

La modelación de calidad del aire como instrumento de gestión de política pública

Jorge E. Pachon, PhD

Centro Lasallista de Investigación y Modelación Ambiental CLIMA

Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia



2^{do} Congreso de Gestión de Calidad del Aire

Cochabamba, Bolivia

Julio 05 de 2017



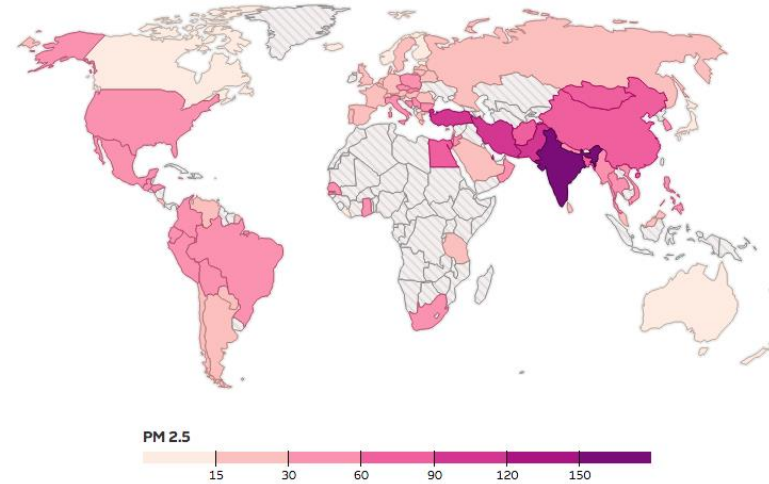
AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Católica Boliviana “San Pablo” y a Swiss Contact por la invitación a Bolivia.
- A la Universidad de La Salle
- A la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá por la financiación del proyecto de modelación de calidad del aire.
- A la Agencia Colombiana de hidrocarburos ECOPETROL por la financiación de proyectos relacionados con la calidad del aire.
- A todos los estudiantes de pregrado y posgrado que han participado y apoyado las actividades de investigación.

CONTAMINACION DEL AIRE

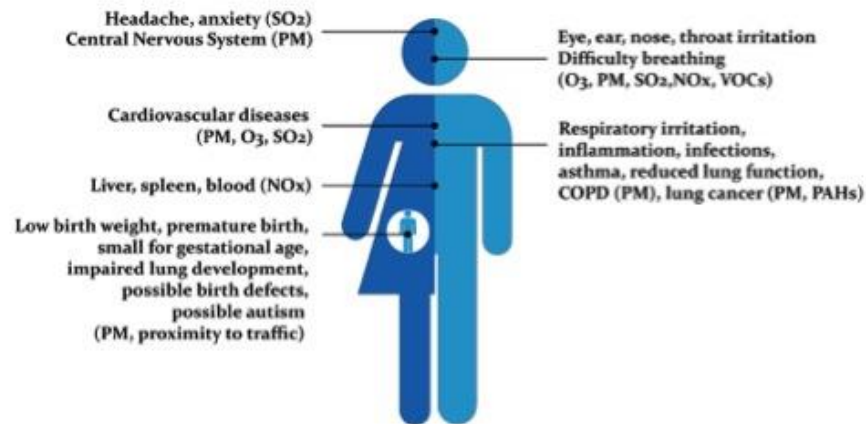
A nivel mundial, la contaminación del aire es responsable de 1 en cada 8 muertes siendo el riesgo ambiental mas grande (OMS, 2014).

Air pollution levels in select countries



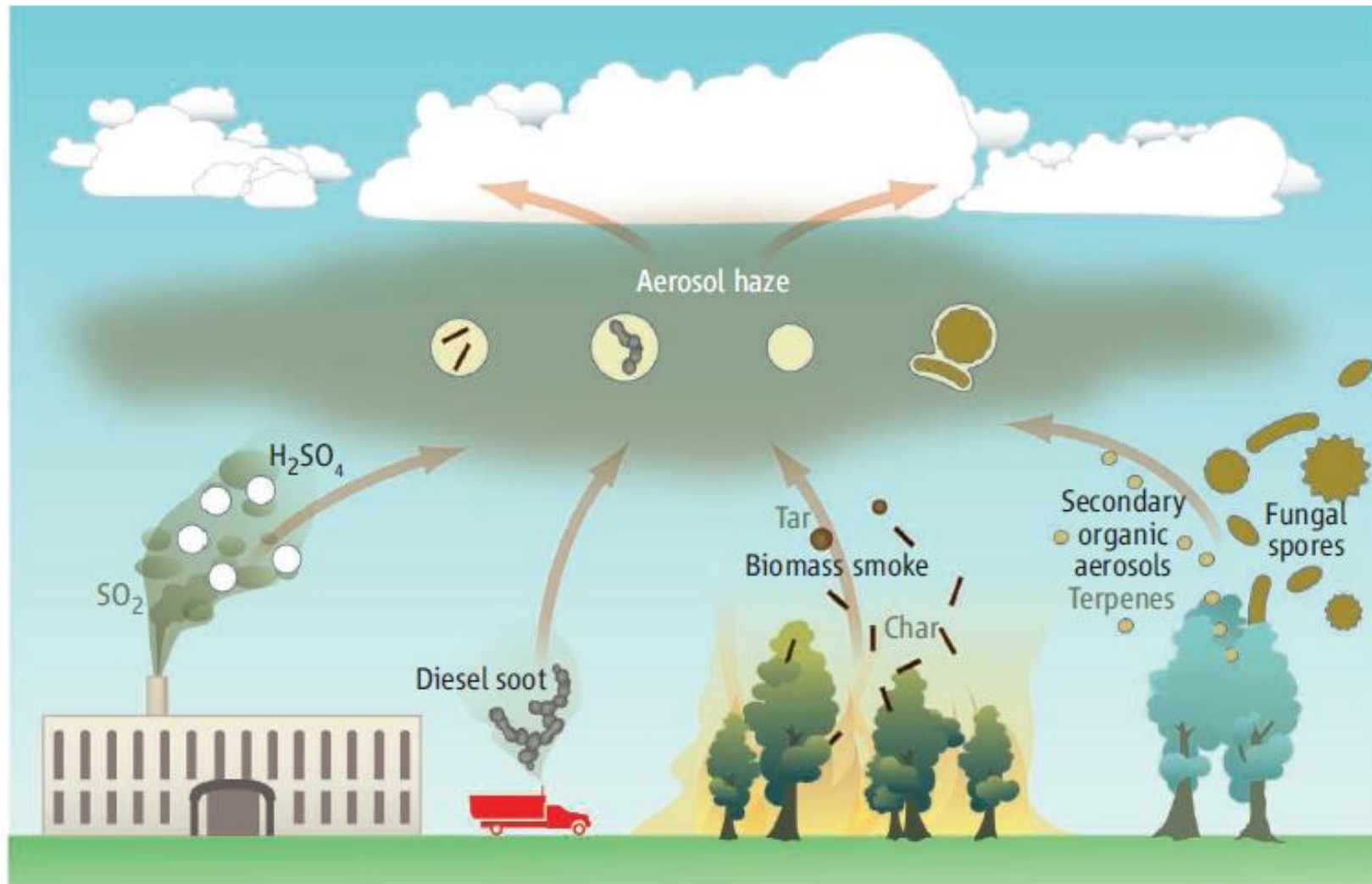
Source: World Health Organization

Health Effects of Air Pollution



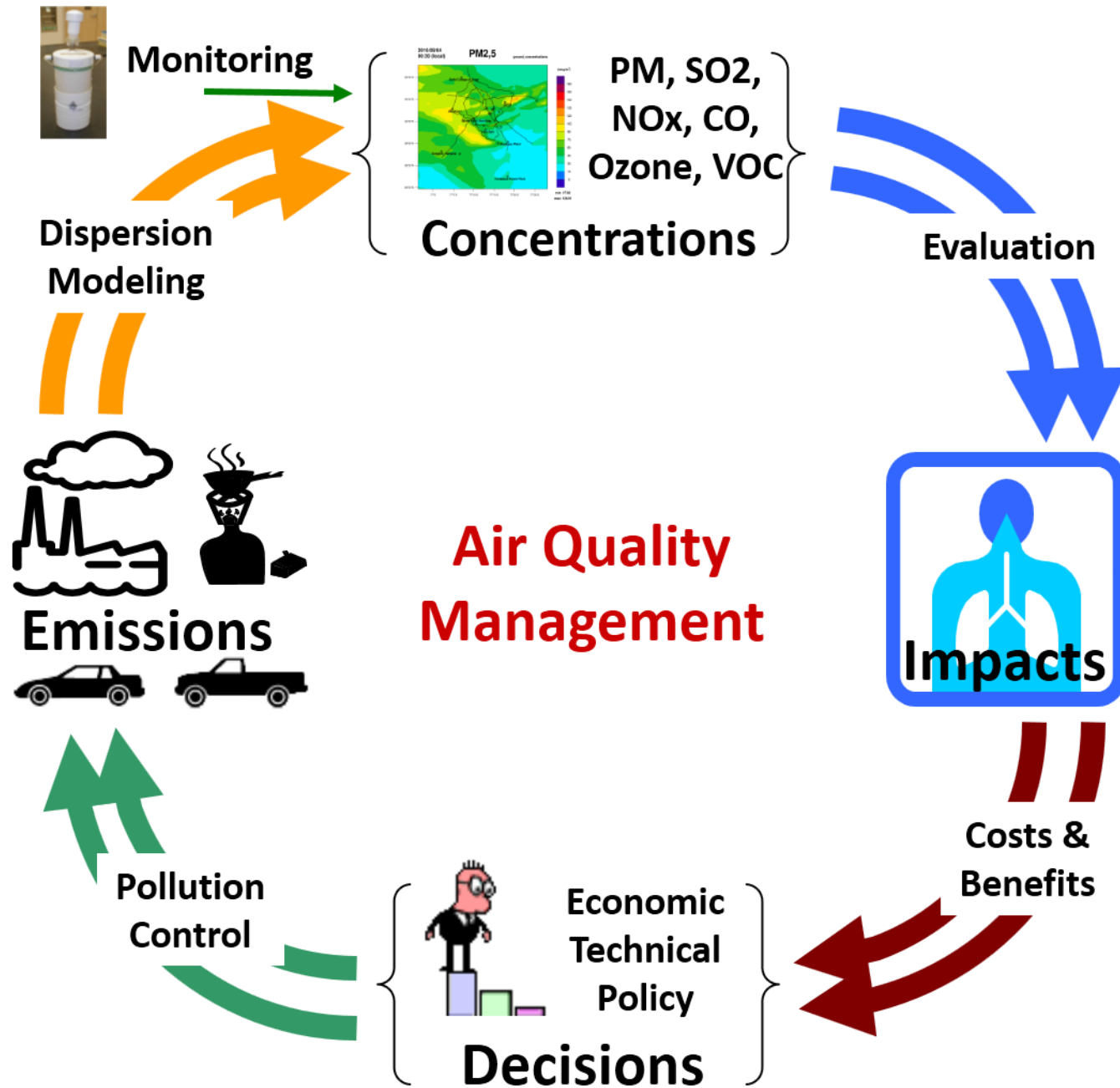
Porqué estudiamos la
calidad del aire?





