

基于科学的空气质量管理：墨西哥城案例

Luisa T. Molina

莫利纳能源与环境战略研究中心

第十二届城市空气质量管理研讨会

2016年11月15日

中国 成都

报告大纲

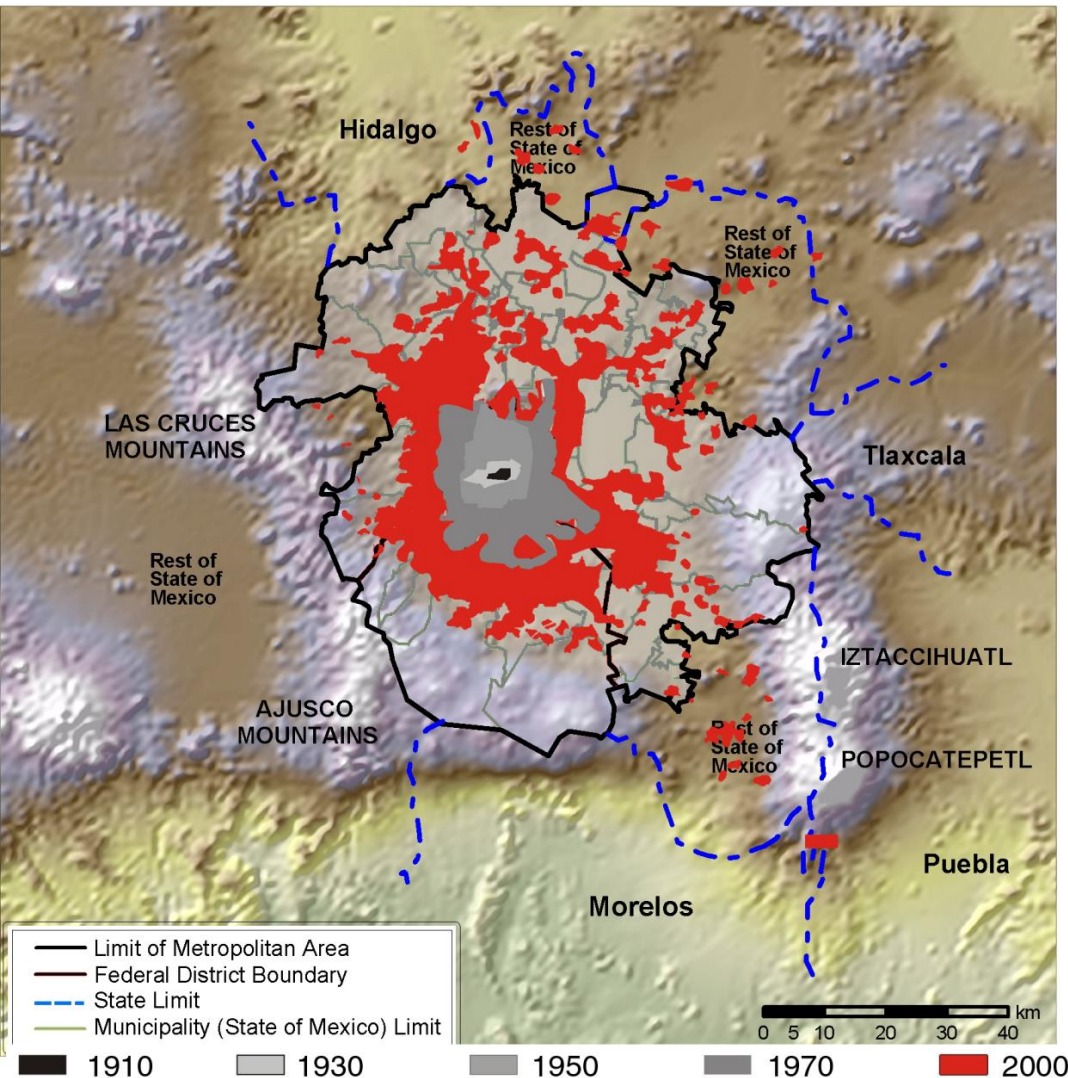
- 城市空气污染: 墨西哥城案例研究
 - 墨西哥城大都市区 (MCMA) 近期空气污染项目的研究结果，包括现场调查、常规监测和模型研究
- 墨西哥城空气质量管理项目
- 空气质量管理工具

墨西哥城大都市区的人口、 地形、排放

城市空气污染: 墨西哥城案例研究



墨西哥城大都市区地形图



•地理和地形状况

较高的海拔：2240米

强烈的日晒

山构成了风吹入该地区的物理屏障

旱季逆温

• 人口

2120万
(自1900年增加了25倍)

•覆盖面积

1500 km²
(自1960年增加了10倍)

•排放源

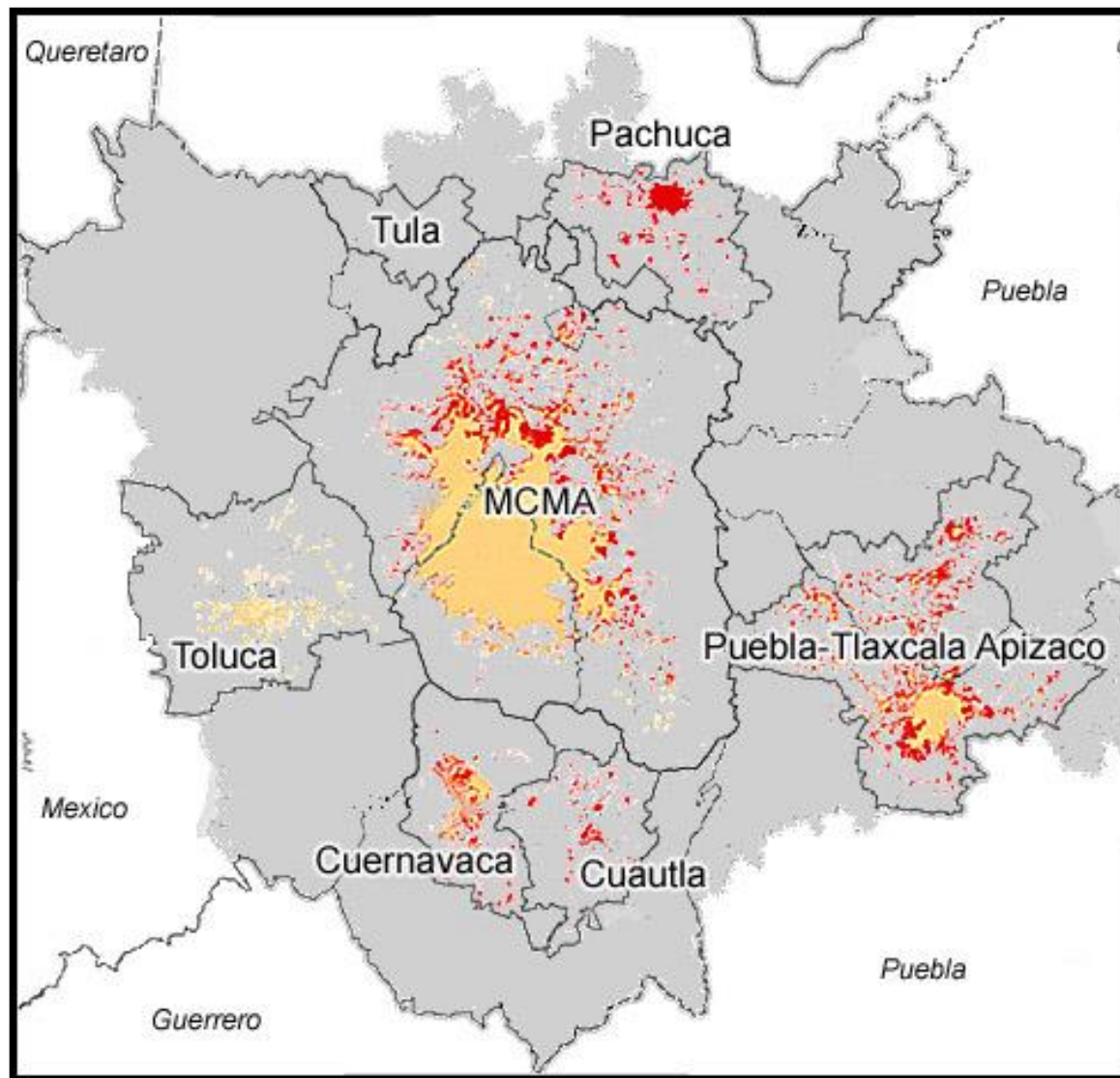
家庭： 570 万

机动车： 530 万

工业： 2,000

商业与服务业： 81.4万

墨西哥城大都市区的城区扩张 2000 - 2010



2000年的城区

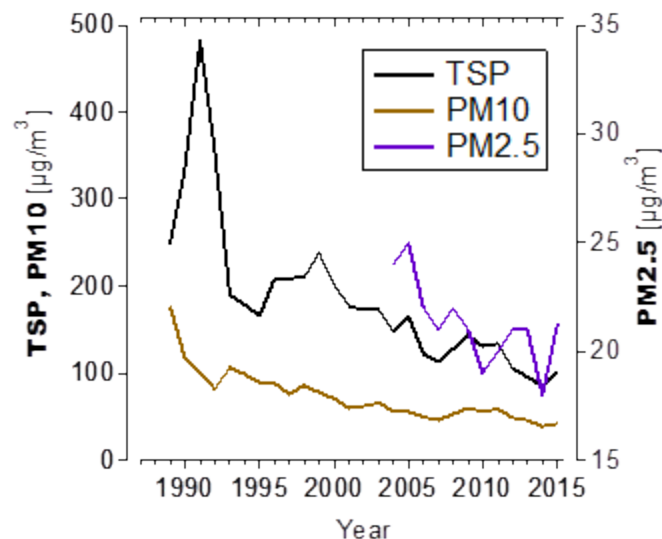
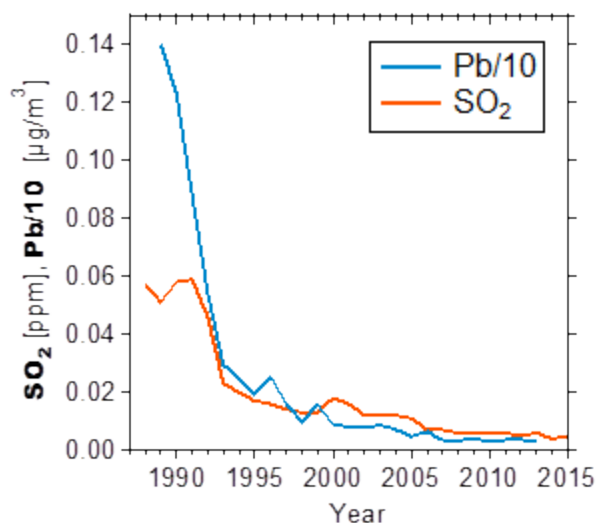
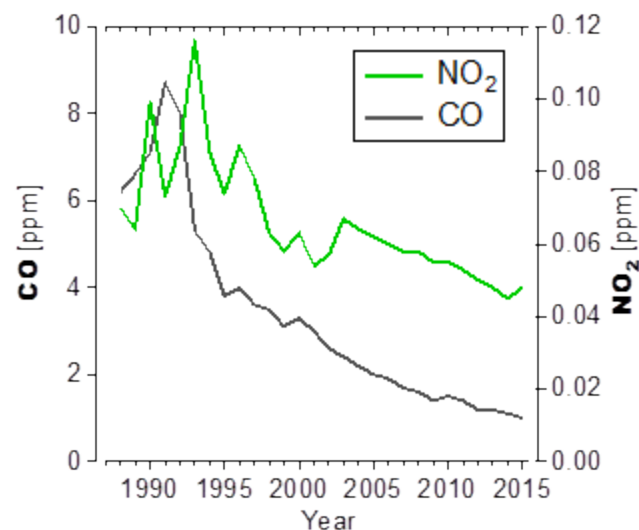
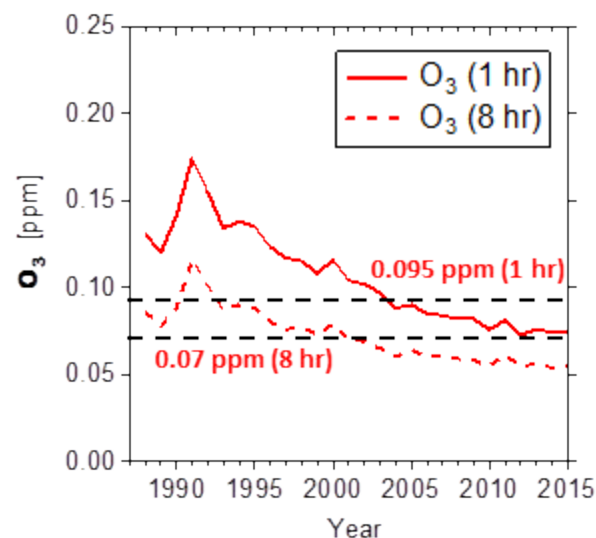


2010年的城区

墨西哥城大都市区与都市圈

- 墨西哥城大都市区的人口平均地分布在两个不同的地方选区：联邦区和墨西哥州。同时也是国家的首都和联邦政府所在地。
- 1996：大都市区环境委员会成立，以协调大都市区实施的政策和项目。其成员包括：联邦环境和自然资源秘书处，联邦卫生秘书处，联邦区政府主管，墨西哥州州长。
- 2013年：城市环境委员会协调墨西哥城和5个周边州的区域政策和项目。其成员包括：联邦政府，墨西哥城，墨西哥州，伊达尔戈，莫雷洛斯，普埃布拉，特拉斯卡拉（Hidalgo, Morelos, Puebla, Tlaxcala）。

墨西哥城空气质量趋势



O₃

0.095 ppm (1 hr)
0.07 ppm (8 hr)

NO₂

0.21 ppm (1 hr)

CO

11 ppm (8 hr)

PM10

75 ug/m³ (24 hr)
40 ug/m³ (annual)

PM2.5

45 ug/m³ (24 hr)
12 ug/m³ (annual)

SO₂

0.11 ppm (24 hr)
0.20 ppm (8 hr)
0.025 ppm (annual)

Pb

1.5 ug/m³ (3-month)

墨西哥城大都市区空气污染状况

➤ 1980s后期 - 1990s初期:

- 所有主要污染物经常超过空气质量标准
- 臭氧超标天数比例超过90%
- 每年有40-50天臭氧峰值超过300 ppb

➤ 1990s后期

- Pb , SO₂水平始终在标准范围内
- CO和NO₂浓度很少超标
- 每年只有3-4天臭氧峰值超过300 ppb
- 臭氧超标天数比例仍高于85%
- PM₁₀超标天数达20-30%

➤ 目前 (墨西哥更新了空气质量标准) :

- 全年只有少量天数会臭氧超标
- PM₁₀在约10%的时间内超过健康标准
- 一些监测站点的年均PM_{2.5} (从2003年开始) 均超过空气质量标准

墨西哥城大都市区近期空气质量改善的主要原因

铅

- 1990年开始推广无铅汽油
- 1997年彻底淘汰含铅汽油

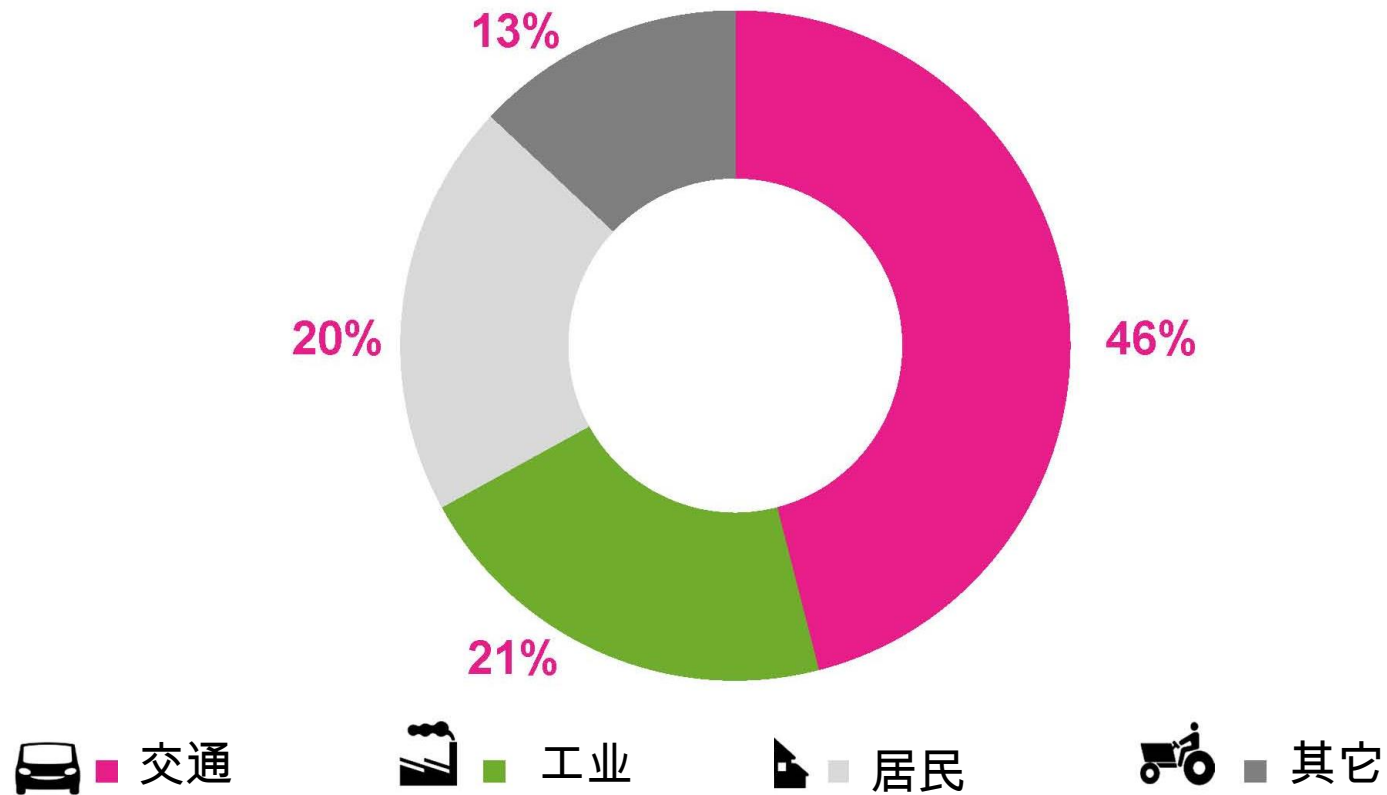
二氧化硫

- 工业重油在1990年代中期逐步淘汰
- 柴油的硫含量在1995年降低到0.05%
- 发电厂和其他工业在1990年代初期转向天然气能源

臭氧峰值和CO水平

- 在20世纪90年代初引入含氧汽油
- 1993年更新了车辆检查制度
- 1993年开始推广三元催化
- 1997年在汽油储罐和加油站安装油气回收系统
- 1997年修改了“无车日”计划 (1988年)
- 1999年引入新车的TIER I标准 (第一阶段标准)

墨西哥城的臭氧前体物和颗粒物排放源



Fuente: SEDEMA, Inventario de Emisiones 2012



CDMX
CIUDAD DE MÉXICO



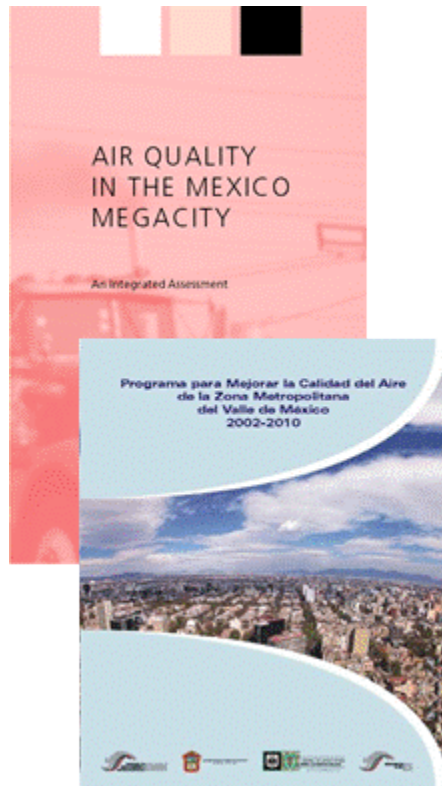
墨西哥城空气质量综合评估

MCMA-2002/2003 与 MILAGRO-2006
现场实测

墨西哥河谷空气质量管理综合战略设计项目 2001-2010

(麻省理工学院：城市、区域和全球空气污染的综合方案)

该项目由大都市环境委员会资助，支持PROAIRE 2002-2010的发展与规划，其中包含了该项目基于科学的发现和建议，并从中提炼出89项措施。



第1章. 空气质量影响：全球和地方的担忧

第2章. 清洁空气：比较研究

第3章. 墨西哥城大都市区污染物排放的驱动力

第4章. 空气污染控制的健康效益

第5章. 墨西哥城大都市区的空气污染科学：通过排放清单、测量和模型理解污染物源—受体关系

第6章. 墨西哥城大都市区的交通系统：移动源和空气污染

第7章. 主要发现和建议

基于墨西哥城项目的建议

大气监测和测量

- 排放清单 ---更新、验证和制定当地排放因子
- 加强环境空气质量监测 ---增加了对PM2.5等污染物的监测; 增加了更多监测站点 (2003年增加了8个PM2.5监测站点)
- 空气中有毒化合物的测量和暴露研究
- 大量实地测量以表征墨西哥城大都市区大气中污染物的排放和转化 (墨西哥城大都市区2002/2003项目)

减少交通相关排放的策略

- 改造或淘汰污染严重的卡车、公共汽车和汽车。
- 加严在墨西哥销售的所有新车尾气排放标准 (包括小汽车、卡车和公共汽车) , 以符合国际标准。
- 引入清洁汽车和卡车技术所需的超低硫含量燃料, 包括汽油和柴油。
- 建立战略走廊, 以减少拥堵并改善空气质量
- 以快速公交系统 (Bus Rapid Transit, BRT) 代替低客容量公交



MILAGRO 项目 大都市行动：本地与全球研究观察

Megacity Initiative: Local And Global Research Observations

该项目属于国际科研合作项目，旨在研究大都市大气污染物的排放和传播。

科学问题：

- 大都市污染烟羽的时空分布是什么？
- 城市污染物的消散方式和消散路径是怎样的？
- 城市烟羽的区域和全球影响是什么？

地面、空中及卫星平台进行的比较观察：

基于气象和化学模型的预测，得到了综合系统的数据库

文献综述：

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. Atmos. Chem. Phys., 7, 2447–2473, 2007.

