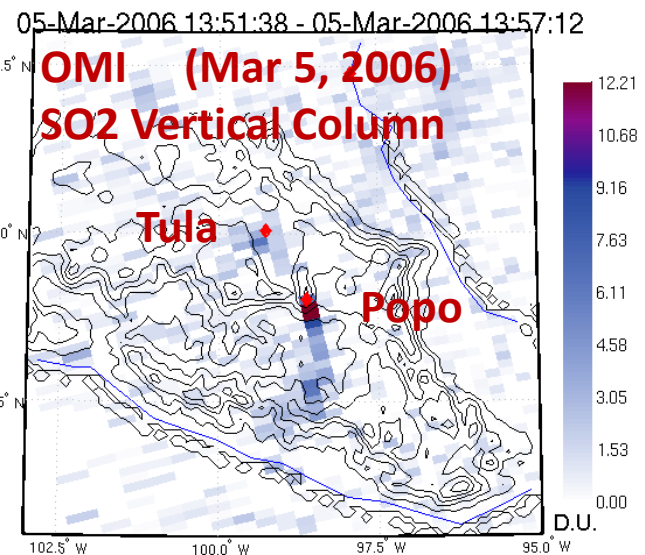
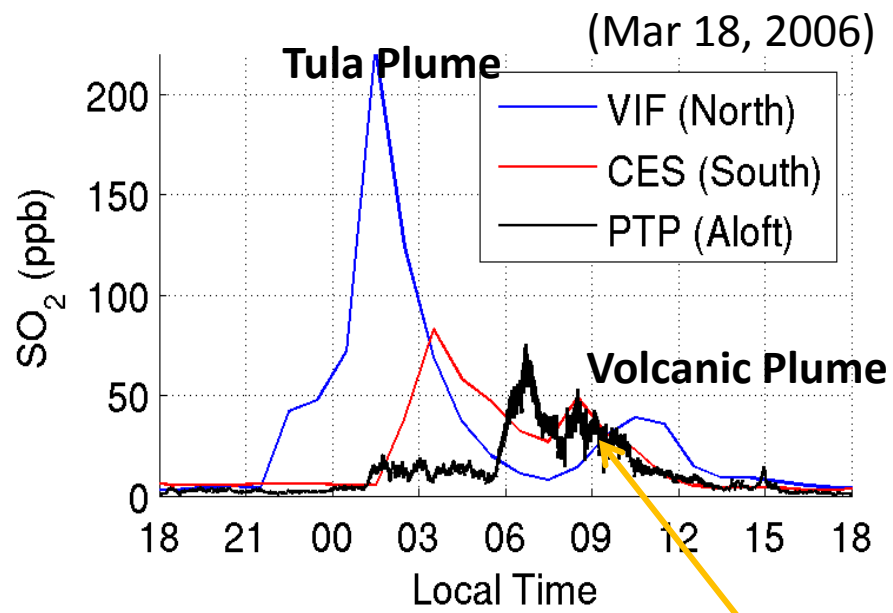