Effects of aging. Organic aerosols from different sources undergo chemical processing and mix with each other as well as with inorganic aerosols. This leads to a convergence in their chemical and optical properties and in their ability to nucleate cloud droplets.

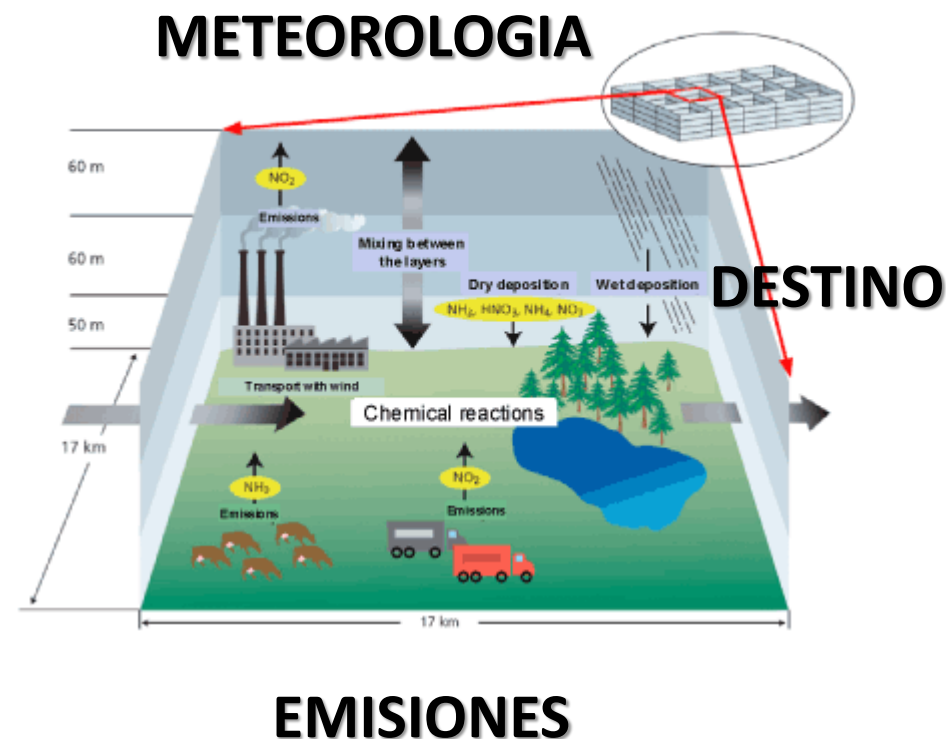
Source: Andreae, Science, 2009



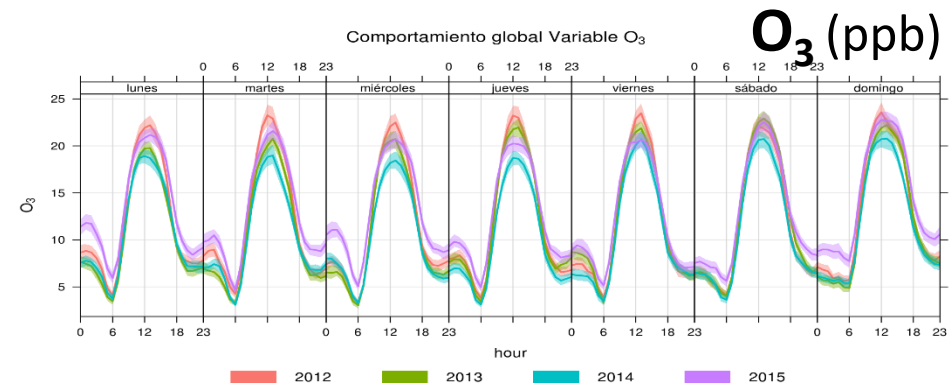
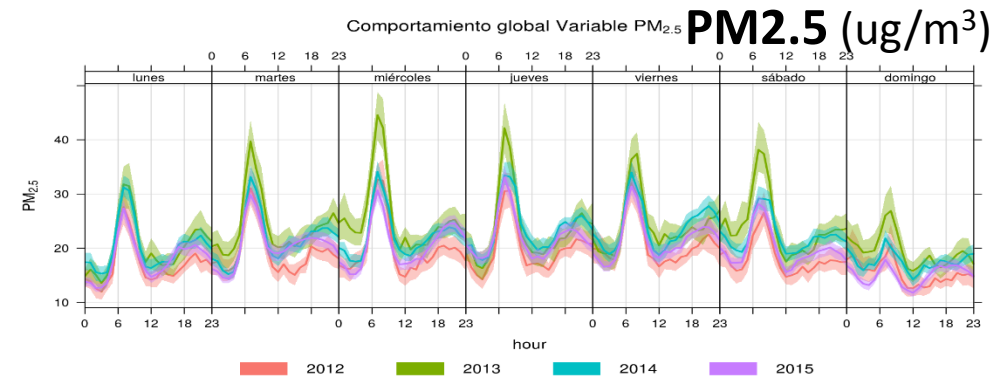
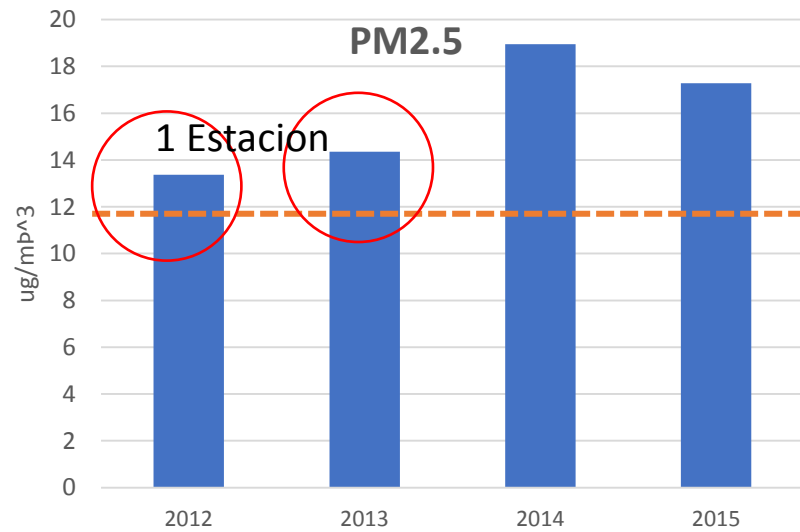
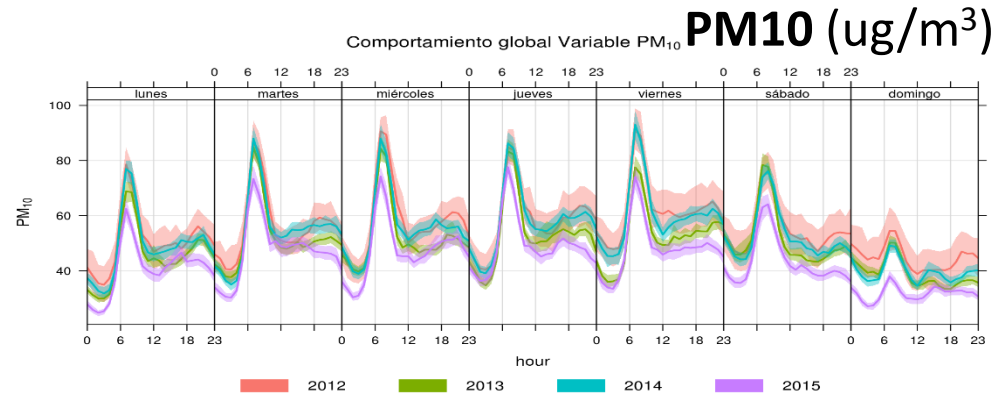
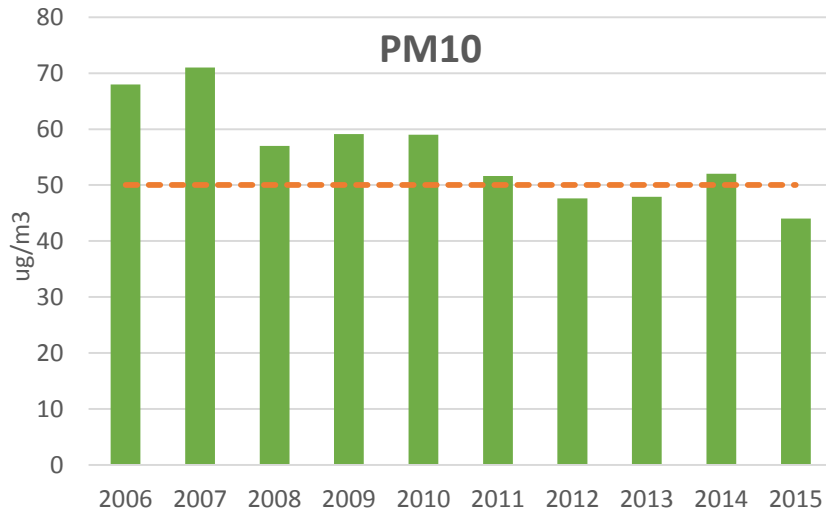
Fuente: <http://www.urbanemissions.info/primer-on-air-quality-management/>

QUE ES UN MODELO DE CALIDAD DEL AIRE?