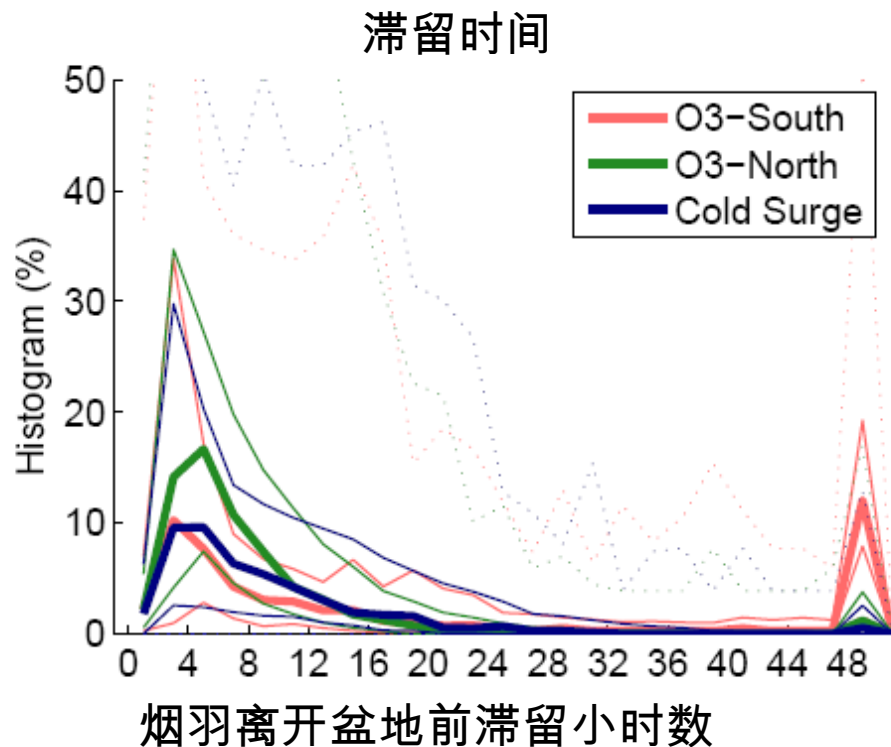
四类结果

MCMA-2003 与 MILAGRO-2006 项目显示出：使用多个测量平台、仪器仪表和数据分析技术可以产生协同效应，并获得了以下信息：

- **城市和区域气象、排放、化学和辐射的表征**
 - 限于墨西哥城和周围地区
- **基本化学和物理过程的识别与量化**
 - 大气化学和模型的改进
 - 应用于世界各地的其他大城市和大型城市综合体
- **开发和改进观测技术**
 - 卫星，全球范围的长期观测
 - 空气质量监测，数据质量
- **空气污染的健康影响**
 - 测量个体暴露的技术示范
 - 与大气测量关联

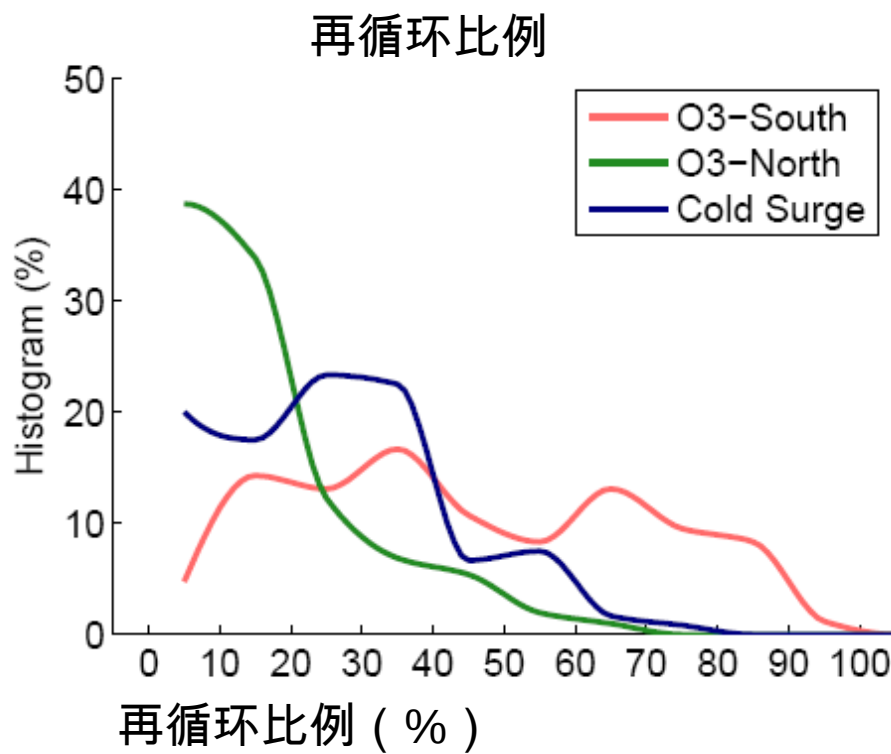
气象和动力学

墨西哥城烟羽的快速疏散



使用前向轨迹对不同气象条件的滞留时间进行了计算。

强烈的日照加热和盆地的高海拔，造成混合层高度很高（约3-4公里），因而大部分盆地烟羽的疏散都少于10小时。

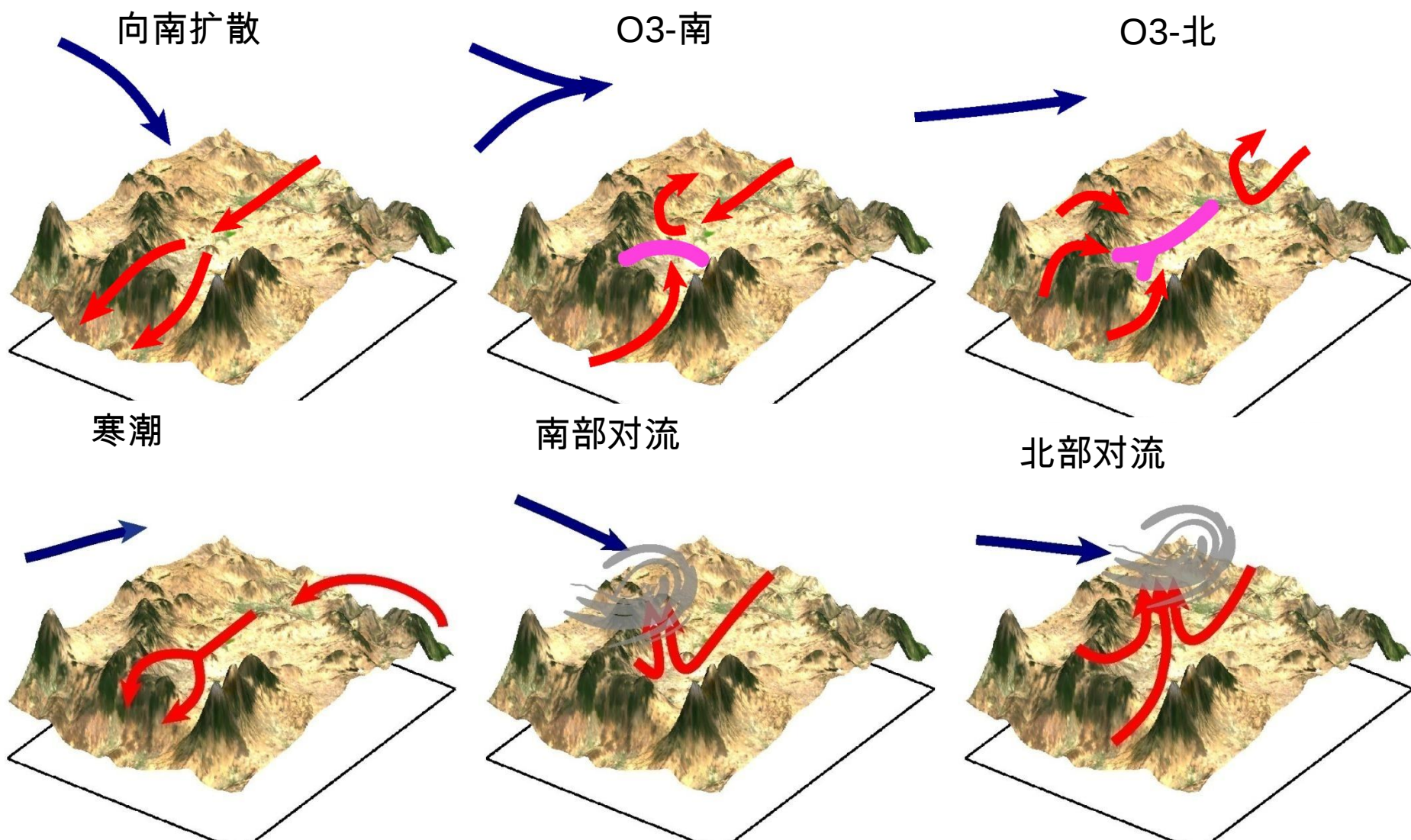


再循环比例是离开和再进入该区域的颗粒物比例。

在大多数情况下，该比例低于25%，这表明对周边地区的有效冲刷。

气流交汇 MCMA-2006 - MILAGRO

(有助于将气象影响归于观察到的痕量气体和PM的变化)

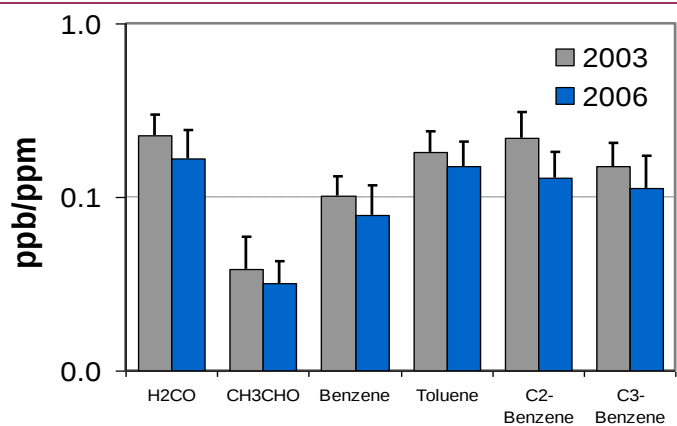
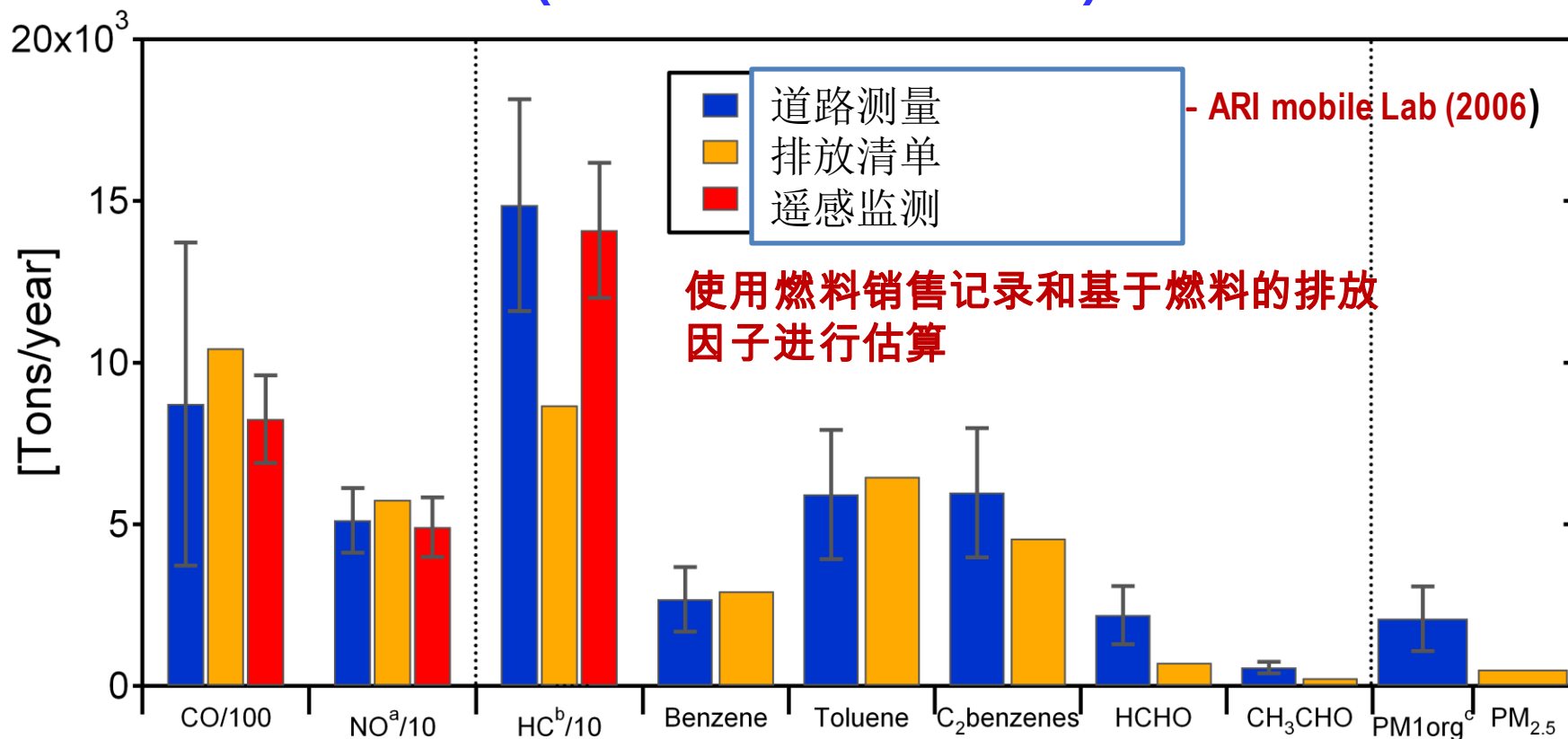


de Foy et al., Basin-scale wind transport during the MILAGRO field campaign and comparison to climatology using cluster analysis, *Atmospheric Chemistry and Physics*.

气态污染物与颗粒物的排放

移动源排放清单的估算

(轻型汽油车的年排放总量)



车辆周转：
在两个项目期间，测量的
VOCs排放率降低
(ppbv污染物/ppmv
CO₂)

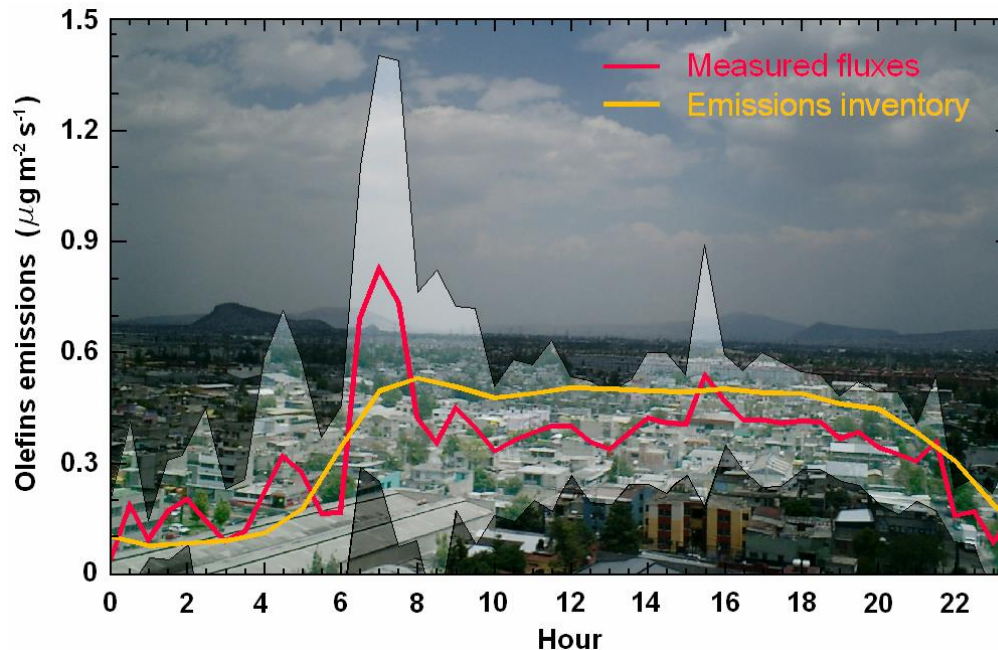
来源: Zavala, et al., ACP, 2009. .
Remote sensing: Schifter et al
EI-2006: GDF/SMA

城市通量监测 (2003 与 2006)

- 用以评估城市地区排放清单的新的、有价值的技术。
- 直接的通量测量范围从城市地区延展到典型周边地区 (~5平方公里)。
- 涵盖来自所有排放源的排放。

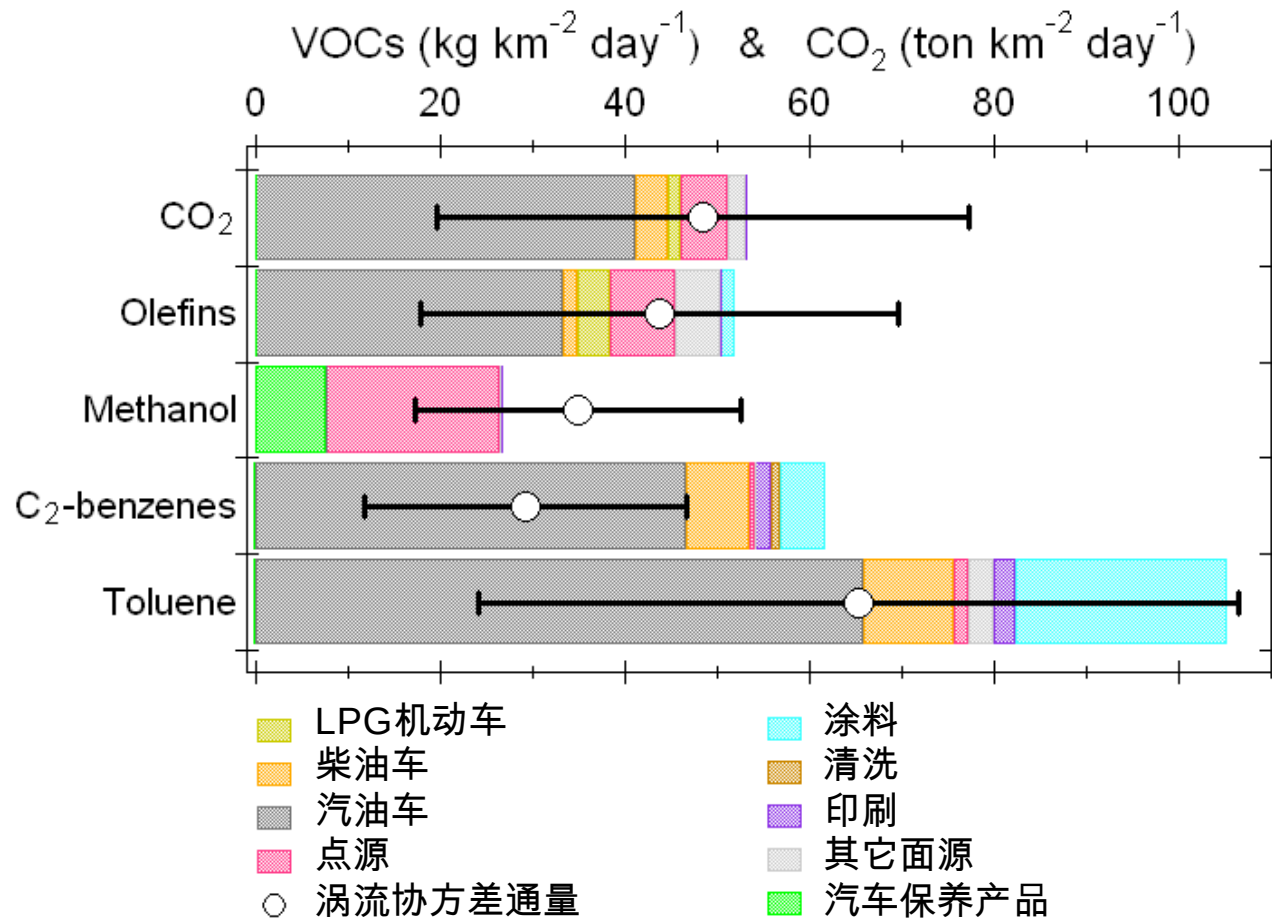


涡流协方差通量塔



- VOCs
- CO_2
- 气溶胶
- 能源

SIMAT站点测量的CO₂、VOCs日通量和2006年排放清单的比较



SIMAT site: 涡流协方差通量;
2006 源清单: 按源类型分类排放情况.
(来源: E. Velasco, 2009).