# Emisiones de Satélite Industriales y Volcánicas de SO<sub>2</sub>, Teledetección Óptica y Detecciones en Superficie

## Espectroscopia Pasiva de IR para la Pluma de SO<sub>2</sub> del Popo



## Pluma del volcán e Industrial medida en superficie (RAMA y ARI van)



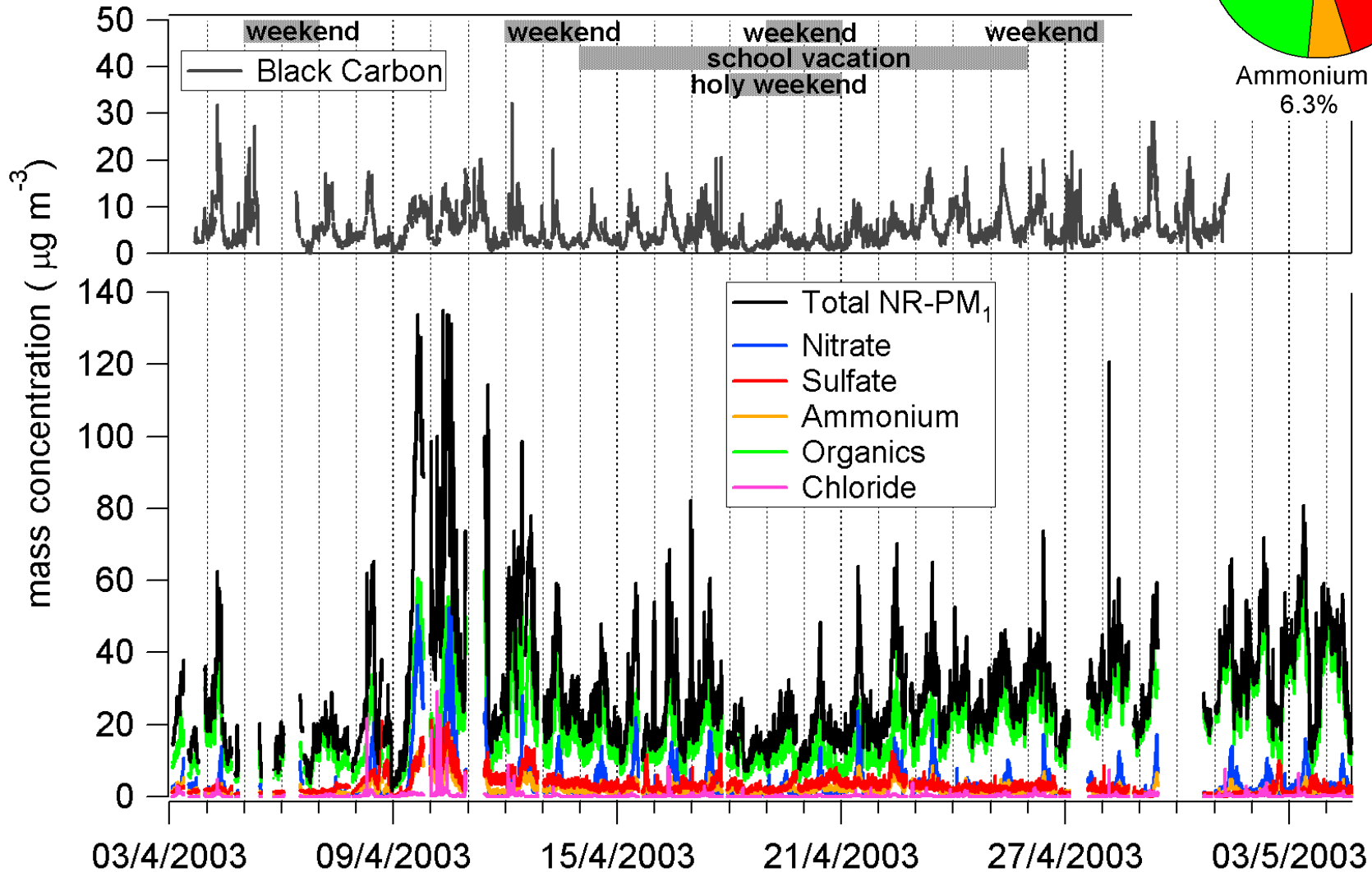
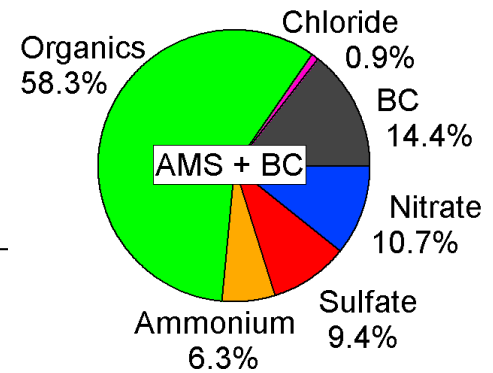
Priero la pluma es detectada en el norte de Tula, luego se mueve al sur, pero los niveles se mantienen bajos en PTP. A las 6 am, los vientos cambian - la pluma del volcán es detectada en PTP, luego en la superficie después de la puesta de la salida del sol.



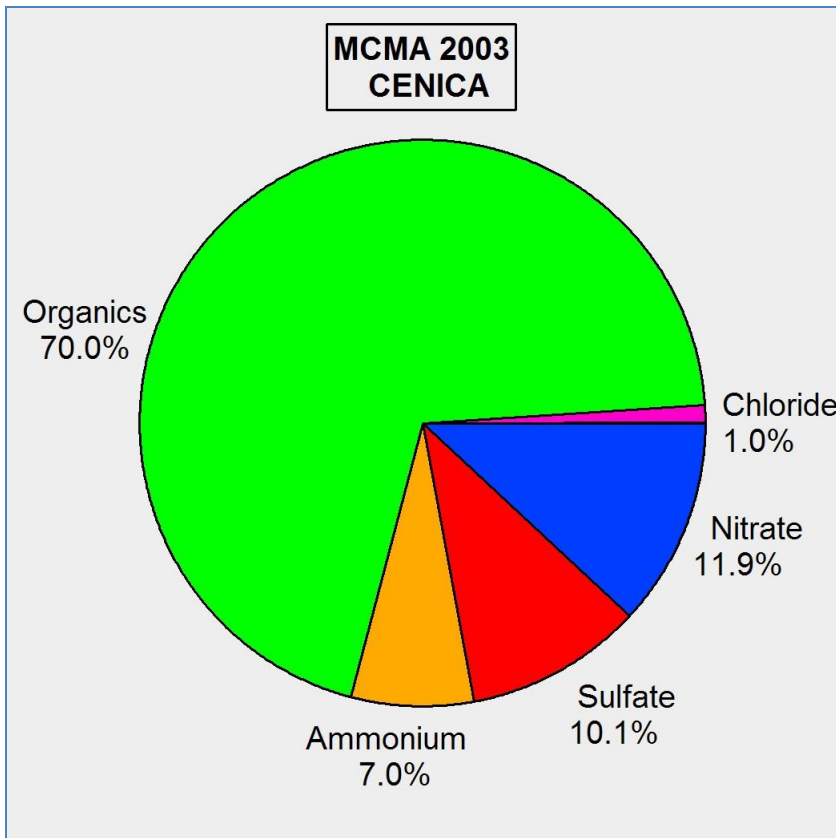
ARI van en Pico de Tres Padres (PTP)