- Representan una “realidad simplificada”
- Simula características y/o procesos de interés
- Evolucionan constantemente según nivel de entendimiento
- Es una herramienta en la gestión de calidad del aire



CALIDAD DEL AIRE EN BOGOTÁ



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

**BOGOTÁ
MEJOR
PARA TODOS**

ACTUALIZACION INVENTARIOS EMISIONES



MOBILE



POINT

AREA



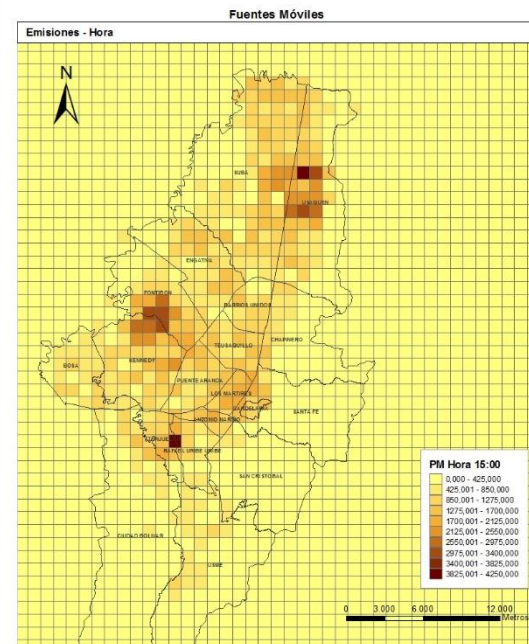
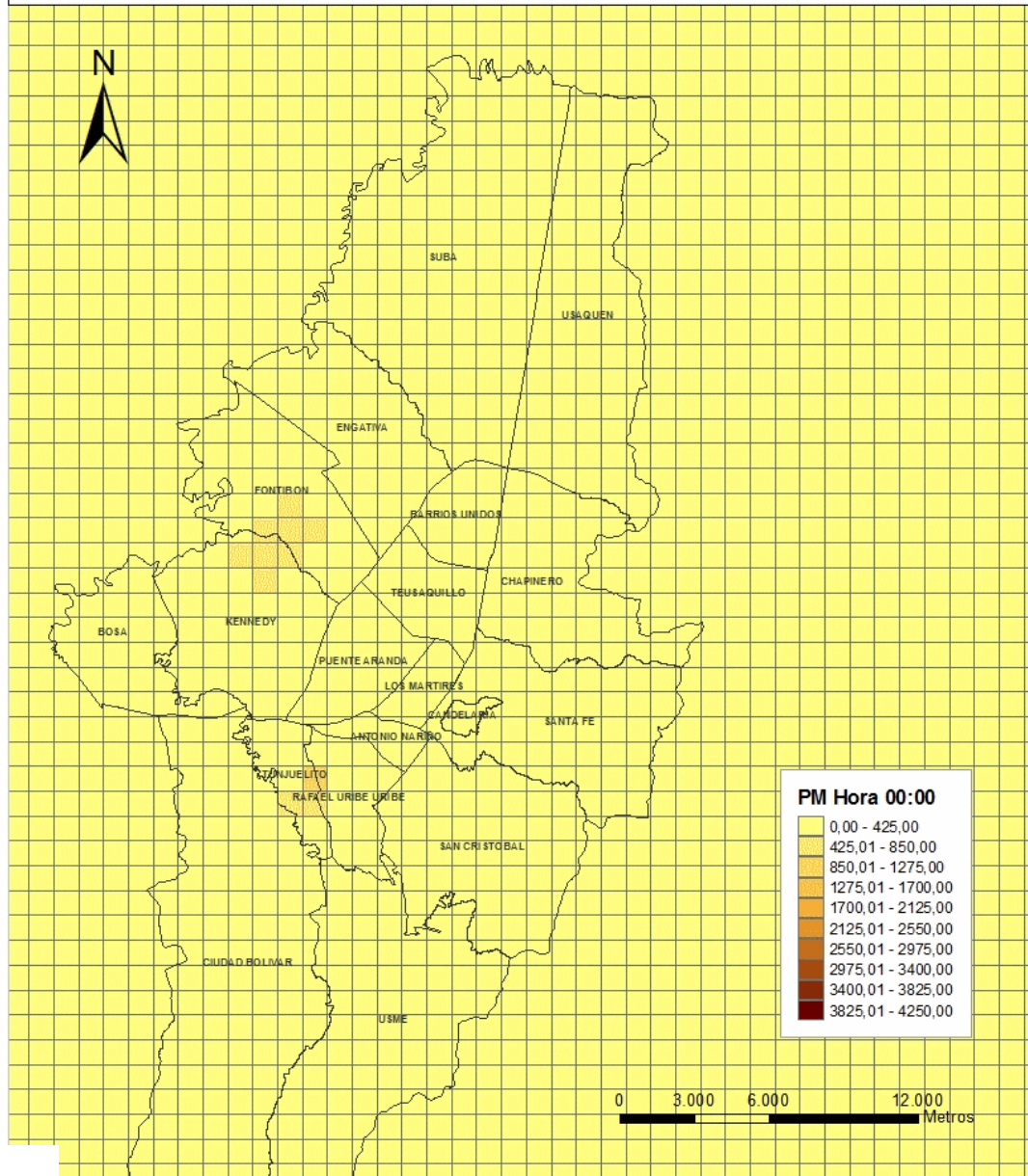
**RESUSPENDED
DUST**