生物质燃烧排放

旱季(3月-6月)

- 森林火源(松木草原-附近山脉)
- 秸秆焚烧火点
- 木材、垃圾焚烧

这些火点经常检测到:

气溶胶

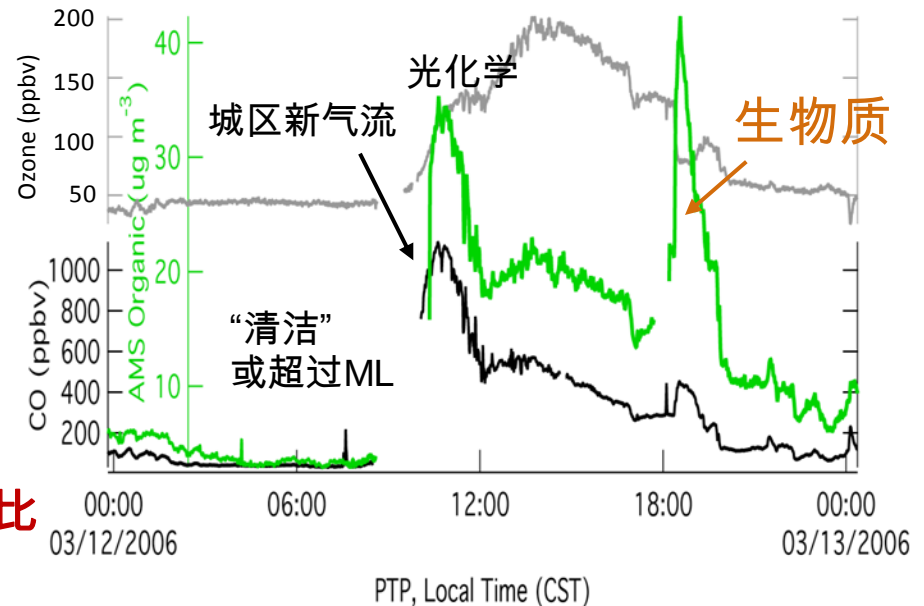
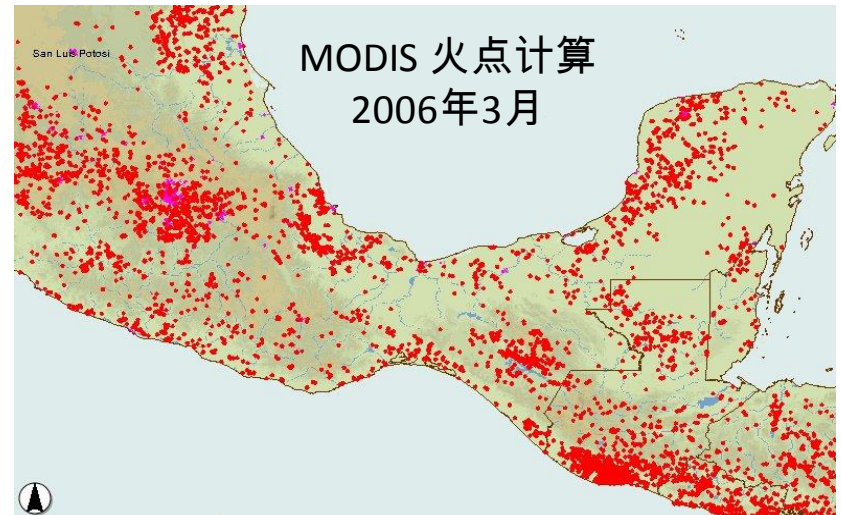
- 左旋葡聚糖 (来自纤维素)
- ^{14}C (现代碳)
- 单粒子分析

气体

HCN, CH_3CN (可能来自机动车排放)

NO_x , HCN, NO_y 的高排放因子

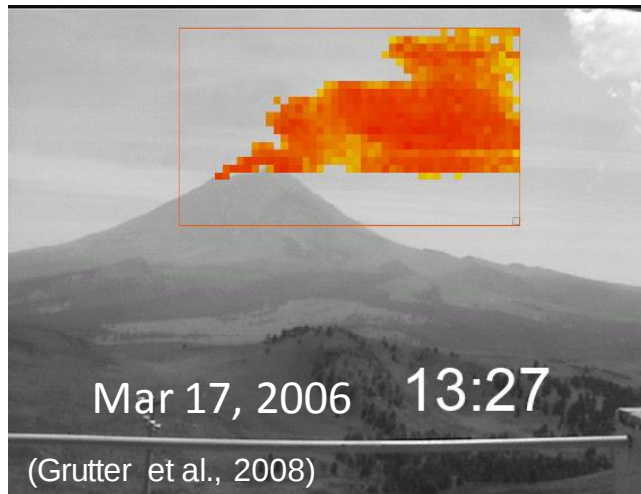
气溶胶的监测比气体更重要。



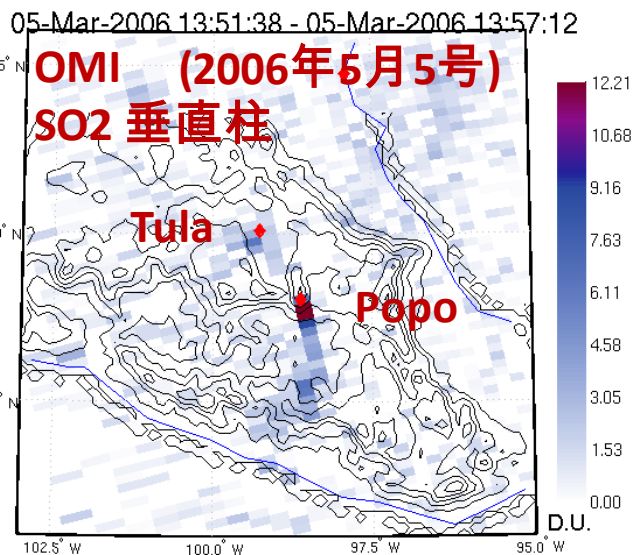
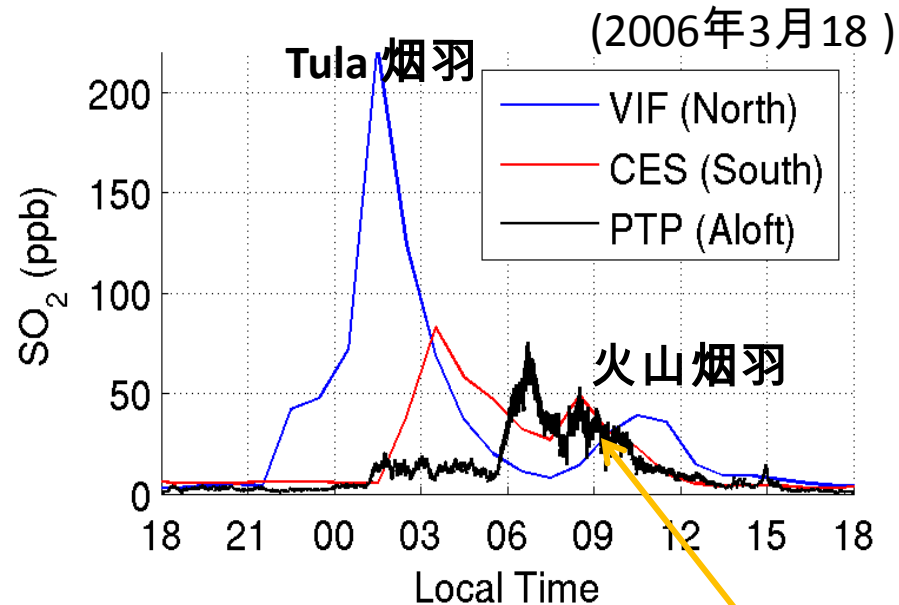
**在盆地内确定生物质燃烧的排放源及其占比
具有很大的不确定性。**

从卫星、光学遥感和地面监测的工业和火山SO₂排放

被动红外光谱分析 Popo火山SO₂排放烟羽



地面监测到的工业和火山烟羽 (RAMA 和 ARI 监测车)



在北部首先检测到图拉烟羽，然后向南移动，但在PTP处浓度保持较低。

上午6点，风向转变 - 在PTP处监测到火山烟羽，然后在日出之后在地面监测到火山烟羽。



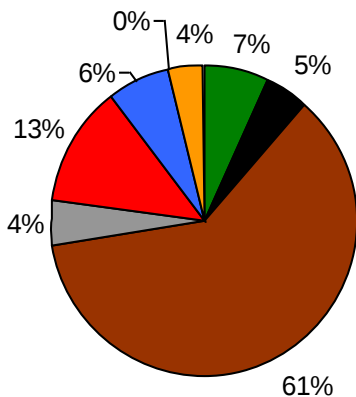
ARI van at PTP

(de Foy et al., 2009)

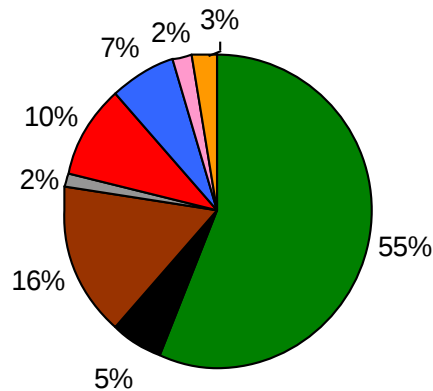
大气颗粒物

颗粒物 (PM₁₀-PM_{2.5}) 平均组分 和 T0 & T1的PM_{2.5}

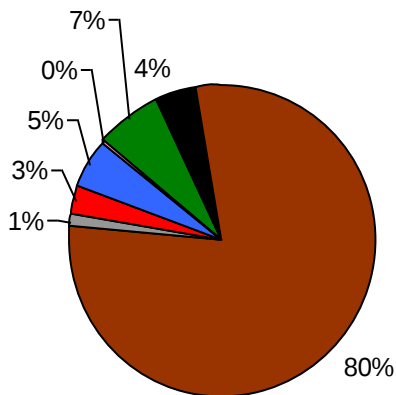
T0 - PM_{coarse}
(12.5 µg m⁻³)



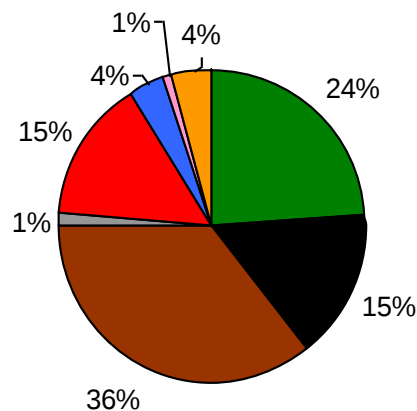
T0 - PM_{2.5}
(39 µg m⁻³)



T1 - PM_{coarse}
(32.5 µg m⁻³)



T1 - PM_{2.5}
(27 µg m⁻³)

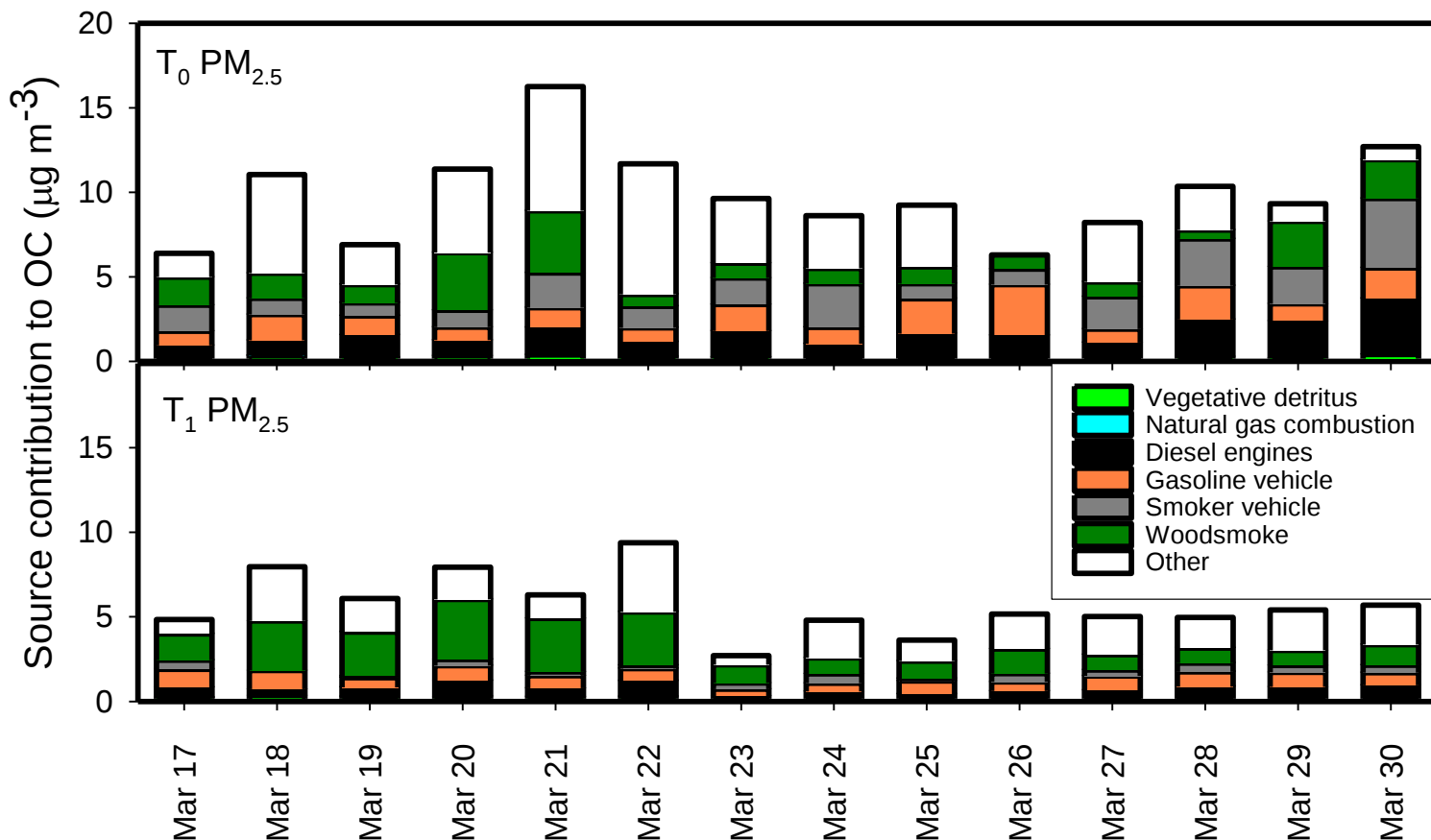


基于在T0站点测量到的
OA / OC平均比例 (1.75
), 由有机碳 (OC) 监
测值计算有机气溶胶 (OA) 。

T1站点受烟尘的局部再
悬浮的影响, 这解释了
矿物质颗粒在该位点贡
献比高。

(来源: Querol et al., 2008;
Aiken et al., 2008)

有机气溶胶源解析(2006)



➤观测结果显示，机动车在T0点贡献了1/2的PM2.5和有机碳（OC），在T1贡献了1/3的PM2.5和有机碳。

➤基于两个站点的观测数据，生物质燃烧对有机碳的日贡献变化幅度范围在10%-50%之间。

E. A. Stone et al., ACP, 2008.

颗粒物

- MCMA-2003观测结果显示，二次有机气溶胶（SOA）比传统模型预测结果的高得多。
- 快速观察到的二次有机气溶胶的生成刺激了许多团队更新二次有机气溶胶模型或提出新模型 – 以缩小观察结果间的差距。
- 不同类型的气溶胶（灰尘，生物质燃烧，人为排放）充分混合
- 多个站点和观测方式提供了有关气溶胶排放和转化的关键见解

挥发性有机化合物 VOC

全面的 VOCs 监测

独立的方法

- 多种类型
- 多样的时空范围
- 不同的时间分辨率 (10 Hz至小时)

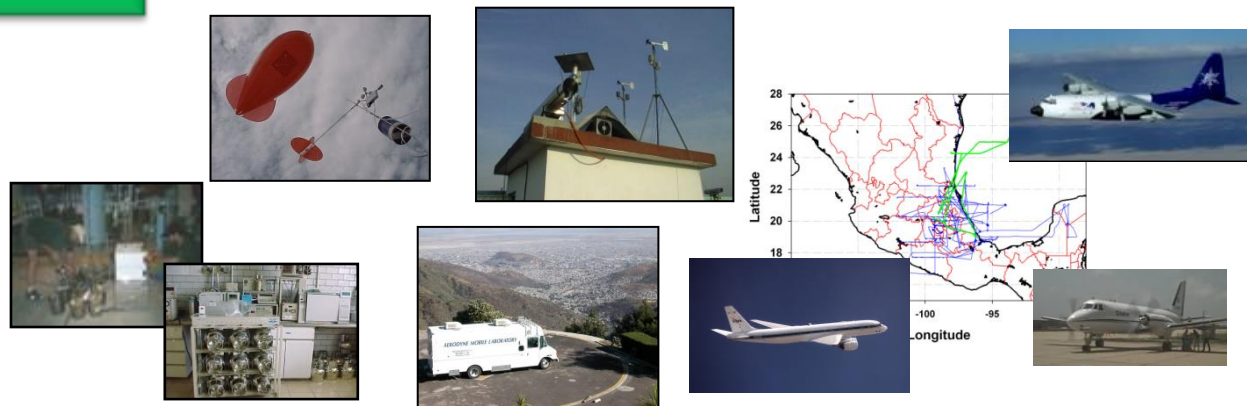
不同地点

- 市区、郊区、工业和农村监测站点
- 背景点，污染源点和下风向监测点

MCMA-2003

MILAGRO

多样的平台



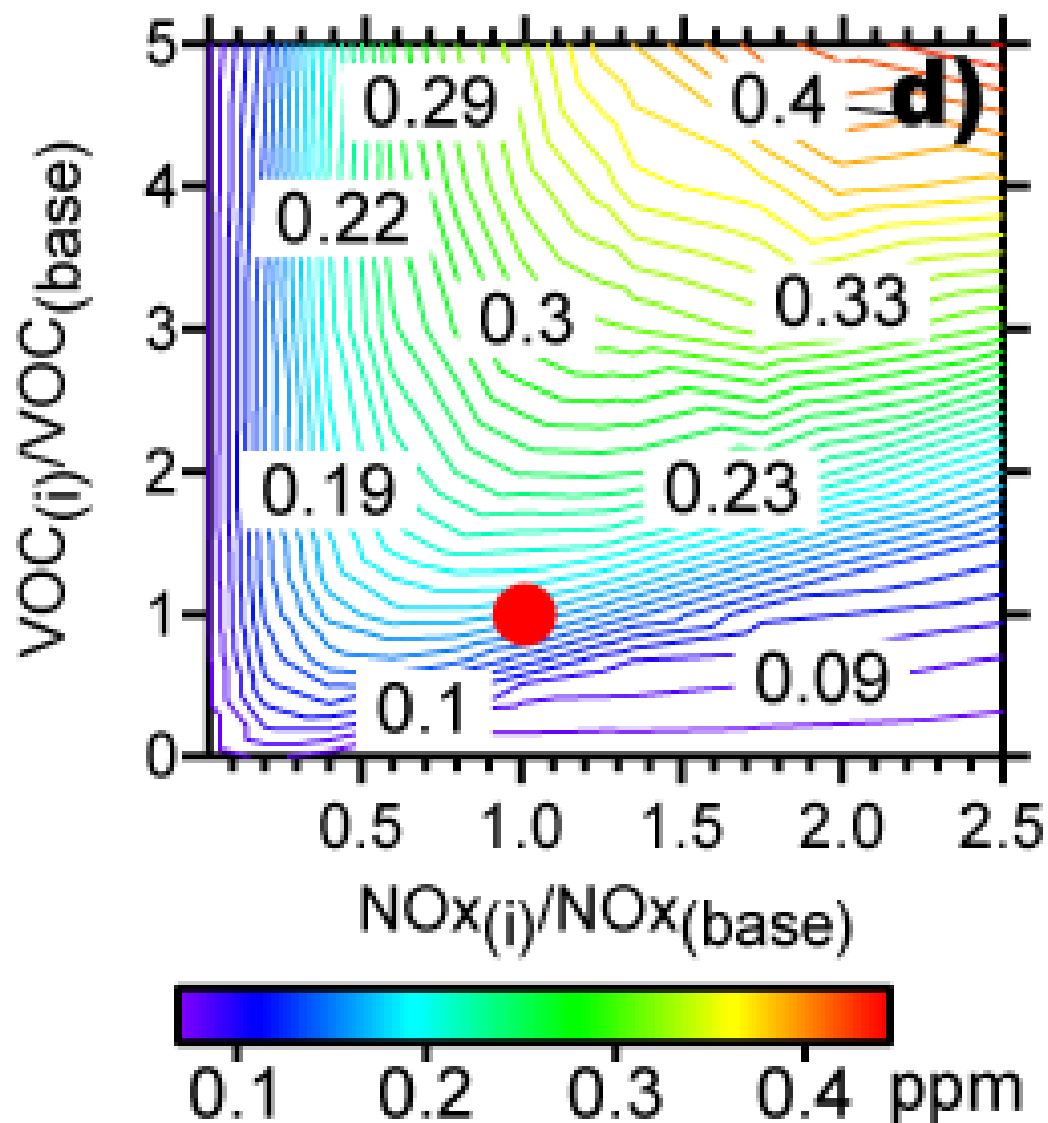
互补的独立方法提供置信区间并识别不确定性

挥发性有机化合物

- MCMA-2003和MILAGRO项目为VOCs提供了世界级的数据资料
 - 为制定监测/采样方法、下风向烟羽演化和二次污染物形成提供了重要信息 (O₃ , SOA等)
- 新的VOCs观测结果表明自2003年以来VOCs大幅减少。