(de Foy et al., 2009)

# Concentraciones de PM<sub>2.5</sub> en días entre semana y fin de semana medidos en 2003

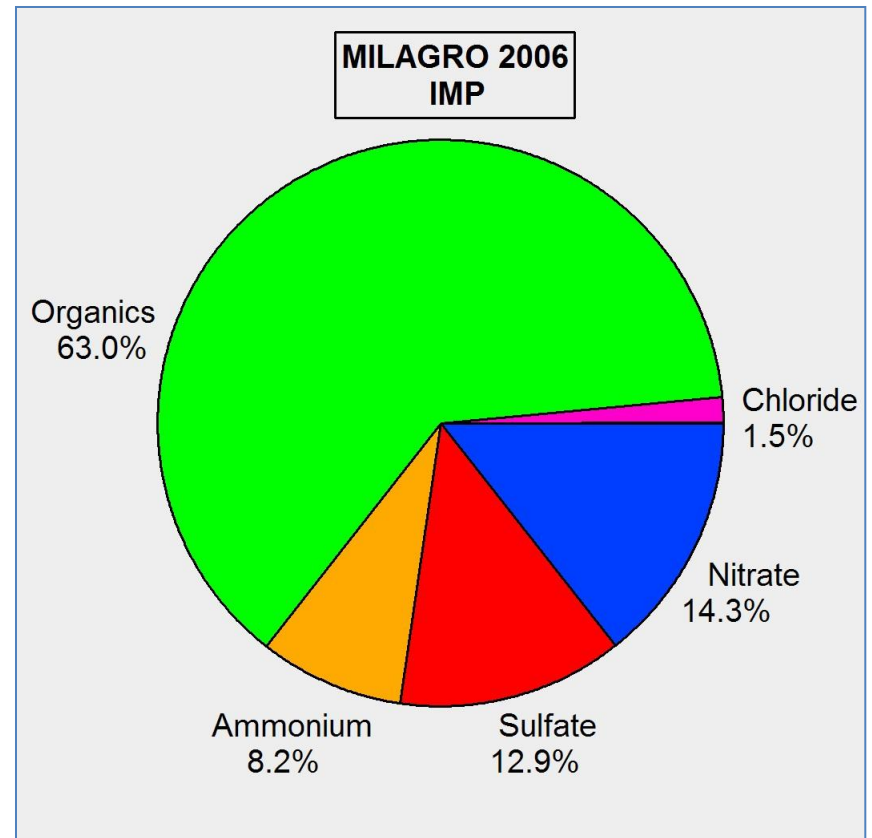


# Concentraciones de PM<sub>1</sub> en la ZMVM



Total: 31µg/m<sup>3</sup>

Source: Salcedo et al., ACP. 2006.



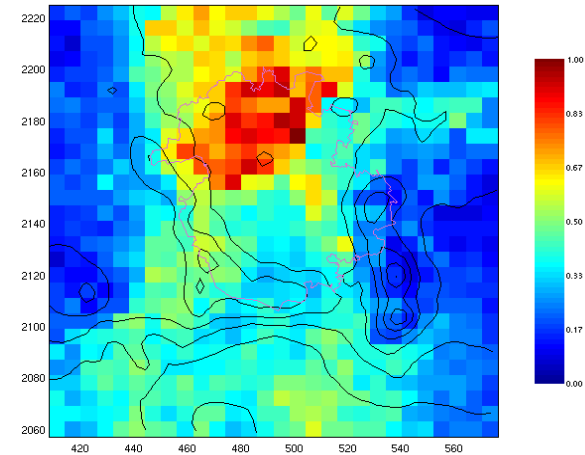
Source: J.L. Jimenez (2007)

# Detección Única de Partículas de Metales Tóxicos

## Espectrómetro de Masas de Aerosoles de Tiempo de Vuelo (ATOFMS)

- Se detectaron partículas provenientes de emisiones vehiculares, polvo fugitivo, quema de biomasa, preparación de alimentos, y de la industria.
- Para cada tipo de partícula se pueden derivar el perfil temporal por hora, las distribuciones por tamaño y el estado de la mezcla. (UCSD/MCE2)