Fuentes Móviles

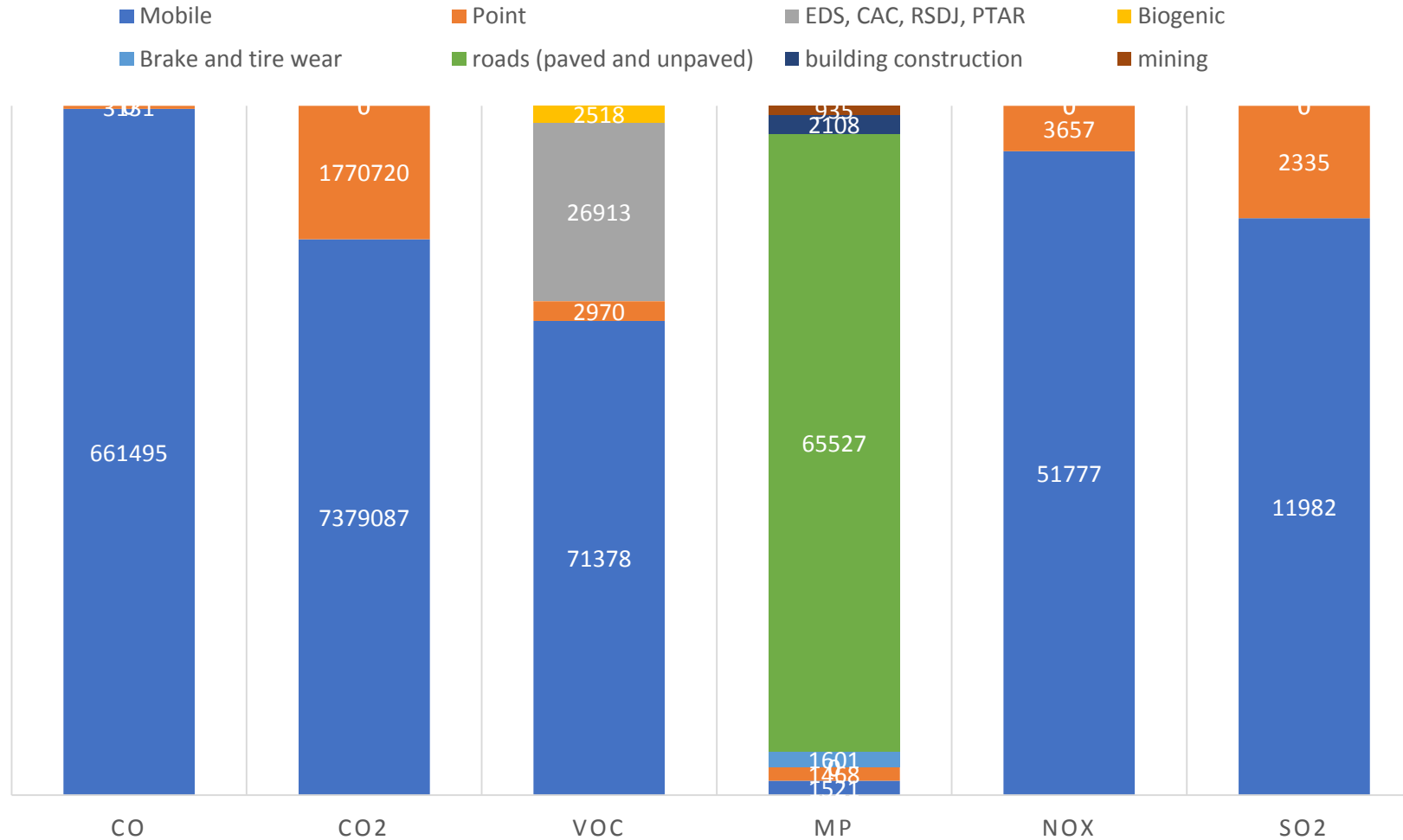
Emisiones - Hora

Desagregación espacio-temporal PM



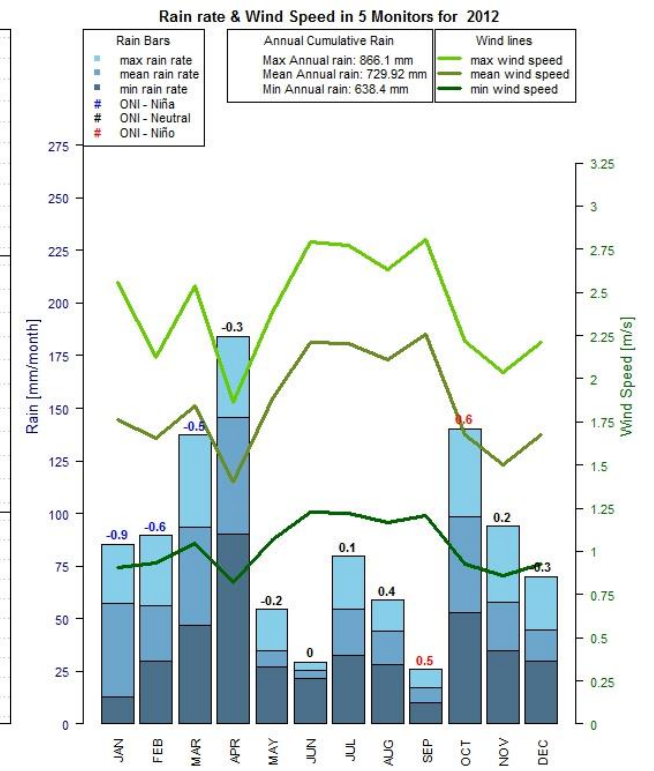
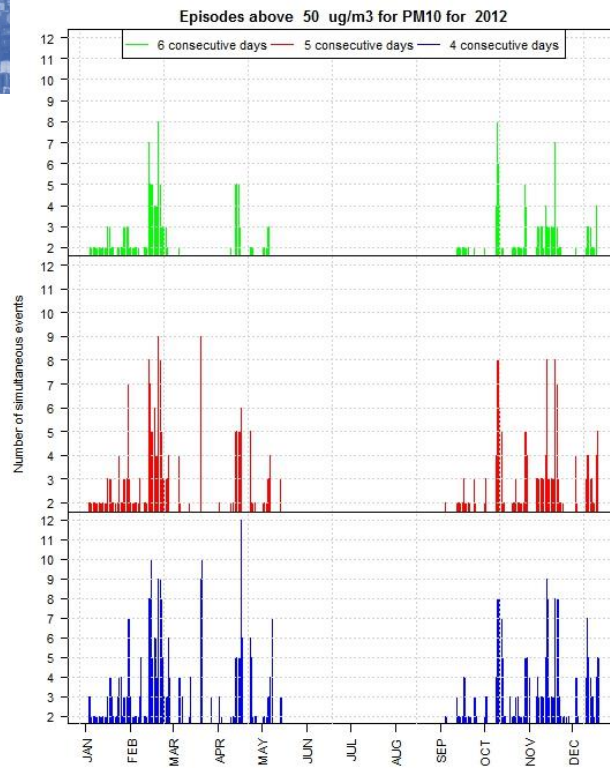
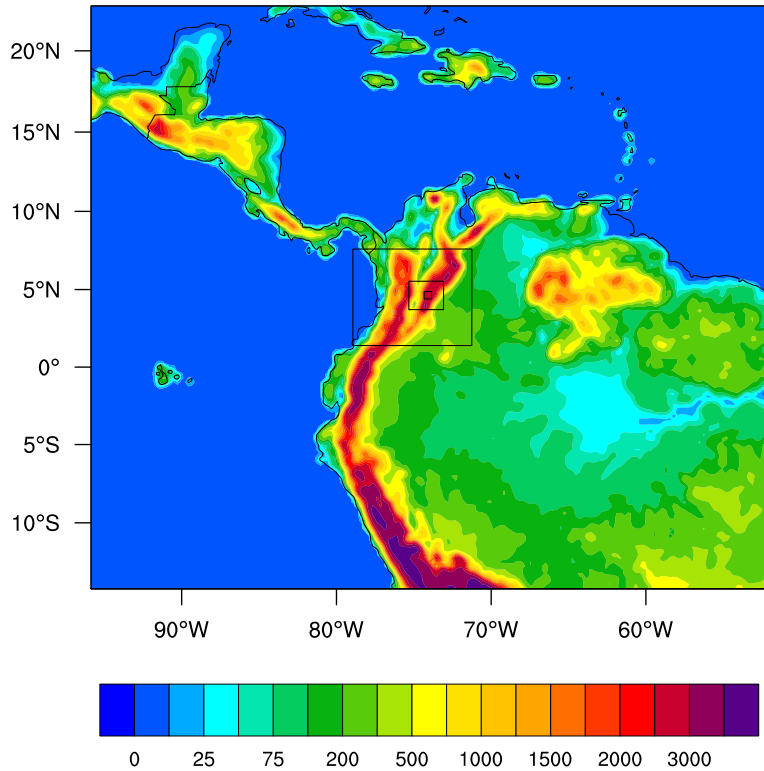
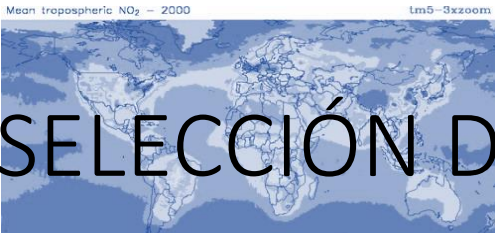
Fuente:
 Convenio N° 1467 " Para el Desarrollo de actividades de ciencia y tecnología"
 Coordenado entre La Secretaría distrital de Ambiente y la Universidad de la Salle.

COMPARATIVO DE EMISIONES



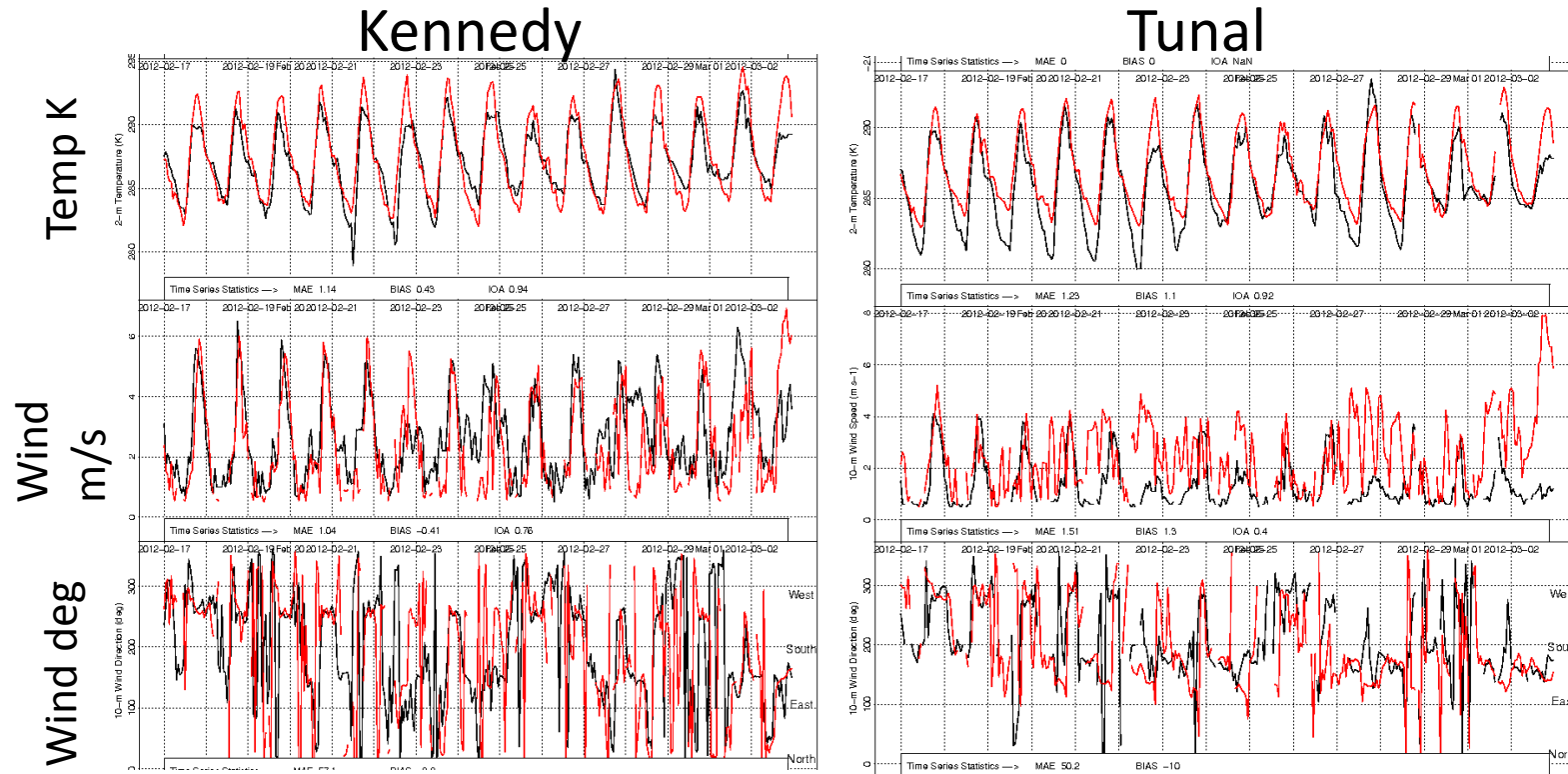
(Móviles: fuentes móviles, Fijas: fuentes industriales y comerciales, EDS: Estaciones de Servicio, CAC: Centros de Almacenamiento de Combustible, RSDJ: Relleno Sanitario Doña Juana, PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas de El Salitre, Biogénicas: cobertura vegetal)