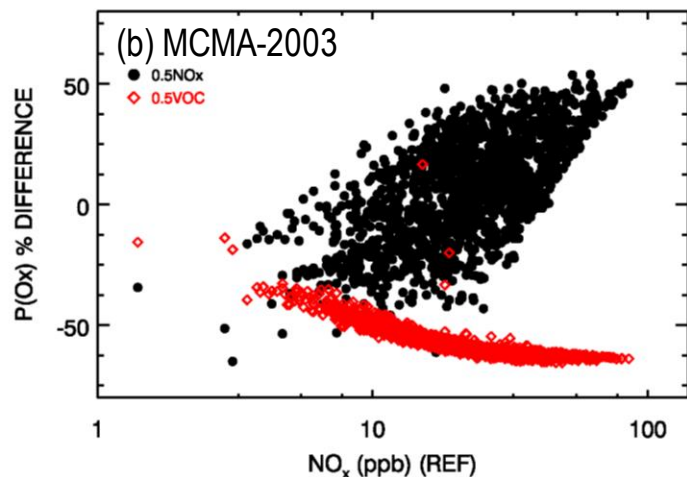
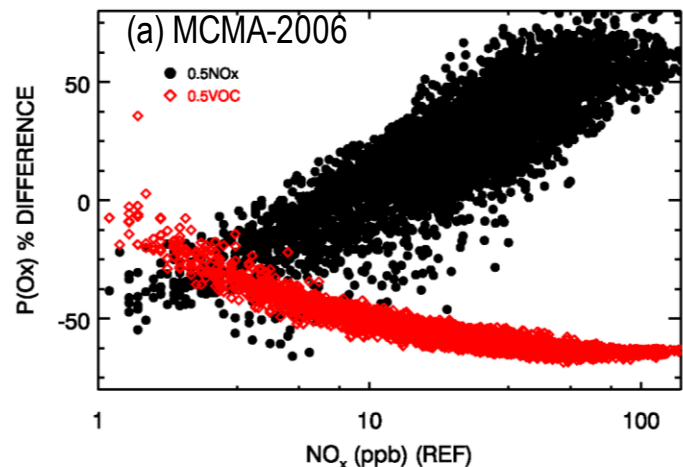
城市与区域光化学

臭氧1小时最大浓度等值线

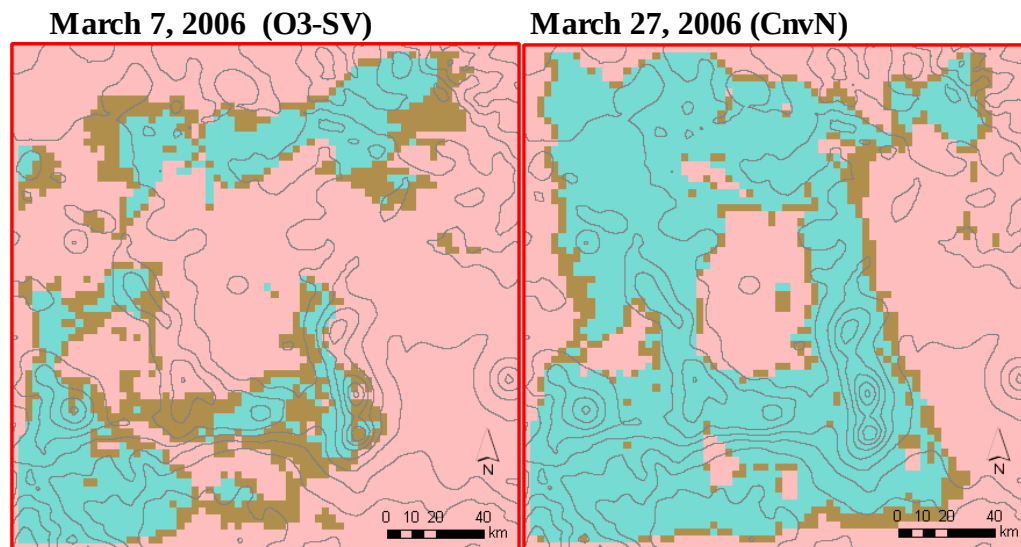


MCMA-2006/MILAGRO 项目期间的臭氧敏感度

基于12-17LT的城市地区NO_x的基准情景，模拟的P(O_x)的变化



从H₂O₂到HNO₃生成率的空间分布 (时间 14:00 LT)



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

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

- 城市地区 - 无论气象条件如何变化，都需控制VOCs。
- 周边山区和农村地区 - 取决于气象条件，选择控制VOC或NO_x。
- 使用化学指示剂分析 $[P(H_2O_2)/P(HNO_3)]$ 来诊断灵敏度区间的大小。

城市和区域光化学

- 在墨西哥城，由于 NO_x 和VOC的排放量都很高，光化学生成的臭氧浓度也很高，这进一步增加了城市光化学活动的活性。
- 墨西哥城大都市区的臭氧生成对VOCs更敏感，而非 NO_x
 - VOCs的减少可以有效地降低墨西哥城大都市区的臭氧。
 - 减少氮氧化物排放量在当地效果并不是很显著，但是可能降低区域范围的 O_3 生成量。
- 臭氧生成后在去除过程中至少会持续几天，这是由于过氧乙酰基硝酸酯（PAN）的产生有效地增加了 NO_x 寿命。
- 醛是去除反应的主要成分。大气中VOCs的氧化以及直接排放都会造成醛的产生。尽管非常重要，但它们不是常规监测的污染物。

(PROAIRE 2011-2020)



Campañas MCMA-2003 y MILAGRO-2006

El informe de los estudios realizados en los años 2003 y 2006 indica que cada vez más se tiene mayor evidencia de que las actividades humanas están modificando tanto la calidad del aire como el clima, pasando por la escala urbana y regional hasta la escala continental y mundial, de tal forma que se identifican al rápido crecimiento demográfico y a la mayor demanda energética, como las principales fuerzas que impulsan los cambios ambientales sin precedentes que se presentan.

La mayor parte del crecimiento ocurre en las regiones urbanas y en sus áreas conurbadas, lo que ha conducido a la formación de las megaciudades, que son áreas urbanas con más de 10 millones de habitantes.

El informe menciona que los asentamientos densamente poblados pero bien planificados y administrados pueden reducir la necesidad de realizar cambios en el uso del suelo, a la vez que proporcionan infraestructura y servicios. Sin embargo, muchas áreas urbanas sufren de una expansión acelerada y sus actividades son la causa principal de los problemas ambientales. Estos megacentros de población humana llevan a incrementar la demanda de energía, la actividad industrial y los requerimientos de transporte, lo cual aumenta la emisión de contaminantes a la atmósfera.

La redistribución geográfica de contaminantes, la evolución de sus propiedades químicas, físicas y ópticas, y los mecanismos para su eventual remoción de la atmósfera.

Tabla 3.7.1. Implicaciones para la elaboración de políticas públicas en el mejoramiento de la calidad del aire en la ZMVM utilizando resultados clave de las campañas MCMA-2003 y MILAGRO 2006

Política recomendada	Justificación
A. Políticas relacionadas con la meteorología y dinámica	
1. En la planeación de políticas públicas considerar el perfil temporal en el que se emiten los contaminantes	Los picos altos de contaminación por la mañana son afectados fuertemente por los flujos de ventilación con muy poco mezclado vertical antes de la salida del sol. La reducción de emisiones nocturnas y durante las primeras horas en la mañana tendría un gran impacto en los altos niveles de contaminantes en esas horas.
2. Incluir los flujos de ventilación nocturnos en las evaluaciones de impacto ambiental para el corredor industrial de Tula y el volcán Popocatepetl	Existen vientos estables y ligeros de la región de Tula hacia la ZMVM antes del amanecer y en algunas ocasiones después de la puesta del sol. Estos flujos pueden transportar y elevar las concentraciones de contaminantes en el aire de la ZMVM. Estos eventos de transporte deberían ser considerados tanto desde la perspectiva de calidad del aire como del análisis de riesgos. En contraste, se encontró que el volcán Popocatepetl tiene en general poca influencia en los niveles de la calidad del aire en la ZMVM en superficie. Sin embargo, los eventos en donde la influencia es significativa ocurren durante periodos de altos mezclados verticales de la pluma debido a la altura de la capa de mezclado y la fuerte dilución. Sin embargo, a escala regional, los resultados indican que las emisiones volcánicas sí pueden llegar a tener una influencia importante en la calidad del aire.
3. Desarrollar planes de contingencia con base en los procesos de ventilación de la cuenca	Se ha encontrado que los días con mala calidad del aire en la ZMVM pueden ser el resultado de contaminantes emitidos en un día previo con poca ventilación. Por lo tanto, las acciones de respuesta rápida deberían ser enfocadas a las emisiones nocturnas y de la mañana.
B. Políticas relativas a mejorar el inventario de emisiones	
4. Mejorar la cuantificación de las emisiones de vehículos a diesel	En comparación con los vehículos a gasolina, los vehículos a diesel contribuyen desproporcionadamente a las emisiones de NO_x y especialmente en $\text{PM}_{2.5}$. Estudios recientes de las emisiones de las fuentes móviles subrayan la importancia de tener una mejor cuantificación de las emisiones gaseosas y de partículas de vehículos a diesel en la ZMVM. Se sugiere: (a) Llevar a cabo una campaña de mediciones específicamente diseñada para caracterizar las emisiones de vehículos a diesel en circulación en la ZMVM; (b) Mejorar las bases de datos de los inventarios en cuanto a la clasificación y el número de vehículos a diesel locales y no-locales que circulan en la ZMVM; (c) Desarrollar factores de emisión locales de vehículos a diesel; y, (d) como parte del desarrollo del inventario de emisiones, llevar a cabo cálculos de

科学发现的政策意涵： 完善源清单

➤ 改进柴油车辆排放的量化

墨西哥大都市区的柴油车辆不同比例地贡献了NO_x和细颗粒物的排放。量化的改进可以通过以下方式实现：（1）制定柴油车排放核查计划；（2）开展专门的现场监测，解决在用柴油车排放的特性；（3）完善墨西哥大都市区柴油车辆的排放估算。

➤ 调查墨西哥大都市区中一次颗粒物的来源

包括来自柴油车辆的排放、道路扬尘和工业排放等

➤ 排放清单不确定性分析

应用自下而上方法，在建立排放清单的过程中考虑不同源排放类别的不确定性；量化排放的不确定性有助于识别问题和设定完善清单的优先事项。

➤ 更新墨西哥大都市区的本地排放因子和VOCs源谱

之前的减排努力集中在移动源方面；然而，生物源、工业和家庭排放源也将受益

科学发现的政策含义： 运输部门排放控制政策

➤ 出租车路边检测/车辆维护项目

创造有效的激励，推动部分污染严重的车辆（出租车的日常行驶公里数更多）换成混合动力或应用其他清洁技术。

➤ 有针对性地减少机动车辆的醛排放

甲醛和乙醛以及其他含氧化合物是墨西哥城VOCs反应活性的主要贡献源。移动排放源的减少可以帮助减少含氧化合物对VOC反应活性的贡献。

➤ 鼓励更新车队和淘汰旧车辆

没有采取适当排放控制技术的老旧车辆不同比例地贡献了移动源的排放。

➤ 鼓励公共交通替代私家车（综合交通 - 城市规划 - 空气质量管理）

在城市发展和城市规划（改善交通和空气质量）的综合设计中应该将低容量交通模式转向高容量交通模式。公共交通模式应该受到青睐，同时也不影响舒适、效率和安全。

。

➤ 对柴油车进行改造以控制尾气排放

科学发现的政策含义： 其它减排政策

➤ 控制液化石油气运输和使用中的泄漏

由于广泛使用LPG作为主要的烹饪和烧水燃料，MCMA中的总VOC浓度继续由低分子量烷烃主导，特别是丙烷。

➤ 控制和管理开放式生物质燃烧排放

➤ 控制固体生物燃料使用的排放

➤ 控制垃圾燃烧的排放

➤ 通过改进土地利用管理来控制排放

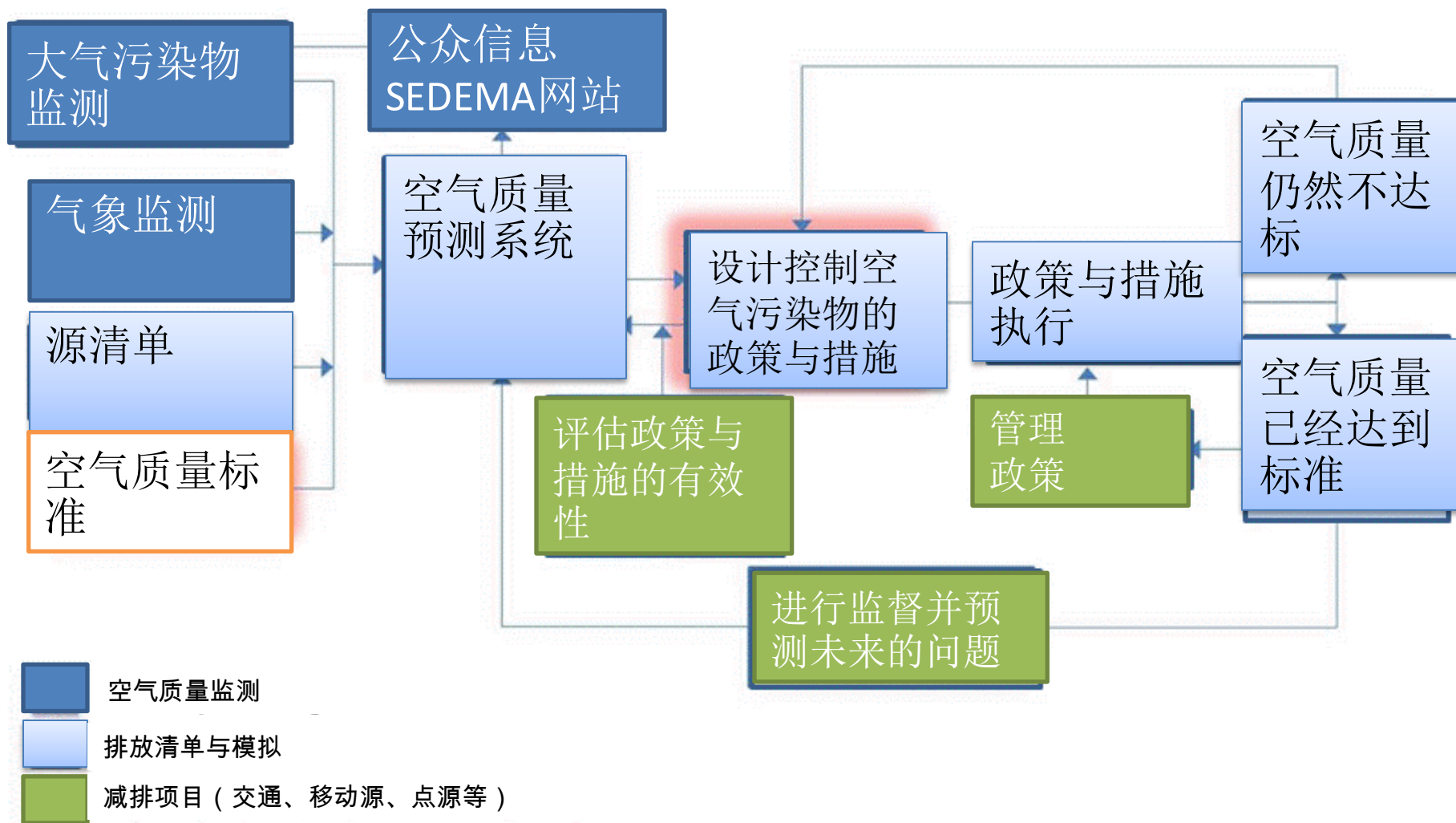
对农业和森林地区以及前Texcoco湖的可持续管理可以帮助减少影响MCMA空气质量的颗粒再悬浮所产生的排放

➤ 区域排放控制

将国家中部地区的车辆排放控制统一化，并建立区域空气质量监测网络。

当前空气质量管理情况与挑战

墨西哥城空气质量管理框架

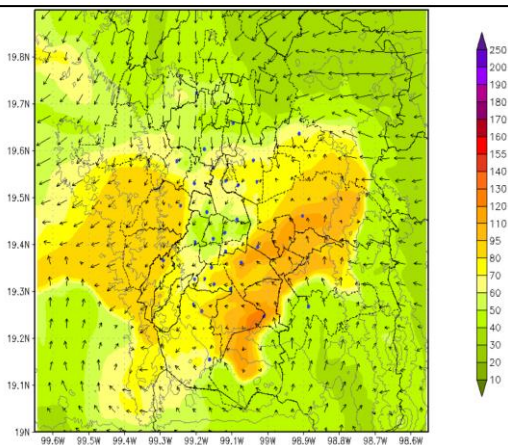


墨西哥城空气质量管理工具

空气质量监测网络



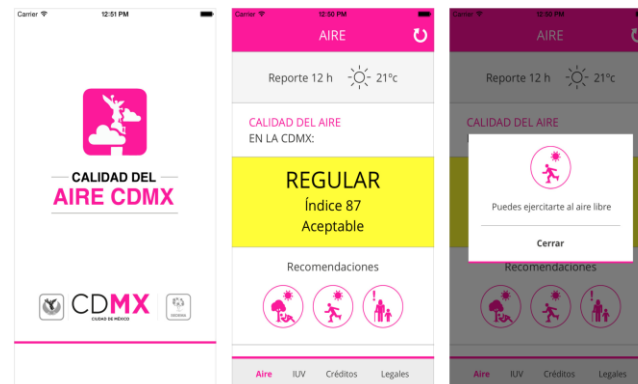
- 源清单
- 空气质量预测



为儿童提供空气质量信息



智能手机应用



研究合作

PM

Proyecto AERAS (AERosoles AtmosféricOS)



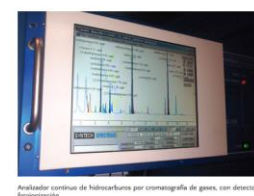
Descripción
Uno de los México, e investigador pueden ir la muestra y el. Las partículas encuentran nebulosidad, compuestos orgánicos, fuentes an reacciones. Las partículas: periodos d distancias, sedimenta, partículas. Existe info partículas.

