



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
SEDE MANIZALES



Grupo de trabajo académico en
Ingeniería Hidráulica y Ambiental



El material particulado y sus riesgos asociados con la contaminación del aire. Estado actual y monitoreo de este contaminante en Manizales

**CAMILO ZAPATA
CARLOS MARIO GONZÁLEZ**

Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

Los humanos requieren alimento, bebida y aire para su vida normal. En una semana se ingiere aproximadamente 9 libras de sólidos y 35 libras de agua, en ese mismo período inhalará casi **300 libras de aire**.

Cuánto tiempo podrá vivir ese hombre promedio **sin comer?**

Cinco semanas.....

Cuánto tiempo **sin beber agua?**

Cinco días.....

Cuánto tiempo sin aire?

Cinco minutos....

Y cuál es la clase de aire que está disponible para respirar?...

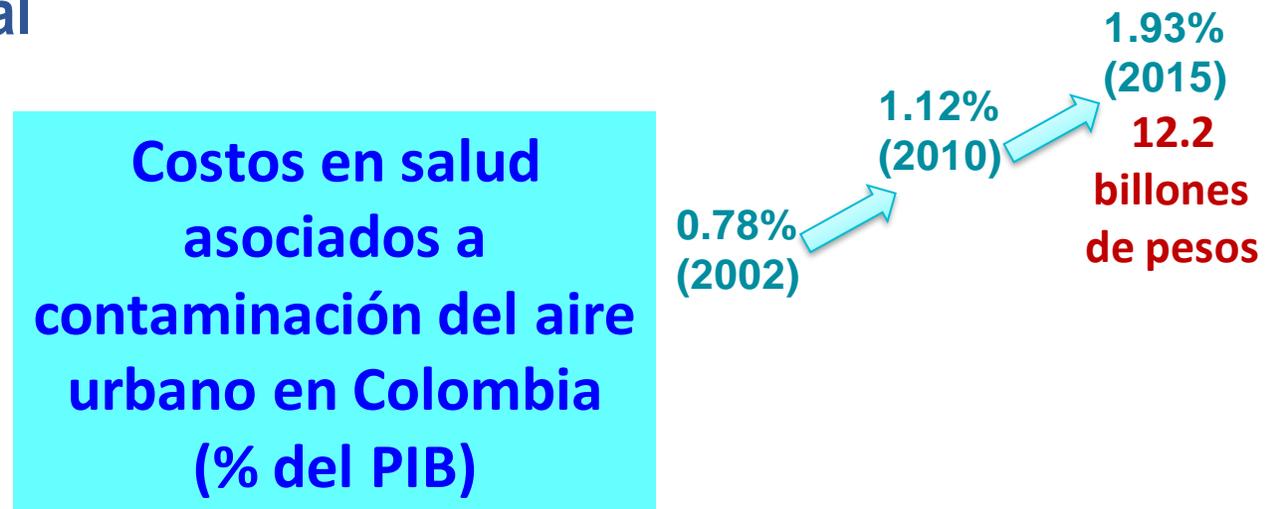


Imagen de la contaminación del aire en Medellín.

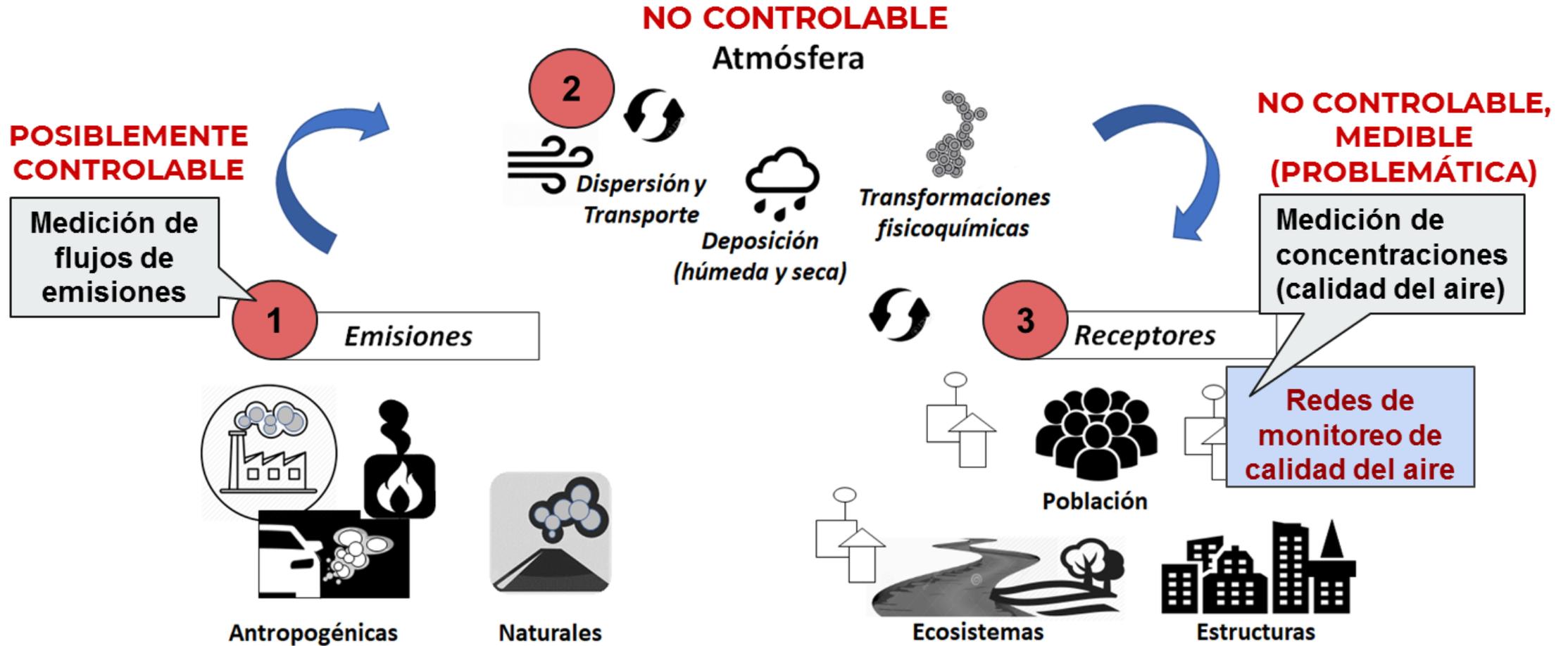
Foto: Jaiver Nieto

Según el documento CONPES 3943 de 2018 “Política para el mejoramiento de la calidad del aire”, la baja calidad del aire en Colombia estuvo asociada en el año 2015 a más de **8.000 muertes por cáncer de pulmón y enfermedad cardiovascular en mayores de 44 años, 22 muertes por todas las causas en menores de 5 años,** así como 67 millones de enfermedades y síntomas respiratorios.

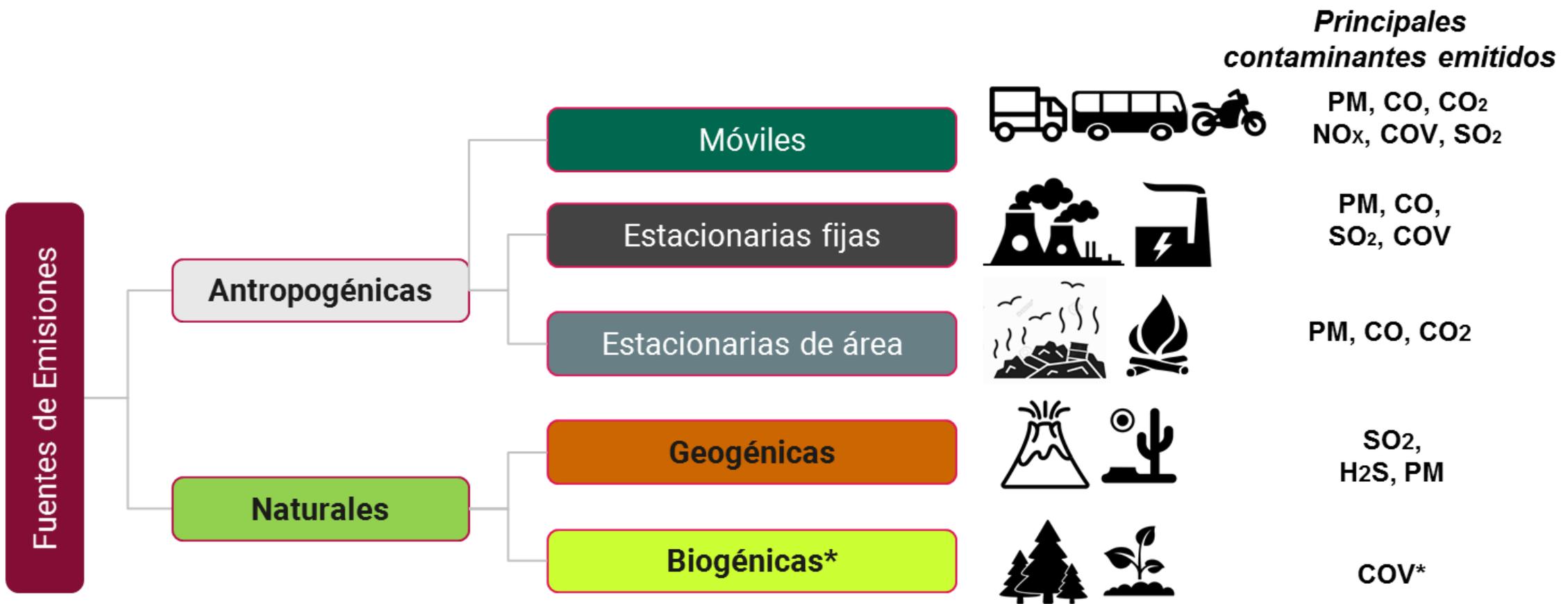
El Departamento Nacional de Planeación (DNP), reportó que la baja calidad del aire urbano tuvo la mayor contribución en la degradación ambiental en Colombia (DNP, 2018).



¿Cuál es el proceso de contaminación del aire?



Fuente: Cuesta y Aristizábal, 2018



* Las plantas no son fuentes de contaminantes, generan COV que son sustancias que en la atmósfera reaccionan para formar contaminantes como el ozono troposférico (O₃)

CONTAMINANTES CRITERIO

Colombia → Resolución 2254 del 2017

Contaminantes nocivos para la salud pública y el medio ambiente.
¡Especial cuidado!

Contaminante	Nivel Máximo Permissible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de Exposición
PM ₁₀	50	Anual
	75	24 horas
PM _{2.5}	25	Anual
	37	24 horas
SO ₂	50	24 horas
	100	1 hora
NO ₂	60	Anual
	200	1 hora
O ₃	100	8 horas
CO	5.000	8 horas
	35.000	1 hora

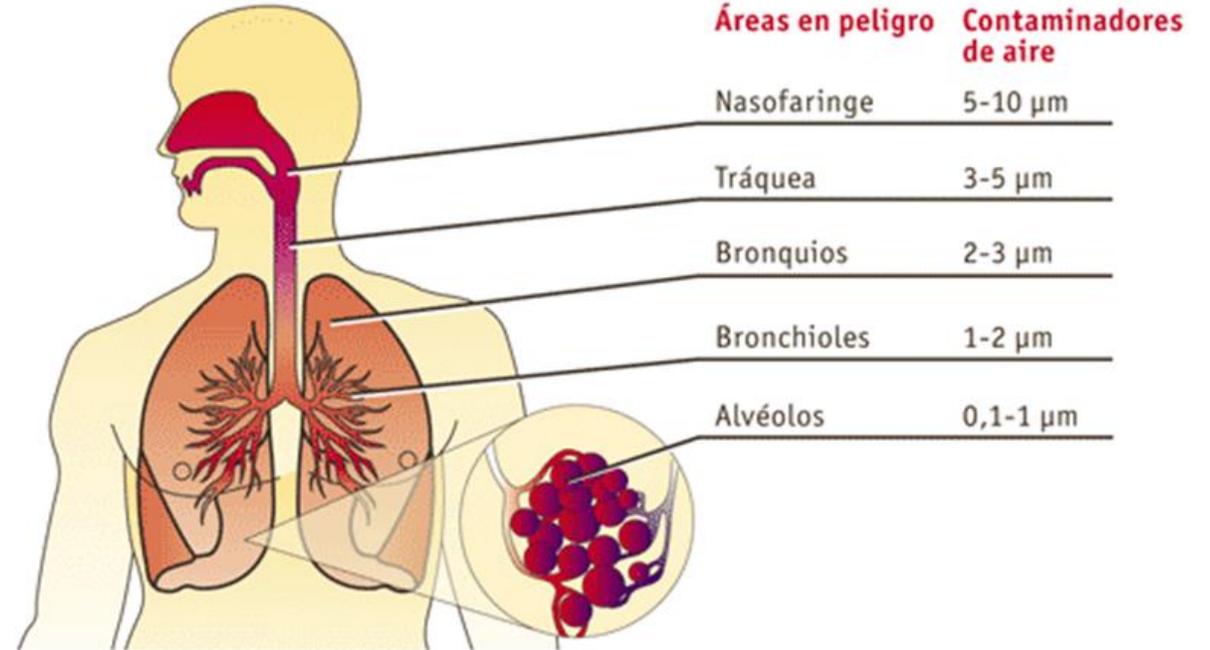
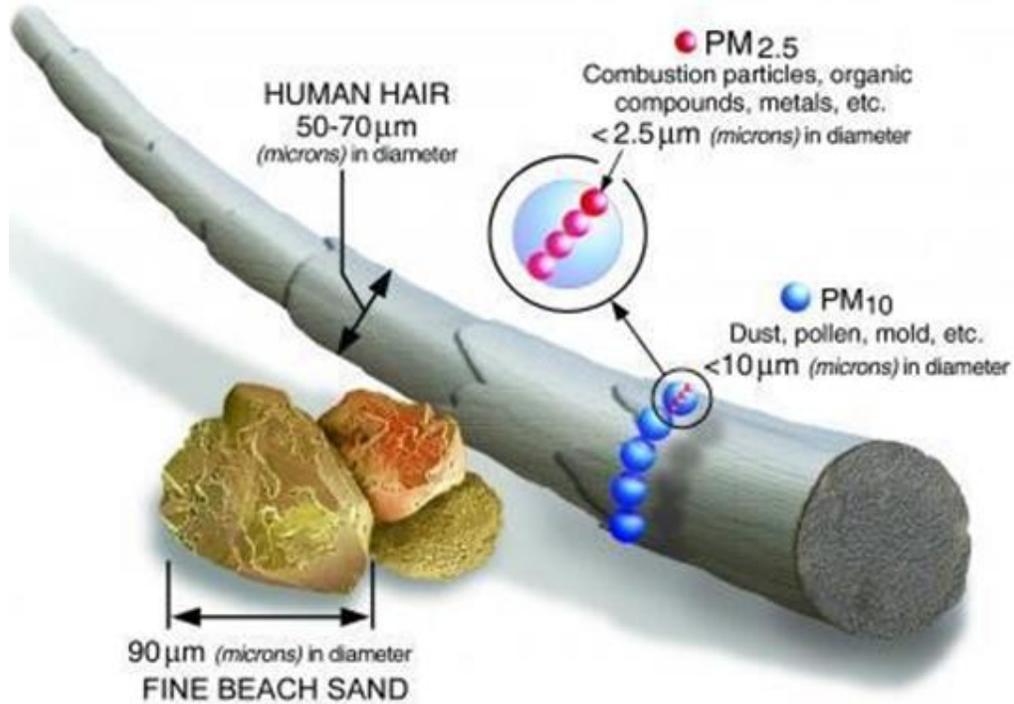
Recomendación de la OMS:



Contaminante	Nivel Máximo Permissible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de Exposición
PM ₁₀	20	Anual
	50	24 horas
PM _{2.5}	10	Anual
	25	24 horas

MATERIAL PARTICULADO (PM)

- Partículas suspendidas totales (PST)
- Fracción respirable (PM_{10})
- Partículas finas ($PM_{2.5}$)
- Partículas ultrafinas ($< 0.1 \mu m$)



MATERIAL PARTICULADO (PM)

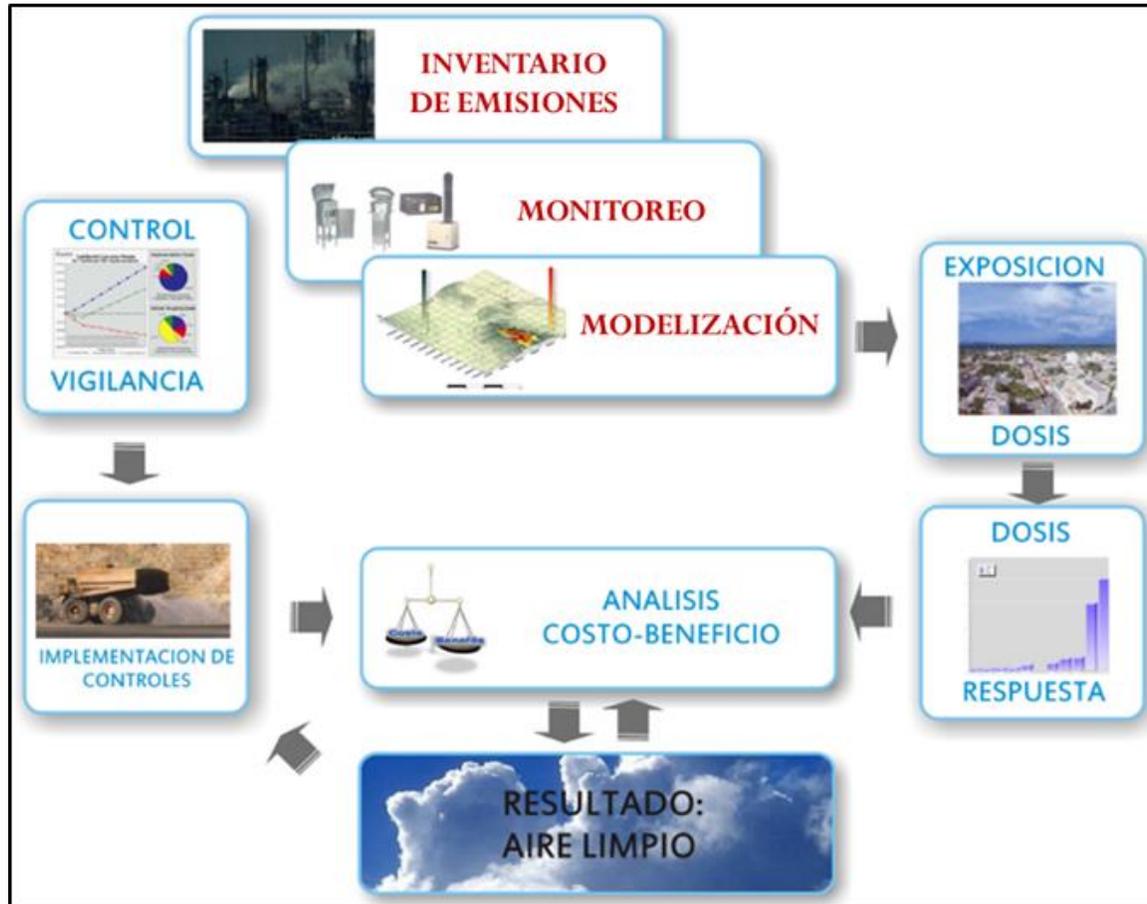
Principales efectos en la salud asociados a la exposición a PM

- ✓ Muerte prematura en personas con enfermedades del corazón o pulmones.
- ✓ Ataques cardiacos no fatales.
- ✓ Asma agravado.
- ✓ Disminución de la función pulmonar.
- ✓ Aumento de síntomas respiratorios, como irritación de vías aéreas y dificultad para respirar.

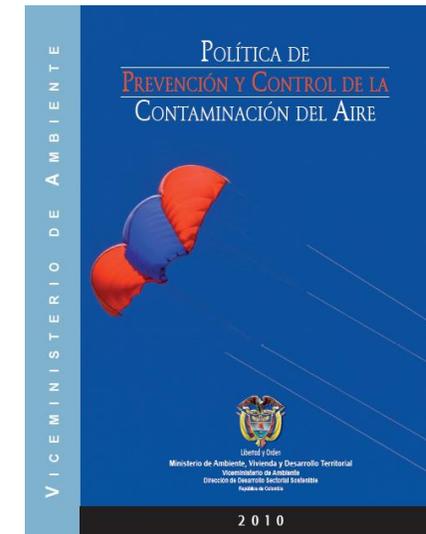
(Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer), órgano consultivo de la OMS, ha clasificado el aire contaminado de las ciudades como cancerígeno humano.

Tienen la capacidad de pasar al torrente sanguíneo por lo que pueden, potencialmente, dañar cualquier órgano o sistema.

Cómo hacer frente al problema?

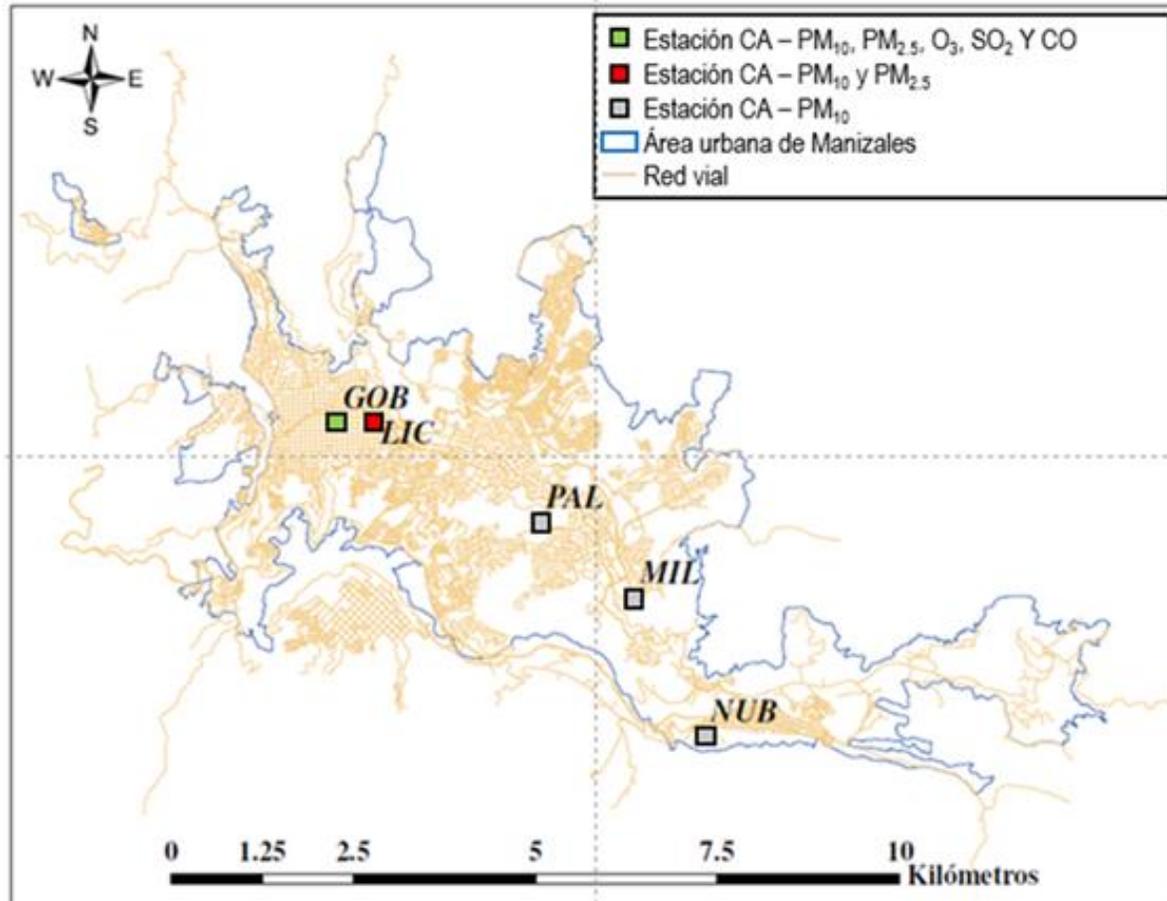


La política para el mejoramiento de la calidad del aire en Colombia destaca la necesidad de comprender el estado actual de la contaminación del aire en centros urbanos

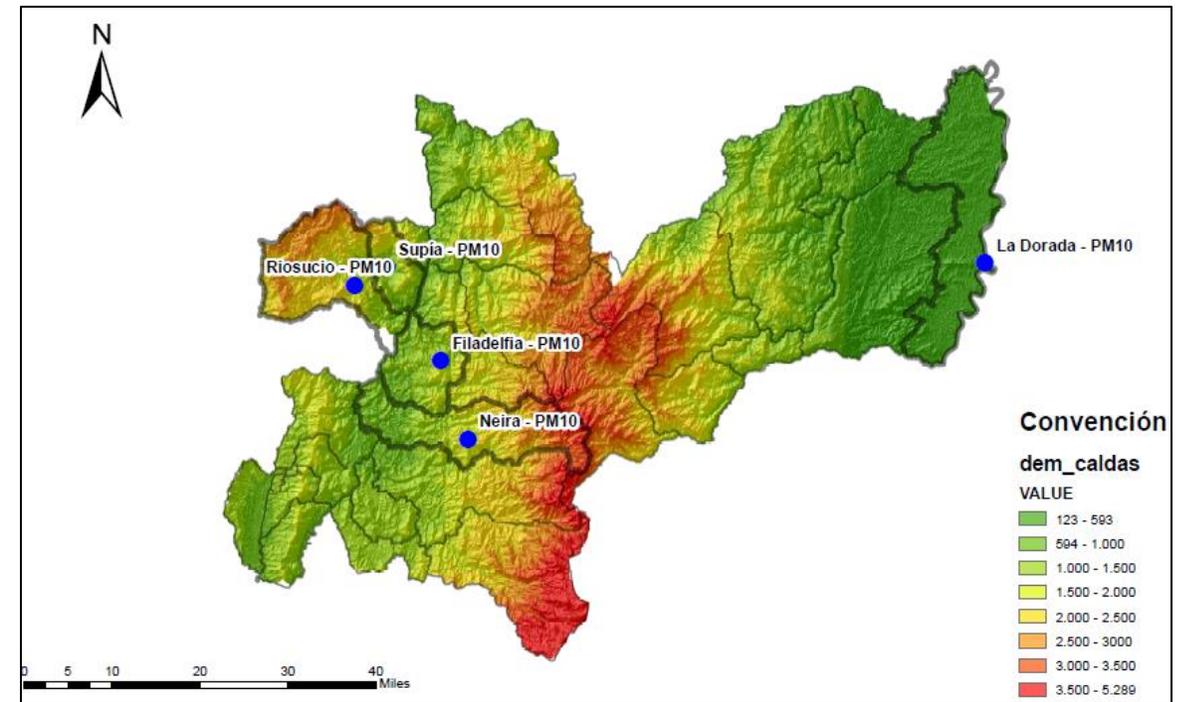


SISTEMA DE VIGILANCIA DE CALIDAD DEL AIRE (SVCA) DE DE MANIZALES Y CALDAS

Estaciones del SVCA en Manizales



Monitoreo de calidad del aire en Caldas



SISTEMA DE VIGILANCIA DE CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE MANIZALES Y CALDAS

CON LA INFORMACIÓN OBTENIDA SE REALIZAN DIFERENTES TIPOS DE BOLETINES INFORMATIVOS SOBRE EL ESTADO DE CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD



BOLETIN DE CALIDAD DEL AIRE DE MANIZALES AÑO 2017

Instituto de Estudios Ambientales, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

Subdirección de Evaluación y Seguimiento Ambiental CORPOCALDAS

Beatriz Helena Aristizábal Zuluaga^a, Camilo Zapata Mora^a, Carlos Alberto Giraldo Villa^a,
González Duque^a, Mauricio Velasco García^b

^a Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GTAIHA), Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Departamento de Ingeniería Química.