SELECCIÓN DOMINIO Y EPISODIO DE MODELACION



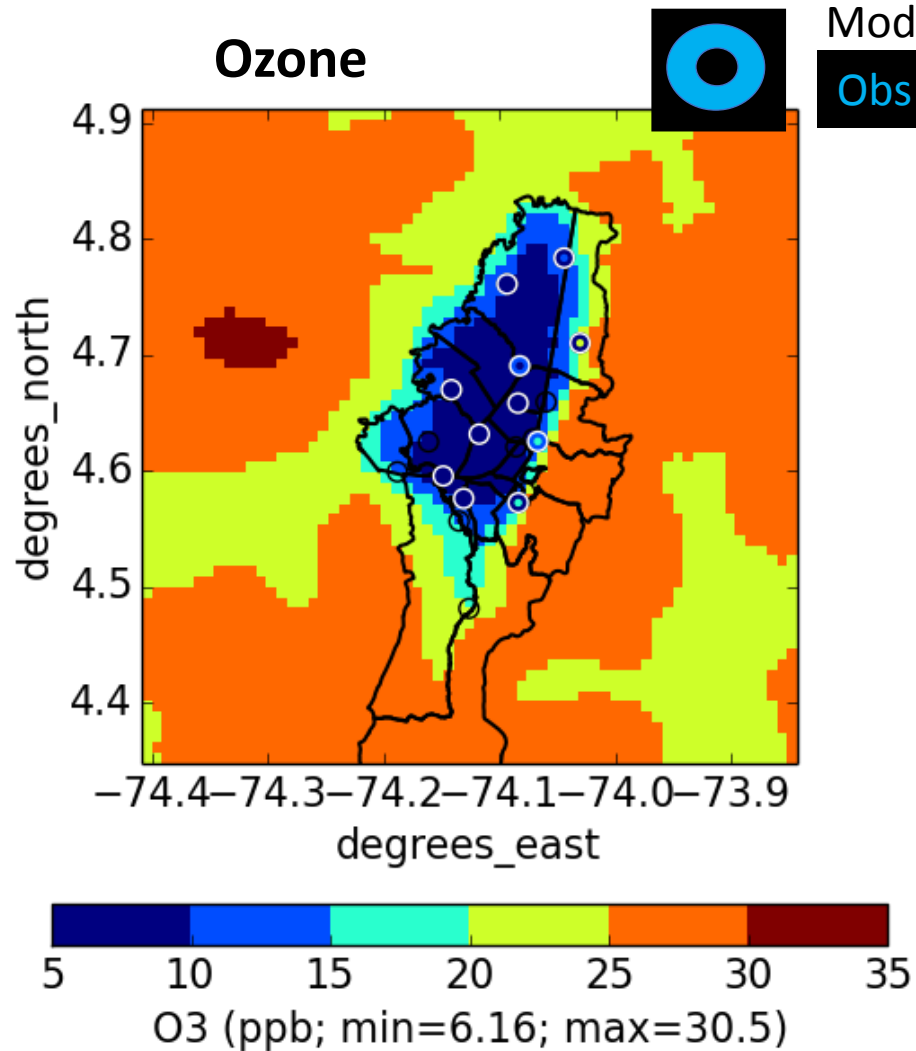
Projection: Equatorial Mercator						
	Origen (km)		Resolución(km)		#Celdas	
Dominio	X	Y	Δx	Δy	X	Y
d01	251759.250	-1578187.	27	27	179	154
d02	2123759	158812.062	9	9	94	76
d03	2522759.5	413813.469	3	3	82	67
d04	2622759.250	483812.062	1	1	64	64

Evaluacion Modelación Meteorológica

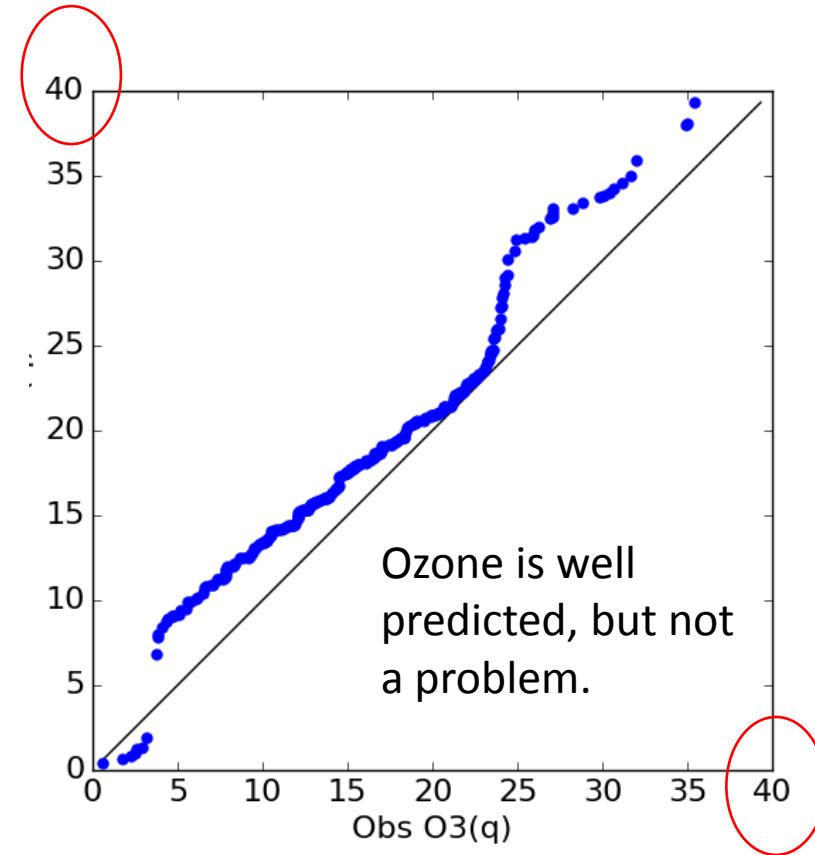


Thresholds (complex) *=default	Temperature			Q			Wind Speed			Wind Direction	
	Gross Error	Bias	IOA*	Gross Error*	Bias*	IOA*	RMSE	Bias	IOA*	Gross Error	Bias*
	3.5	2	0.8	2	1	0.6	2.5	1.5	0.6	55	10
v4n_df_s_feb_s3s4s5_d01	100%	100%	100%	100%	100%	100%	60%	100%	100%	100%	100%
v4n_df_s_feb_s3s4s5_d02	100%	100%	100%	60%	47%	100%	93%	100%	40%	20%	67%
v4n_df_s_feb_s3s4s5_d03	100%	100%	100%	93%	100%	100%	93%	100%	40%	13%	80%
v4n_df_s_feb_s3s4s5_d04	100%	100%	93%	100%	80%	80%	93%	100%	33%	7%	73%

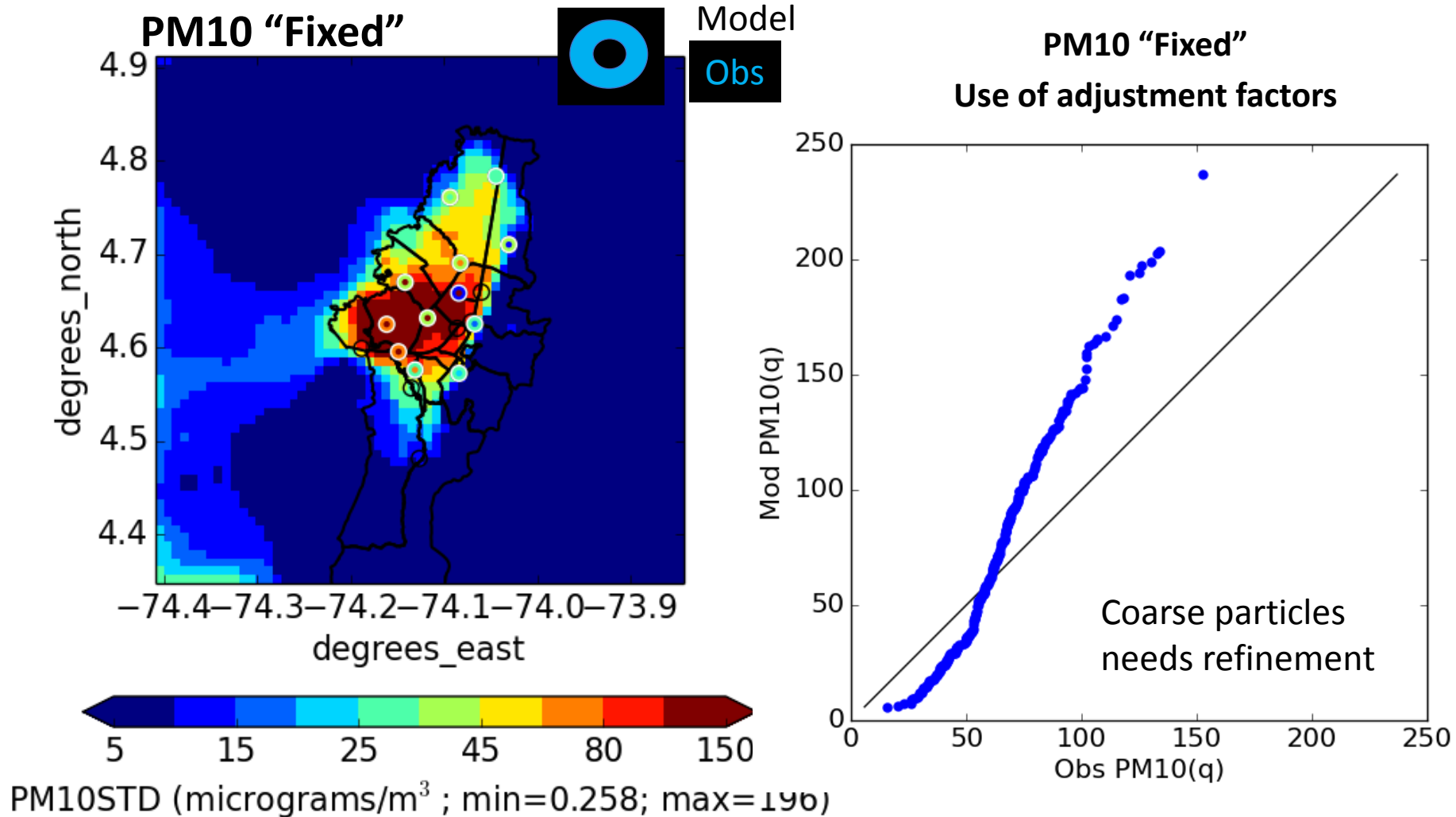
Modelación de Ozono



Good Agreement



Modelación de Material Particulado

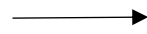


Estrategias de reducción de emisiones

Fuente	Estrategia	Referencia	
Fuentes fijas – industriales	Uso de sistemas de control de emisiones en el sector industrial	PDDAB – FF3 – modo 2	1
	Conversión de carbón a gas natural y formalización	PDDAB – FF2 – modo 5	2
Fuentes fijas - comerciales	Reemplazo de carbón y leña por gas natural en asaderos y restaurantes	ULS – FF1	3
Fuentes area – EDS	instalación de sistema de recuperación pasiva de vapores del tanque del vehículo al tanque subterráneo de almacenamiento de estaciones de servicio	ULS – FF2	4
Fuentes móviles	Uso de sistema de control de emisiones en vehículos de transporte de carga	PDDAB - FM5- modo 1	5
	Implementación del sistema integrado de transporte público	PDDAB – FM6	6
	Uso de sistemas de control de emisiones en alimentadores que ingresan al SITP	PDDAB – FM7 modo 3	7
	Proyección de la flota vehicular sin ningún tipo de restricción	PDDAB – Sin restricción	8
	Reemplazo de vehículos de transporte público que funcionan a diésel por distintas tecnologías dentro de las que se encuentra vehículos híbridos (diésel – eléctricos), vehículos a GNC, vehículos diésel Euro IV y Euro V y vehículos eléctricos	ULS – FM1	9
	Reemplazo de vehículos que funcionan a diésel por vehículos dedicados gas natural comprimido –GNC	ULS – FM2	10
Material resuspendido	Pavimentación de vías no pavimentadas	ULS – FA1	11
	Mantenimiento y limpieza de vías	ULS – FA2	12