BC

Monitoreo de carbono negro



臭氧前体物



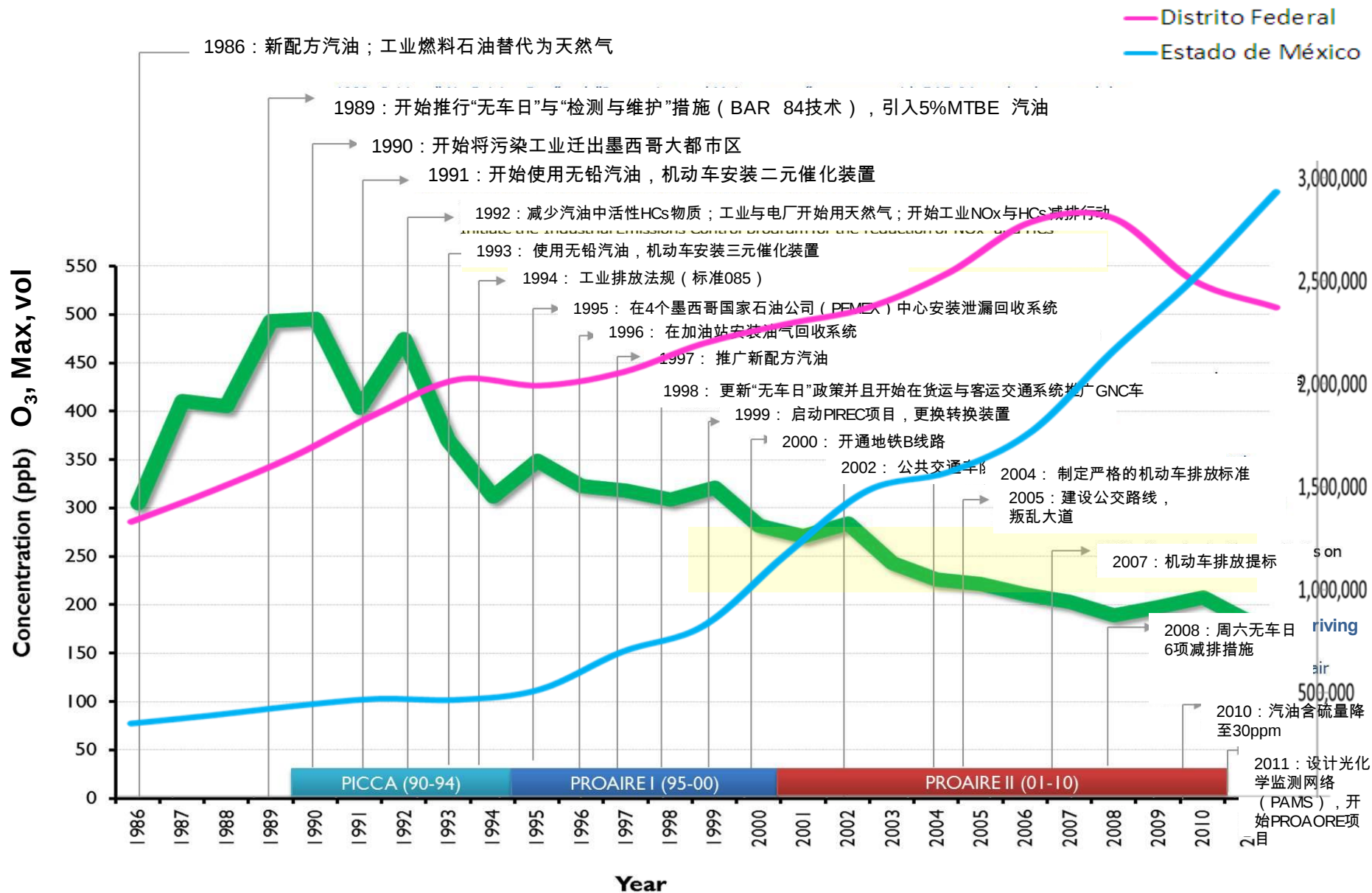
Altzomoni

Observatorio Atmosférico Altzomoni



成功的空气质量管理行动

机动车: 530 万



当前空气质量管理规划

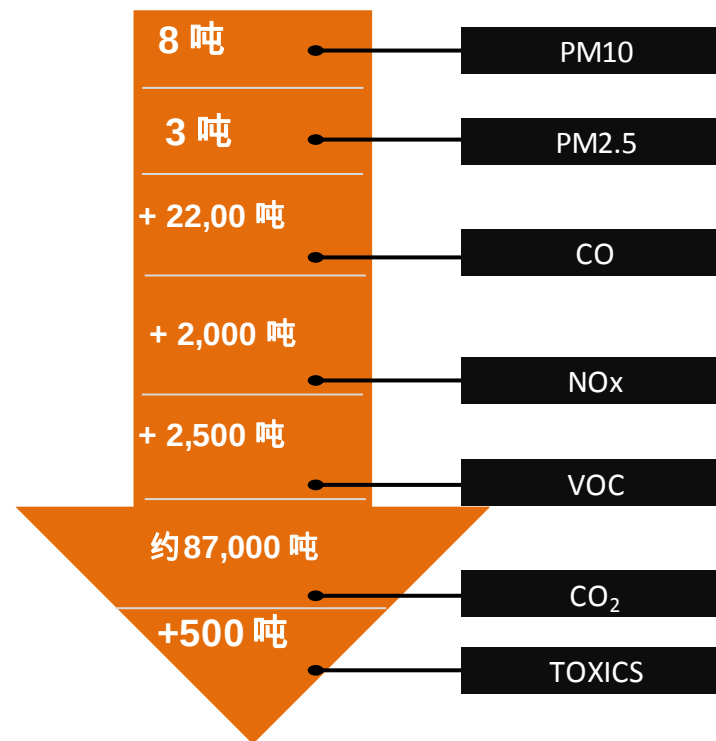
污染减排目标 (吨) 2020



能效
机动车法规
保护公共健康
环境教育，公民参与
植树与城市绿化
制度加强
科学调查

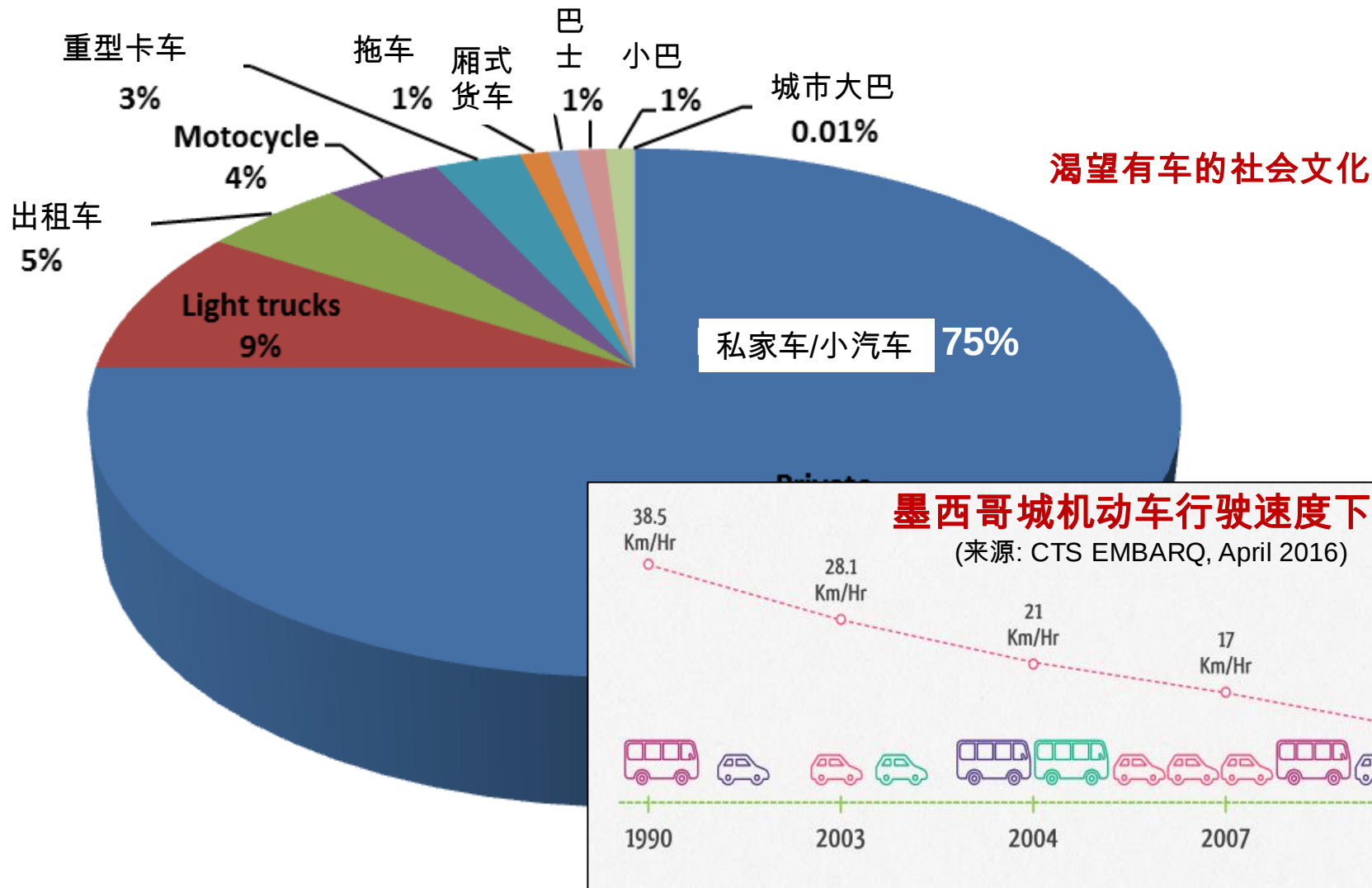
减排量 2014

7项重要的移动源措施减排

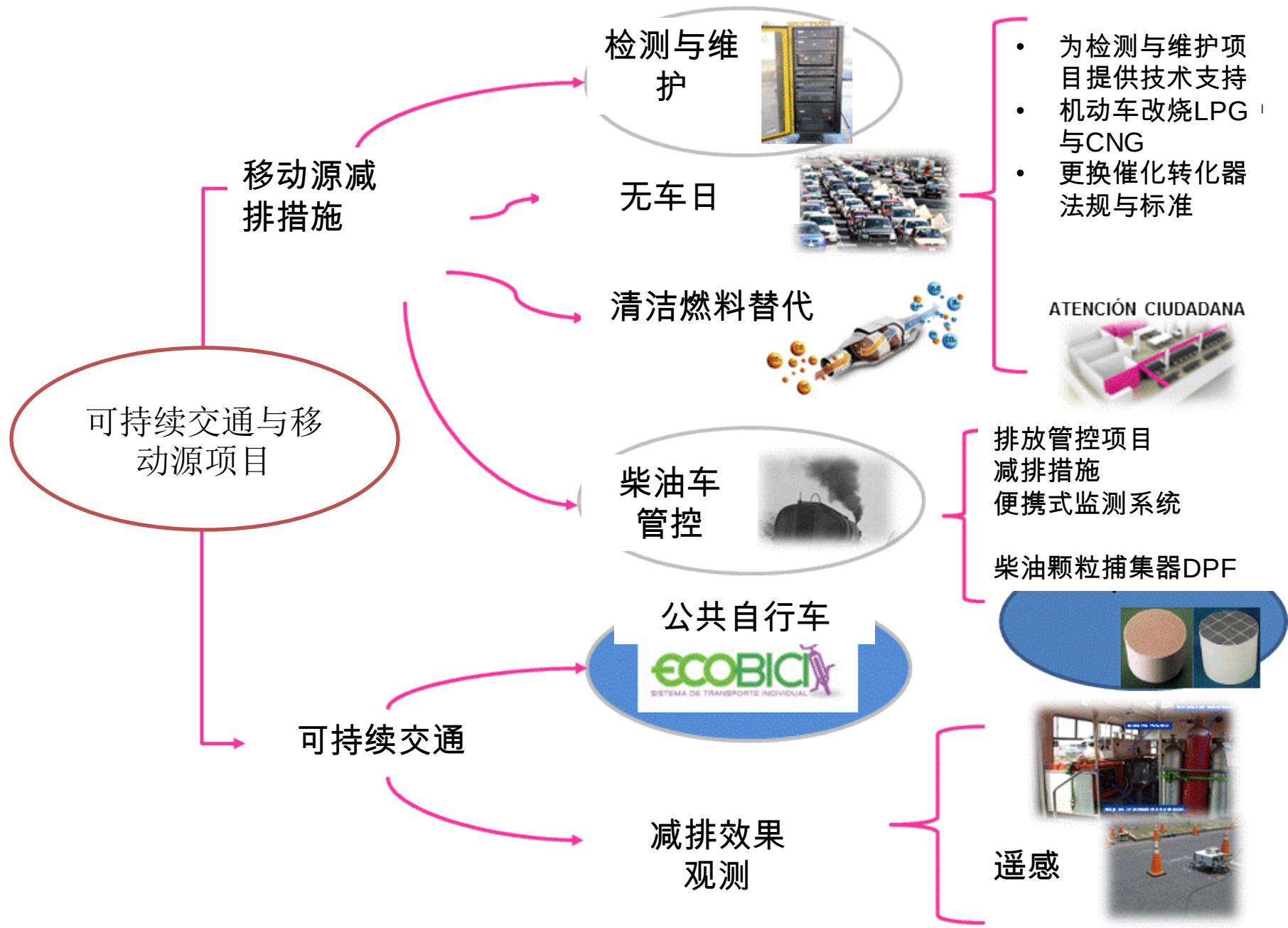


*更换催化转化器；道路高排放机动车项目；引入先进的机动车技术- RTP 与城市大巴；载客车辆更新- 报废；出租车基站建设；校车；自行车使用。

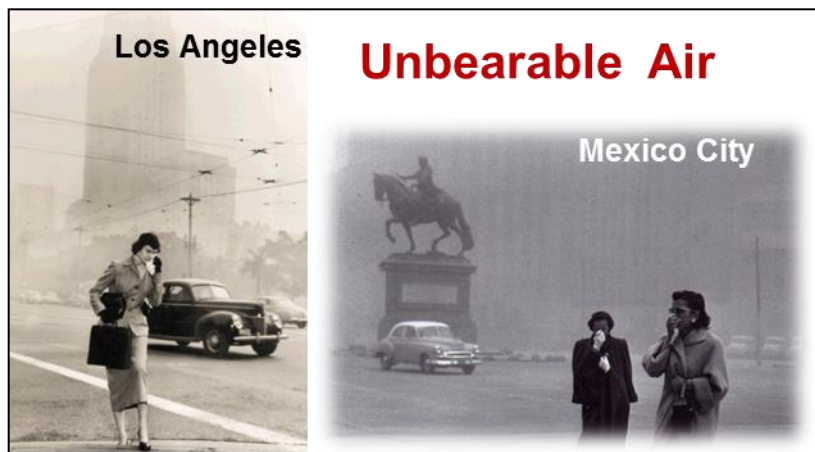
机动车构成 (总计: 530 万辆)



可持续交通与移动源项目



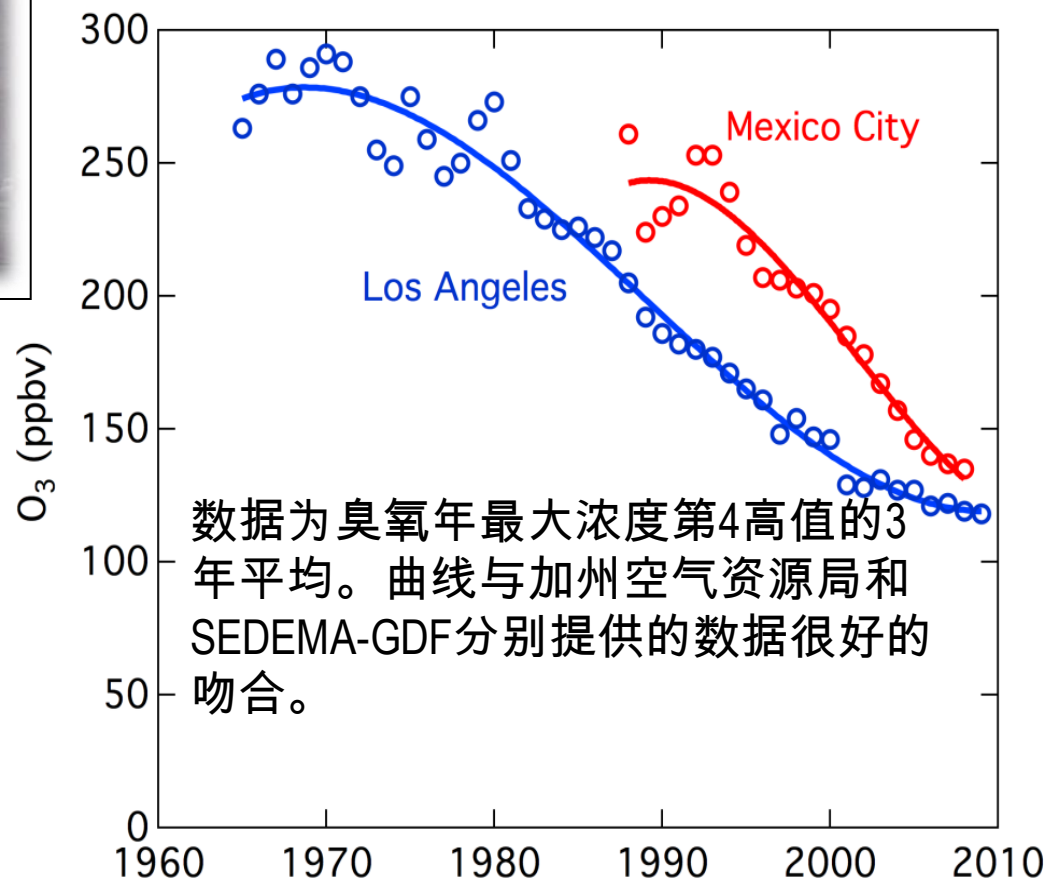
墨西哥城与旧金山空气质量变化趋势对比 (O_3)



Mexico City: ProAire
Air Quality



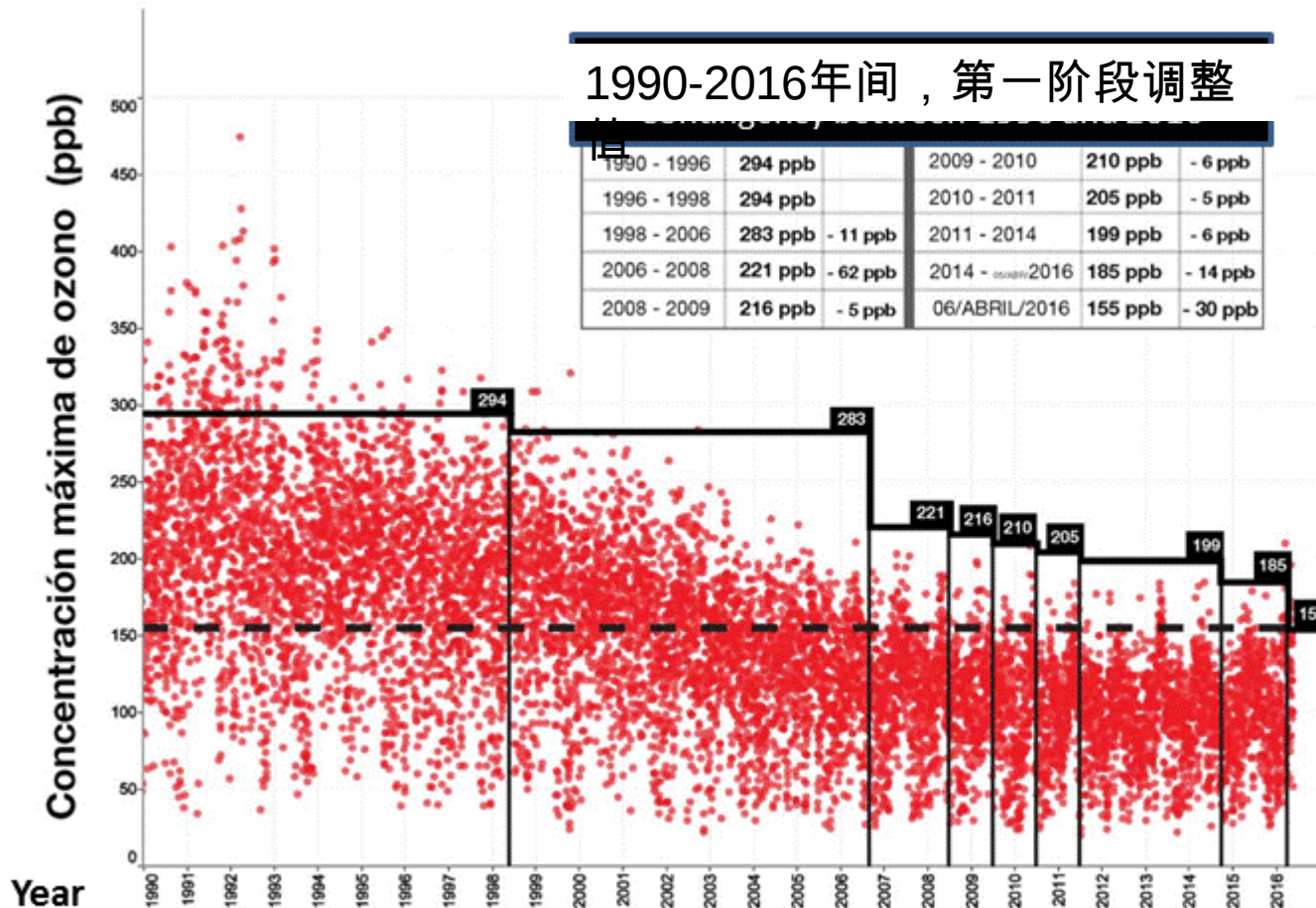
2013年，墨西哥城赢得了城市气候领袖奖的空气质量类别奖项，在空气质量改善方面获得了认可。



(来源: D. Parrish, H. Singh, L.T. Molina, S. Madronich, Atm. Env. 2011)