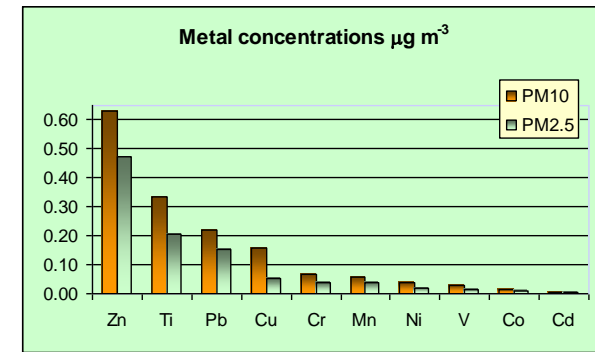
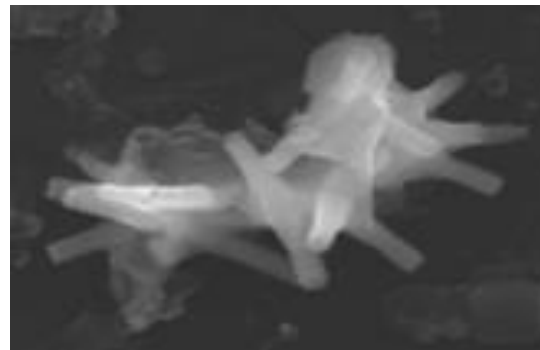
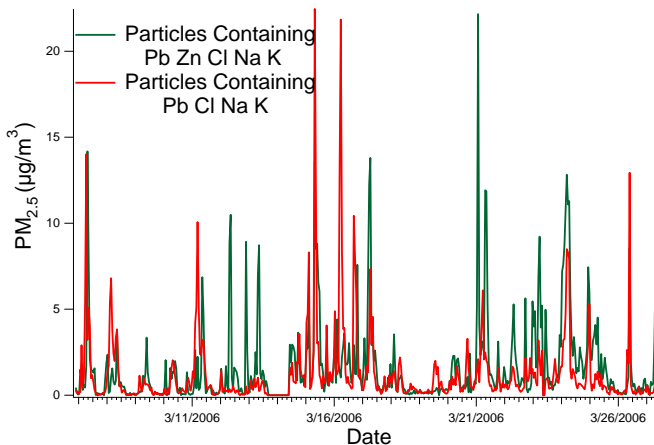
## Análisis producto de la colaboración



## Partículas con contenido de Pb, Zn & Cl

Las partículas de plomo que fueron encontradas mezcladas con zinc y cloro representan una fracción importante de las emisiones nocturnas

Se realizó un análisis de campo de las concentraciones utilizando ATOFMS temporales y FLEXPART (SLU/MCE2)

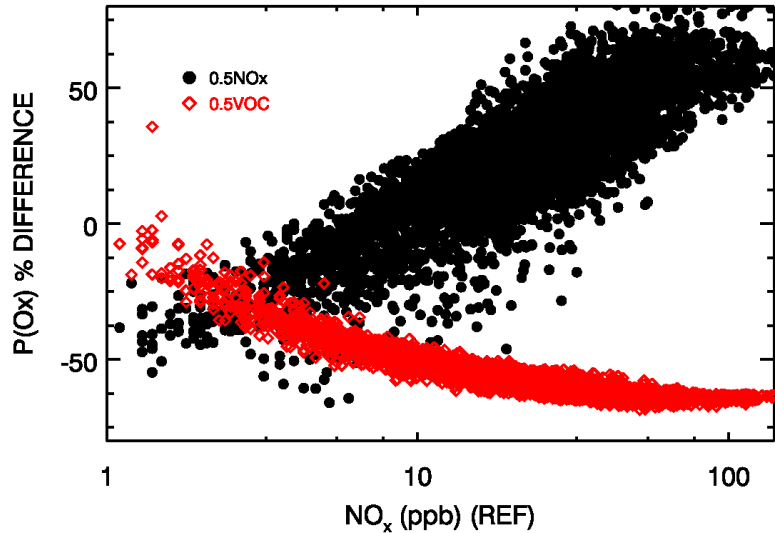


Análisis de SEM / EDX: El espectro de EDX confirma la presencia de Pb / Zn / Cl (MSL/LBL/MCE2)

(UAM-A)

# Sensibilidad de Ozono durante MILAGRO - 2006

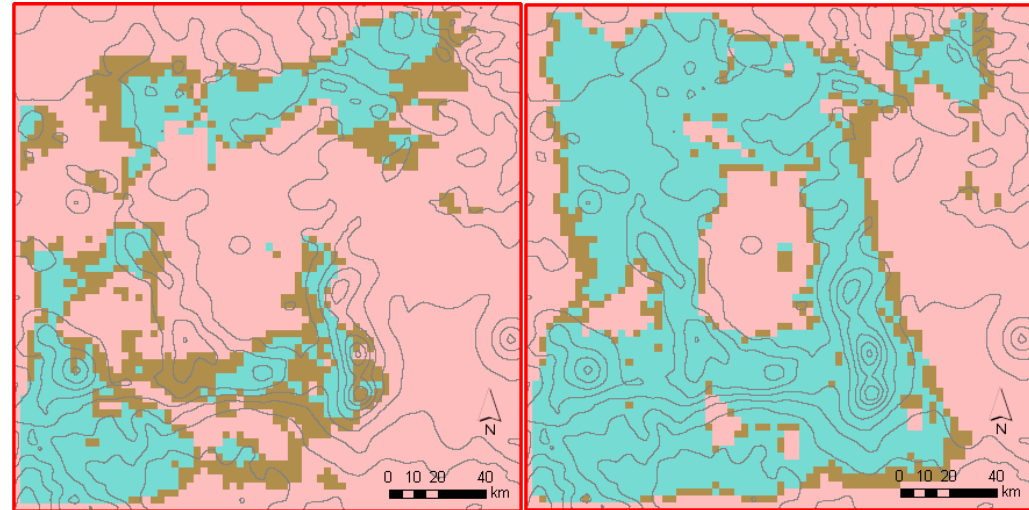
Cambio en el porcentaje simulado de  $P(O_x)$  en función del caso base de  $NO_x$  en la zona urbana a 12-17 LT