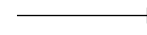
ACTUALIZACION INVENTARIOS EMISIONES

**PM
underestimation**



**Include
resuspended dust
emissions**

**PM
overestimation**



**Adjust
resuspended dust
emissions**

**SO₂
overestimation**



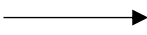
Adjust EFs for SO₂

**CO
Overestimation**



Adjust EFs for CO

**NO₂
overestimation**



Adjust EFs for NO₂

- ❖ Determine dust loadings (Cs)
- ❖ Interpolate Cs to all roads
- ❖ Estimate EFs from EPA AP-42, Chap. 13
- ❖ Construct dust emission inventories

- ❖ Revise Cs interpolation
- ❖ Assign temporal variability to RPM
- ❖ Apply mitigation factors

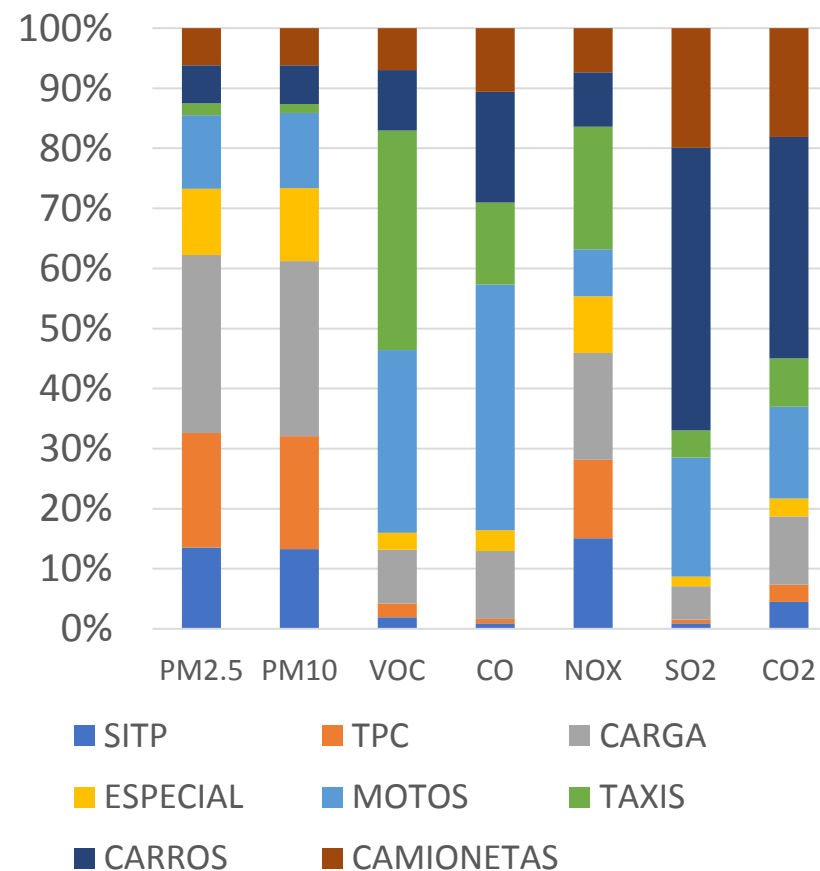
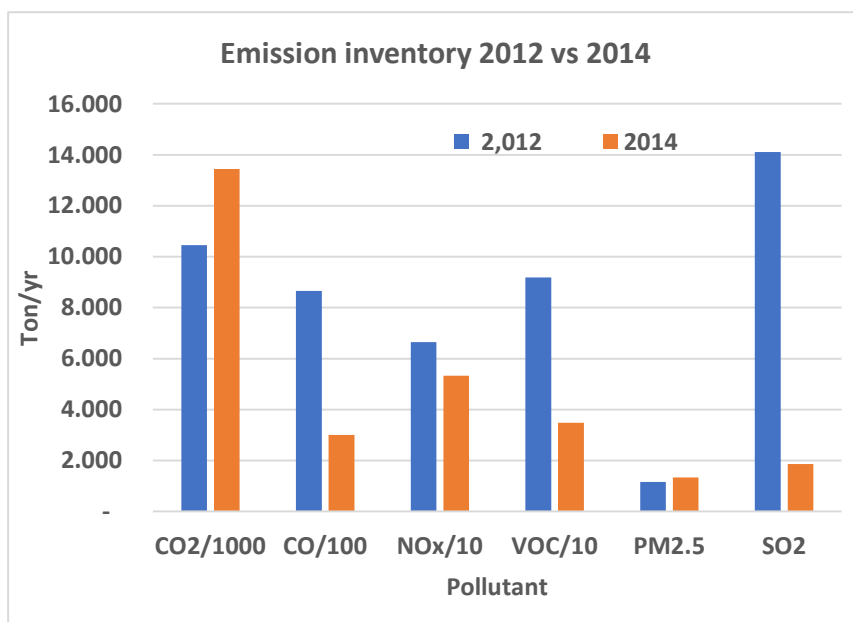
**M
O
V
E
S**

**New EFs estimated
considering:**

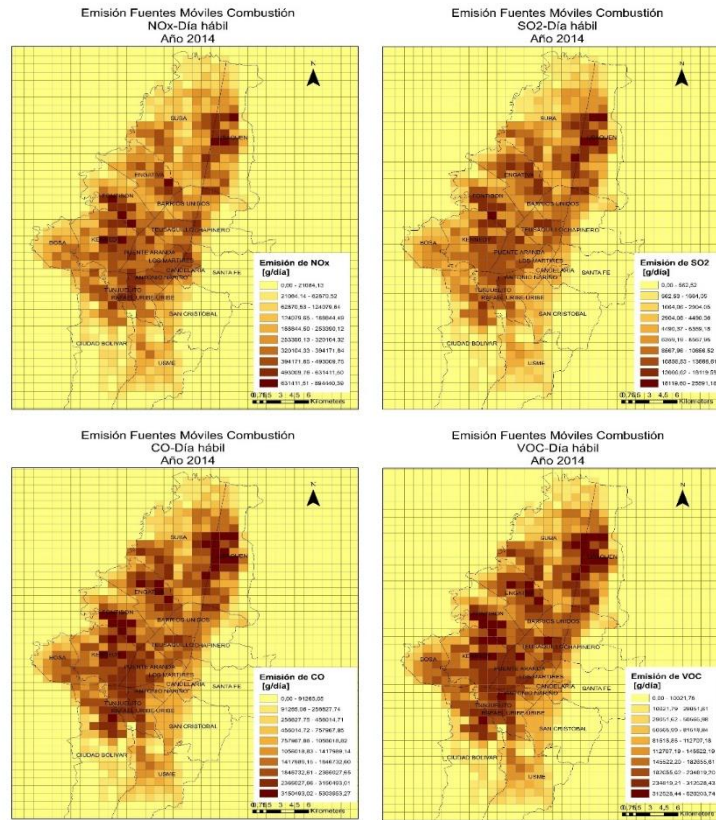
- ❖ Vehicular fleet age and activity (AADT)
- ❖ Speed bins
- ❖ Passenger vehicles and public buses renovation
- ❖ Lower sulfur content in fuels
- ❖ Stricter controls for VOC emissions

Inventario emisiones fuentes móviles 2014 top-down

Año	PM _{2.5}	VOC	CO	NO _x	SO ₂	CO ₂
2012	1,163	91,885	866,445	66,540	14,109	10,458,221
2014	1,340	34,906	300,969	53,313	1,860	13,438,647
%	13%	-163%	-188%	-25%	-659%	22%

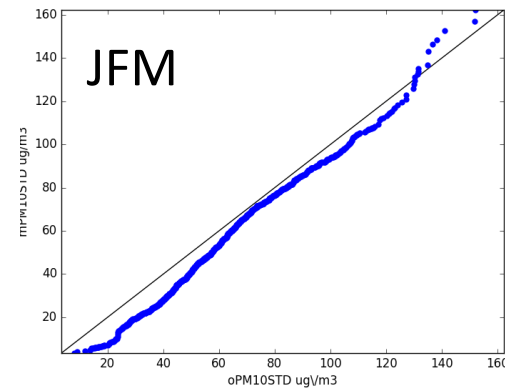
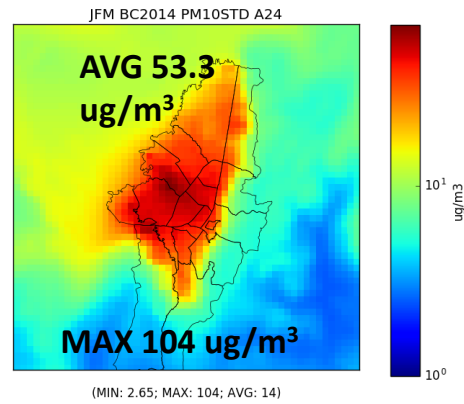


Distribución Espacial emisiones fuentes móviles bottom-up



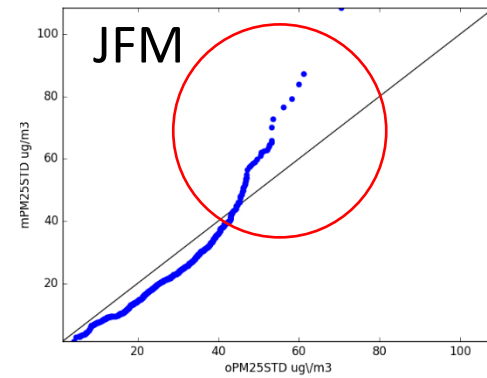
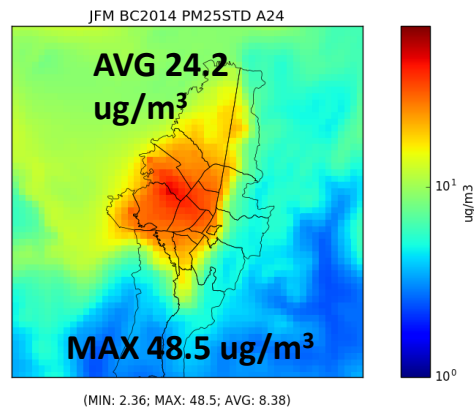
Resultados del modelo 2014