墨西哥城空气质量管理

1990-2016年间日最高臭氧浓度

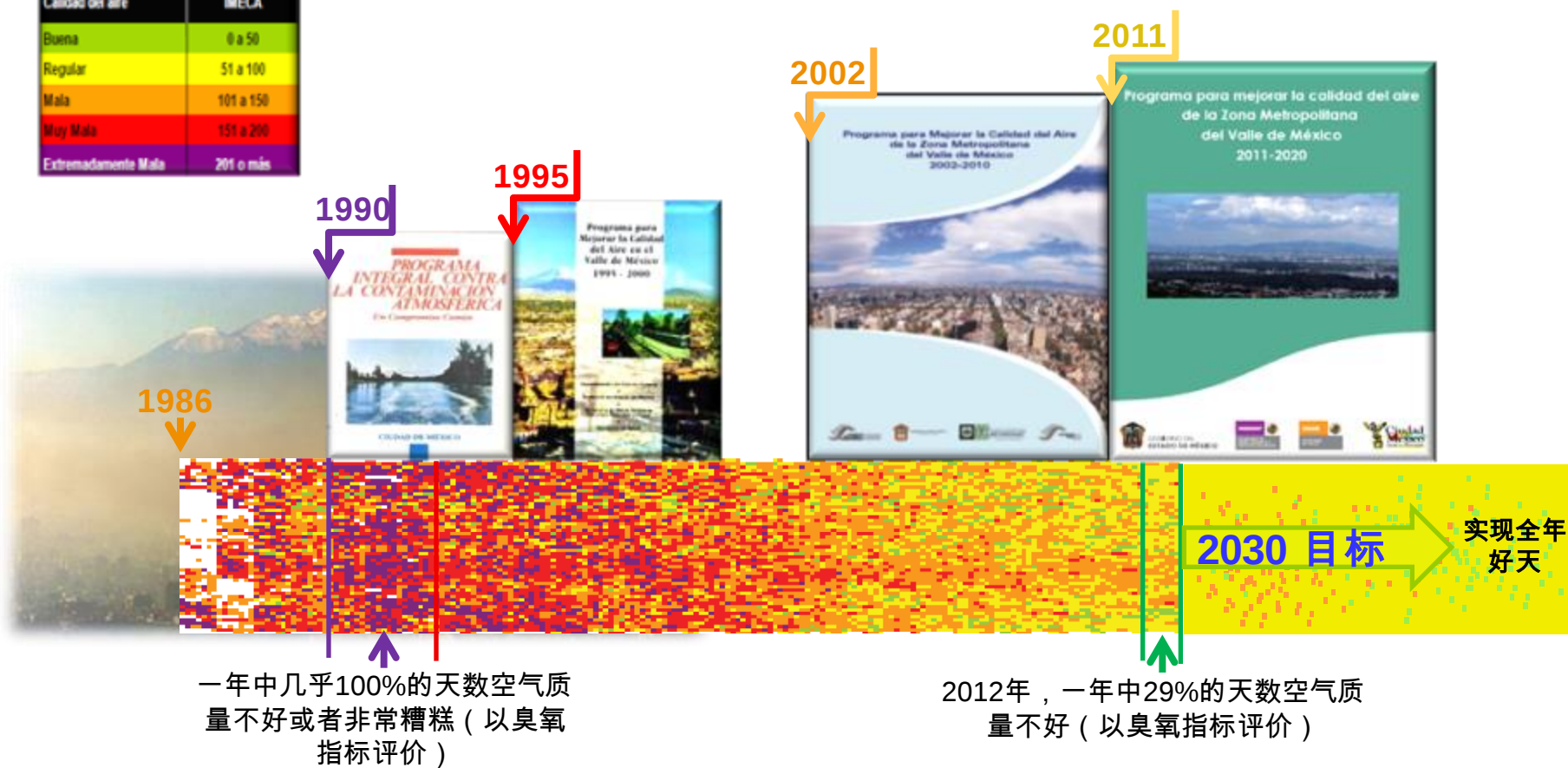


Notes

- 日最高浓度
- 第一阶段历史浓度数据变化
- 第一阶段当前值
(155 ppb = 151 IMECA).
- 第一阶段当前值
= 155 ppb (151 IMECA)

MCMA空气质量管理目标: 到2030清洁空气天数达到100%

Calidad del aire	IMECA
Buena	0 a 50
Regular	51 a 100
Mala	101 a 150
Muy Mala	151 a 200
Extremadamente Mala	201 o más



墨西哥城空气污染研究经验教训

- 墨西哥城一直致力于改善空气质量多年。通过基于科学、技术、社会和政治考虑的综合空气质量管理方案，在解决空气污染问题方面取得了很大进展。然而，城市人口不断增加的压力和人们要求更好的生活质量的愿望仍然需要改善空气质量。
- 墨西哥城政府还采取行动减少温室气体排放。该计划寻求聚焦促进社会发展和环境效益的“双赢”战略。
- 将空气质量和气候稳定目标纳入环境政策的设计以实现潜在的协同效益是很重要的。
- 墨西哥城的经验将有助于展示如何在周边地区和其他城市建立健全政策所需的全面知识。

总结：城市化的挑战与机遇

- 目前世界人口约有一半生活在城市地区，其中70%生活在欠发达地区。
- 这些人群及其活动的集中化对本地、区域、大陆和全球尺度都有影响。
- 作为经济增长、教育、技术进步和文化的中心，这些城市地区还提供了以可持续的方式管理和应对人口持续增长的机会。
- 如果很好地规划，人口稠密的居住区可以减少对土地转化的需求，提供就近基础设施和服务，并有节省能源的机会。
- 政府和社区如何应对快速城市化、贫困、发展和保护自然环境的挑战，将在很大程度上决定人们在未来世界的生活质量。

感谢!

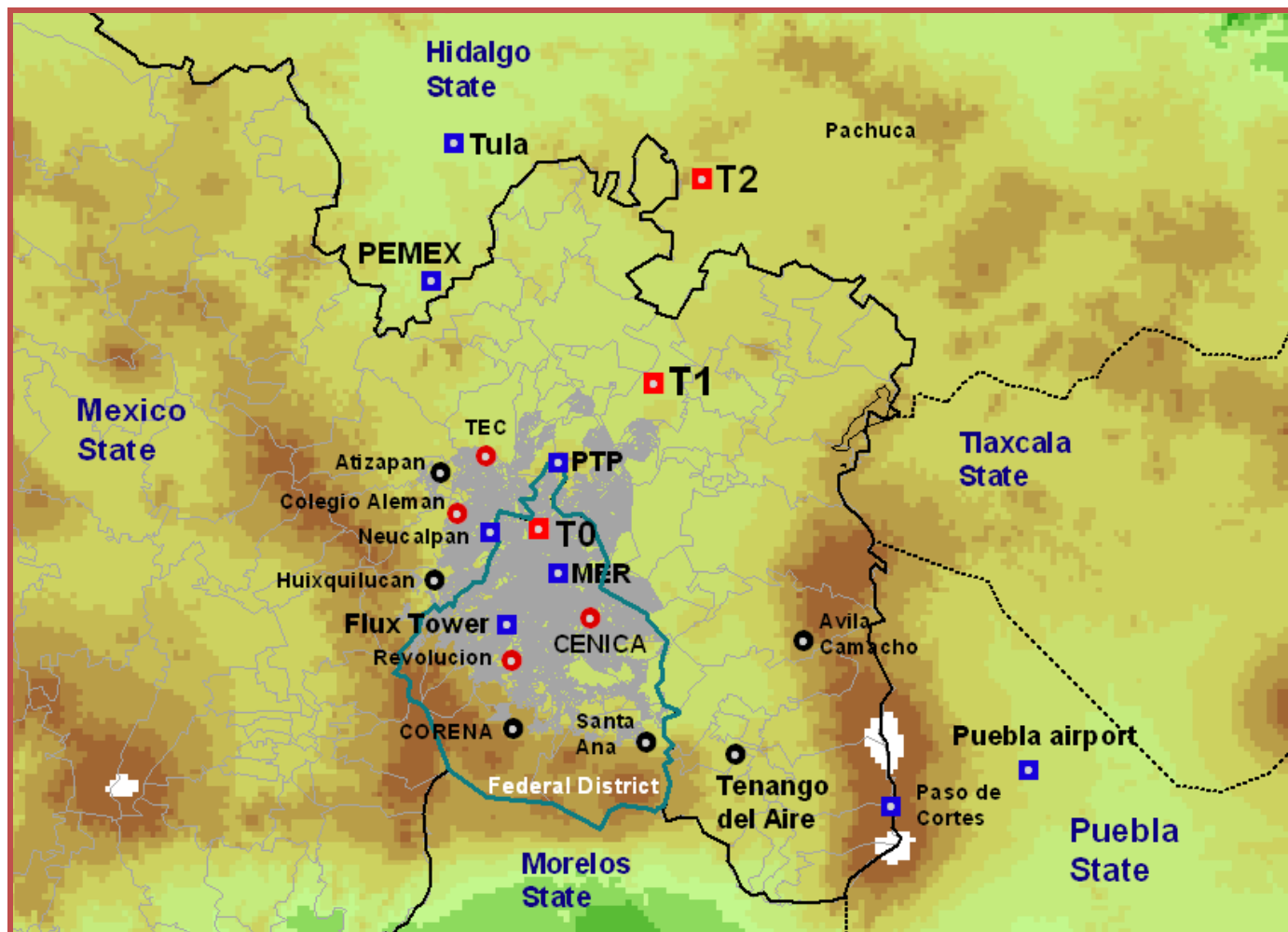
MCMA-2002/2003 实地观测活动

- 使用移动实验室进行观测活动(2002年2月)
- 历时5周的高强度实地观测(2003年春天)
 - 在超级站测量表面气体和气溶胶，使用移动实验室
 - 臭氧形成过程
 - 微粒的来源和组成
 - 气象预报
 - 空气质量模型
- 加州旧金山2004年秋季AGU大会设置**专门议程环节**“大都市空气质量影响”
- 《大气化学与物理》杂志发表MCMA-2003观测活动特刊
- **资助方**: CAM, NSF, MIT/AGS, PEMEX, DOE, 其它

MILAGRO 项目: 4个组成部分与地理覆盖范围



MCMA-2006: 地面观测站



超级站 (T0, T1, T2)

SIMAT (通量塔)

CENICA

Tula (炼油厂, 电厂)

Naucaplan (工业区)

RAMA (36个监测站点)

交通站(9个站点)

移动实验室

- ARI 移动实验室

- U. Iowa (Lidar)

- Chalmers (DOAS)

- CMET

超轻飞机

Paso de Cortes (Altzomoni)

AOD 网络

Max-DOAS网络

● 固定站 ● 交通站 ■ 超级站 ■ 其它观测点

MCMA-2003/MILAGRO-2006主要成果

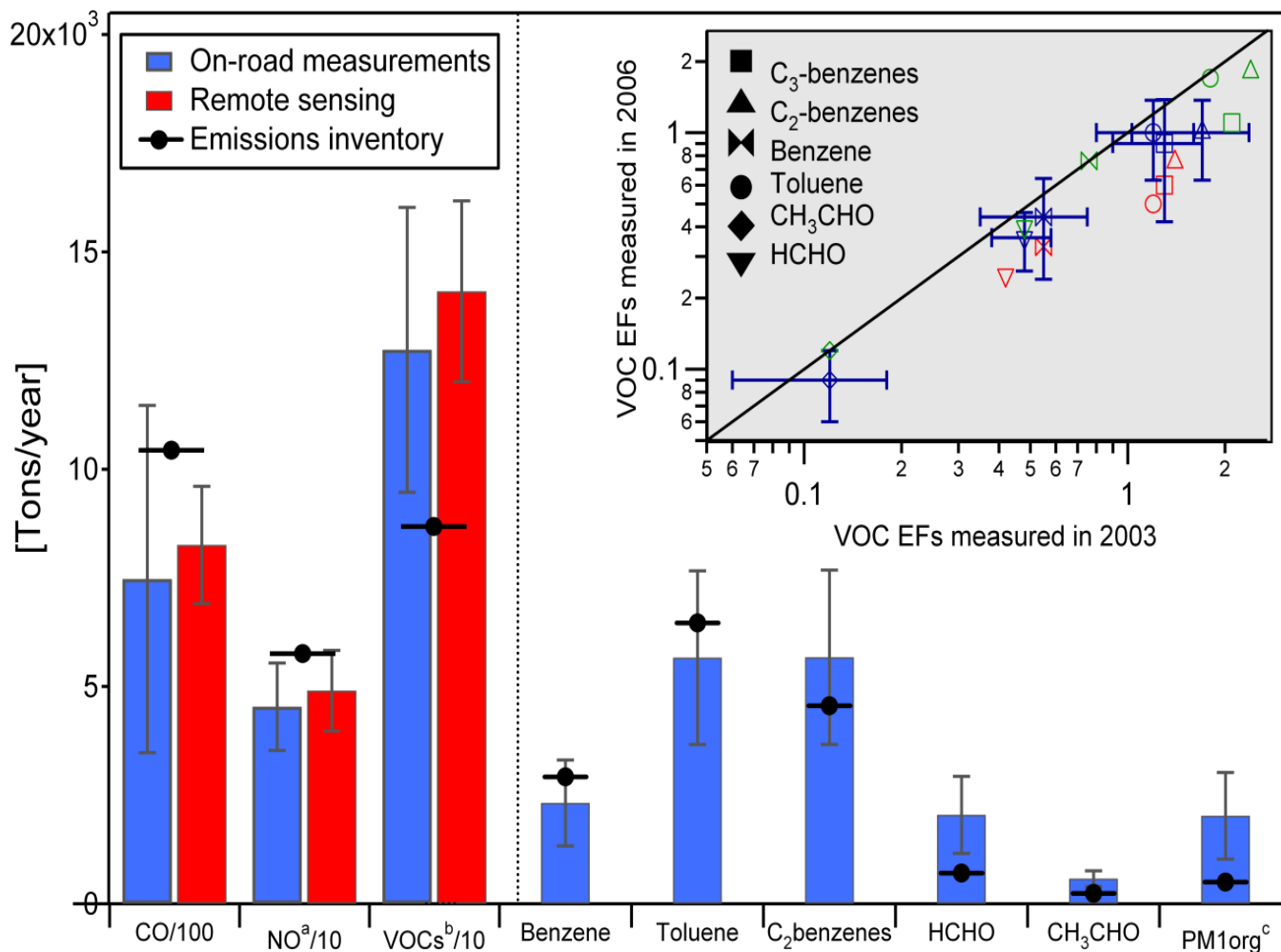
- 非常丰富的数据集:
 - 充分利用数据需要几年的合作工作
- 2008年3月后，数据就可提供给科学界
- 《大气化学与物理》(ACP)三期特刊:
 - MCMA-2003 实地观测项目
 - MILAGRO/INTEX-B 项目
 - 大都市：从地方到全球尺度的空气质量和气候影响
- 共发表文章: MCMA-2003项目55篇; MILAGRO-2006项目150篇
- 综述文章:

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. Atmos. Chem. Phys., 7, 2447–2473, 2007.

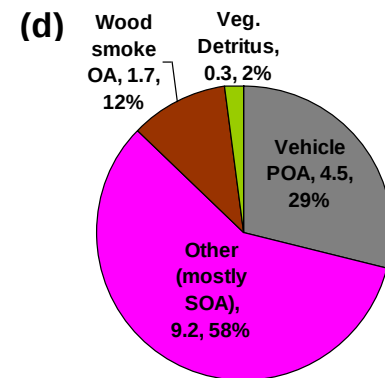
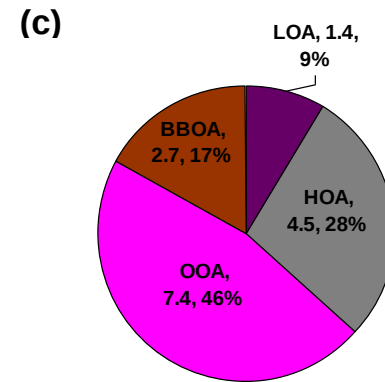
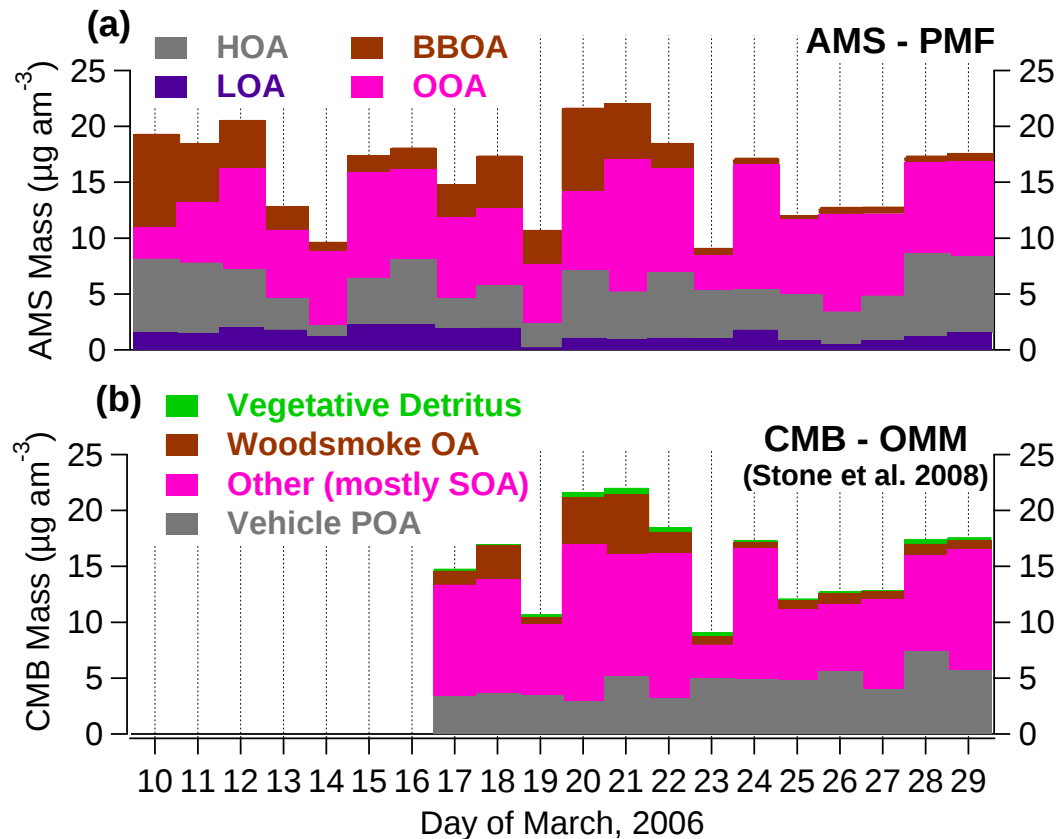
全部的文章(包括其它期刊)可在mce2 网站看到: <http://mce2.org>

MILAGRO项目估算的 LDGV道路移动排放对比



来源: On-Road Measurements (Zavala et al., 2009); Remote sensing, 2006 (Schifter et al., 2008); mobile EI (SMA-GDF, 2008). The uncertainty bars displayed are standard errors of the means.