^b Profesional especializado, Corpocaldas.

1. Introducción y aspectos metodológicos

El crecimiento poblacional y las actividades industriales han incrementado considerablemente las emisiones de contaminantes, entre los cuales se destacan gases como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂), ozono troposférico (O₃); además del material particulado (PM), contaminante de especial interés en centros urbanos debido a su relación con enfermedades como asma, bronquitis crónica, infartos no letales. Estos contaminantes generan impactos sobre el recurso aire en ecosistemas naturales y centros urbanos.

Actualmente en la ciudad de Manizales se cuenta con un Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire conformado por 8 equipos para el monitoreo de material particulado, aplicando técnicas de muestreo activo (5 de PM₁₀, 1 de PM_{2.5} y 2 de PST). Este monitoreo se basa en el método de filtración, donde las partículas son retenidas. Posteriormente las muestras son desecadas y pesadas para determinar la cantidad de partículas que se encuentran en el aire. En cada muestra se obtiene 1 muestra las características de las estaciones de monitoreo de calidad del aire.

La red de monitoreo de calidad del aire de Manizales también cuenta con una estación de monitoreo para el monitoreo de los gases SO₂, O₃ y CO. Durante el año 2017 la estación estuvo en mantenimiento y trazabilidad, sólo se reportaron datos de O₃ a partir de mes de diciembre.



MONITOREO DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS DURANTE JORNADA DEL DÍA SIN CARRO Y MOTO EN MANIZALES - ABRIL 19 DE 2018

Instituto de Estudios Ambientales, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales
Subdirección de Evaluación y Seguimiento Ambiental CORPOCALDAS.

Carlos Mario González Duque^a, Camilo Zapata Mora^a, Beatriz Helena Aristizábal Zuluaga^a, Mauricio Velasco García^b

^a Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GTAIHA), Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Departamento de Ingeniería Química.

^b Corporación Autónoma Regional de Caldas, Corpocaldas.

1. RESUMEN

Se presentan en este informe los resultados del monitoreo de contaminantes atmosféricos realizado en Manizales durante el día sin carro y moto llevado a cabo el 19 de abril de 2018. Se realizó el seguimiento de material particulado, PM₁₀, y los gases ozono troposférico (O₃) y monóxido de carbono (CO). Se muestran las gráficas resumen obtenidas y tablas de estadísticos básicos (promedio, mínimo, máximo y desviación estándar), comparando los resultados durante la jornada del 19 de abril y aquellos obtenidos en los días previos del año 2018. Asimismo, se comparan los resultados con los promedios históricos de cada estación de monitoreo.

2. EL SISTEMA DE VIGILANCIA DE CALIDAD DEL AIRE EN MANIZALES

El seguimiento a los fenómenos de contaminación del aire en Manizales y la información entregada por el Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA), es un sustento para tomar acciones que permitan controlar aquellas zonas donde se superen las normas de calidad del aire, además un insumo para establecer medidas de prevención donde la calidad del aire sea catalogada como perjudicial para la salud. Los datos obtenidos en la red de monitoreo de calidad del aire alimentan las bases de datos del CDIAC (Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas) y el SISAIRE del IDEAM. El CDIAC, por medio de la página web <http://cdiac.manizales.unal.edu.co>, pone a disposición de la comunidad información meteorológica, de calidad del aire, sismos y aguas subterráneas, de la ciudad de Manizales y el Departamento de Caldas.



BOLETIN DE CALIDAD DEL AIRE MUNICIPIOS DE CALDAS AÑO 2017

Instituto de Estudios Ambientales, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales

Subdirección de Evaluación y Seguimiento Ambiental Corpocaldas.

Carlos Alberto Giraldo Villa^a, Carlos Mario González Duque^a, Mauricio Velasco
González Duque^a, Mauricio Velasco García^b

^a Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GTAIHA), Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Departamento de Ingeniería Química.

^b Profesional especializado, Corpocaldas.

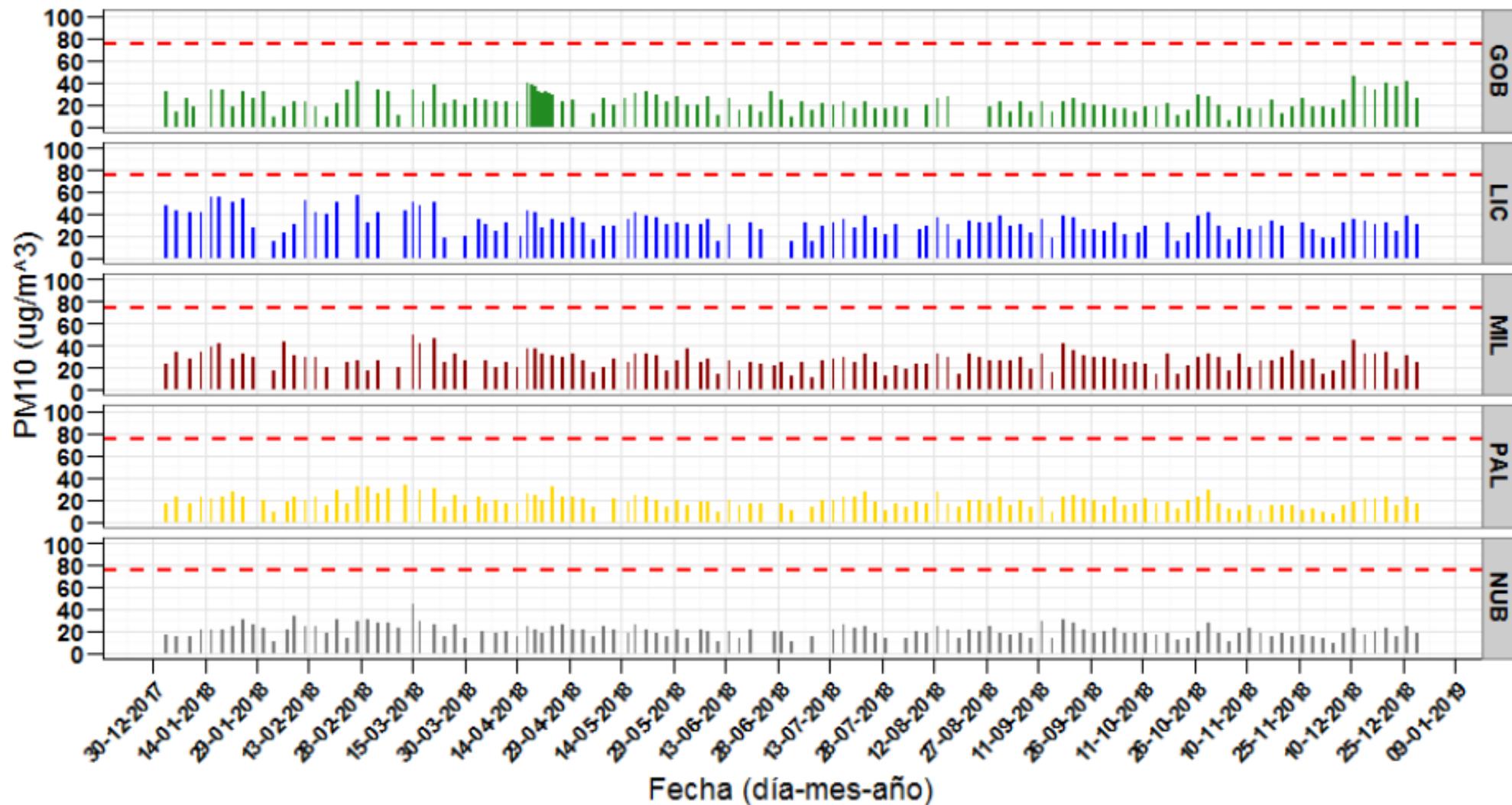
1. Introducción y aspectos metodológicos

El crecimiento poblacional y las actividades industriales han incrementado considerablemente las emisiones de contaminantes, entre los cuales se destacan gases como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO₂), ozono troposférico (O₃); además del material particulado (PM), contaminante de especial interés en centros urbanos debido a su relación con enfermedades como asma, bronquitis crónica e infartos no letales. Estos contaminantes generan impactos sobre el recurso aire en ecosistemas naturales y centros urbanos.

Actualmente en la ciudad de Manizales se cuenta con un Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire conformado por 8 equipos para el monitoreo de material particulado, aplicando técnicas de muestreo activo (5 de PM₁₀, 1 de PM_{2.5} y 2 de PST). Este monitoreo se basa en el método de filtración, donde las partículas son retenidas. Posteriormente las muestras son desecadas y pesadas para determinar la cantidad de partículas que se encuentran en el aire. En cada muestra se obtiene 1 muestra las características de las estaciones de monitoreo de calidad del aire.

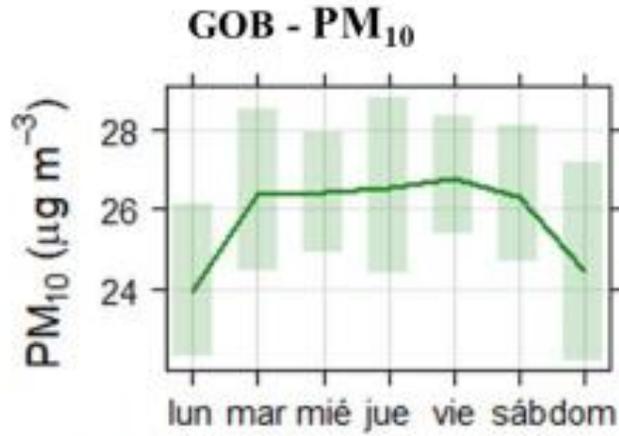
La red de monitoreo de calidad del aire de Manizales también cuenta con una estación de monitoreo para el monitoreo de los gases SO₂, O₃ y CO. Durante el año 2017 la estación estuvo en mantenimiento y trazabilidad, sólo se reportaron datos de O₃ a partir de mes de diciembre.

RESULTADOS PARA PM₁₀ EN MANIZALES AÑO 2018



Evolución temporal de concentraciones diarias de PM₁₀ durante 2018. El límite máximo permisible diario (75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) según la Resolución 2254 de 2017 se muestra en la línea punteada roja.