PM10



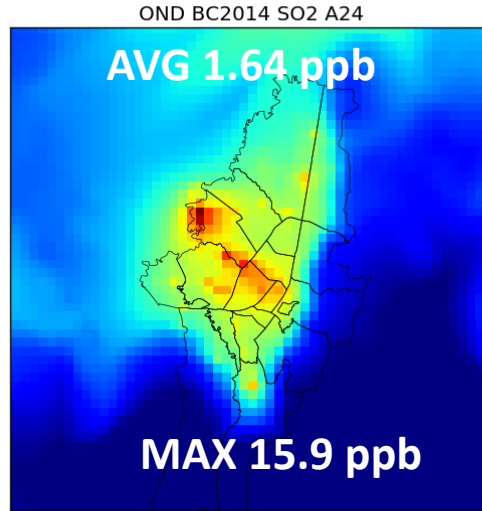
PM10 slightly high biased

PM2.5

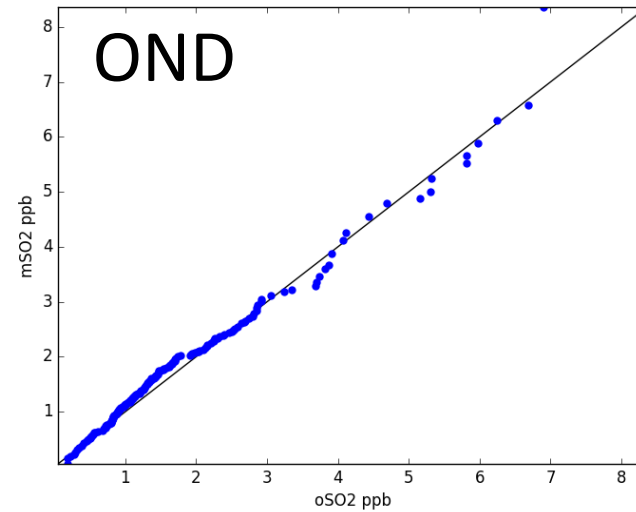
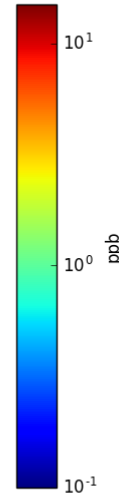


PM2.5 is slightly high biased for low concentrations, but the bias increases for higher concentrations

Resultados del modelo 2014

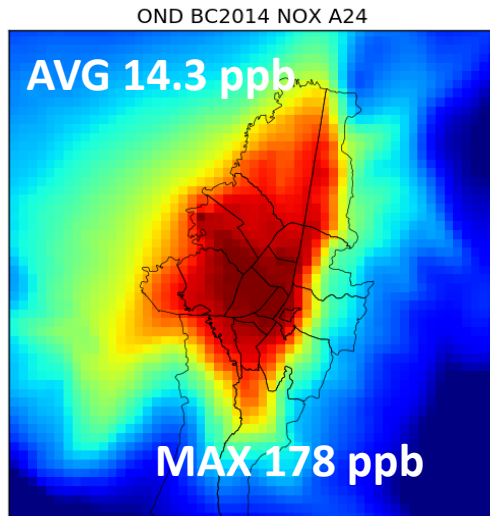


(MIN: 0.0337; MAX: 15.9; AVG: 0.465)

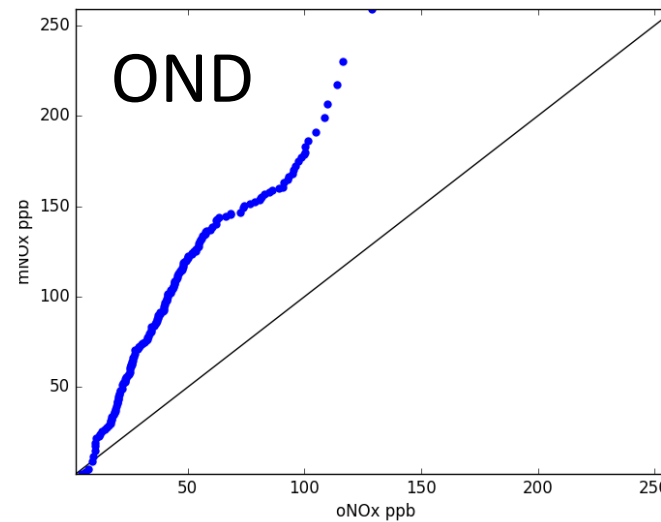
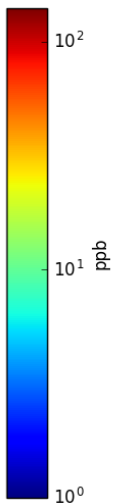


SO₂

SO₂ is slightly low biased



(MIN: 0.212; MAX: 178; AVG: 14.3)



NO_x

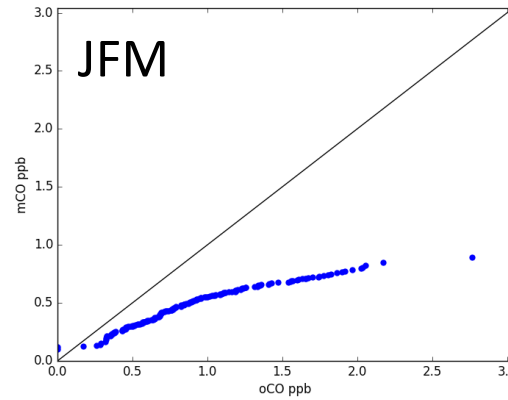
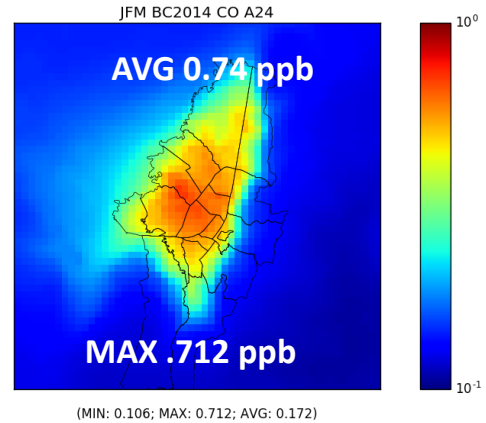
High bias for Nox probably overestimation of emissions

AVG of modeling values observed at air quality stations;
MAX of modeling values across the whole domain

Quantile-quantile plots for a24 NO_x with observations on the x-axis and model concentrations on the y-axis

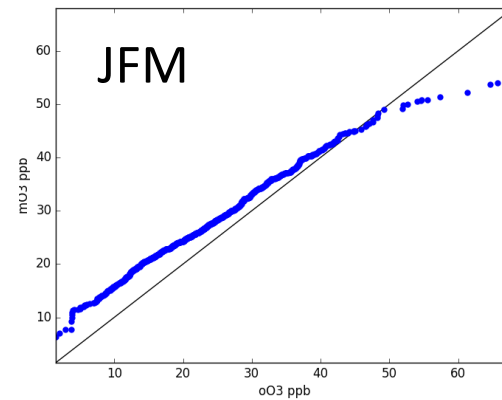
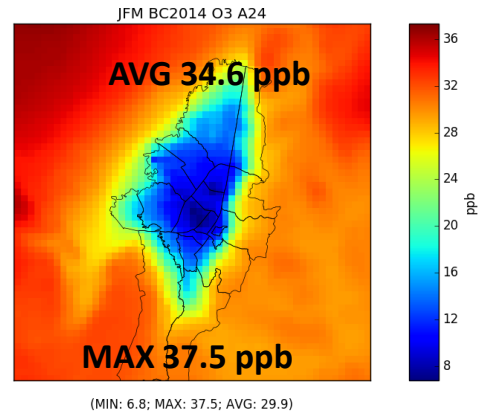
Resultados del modelo 2014

CO



Simulations are low biased for CO

O₃



The simulation shows strong performance for both periods, with a slight high bias for the J period and a slight low bias for the O period.

ESTUDIOS EPIDEMIOLOGICOS

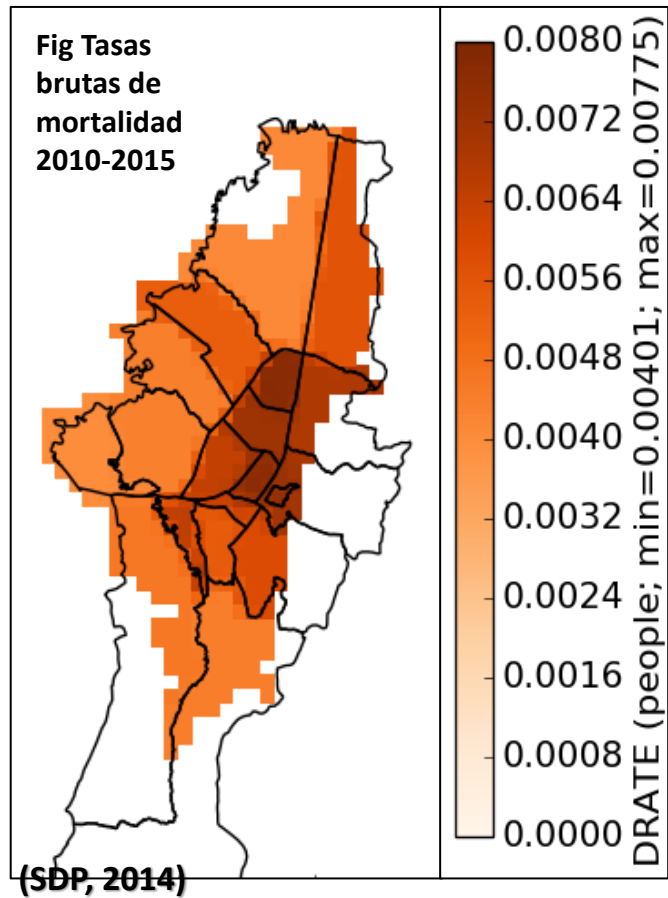
Riesgos relativos RR mortalidad

Incremento del Riesgo Relativo causado por contaminación de PM _{2.5} (Krewski et al, 2009)		Incremento del Riesgo Relativo causado por contaminación de PM ₁₀ (Loomis, 1999)		Incremento del Riesgo Relativo causado por contaminación de O ₃ (Jerrett et al, 2009)	
6% mortalidad por todas las causas (95% CI, 4–8%)	Por cada 10 ug/m ³	3.4% mortalidad infantil por exposición aguda (95%CI, 1.2%-5.5%)	Por cada 10 ug/m ³	4% incremento en muerte por enfermedades respiratorias (95% CI, 1.3–6.7%)	Por cada 10ppb
13% mortalidad por enfermedades cardiovasculares (95% CI, 10–16%)					
14% enfermedades respiratorias (95% CI, 6–23%)					

doi: 10.1289/ehp.0901220.