Distribución espacial en la tasa de producción de  $H_2O_2$  a  $HNO_3$  a las 14:00 LT

March 7, 2006 (O3-SV)

March 27, 2006 (CnvN)

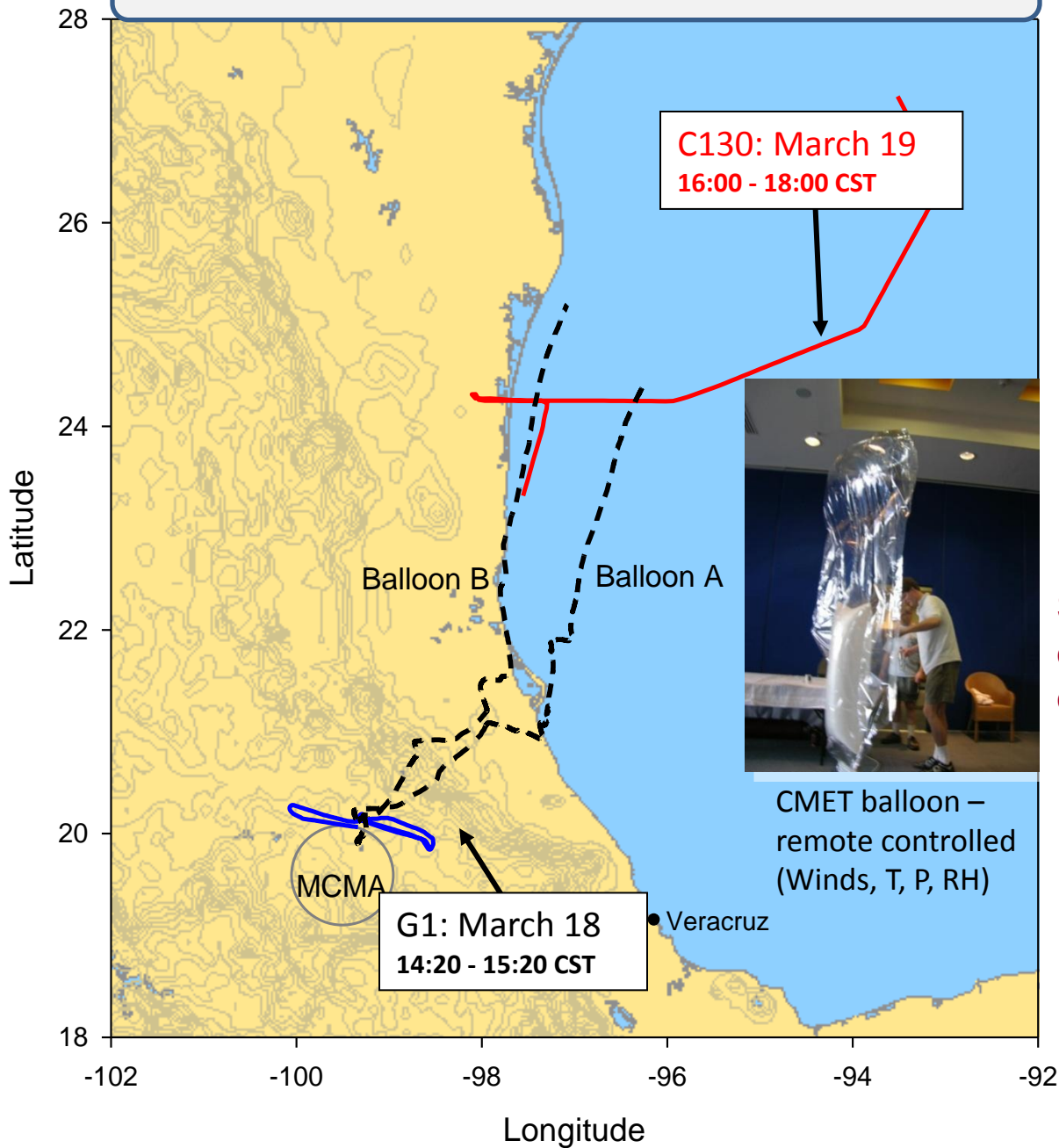


$[P(H_2O_2)/P(HNO_3)]$

- VOC-limited (<0.1)
- Transition (0.1-0.28)
- NOx-limited (>0.28)

- Área urbana- siempre limitada de COVs sin importar las condiciones meteorológicas,
- Rodeado de montañas y áreas rurales – también limitada por COVs- o  $NO_x$ , dependiendo de la meteorología.
- El tamaño del área sensible es diagnosticada utilizando un análisis de indicador químico  $[P(H_2O_2)/P(HNO_3)]$