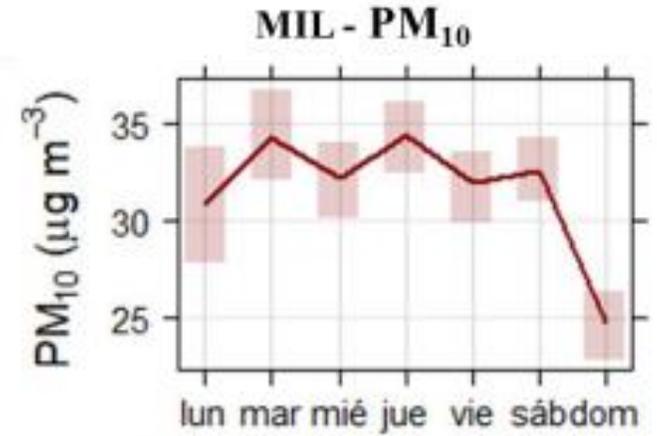
PROMEDIO POR DÍAS DE SEMANA DEL PM_{10} EN MANIZALES - AÑO 2018



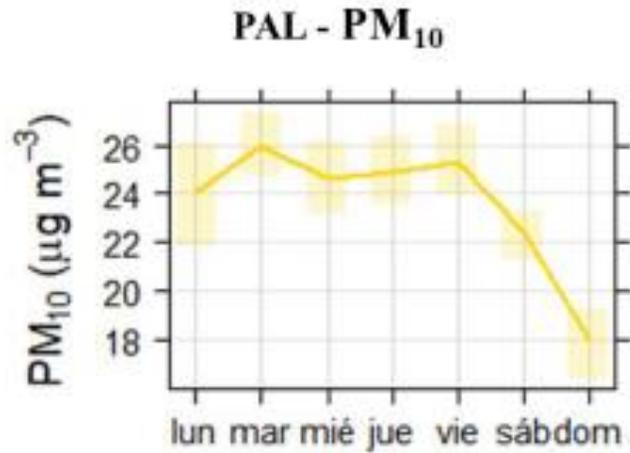
Promedio día de la semana



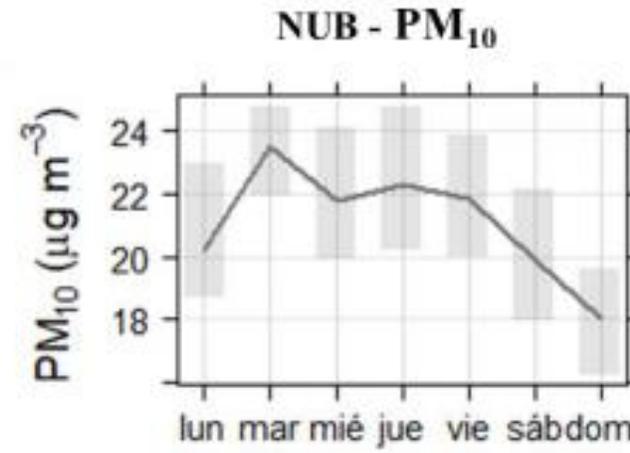
Promedio día de la semana



Promedio día de la semana

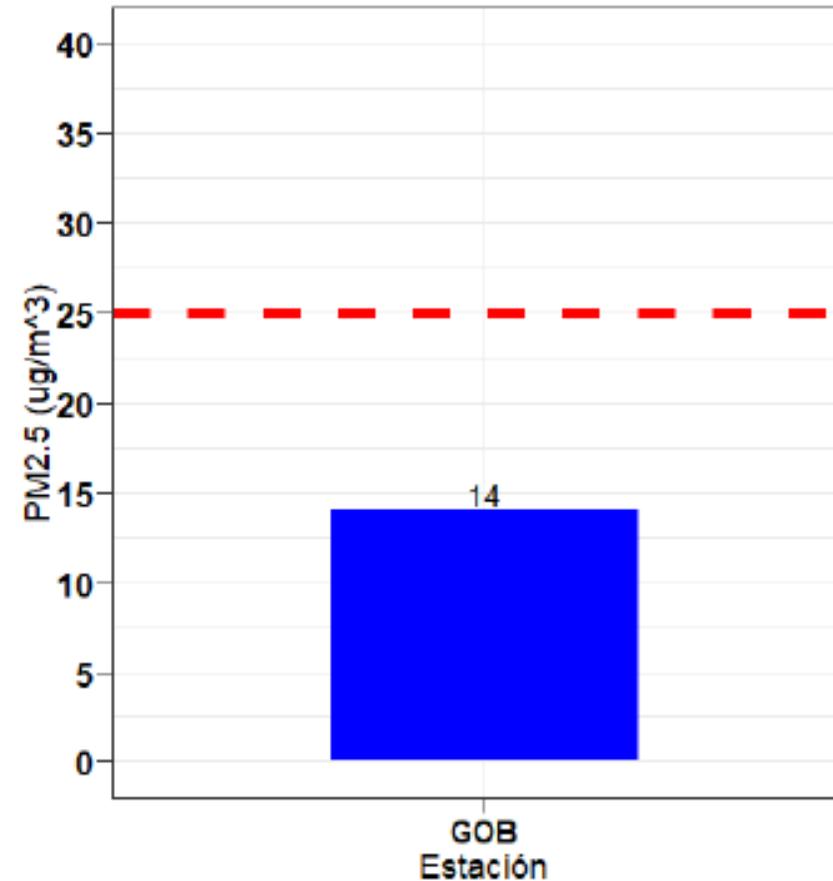
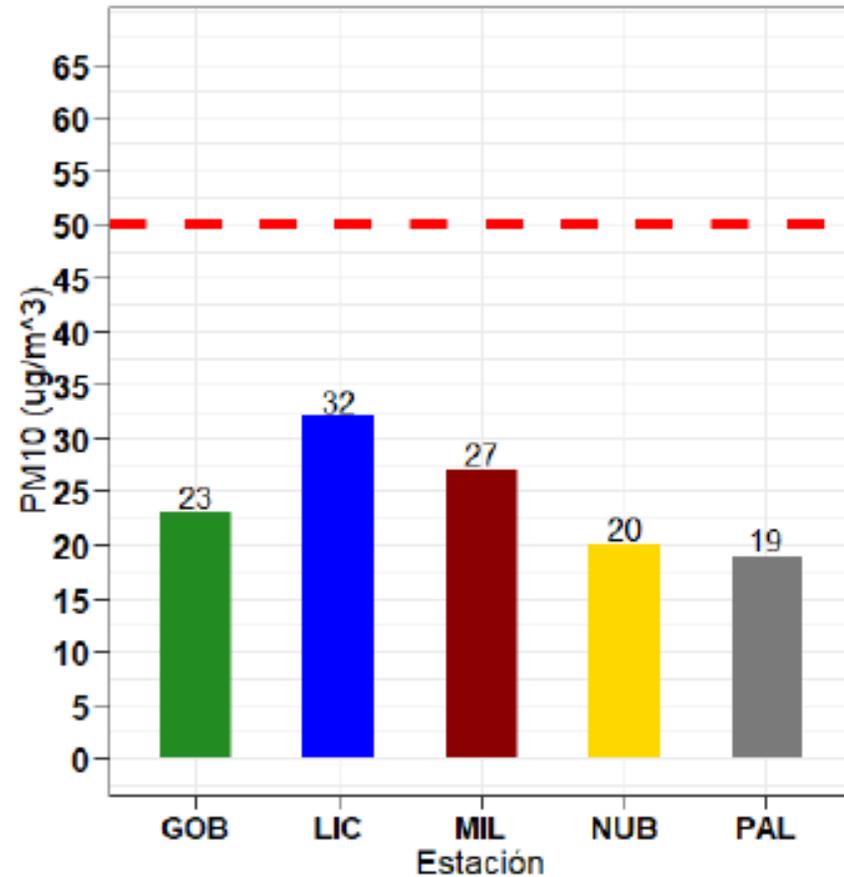


Promedio día de la semana



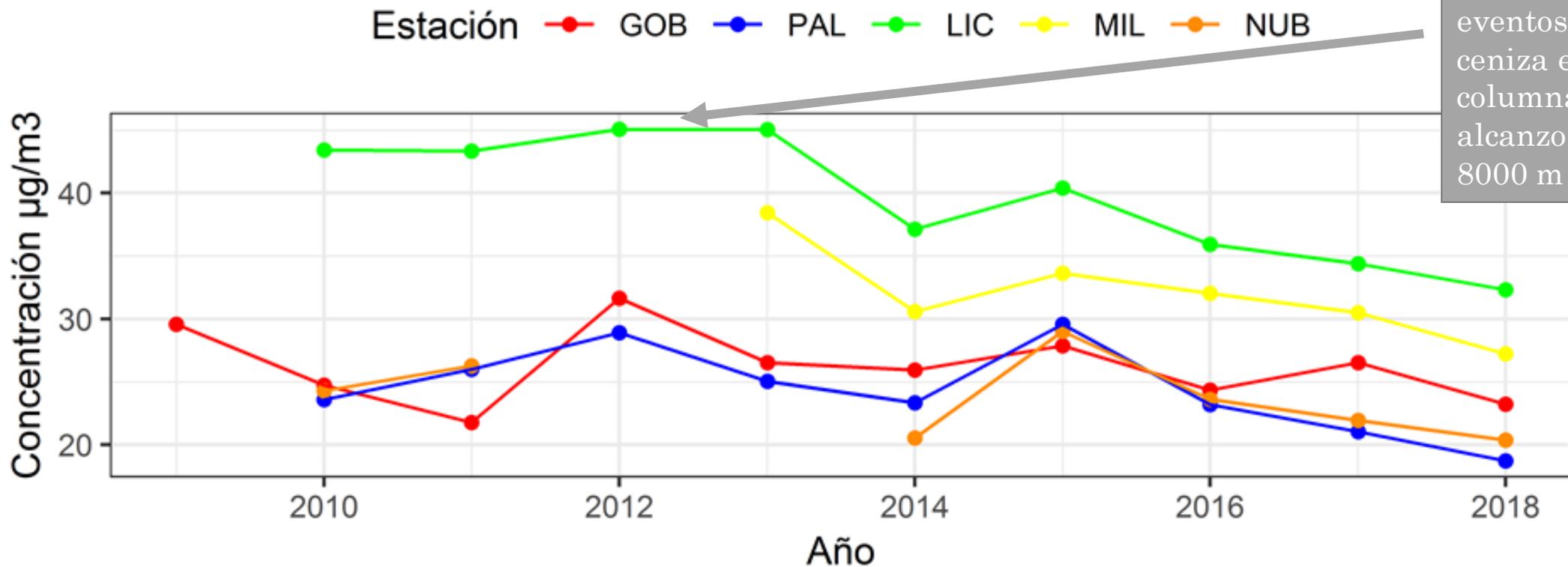
Promedio día de la semana

PM EN MANIZALES AÑO 2018 – PROMEDIO ANUAL



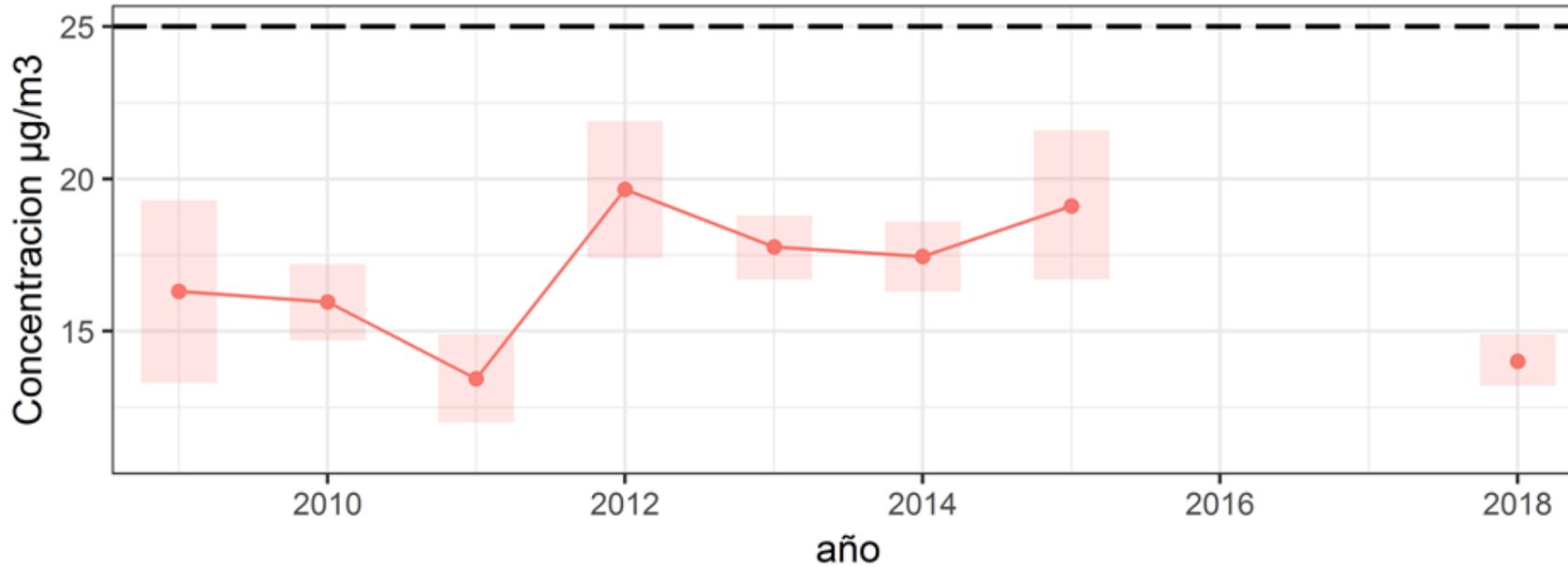
Concentración promedio anual de PM10 y PM2.5 durante 2018, comparado con norma anual en las estaciones de monitoreo

VARIACIÓN HISTÓRICA ANUAL DEL PM₁₀ EN MANIZALES

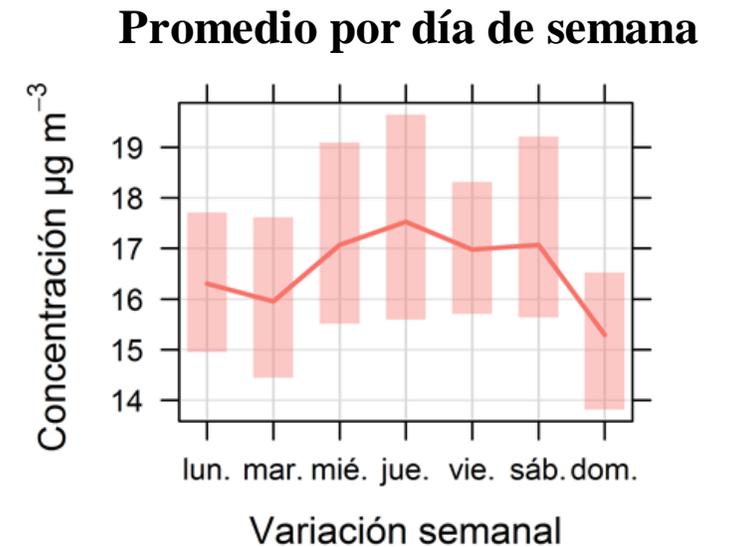


Alta actividad volcánica, causante de múltiples episodios de emisión de ceniza y gases a la atmósfera. Durante este año se dio uno de los mayores eventos de emisión de ceniza en el cual la columna emitida alcanzó una altura de 8000 m (SGC, 2012)