Y_0 (LOCALIDAD)

$\frac{[muertes]}{[hab]}$

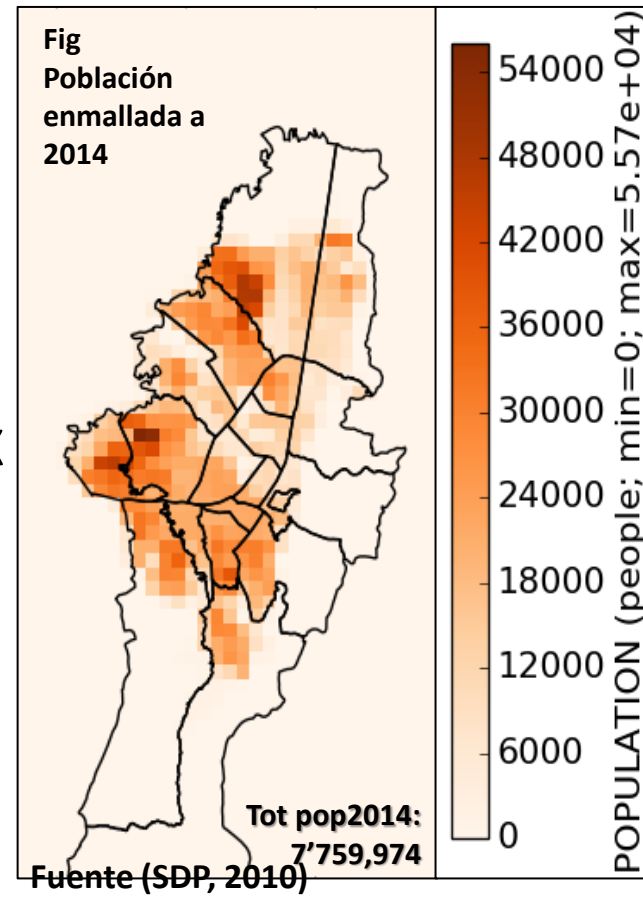


http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/Noticias2014/SDP_realiza_lanzamiento_de_su_coleccion_de_libros_Bogota_Hum/02.DEMOGRAFIA.pdf

X

$población_{GRID}(UPZ,LOCALIDAD)$

[hab]



X

2014

Porcentaje de personas con más de 30 años o menores a 1 año



X % = defunciones

Fracción atribuible
 $1 - e^{-\beta\Delta X}$

β

x

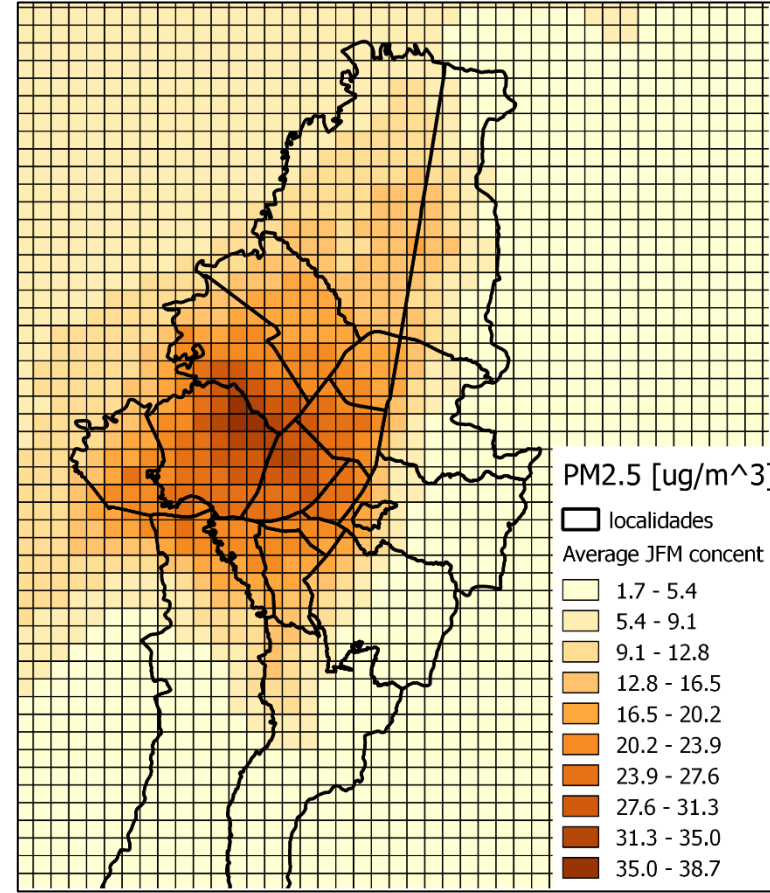
ΔX

$$RR = e^{\beta\Delta X}$$



$$\beta = \frac{\log(RR)}{\Delta X}$$

x



- 1 ug/m³

Estimación del costo de salud

- Estimación del costo de impacto en salud derivado de las defunciones calculadas

$$\mathit{Costo}_{Mortalidad} = \#defuncines_{año} \times VSL_{año}$$

- Estimación del costo de impacto en salud derivado de las morbilidades

$$\mathit{Costo}_{Morbilidad} = \#casos_{año} \times costo_atención_{año}$$

- Costo total

$$\mathit{Costo}_{SALUD} = \mathit{Costo}_{Mortalidad} + \mathit{Costo}_{Morbilidad}$$

VSL para Colombia: 575.000 USD

Resultados defunciones

PIB Bogotá 2014 en millones \$187,919,000

Contaminante		Edades	Defunciones estimadas	WTP COL (en millones)	% del PIB Bogotá	WTP USD (en millones)
PM_{2.5} (Krewski et al, 2009)	Mortalidad por todas las causas	< 30 años	1746	\$ 2,006,212.59	1.1%	\$ 1,002.77
	Mortalidad por causas respiratorias		629	\$ 722,742.11	0.4%	\$ 361.25
	Mortalidad por causas cardiovasculares		1050	\$ 1,206,485.23	0.6%	\$ 603.04
PM₁₀ (Loomis et al, 1999)	Mortalidad infantil exposición aguda	< 1 año	330	\$ 379,181.07	0.2%	\$ 189.53
O₃ (Jerrett et al, 2009)	Mortalidad por causas respiratorias	< 30 años	152	\$ 174,653.10	0.1%	\$ 87.30

CONCLUSIONES

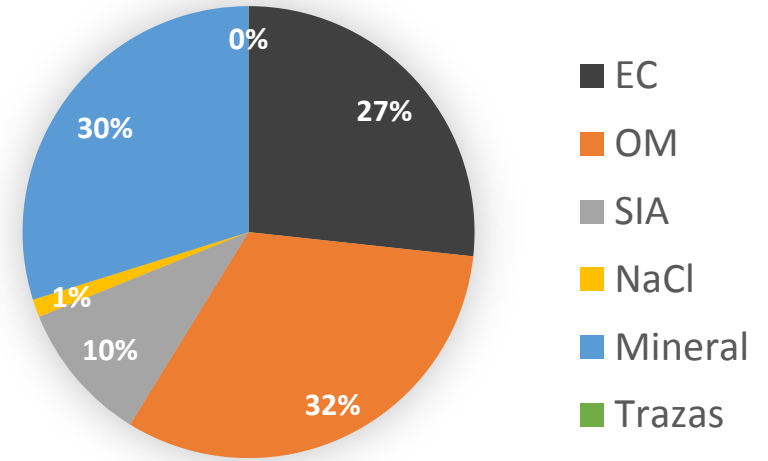
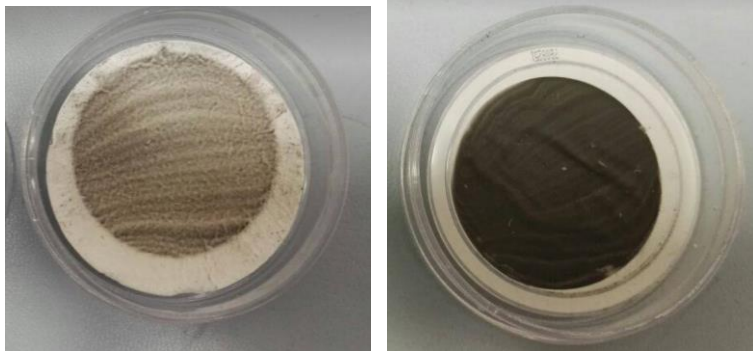
- La modelación de calidad del aire nos ha permitido:
 - Revisar el nivel de emisiones atmosféricas por diversas fuentes
 - Entender la dinámica de contaminantes atmosféricos y su relación con las variables meteorológicas
 - Generar campos de concentración de contaminantes en todo el dominio de modelación
 - Estimar el impacto en salud humana por contaminantes como PM10 y O3
 - Evaluar el beneficio en calidad del aire de diversas estrategias de reducción de emisiones
 - Valorar los costos asociados a morbilidad y mortalidad
 - Brindar una herramienta técnica a tomadores de decisiones en la revisión del Plan de Descontaminación del aire de la ciudad
 - Identificar necesidades de investigación en temas de calidad del aire

ESTUDIO DE COMPOSICION QUIMICA DE MATERIAL PARTICULADO



$$x_{ij} = \sum_{k=1}^K g_{ik} f_{kj} + e_{ij}$$

Aplicación de modelos de receptor PMF



- EC
- OM
- SIA
- NaCl
- Mineral
- Trazas

GRACIAS

PREGUNTAS?