## Vuelos coordinados del G-1, C-130 y el globo CMET



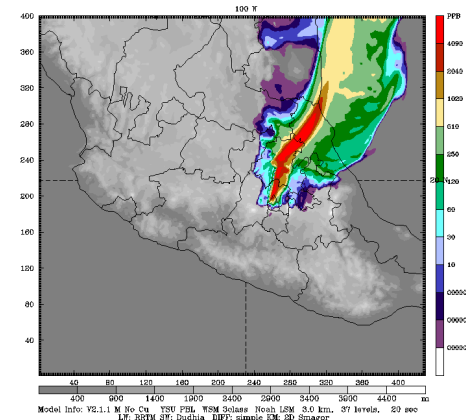
18 de marzo: el avión G-1 tomó muestras del aire cerca de la Ciudad de México y dos globos de CMET fueron lanzados cerca del sitio T1.

19 de marzo: el avión C-130 interceptó la pluma de contaminantes y las trayectorias de los globos en el Golfo de México.

El modelo WRF predijo correctamente esta situación.

## Simulación de WRF de la pluma de contaminantes de la Ciudad de México el 19 de marzo

Dataset: dom2 HIP: dom2 Init: 0000 UTC Sat 18 Mar 06  
Post: 48.00 L Valid: 0000 UTC Mon 20 Mar 06 (1700 MST Sun 19 Mar 06)  
Terrain: height AMSL  
Mass weighted c1 integral



# La Producción de O<sub>3</sub> en la Pluma de Contaminantes de la Ciudad de México durante la Campaña MILAGRO

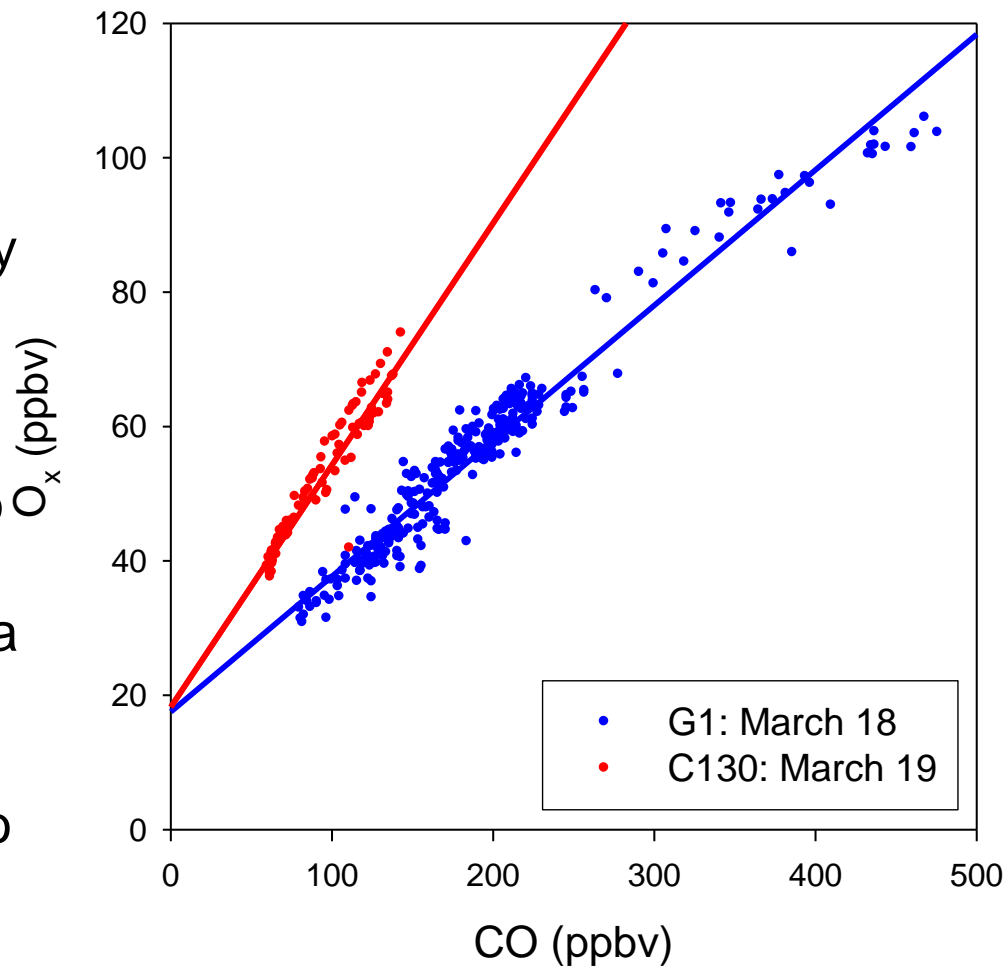
## Dentro de la pluma de contaminantes de 1 día

Se registró una reducción de CO y O<sub>x</sub> (O<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub>) debido a la mezcla con aire limpio;

Pero se elevó el Ox/CO indicando una producción continua de O<sub>x</sub> durante la exportación de la pluma de contaminantes.