VARIACIÓN HISTÓRICA ANUAL DEL PM_{2.5} EN MANIZALES – ESTACIÓN GOBERNACIÓN

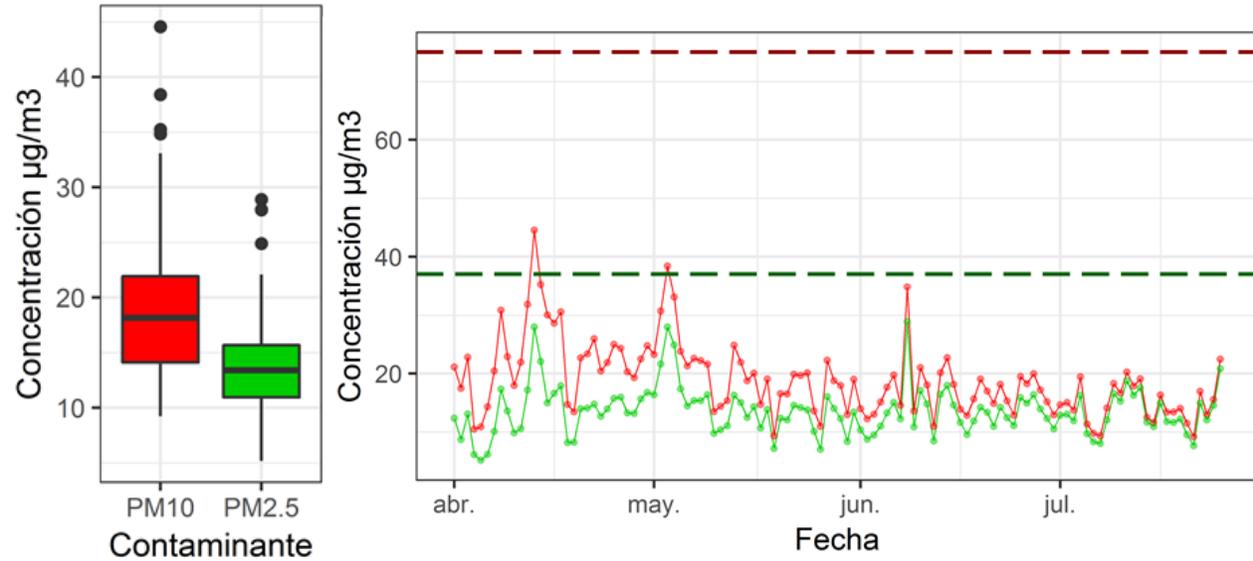


Promedio anual



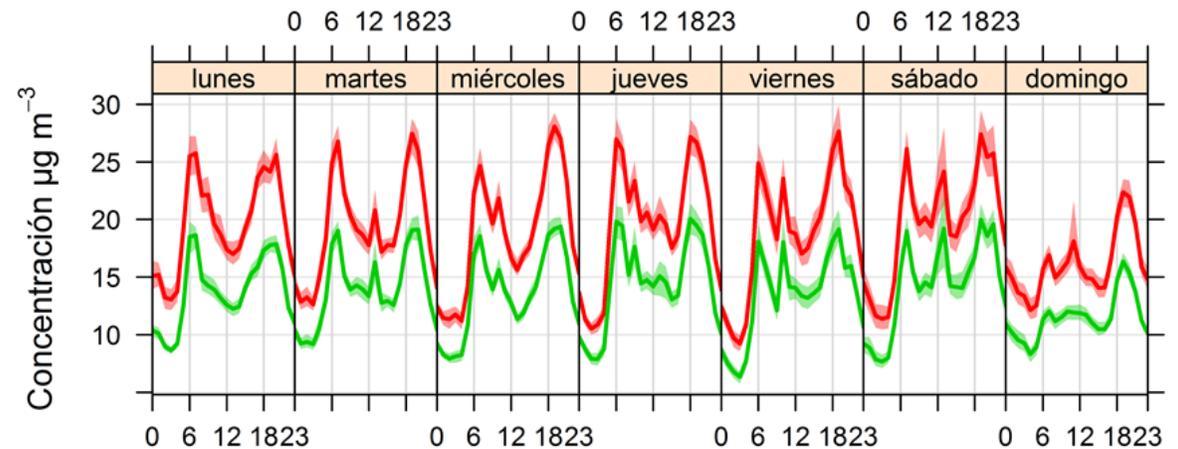
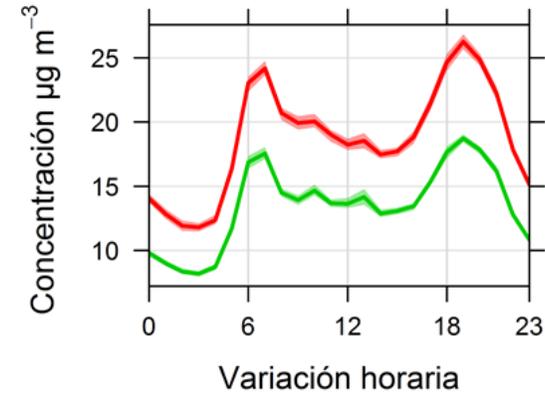
Promedio por día de semana

VARIACIÓN DEL PM₁₀ y PM_{2.5} EN LICEO – MEDICIÓN CON NUEVOS EQUIPOS AUTOMÁTICOS



Evolución histórica horaria

Promedio horario total y por días de semana



ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA) PARA PM

El Índice de Calidad del Aire (ICA) es un indicador del estado la calidad del aire. El ICA corresponde a una escala numérica a la cual se le asigna un color, el cual a su vez tiene una relación con los efectos a la salud.



ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN
0 - 50	Verde	Buena
51-100	Amarillo	Moderada
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud
201 - 300	Púrpura	Muy Dañina a la salud
301-400	Marrón	Peligrosa
401-500	Marrón	Peligrosa

ICA OBTENIDO EN ESTACIÓN LICEO (PM₁₀) Y GOBERNACIÓN (PM_{2.5})

	Buena	Moderada	Dañina para la salud de grupos sensibles	Dañina para la salud	Muy dañina para la salud	Peligrosa
Rango PM ₁₀ (µg/m ³)	0 - 54	55 - 154	155 - 254	255 - 354	355 - 424	425 - 504

Estación Liceo PM₁₀

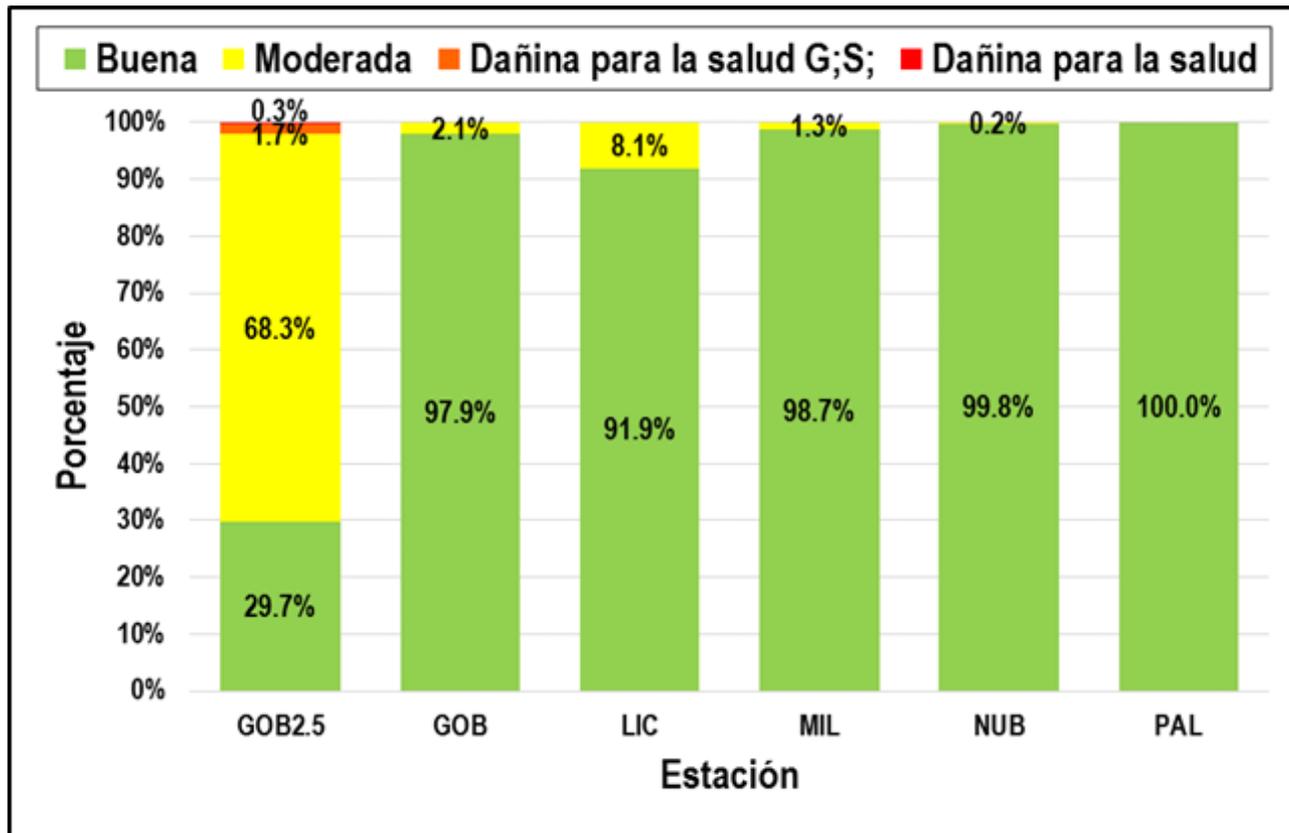


A partir de los datos monitoreados de PM en el SVCA de Manizales, se obtienen calendarios del ICA para las distintas estaciones

Estación Gobernación PM_{2.5}



ICA PARA PM OBTENIDO EN TODAS LAS ESTACIONES DEL SVCA



Distribución porcentual histórica del ICA obtenido en las estaciones del SVCA de Manizales

EMISIONES TOTALES ANUALES (ton/año) ESTIMADAS EN MANIZALES POR FUENTES ANTROPOGÉNICAS MÓVILES EN RUTA Y ESTACIONARIAS FIJAS – AÑO BASE 2014

*Trabajo conjunto entre la Academia y la Corporación
Ambiental (Convenio 130-2014)*

Informe completo puede consultarse en la página institucional de Corpocaldas. Enlaces:

<http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/543/Inventario%20Fuentes%20Moviles%202014.pdf>

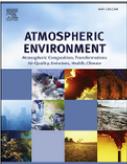
<http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/543/Inventario%20Fuentes%20Fijas%202014.pdf>

Atmospheric Environment 152 (2017) 279–289

Contents lists available at ScienceDirect

 Atmospheric Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/atmosenv



Relative impact of on-road vehicular and point-source industrial emissions of air pollutants in a medium-sized Andean city

C.M. González ^{a, **}, C.D. Gómez ^a, N.Y. Rojas ^b, H. Acevedo ^c, B.H. Aristizábal ^{a, *}

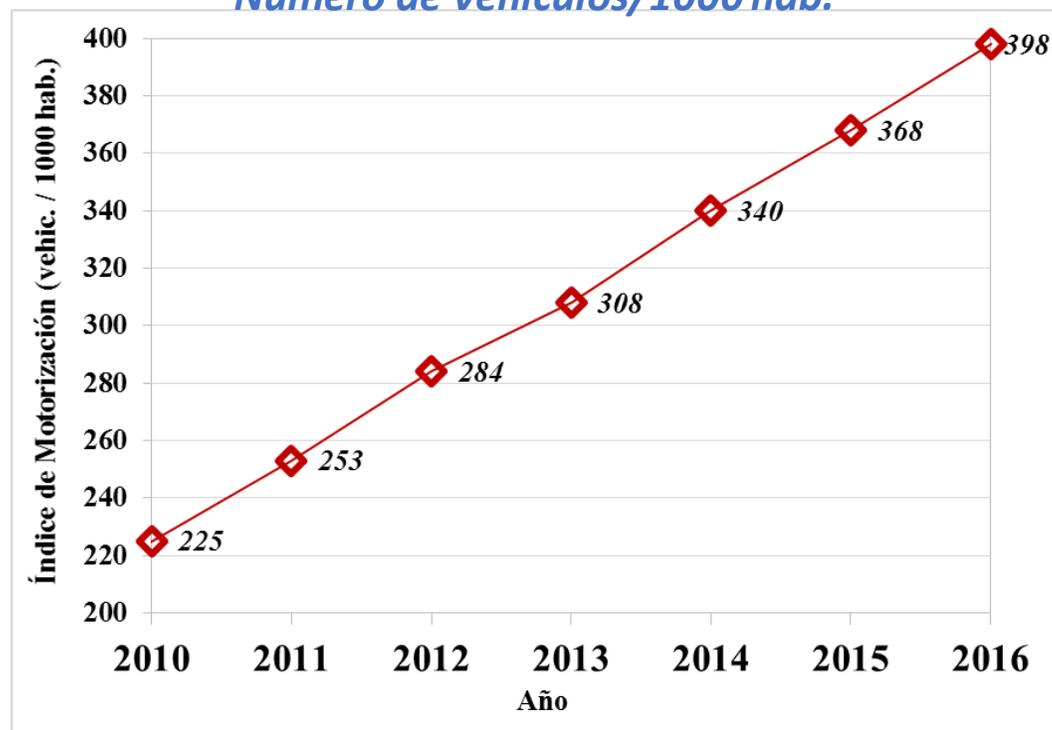
 CrossMark

**EN ACTUALIZACIÓN!
AÑO BASE 2017**

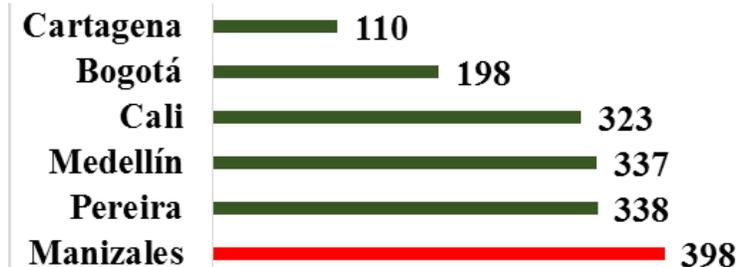
EMISIONES TOTALES ANUALES (ton/año) ESTIMADAS EN MANIZALES POR FUENTES ANTROPOGÉNICAS MÓVILES EN RUTA Y ESTACIONARIAS FIJAS – AÑO BASE 2014

Características del parque automotor de Manizales

Índice de motorización (IM):
Número de vehículos/1000 hab.