有机气溶胶的日来源解析

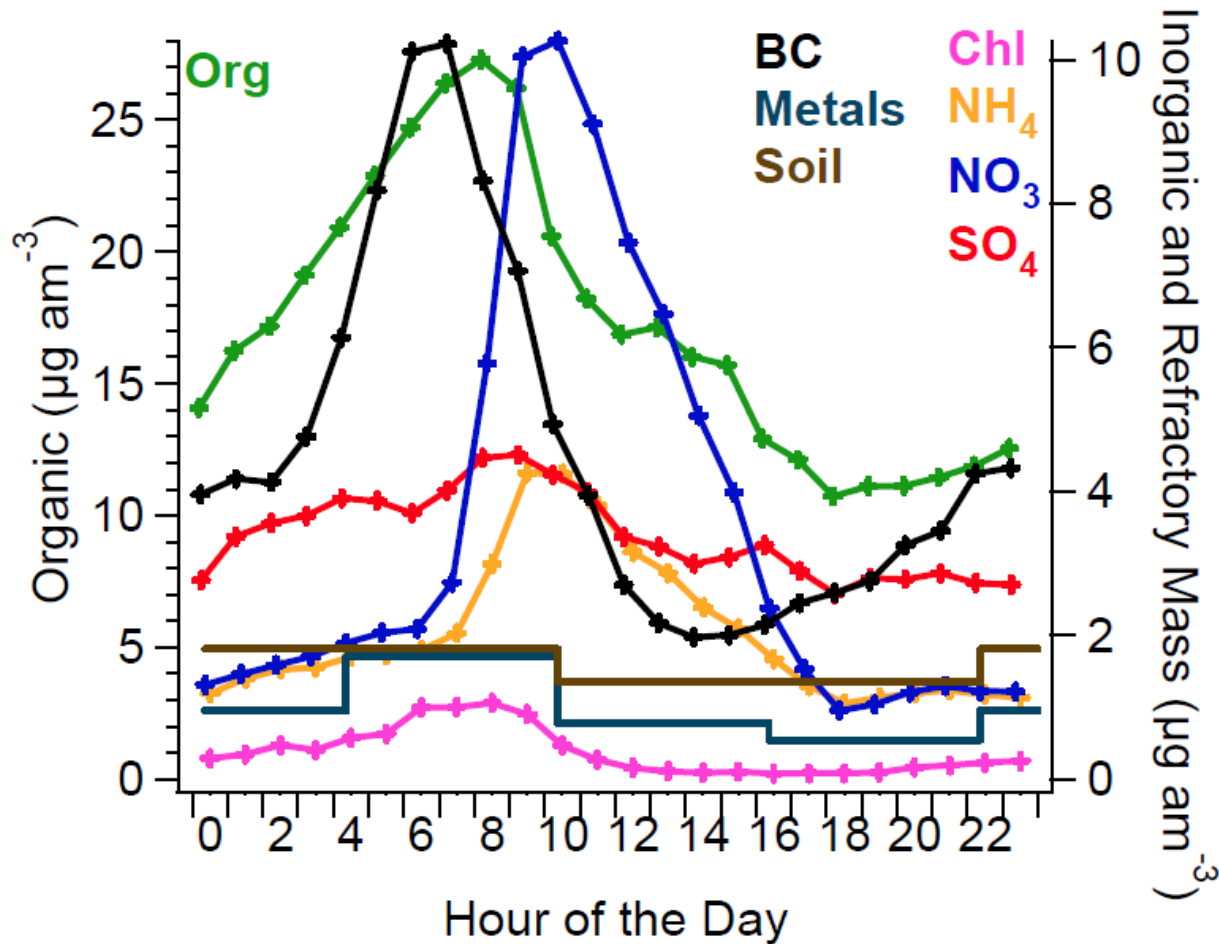


(a)PMF-AMS 和 (b) CMB-OMM和 (c , d) 分别是来自3月17日至30日的重叠采样周期的平均组成。(来源 : Aiken等人 , 2009; Stone等人 , 2008)

有机气溶胶 (OA) 构成了细颗粒物约一半。 PMF (正定矩阵因子) 分析确定了三个主要组成部分 : 化学还原的城市一次排放 (烃样有机气溶胶 , HOA) , 氧化有机气溶胶 (OOA , 主要是次生有机气溶胶或二次有机气溶胶 SOA) 和生物质燃烧产生的有机气溶胶 (BBOA) 。

食物烹饪 , 生物燃料使用 , 垃圾焚烧的影响的不确定性 (在区域层面后两个更重要 , (Christian et al. , 2010)

PM₁ 组成



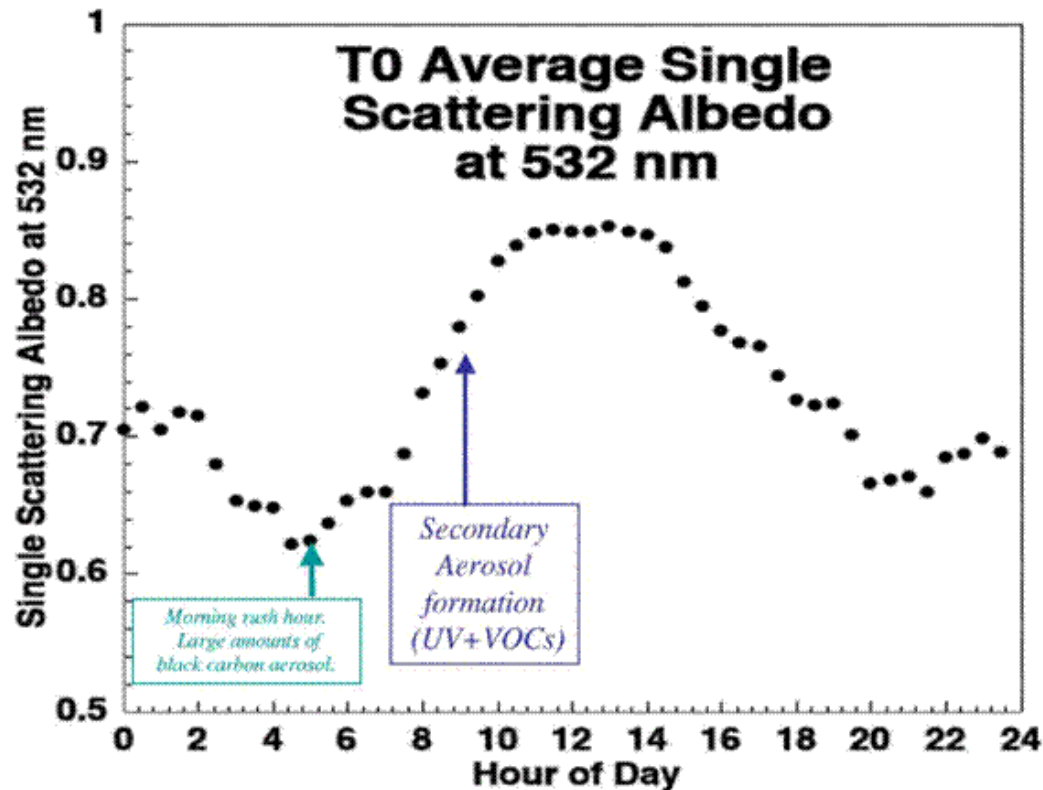
黑碳(BC)

强日间循环

由以下决定:

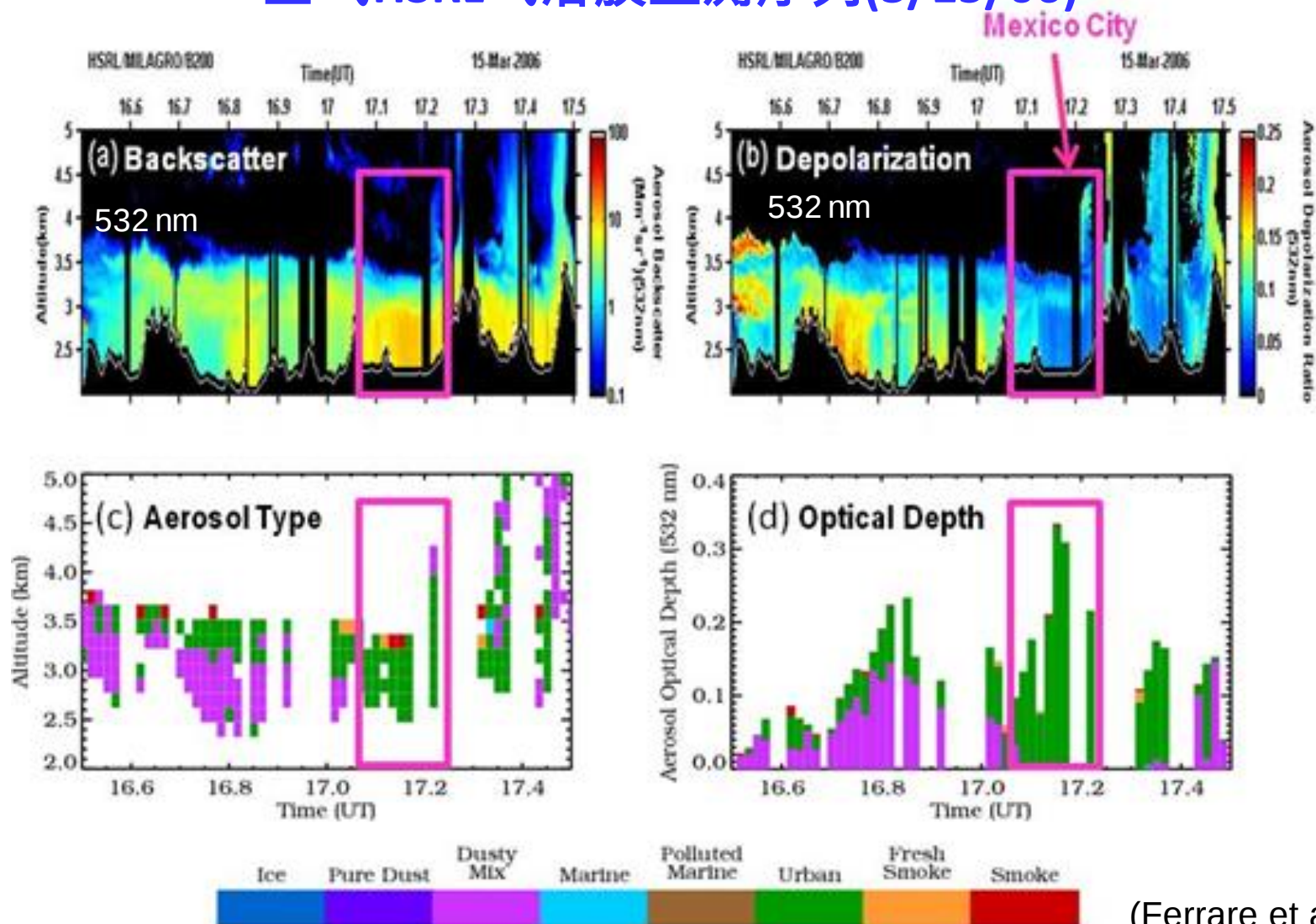
- 一次车辆排放 (早上高峰时间)
- 边界层稀释 (下午)

532nm，在T0站点测量的 气溶胶单次散射反照率的平均值日变化



车辆交通可能是在清晨小时观察到最小值的原因，由于气体转化成颗粒物质的光化学反应，该值在日出后急剧上升。到中午，在充分发达的大气边界层中达到稳定状态的生成和去除速率，混合强烈的太阳辐射引起的扰动。SSA在晚上下降。
(资料来源：Paredes-Miranda等，2009)。

空气HSRL气溶胶监测序列(3/15/06)



(Ferrare et al., 2007)

首次部署HSRL

在城市，城市（污染）气溶胶对AOD贡献最大；在城市外，灰尘和城市气溶胶的混合物对AOD的贡献最大。

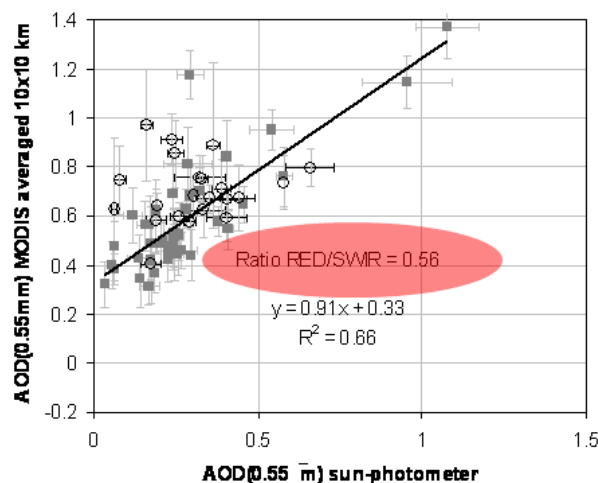
AOD 反演 MODIS 数据 并与 太阳光度计网络和 AERONET对比



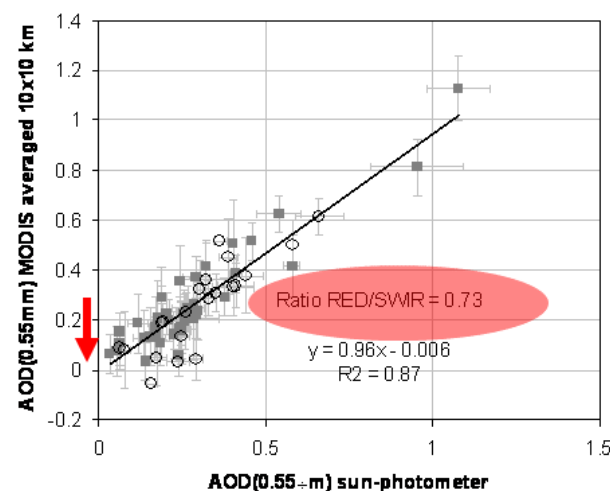
- 可见光 (VIS) 和短波红外辐射 (SWIR) 之间的表面反射率是一个重要的AOD反演MODIS传感器数据的量化。

- 在MILAGRO项目中，通过与5个Microtops II太阳光度计和CIMEL / AERONET进行对比来验证AOD结果

非城区站点

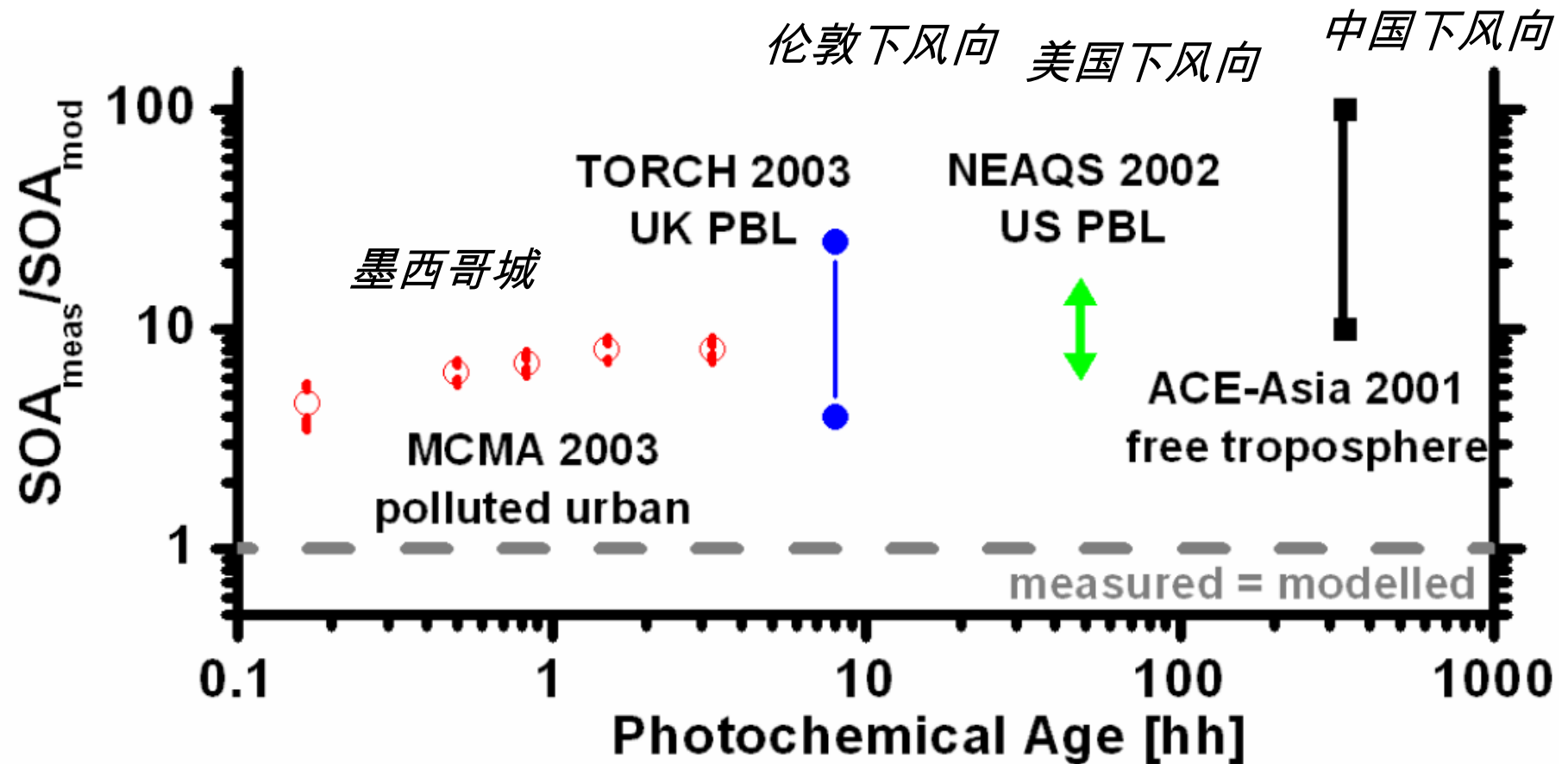


墨西哥城区站点



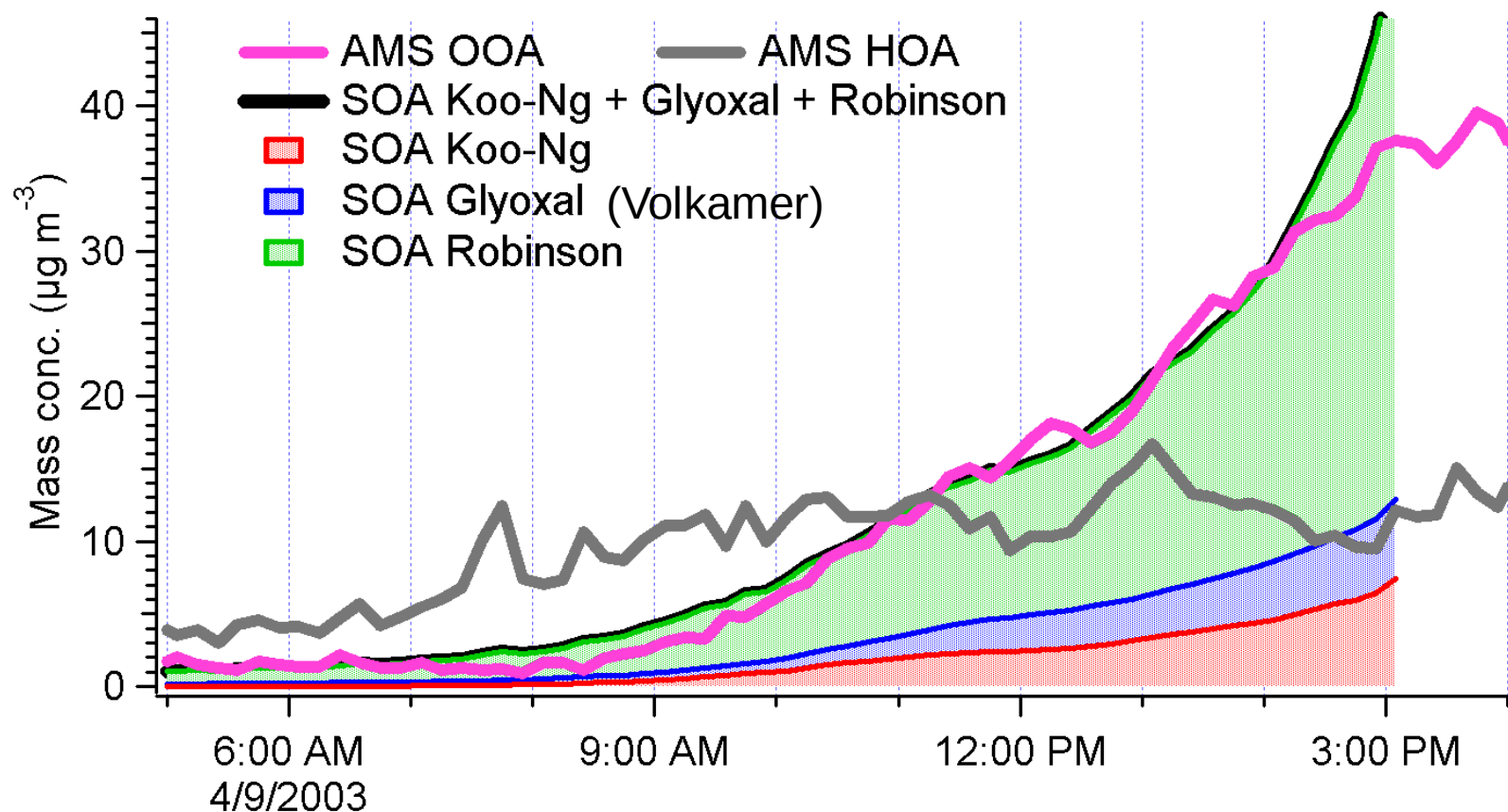
空心点是来自太阳光度计网络/ MILAGRO 2006的数据，灰色方块是来自2002-2005的CIMEL / AERONET的数据。0.73的表面反射率比率显示在城市地区的反演的验证显著改进。（来源：de Almeida等人，ACP 2007）

SOA 监测 vs. 模拟



- **MCMA-2003 观测结果:比传统模型预测的SOA高得多(Volkamer et al., 2006)**
- MILAGRO-2006:新的SOA模型产生更多的质量(e.g., Hodzic et al., 2010; Jimenez et al., 2009)
- 需要更具体的前体物，中间体和示踪剂测量

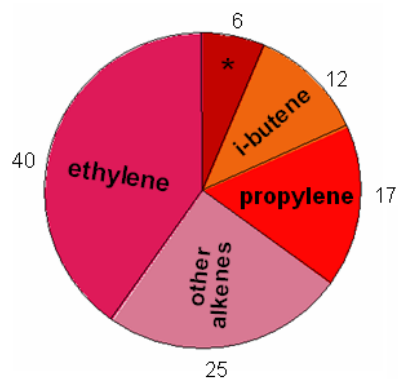
更新的 SOA 模拟



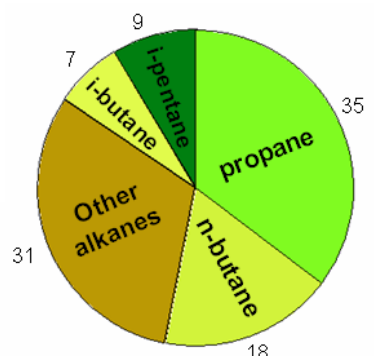
- 新的SOA模拟结果接近观测的OOA值

- Dzepina et al. (2009); Tsimpidi et al. (2010); Li et al. (2011)