O<sub>3</sub> - Gases de Efecto Invernadero

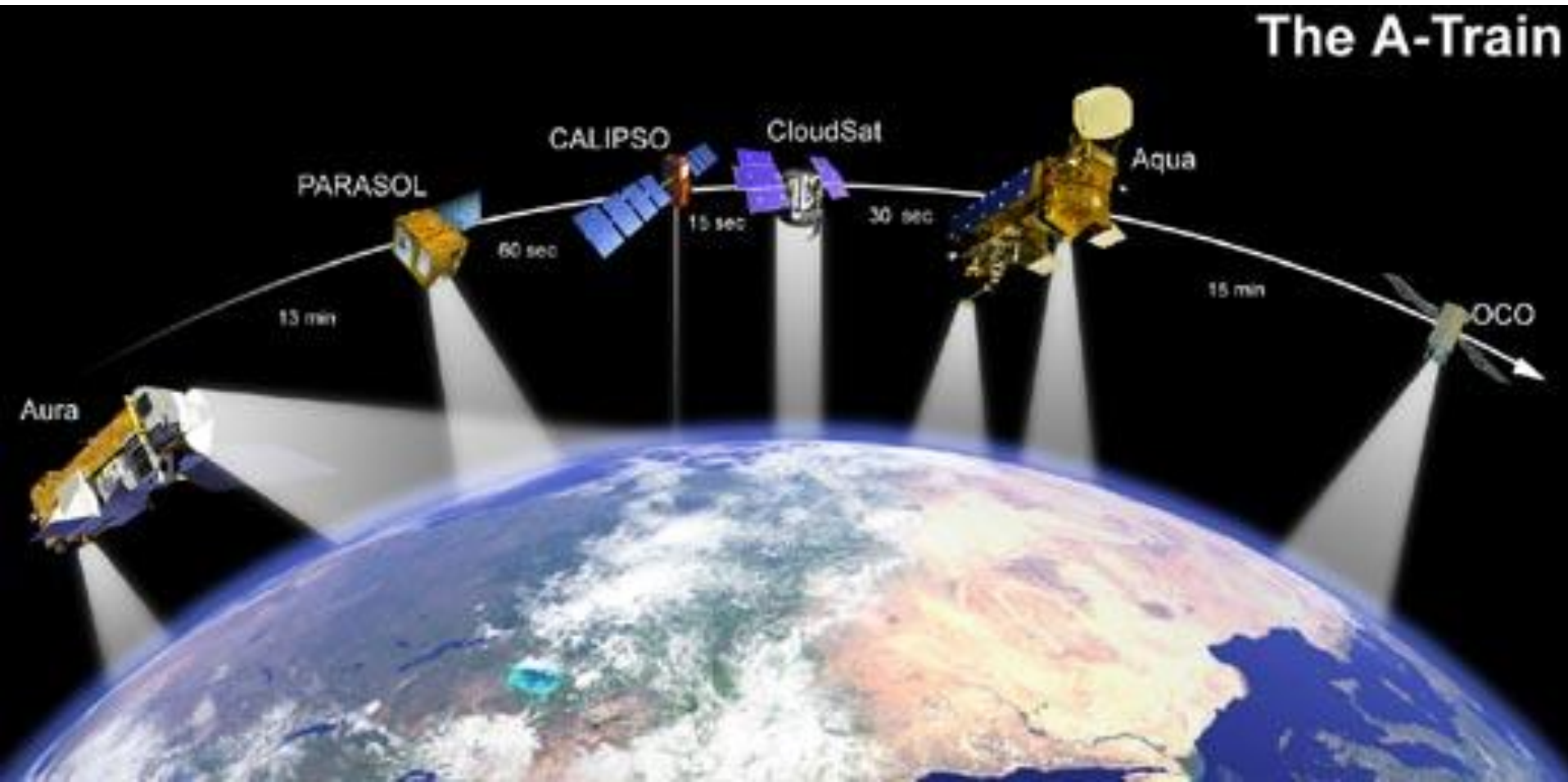
## Impactos regionales y globales



*P. Voss, R. Zaveri, T. Hartley, P. DeAmicis, I. Deonandan, O. Martinez, G. Contreras, D. Greenberg, M. Estrada, F. Flocke, S. Madronich, L. Kleinman, S. Springston, J. Hubbe, B. de Foy*

# Validación de Satélite

El avión de MILAGRO genero mediciones para validar las consultas basadas en satélite de la óptica y composición atmosférica, por lo que estas pueden ser usadas en todo el globo.