IM en otras ciudades a 2016¹:



Entre 2009 y 2016¹, incremento de

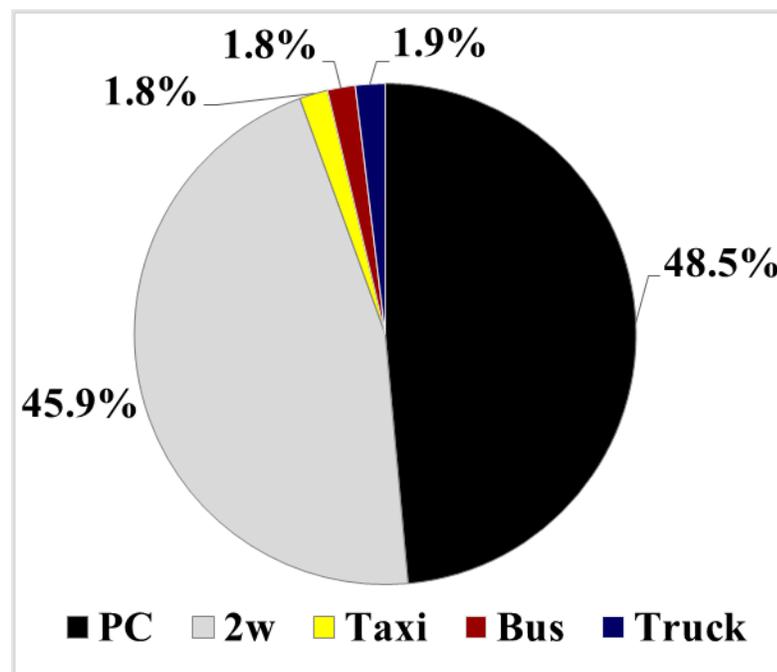
- ✓ Motos 150%.
- ✓ Vehículo particular 77%

Fuente: ¹Manizales cómo vamos, 2017

EMISIONES TOTALES ANUALES (ton/año) ESTIMADAS EN MANIZALES POR FUENTES ANTROPOGÉNICAS MÓVILES EN RUTA Y ESTACIONARIAS FIJAS – AÑO BASE 2014

Características del parque automotor de Manizales
para el 2014 (año base del inventario)

Categoría	Parque automotor año 2014
Vehículo de pasajeros (PC)	64090
Motos (2w)	60625
Taxi	2402
Bus	2367
Pesados (Truck)	2528
TOTAL	132012

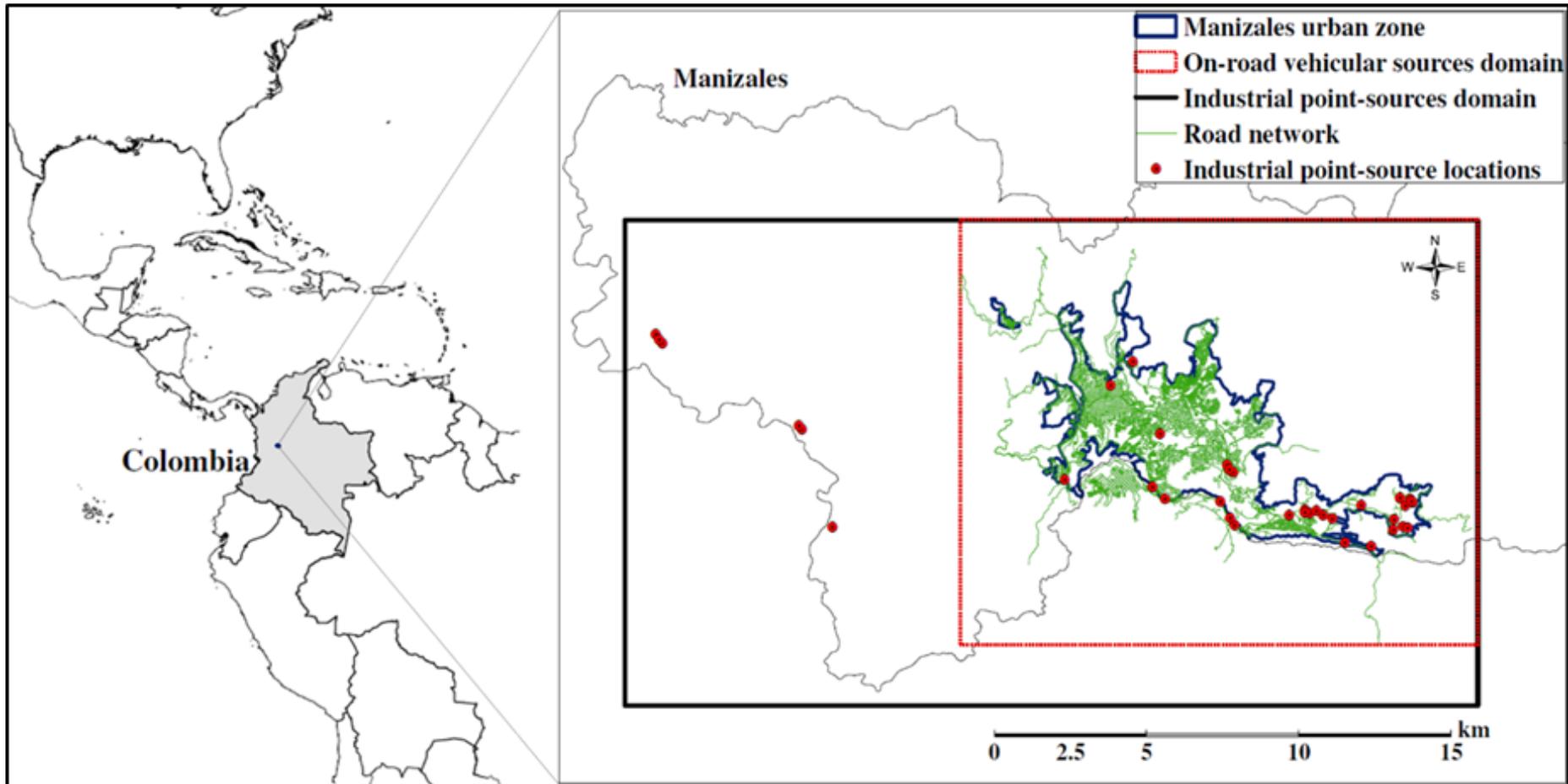


Distribución porcentual por categorías vehiculares, año 2014

PC: Vehículos de pasajeros
2W: Motocicletas
Truck: Pesados (> 4 ton)

EMISIONES TOTALES ANUALES (ton/año) ESTIMADAS EN MANIZALES POR FUENTES ANTROPOGÉNICAS MÓVILES EN RUTA Y ESTACIONARIAS FIJAS – AÑO BASE 2014

Dominio (cobertura del inventario de emisiones)



EMISIONES TOTALES ANUALES (ton/año) ESTIMADAS EN MANIZALES POR FUENTES ANTROPOGÉNICAS MÓVILES EN RUTA Y ESTACIONARIAS FIJAS – AÑO BASE 2014

Comparación entre emisiones por fuentes móviles en ruta y estacionarias
puntuales (toneladas / año)

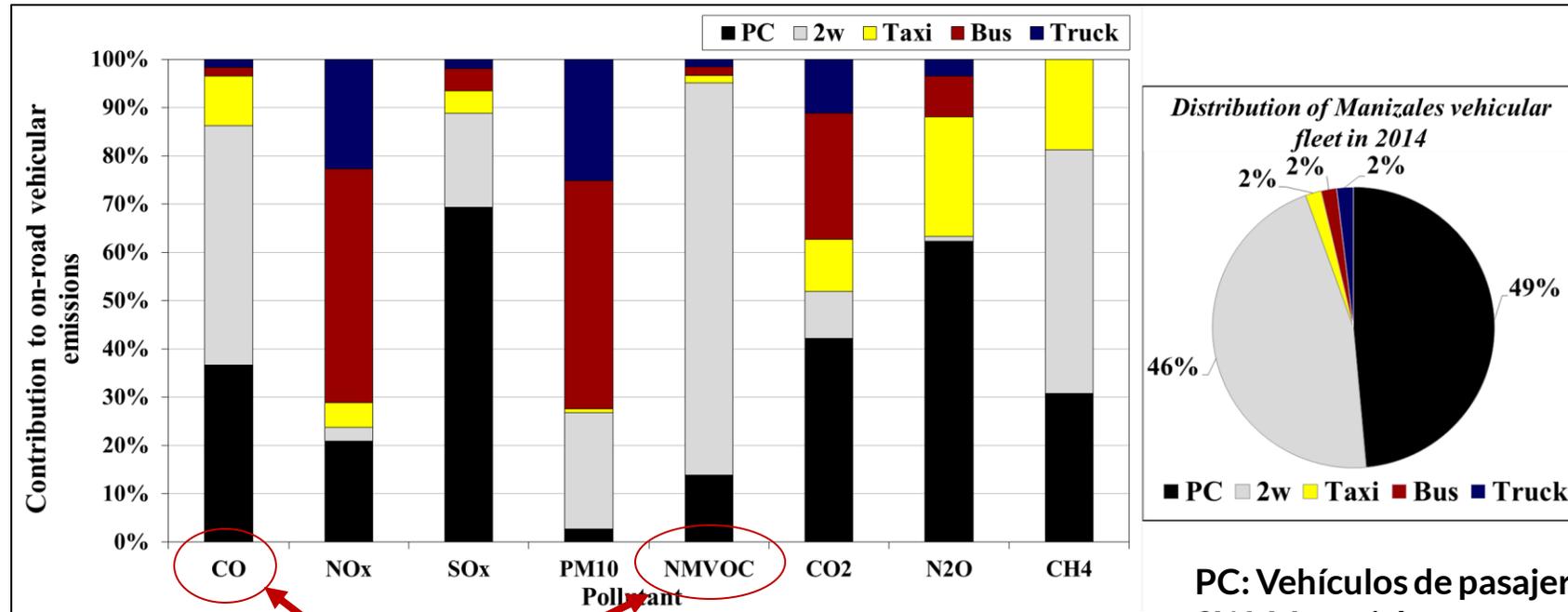
Source type	Emission (ton/yr)							
	CO	NO _x	SO _x	PM ₁₀	NMVOC	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
 Industrial (point-source)	219.1	89.5	113.5	37.2	4.4	64077	1.2	1.8
 Vehicular (on-road)	43395.6	4890.1	26.0	764.8	9646.3	454441	10.6	2859.8
Total	43614.6	4979.6	139.4	802.0	9650.7	518517	11.8	2861.6
CONTRIBUCIÓN PORCENTUAL POR TIPO DE FUENTE								
 Industrial (point-source)	0.5	1.8	81.4	4.6	0.05	12.4	9.9	0.1
 Vehicular (on-road)	99.5	98.2	18.6	95.4	99.95	87.6	90.1	99.9

- Las fuentes móviles en ruta son responsables de la mayor cantidad de emisiones de contaminantes criterio , COV y GEI
- Solo las emisiones de SO_x son dominadas por fuentes industriales puntuales

Fuente: González et al, 2017

EMISIONES TOTALES ANUALES (ton/año) ESTIMADAS EN MANIZALES POR FUENTES ANTROPOGÉNICAS MÓVILES EN RUTA Y ESTACIONARIAS FIJAS – AÑO BASE 2014

Contribución porcentual por categoría vehicular



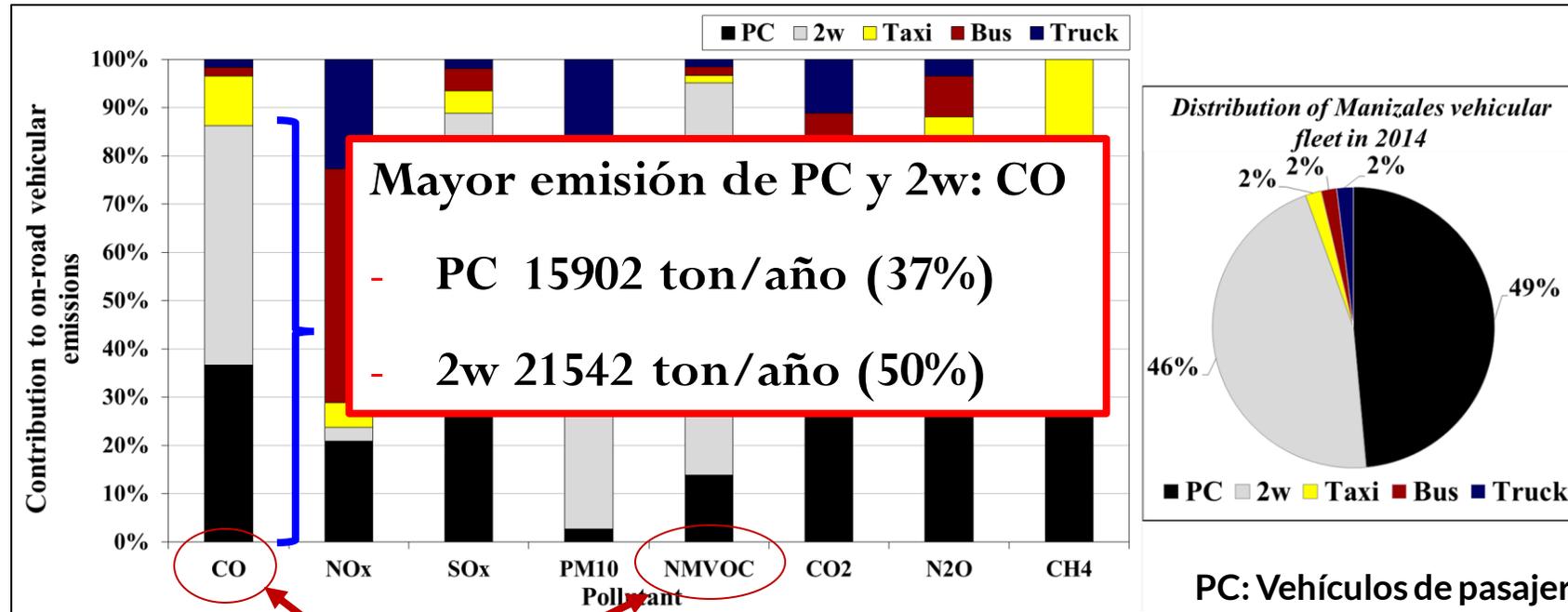
PC y 2w contribuyeron a las mayores emisiones de CO y NMVOCs. Componen el 95% de la flota.
Gasolina como combustible principal