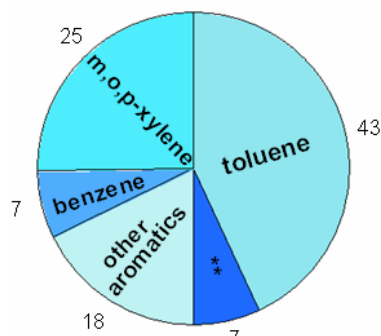
MCMA-2003观测得出的VOC平均分布 (6-9 hr)



alkenes
110 ppbC



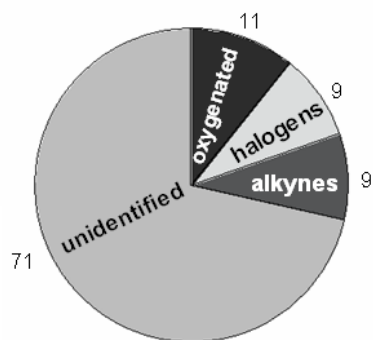
non-methane alkanes
1045 ppbC



aromatics
278 ppbC



total VOCs
1750 ppbC



other & unidentified VOCs
317 ppbC

低分子量烷烃：65%来自用于烹饪和烧水使用的LPG燃料。

烯烃和芳烃：主要来自车辆排放。

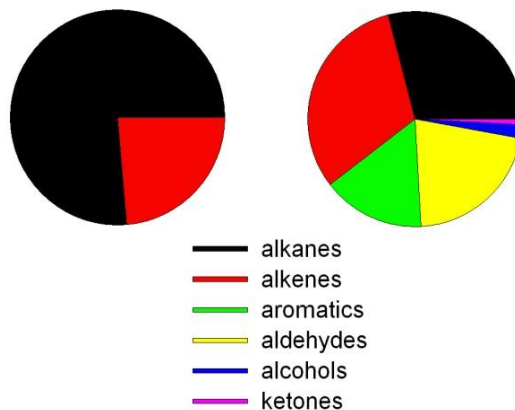
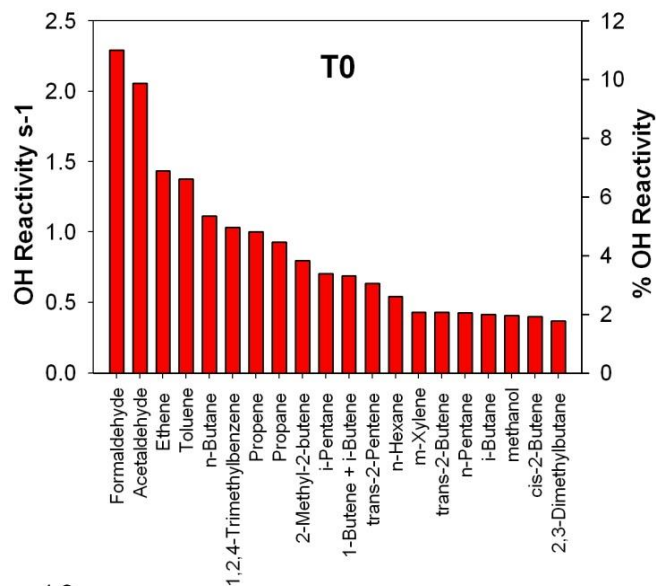
总VOC浓度低于从以前观测到的

饼图周围的数字表示每种VOC物质* 2-甲基-1-丁烯** 1,2,4-三甲基苯的百分比贡献

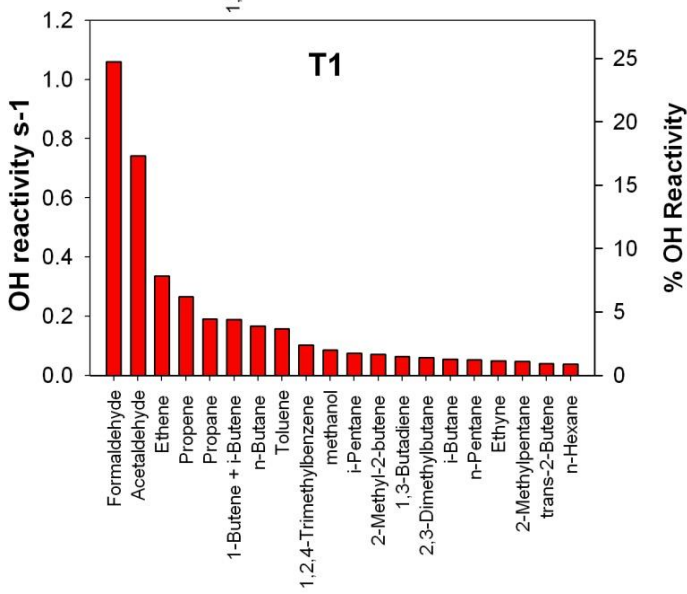
来源: Velasco et al., Distribution, magnitudes, reactivities, ratios and diurnal patterns of volatile organic compounds in the Valley of Mexico during the MCMA 2002 and 2003 Field Campaigns, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 329-353, 2007.

挥发性有机化合物和OH反应活性

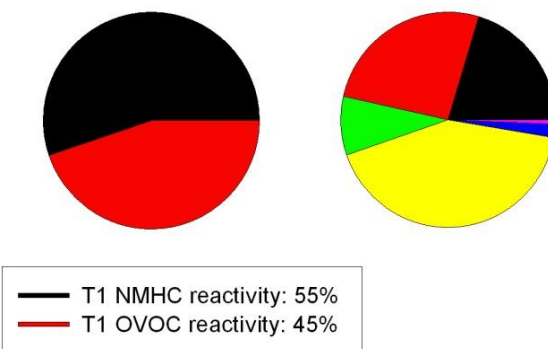
T0 与 T1 站点观测到最多的20种物质，9:00 - 18:00 LT之间的OH反应活性
(2006年3月份平均)



— T0 NMHC reactivity: 76%
— T0 OVOC reactivity: 24%



% OH Reactivity



— T1 NMHC reactivity: 55%
— T1 OVOC reactivity: 45%

清晨OH-VOC反应活性主要由NMHC (烯烃，芳族化合物和含氧化合物) 决定。

OH-VOCs 反应活性从T0到T1是降低的

甲醛和乙醛 - 最高的OH反应活性

其它城市:

纽约 ~ 5 s⁻¹

凤凰城 ~ 6.5 s⁻¹

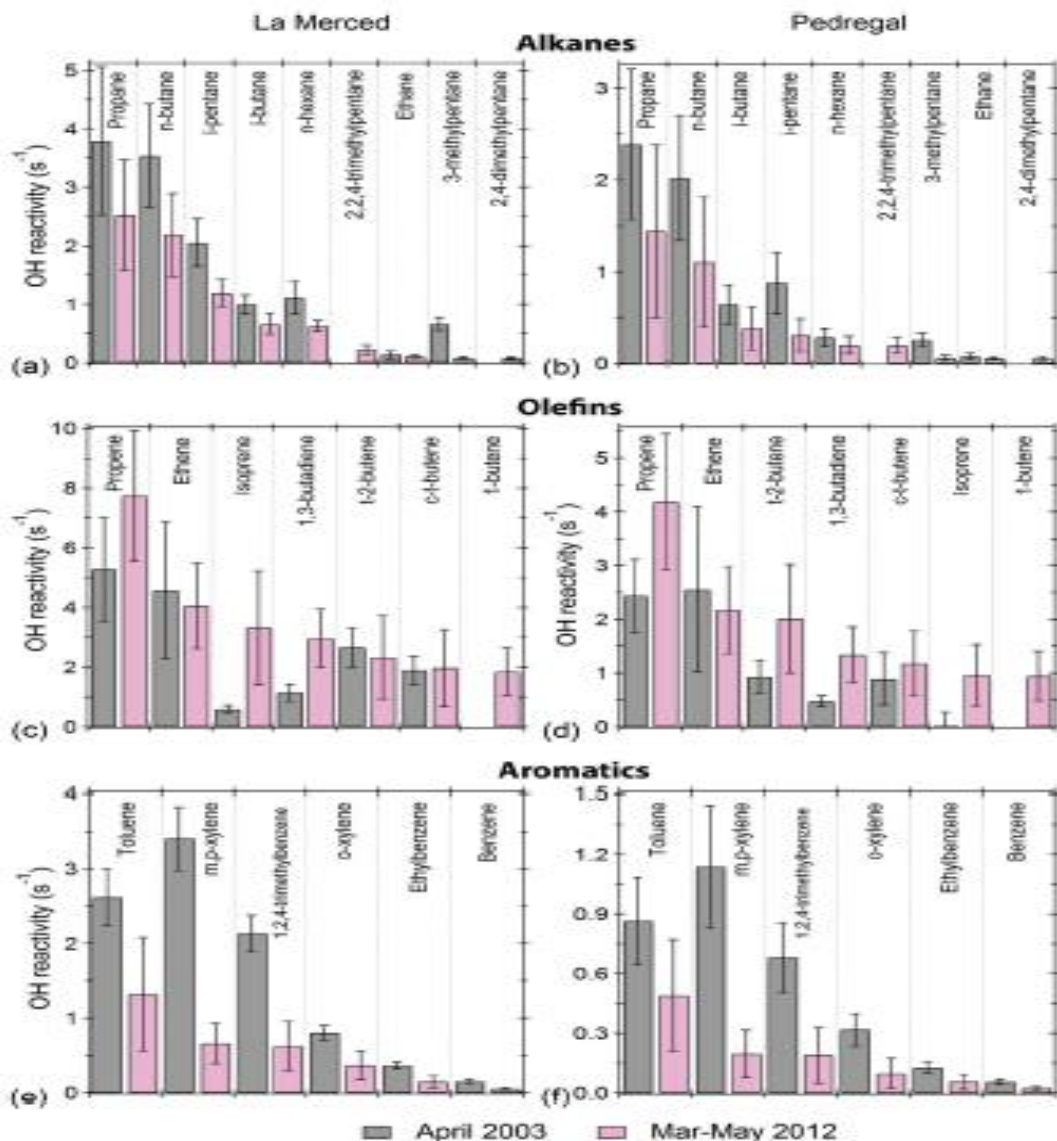
费城 ~ 8 s⁻¹

休斯顿 ~ 20 s⁻¹

MCMA-2003³ ~ 25 s⁻¹

(来源: Apel et al., 2010)

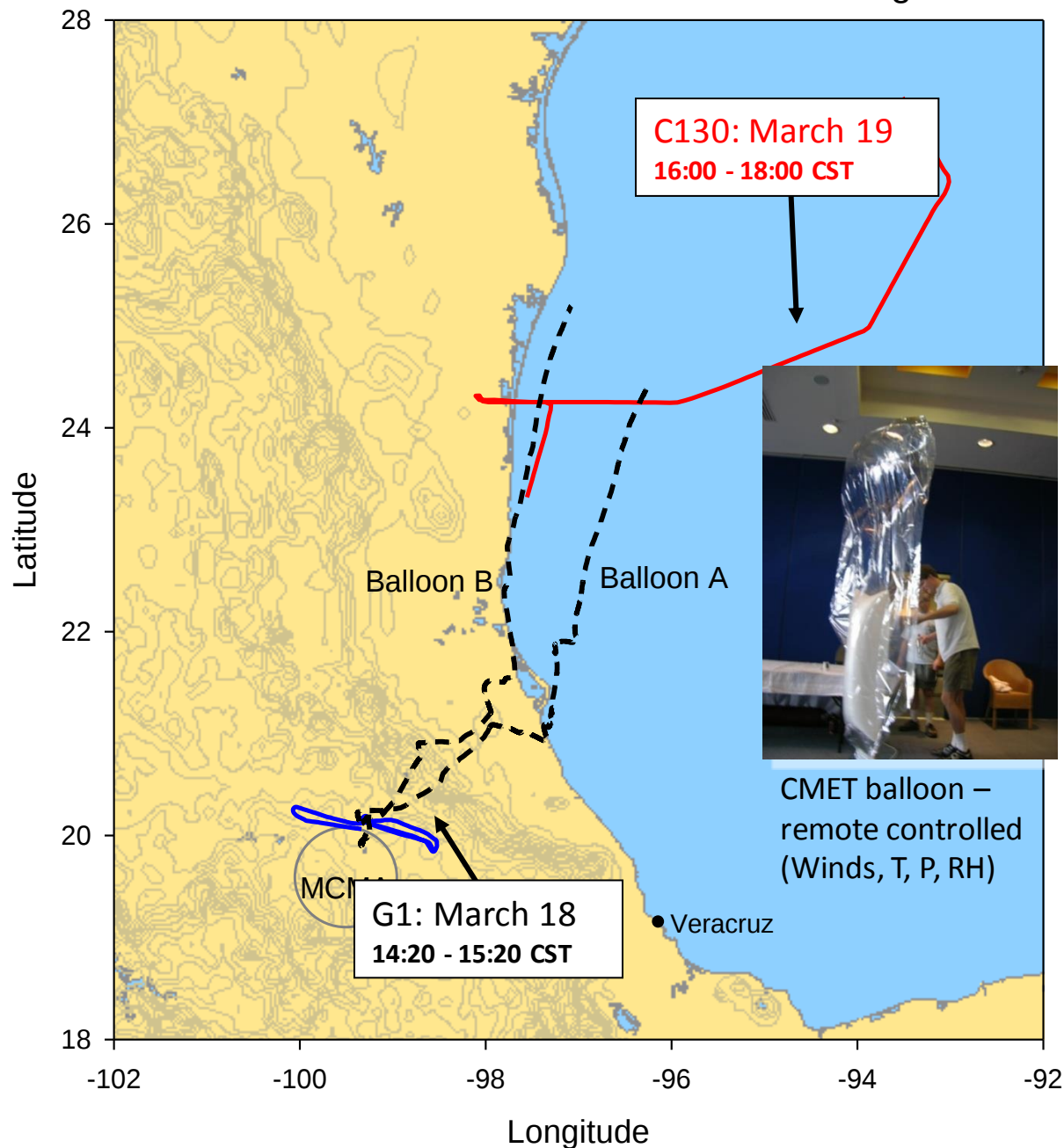
观测的VOC变化 2003-2012



在2003 - 2012年度,平均来说

- 轻烷烃减少~35-40%;
- 芳烃减少~60%;
- 烯烃增加10-16%。
- 大多数烷烃与LPG有关;
- 大多数芳烃与化石燃料和溶剂有关;
- 大多数烯烃与车辆交通相关。

Coordinated G1 - C130 - CMET Balloon Flights

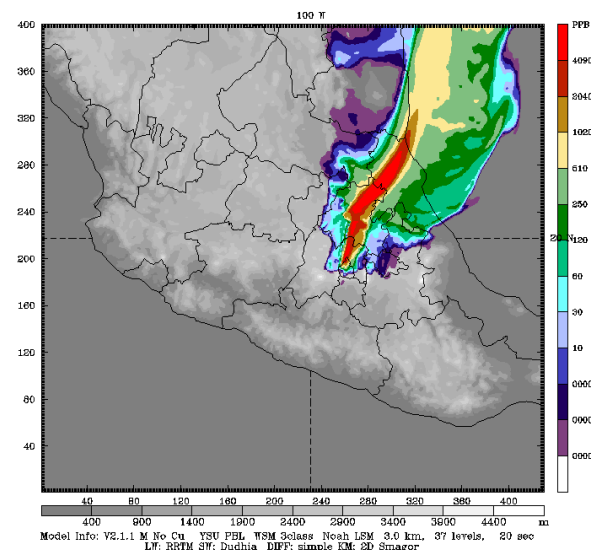


3月18日，墨西哥城附近的G-1采样，并从T1附近发射了两个CMET气球。

3月19日，C-130截取了墨西哥湾的烟羽和气球轨迹。

WRF模拟3月19日墨西哥城烟羽：强大的西南风从MCMA携带污染物到墨西哥沿海 - 德克萨斯州边境。

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



墨西哥烟羽中的O₃生成 MILAGRO 项目研究

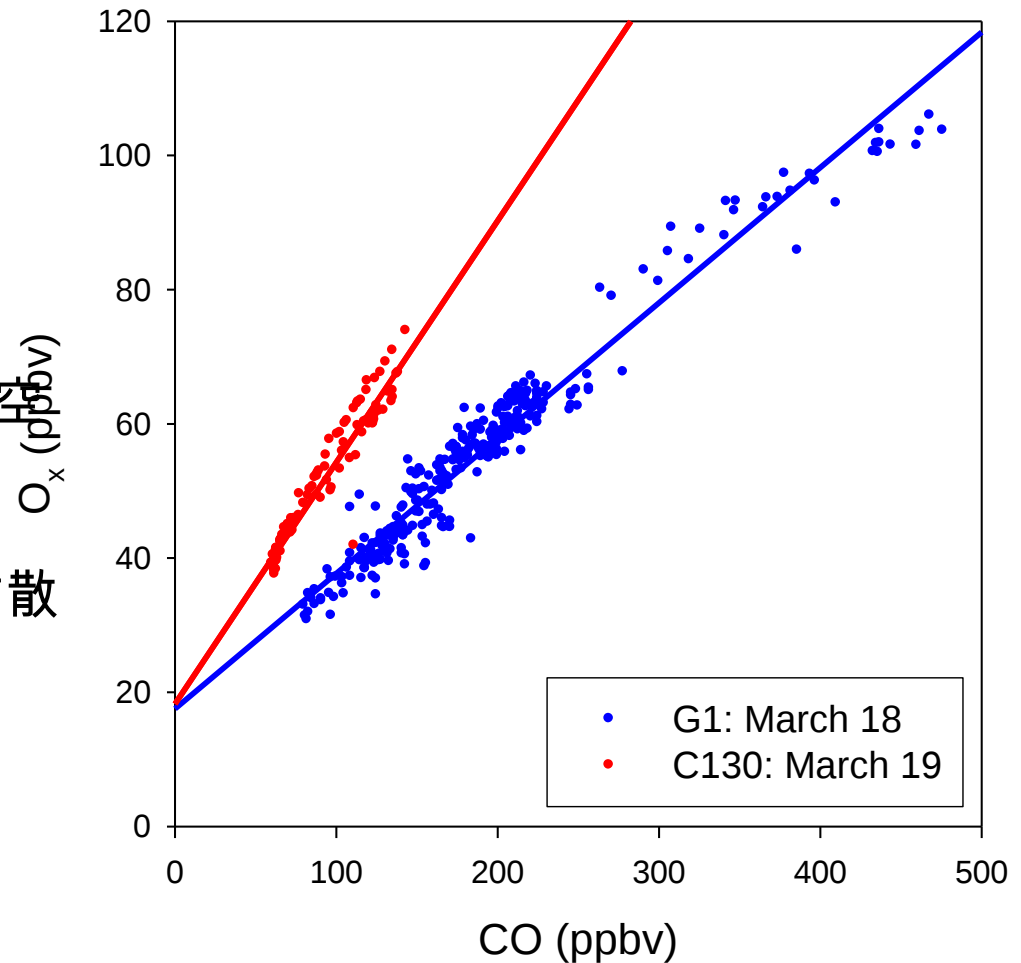
G-1于3月18日在墨西哥城附近取样;
而C-130截取了3月19日下风向约
1000公里的烟羽。

在1天的烟羽中

CO 与 Ox (O₃ + NO₂) 因为与清洁空
气混合而衰减;

但 Ox/CO 上升了,意味着在烟羽扩散
的过程中Ox持续生成

O₃ - 温室气体



区域与全球气候影响

MILAGRO 项目部分结论

MILAGRO项目展示了使用多个观测平台、仪器设备和数据分析技术的协同作用，以更好地理解大城市中空气污染物排放的物理和化学特性。

- **MCMA的区域影响很容易辨别**，尤其是东南、南和西（其他排放来源较少）方位，MCMA的影响占主导作用。MCMA污染物对东北的贡献不那么容易分辨，因为美国，BB地区北墨西哥的影响。在距离下风向1000公里的地方可监测到MCMA烟羽。
- 正在基于许多物种的浓度观测和一些通量观测数据，**重新评估模型中使用的排放清单**。
- **尽管VOCs浓度高，城市光化学烟雾生成机制是VOC控制**。NO_x的减排可以减少区域氧化剂的生成。
- **MCMA气溶胶具有很高有机组分**。化石燃料使用（主要是城市排放）和生物质燃烧（主要是城市外的农业和森林火灾）都会增加气溶胶生成数量。
- **生物质燃烧会加剧城市和区域污染**，气溶胶污染生成比气态污染物更严重。农业、森林和垃圾焚烧很常见，它们的烟羽携带不同的化学特征。
- **气溶胶光学性质在烟羽去除期间快速变化**，单次散射反照率和黑碳吸收随时间增加。

MILAGRO 项目部分结论

- **臭氧生成后至少会持续几天再被去除**，这是因为过氧乙酰基硝酸盐（PAN）的产生有效地增加了NO_x寿命。
- **醛是去除反应的主要成分**。大气VOC氧化产生醛，并且也由一些是直接排放的。尽管很重要，但它们不是常规监测的污染物。
- **在墨西哥城下风向持续数百公里仍会生成O₃和气溶胶颗粒**。部分是因为墨西哥城具有较高的NO_x水平和霾控制的光化学机制，离开城市的排放物中相当一部分仍然是具有反应活性的，并且因此更多地促成O₃在城市外部和更大的地理范围内的生成。
- **有机气溶胶在城市和下风向烟羽中生成**。目前的模型只能解释这一增长的一小部分。MILAGRO数据提供了一个试验台，用于探索有机气溶胶转化的不同假设。
- 正在通过对比地面观测和飞机观测的辐射和气溶胶特征，**来改进气溶胶的卫星反演**。