# Estudios sobre la Salud (MILAGRO 2006)

## Poblaciones en Zonas Urbanas y Semi-rurales Exposición Personal y Micro-ambiental:

- Analizar la contribución del transporte regional de contaminantes de la Ciudad de México en la exposición personal de niños y sus padres en tres sitios diferentes a los siguientes contaminantes: COVs, O<sub>3</sub>, CO, PM<sub>2.5</sub>, y partículas ultrafinas

Participantes: 121 menores (edad: 9 a 12 años); 67 padres de familia

- Analizar el estrés oxidativo y problemas de salud relacionados con la contaminación

Participantes: 155 menores (edad: 10 a 12 años), 90 padres de familia

(PI: H. Tovalín, UNAM)

## Potencial Oxidativo de PM obtenido en T0 y T1:

- Determinar el potencial oxidativo de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> obtenido en T0 y T1 :
  - RPE (Resonancia Paramagnética Electrónica)
  - Degradación del ADN
  - Ensayo de Tracción Directa (DTT)
- Comparar el potencial oxidativo (T0 vs. T1) y relacionarlo a los patrones de composición y ventilación.

(PI: A. Osornio, National Cancer Institute & UNAM)

# Algunos Resultados de la Campana MILAGRO

La campaña MILAGRO ha demostrado la sinergia de utilizar múltiples mediciones en plataforma, instrumentación y técnicas de análisis de datos para obtener un mejor entendimiento de las características físicas y químicas de emisiones en una megaciudad.

- **Los impactos regionales de la ZMVM son fácilmente perceptibles**, sobre todo a la SE, sur y oeste, donde otras fuentes son más pequeñas y la ZMVM ejerce una influencia dominante.
- **Los inventarios de emisiones utilizados en los modelos están siendo re-evaluados** con las observaciones de las concentraciones flujos de muchas especies.
- **La formación de smog fotoquímico urbano es VOC limitado**, a pesar de los altos compuestos orgánicos volátiles. Reducciones de las emisiones de NOx sin embargo, pueden reducir la formación de oxidantes a escala regional.
- **Aerosoles dentro de la ZMVM tienen un alto componente orgánico**. Tanto el uso de combustibles fósiles (sobre todo las emisiones urbanas) y la quema de biomasa (incendios agrícolas y forestales en su mayoría fuera de la ciudad) contribuyen a la cantidad de aerosoles.
- **La quema de biomasa contribuye a la contaminación urbana y regional**, sobre todo para los aerosoles de gases. Agrícolas, forestales e incendios de basura son comunes, y sus plumas de llevar a distintas firmas químicas.

# Algunos Resultados de la Campana MILAGRO

- **Las propiedades ópticas de los aerosoles están cambiando rápidamente durante la exportación de la pluma.** Tanto el albedo de dispersión simple y la absorción específica de carbono negro aumentan con el tiempo.
- **La producción de ozono continúa en la salida por lo menos durante varios días,** debido a la formación de peroxiacetilnitratos (PAN) que de hecho aumentan la vida útil de NOx.
- **Los aldehídos son los principales componentes de la reactividad de salida.** Son producidas por la oxidación de COV atmosféricos, y algunos también son emitidos directamente. Aunque importantes, no son una medida rutinariamente.
- **La producción de O<sub>3</sub> y partículas de aerosol se prolonga durante cientos de kilómetros viento abajo de la Ciudad de México.** En parte porque la ciudad de México tiene altos niveles de NOx y fotoquímica limitada por aerosoles, una fracción sustancial de las emisiones urbanas al salir de la ciudad sigue siendo reactiva, por lo que contribuye más a la formación de O<sub>3</sub> fuera de la ciudad y en las grandes áreas geográficas.
- **Los aerosoles orgánicos crecen en la ciudad y en la pluma de la dirección del viento.** Los modelos actuales pueden explicar sólo una pequeña parte de este crecimiento. Los datos MILAGRO están proporcionando un banco de pruebas para explorar las diferentes hipótesis de la evolución de los aerosoles orgánicos.
- **Recuperaciones de satélite de los aerosoles** se están mejorando utilizando las comparaciones con las mediciones de las propiedades de la radiación y los aerosoles en la superficie y de las aeronaves.

# Conclusiones

- El creciente uso de energía en las grandes zonas urbanas genera contaminantes que degradan la calidad del aire a menos que las fuentes de emisión sean controlados.
  - Regulaciones basadas en la tecnología
  - Instrumentos Económicos
    - e.g., Intercambio de emisiones; Impuestos para automóviles por emisiones; Sistema de ‘pago por uso’ en carreteras
  - La adaptación de políticas
    - e.g., Planeación del uso de suelo; Desarrollo de la Infraestructura Administración del tráfico y servicios viales
- Los estudios de campo en México han dado nuevas perspectivas sobre las fuentes de emisión y la ciencia de la contaminación atmosférica, regional y mundial.
- La información puede ser útil para los tomadores de decisiones en el desarrollo de reglamentos y establecer las prioridades de control de emisiones.

***No existe ninguna “formula mágica”: se requiere una combinación de medidas políticas para mejorar la calidad del aire. Se necesitan integrar políticas que sean relevantes a los temas del transporte, el uso de suelo y la calidad del aire.***

# Documental

**MEGACIUDADES:  
MILAGRO en la CIUDAD de MÉXICO**

**!GRACIAS!**

Más información disponible en la página de web del Molina Center for Energy and the Environment:

**<http://mce2.org>**