PC: Vehículos de pasajeros
2W: Motocicletas
Truck: Pesados (> 4 ton)

Fuente: González et al, 2017

EMISIONES TOTALES ANUALES (ton/año) ESTIMADAS EN MANIZALES POR FUENTES ANTROPOGÉNICAS MÓVILES EN RUTA Y ESTACIONARIAS FIJAS – AÑO BASE 2014

Contribución porcentual por categoría vehicular



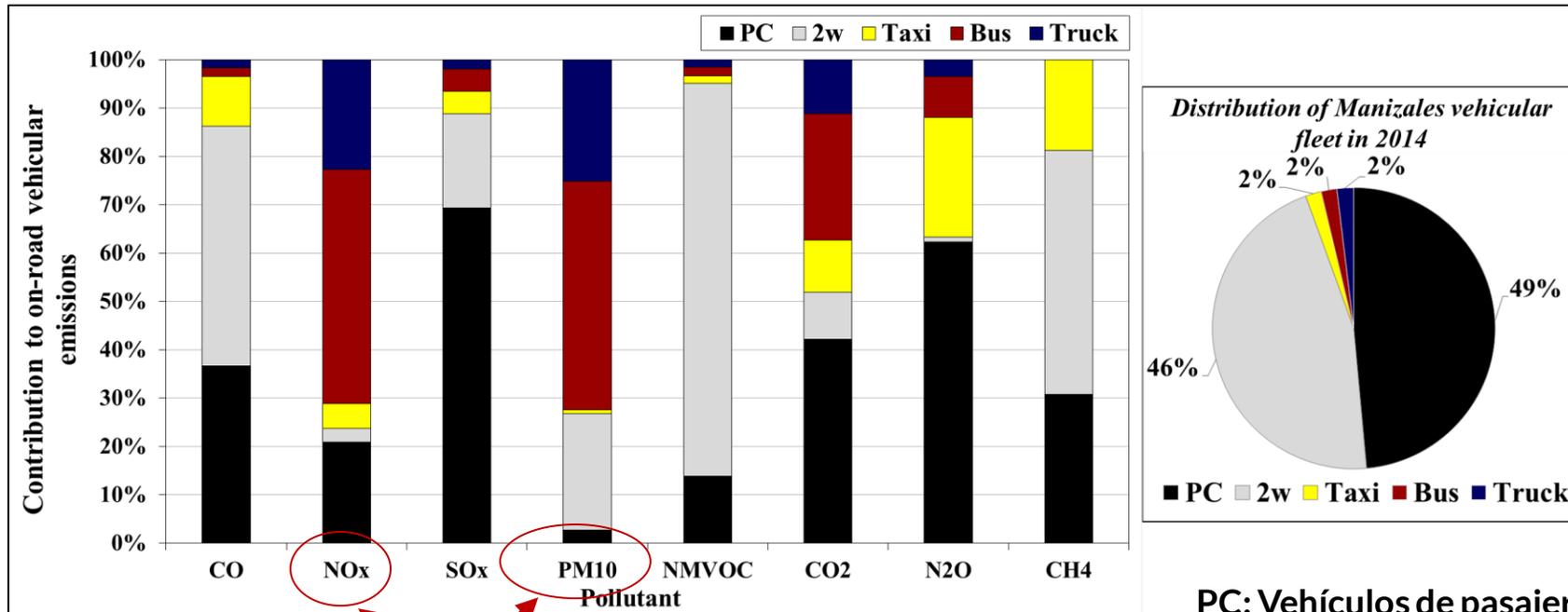
PC y 2w contribuyeron a las mayores emisiones de CO y NMVOCs. Componen el 95% de la flota.
Gasolina como combustible principal

PC: Vehículos de pasajeros
2W: Motocicletas
Truck: Pesados (> 4 ton)

Fuente: González et al, 2017

EMISIONES TOTALES ANUALES (ton/año) ESTIMADAS EN MANIZALES POR FUENTES ANTROPOGÉNICAS MÓVILES EN RUTA Y ESTACIONARIAS FIJAS – AÑO BASE 2014

Contribución porcentual por categoría vehicular



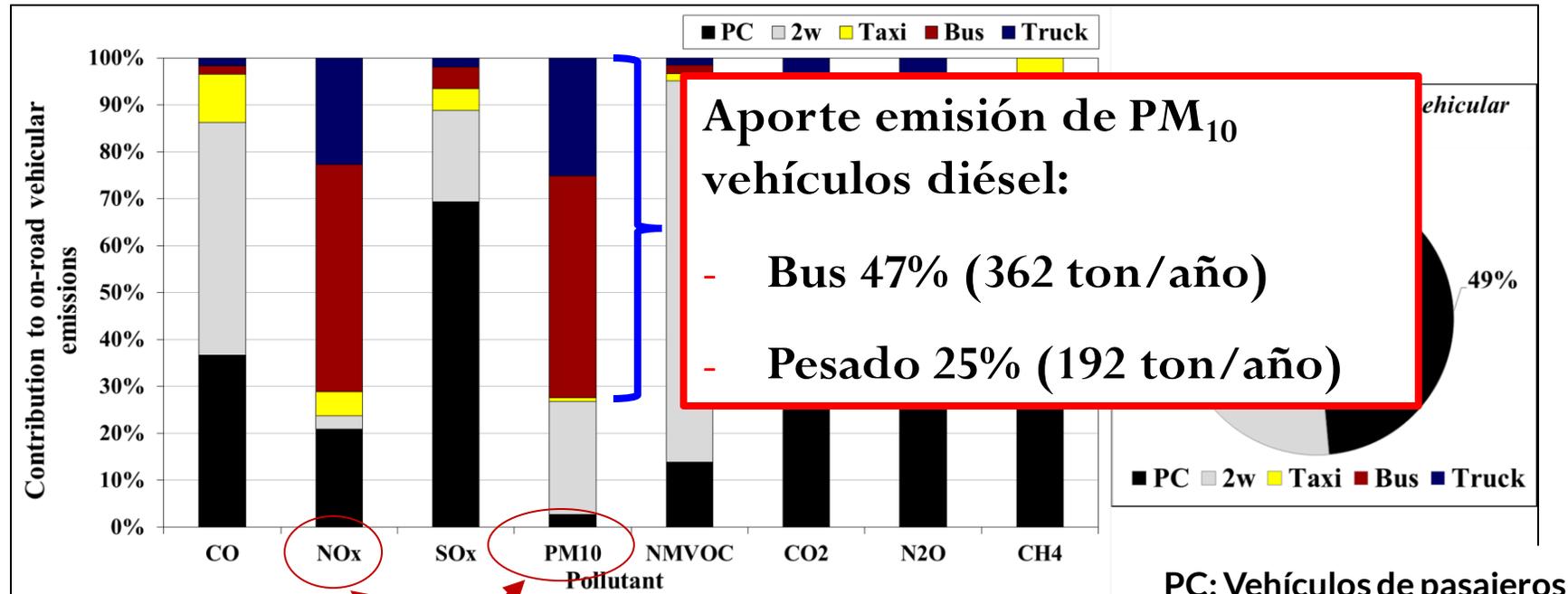
Emision de PM₁₀ y NO_x de vehículos a diesel (Bus, Truck) fueron significativas a pesar de su bajo porcentaje en la flota

PC: Vehículos de pasajeros
 2W: Motocicletas
 Truck: Pesados (> 4 ton)

Fuente: González et al, 2017

EMISIONES TOTALES ANUALES (ton/año) ESTIMADAS EN MANIZALES POR FUENTES ANTROPOGÉNICAS MÓVILES EN RUTA Y ESTACIONARIAS FIJAS – AÑO BASE 2014

Contribución porcentual por categoría vehicular



Aporte emisión de PM₁₀ vehículos diésel:
 - Bus 47% (362 ton/año)
 - Pesado 25% (192 ton/año)

Emisión de PM₁₀ y NOx de vehículos a diésel (Bus, Truck) fueron significativas a pesar de su bajo porcentaje en la flota

PC: Vehículos de pasajeros
 2W: Motocicletas
 Truck: Pesados (> 4 ton)

Fuente: González et al, 2017

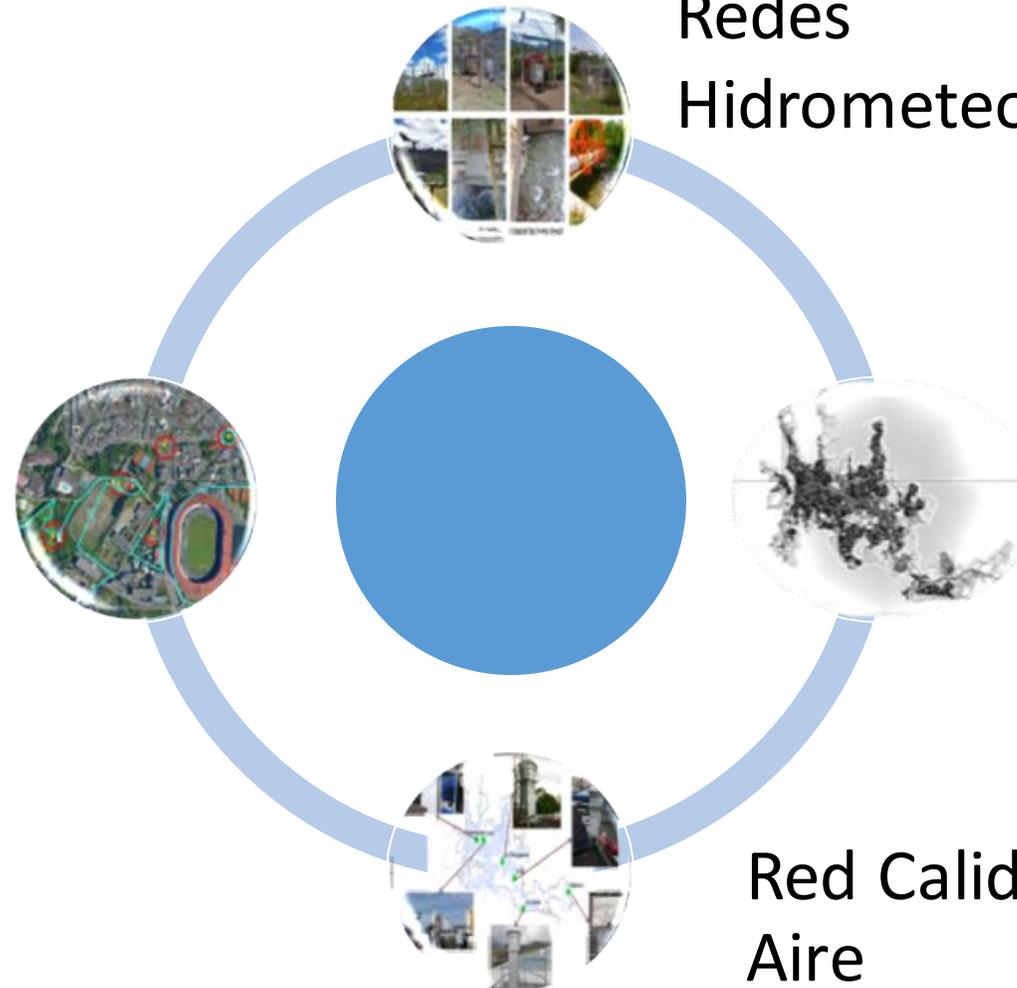
La red de calidad del aire de Manizales y Caldas se articula con otras redes de monitoreo dentro del SIMAC

SIMAC
SISTEMA INTEGRADO DE MONITOREO AMBIENTAL DE CALDAS



Redes
Hidrometeorológicas

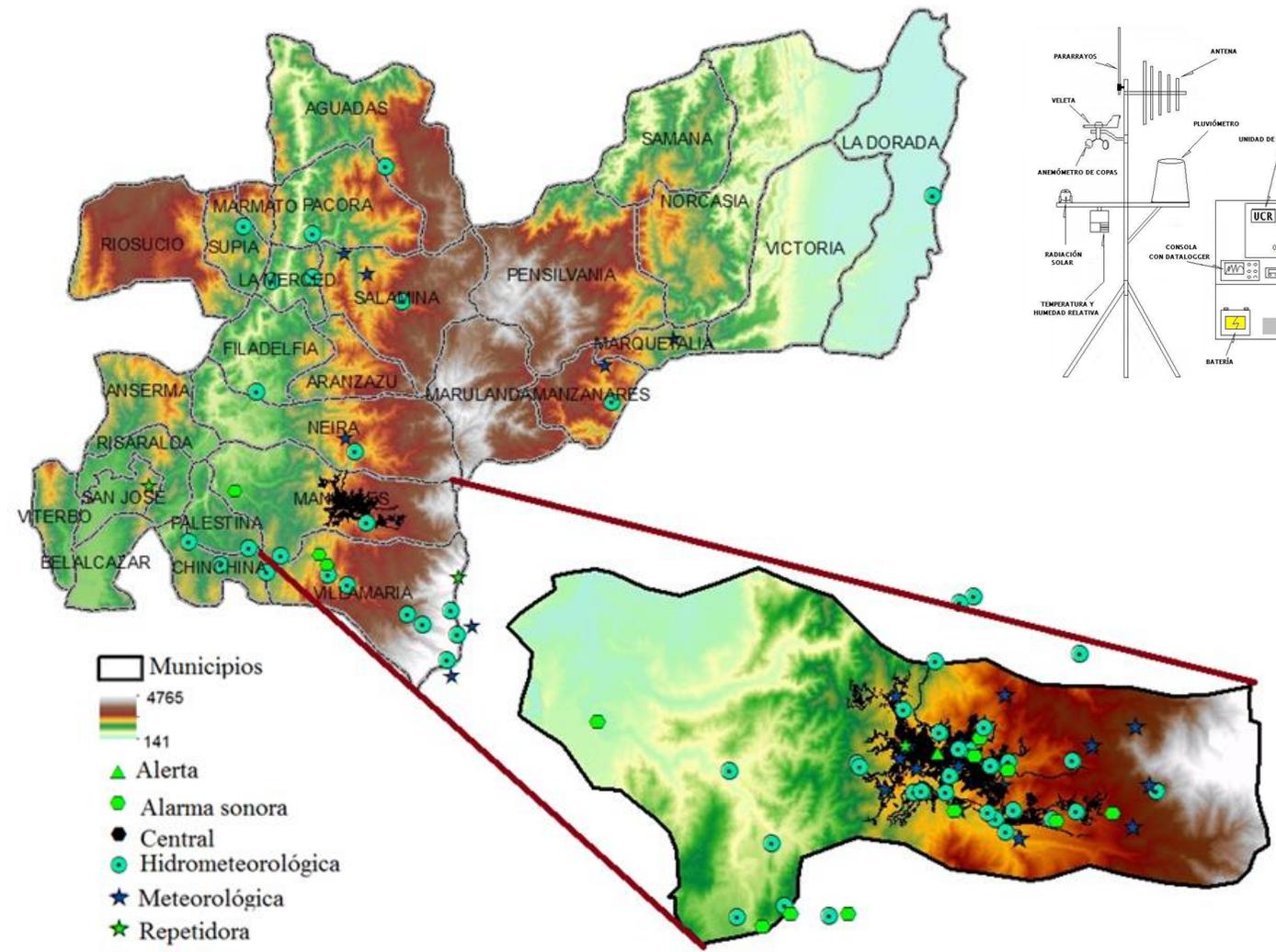
Red Aguas
Subterráneas



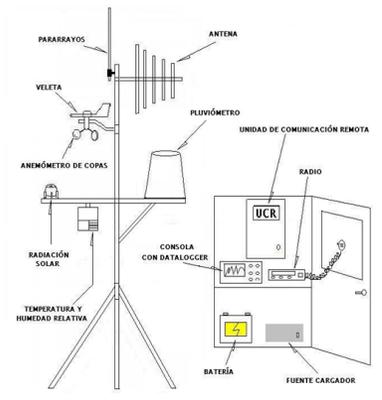
Red
Acelerográfica

Red Calidad del
Aire

Redes hidrometeorológicas de Caldas

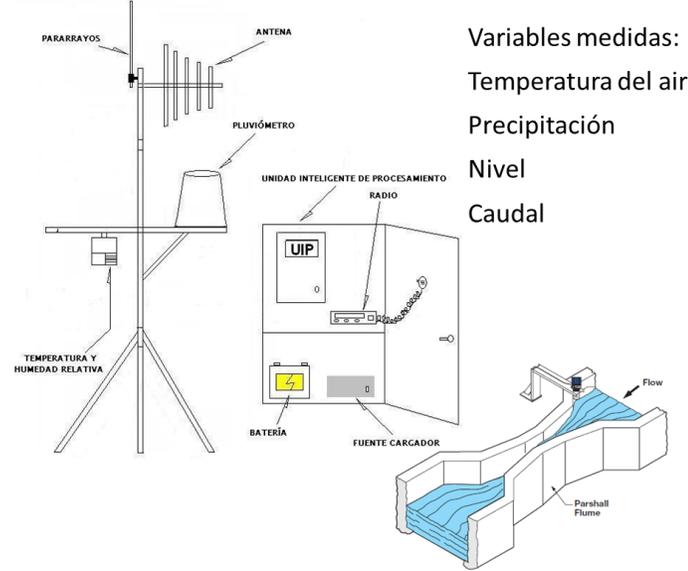


Estación meteorológica



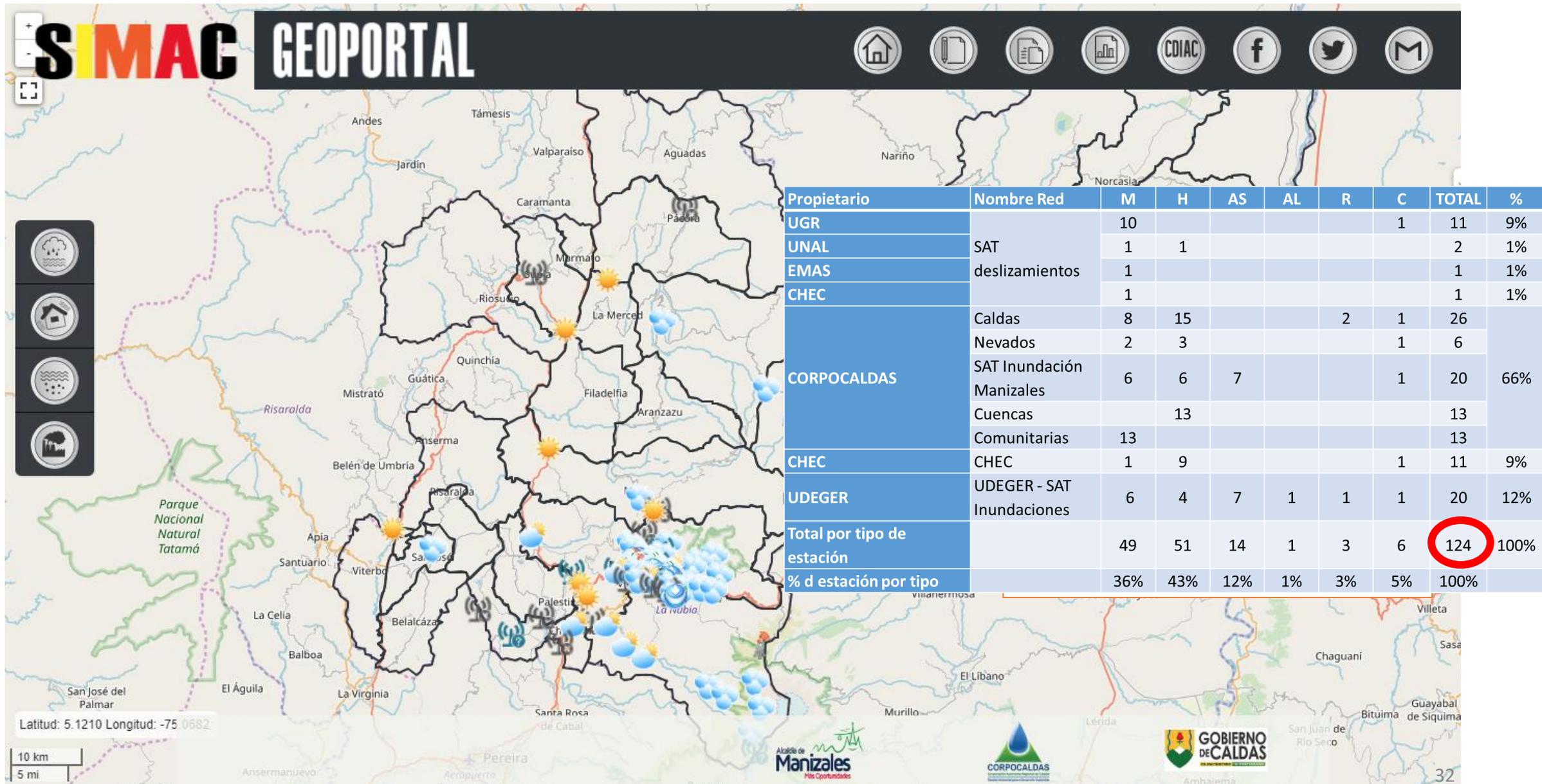
- Variables medidas:
1. Temperatura del aire
 2. Precipitación
 3. Velocidad del viento
 4. Dirección del viento
 5. Radiación solar
 6. Humedad relativa
 7. Evapotranspiración
 8. Presión barométrica

Estación hidrometeorológica



- Variables medidas:
- Temperatura del aire
 - Precipitación
 - Nivel
 - Caudal

Monitoreo hidro-climatológico



EJE ARTICULADOR

<http://cdiac.manizales.unal.edu.co/>

Bienvenido Emilcy al Sistema de Consulta de datos ambientales

- [Resumen](#)
- [Consulta de datos](#)
- Climatológicos
- [Calidad del aire - Inmisión](#)
- [Calidad del aire - Emisión](#)
- [Aguas subterráneas](#)
- [Cerrar Sesión](#)



EVAPOTRANSPIRACIÓN
Cantidad de agua que va a la atmósfera por la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas



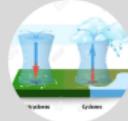
HUMEDAD RELATIVA
Relación entre la cantidad de agua presente en el aire y la cantidad máxima que puede retener



NIVEL
Altura a la que llega la superficie del agua de un río o quebrada



PRECIPITACIÓN
Cantidad de lluvia que cae de la atmósfera y llega a un área de la superficie terrestre



PRESIÓN BAROMÉTRICA
Presión que ejerce el peso del aire sobre la superficie de la tierra



RADIACIÓN SOLAR
Conjunto de las radiaciones electromagnéticas que emite el sol



TEMPERATURA
Magnitud física que refleja la cantidad de calor percibida en el aire



VELOCIDAD DEL VIENTO
Distancia que recorre el aire en determinado tiempo

Seleccione la Estación:

Seleccione una fecha o un rango de fechas:

2011	▼	7	Agosto	▼	7	5	▼	
2011	▼	7	Agosto	▼	7	5	▼	

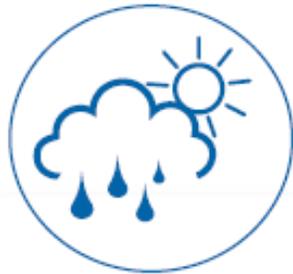
Seleccione las variables a ver:

- Precipitación (mm)
- Temperatura (°C)
- Caudal (l/seg)
- Nivel (cm)

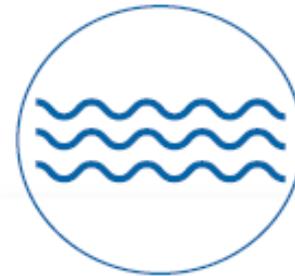
Consultar

Reiniciar Consulta

Hoy se tienen más de **50 millones** de datos disponibles para el público!!!!



11 indicadores



2 indicadores



7 indicadores + 5
contaminantes



2 indicadores

¿Cómo se ha hecho?



ALIANZA PÚBLICO PRIVADA APP

5 convenios



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
SEDE MANIZALES



CORPOCALDAS
Corporación Autónoma Regional de Caldas
Gestión Ambiental para el Desarrollo Sostenible



Alcaldía de
Manizales
Más Oportunidades



**GOBIERNO
DE CALDAS**

CALDAS TERRITORIO DE OPORTUNIDADES



aguas
de Manizales
S.A. E.S.P.

chec

Grupo **epm**



emas

Siente tu ciudad, vívela limpia

REFERENCIAS

- [1] WHO, «Ambient (outdoor) air quality and health,» 2 Mayo 2018. [En línea]. Available: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
- [2] J. H. Seinfeld y S. N. Pandis, *ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS*, JOHN WILEY & SONS, INC., 2006.
- [3] MAVDT, Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, 2010.
- [4] P. E. Lang, D. C. Carslaw y S. J. Moller, «A trend analysis approach for air quality network data,» *Atmospheric Environment*, vol. X, nº 2, pp. 1 - 10, 2019.
- [5] IDEAM, INFORME DEL ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN COLOMBIA 2017, Bogota, 2018.
- [6] SGC, INFORME DE ACTIVIDAD VOLCÁNICA SEGMENTO NORTE DE COLOMBIA COMPLEJO VOLCÁNICO (CERRO BRAVO-CERRO MACHÍN), 2012.
- [7] Congreso de Colombia, Ley 1205, 2008.
- [8] Ecopetrol, Diésel en Colombia, cada vez más limpio, 2014.
- [9] MADS, Resolucion 2254, 2017.
- [10] N. Rojas y B. Galvis, «Relación entre PM2.5 y PM10 en la ciudad de Bogotá,» *Revista de Ingeniería*, vol. 22, pp. 55-60, 2005.
- [11] B. Larsen, *Cost of environmental damage: A socioeconomic and environmental health risk assessment.*, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial., 2004.
- [12] C. A. Echeverri y G. J. Maya, «Relación entre las partículas finas (PM 2.5) y respirables PM 10) en la ciudad de Medellín,» *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 7, nº 12, pp. 23-42, 2008.
- [13] M. Akyüz y H. Cabuk, «Meteorological variations of PM2.5/PM10 concentrations and particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment of Zonguldak, Turkey,» *Journal of Hazardous Materials*, pp. 13-21, 2009.
- [14] G. A. Loosmore y R. T. Cederwall, «Precipitation scavenging of atmospheric aerosols for emergency response applications: testing an updated model with new real-time data,» *Atmospheric Environment*, pp. 993-2003, 2004.
- [15] C. M. González, J. Cortés y B. H. Aristizábal, «Influence of meteorology and source variation on airborne Pm10 levels in a high relief tropical Andean city,» *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, pp. 200-212, 2015.
- [16] C. D. Gómez, C. M. Gonzáles, M. Velasco y B. H. Aristizábal, «RELACIÓN ENTRE PM2.5 Y PM10 EN LA CIUDAD DE MANIZALES,» de V Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública, Bucaramanga, 2017.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
SEDE MANIZALES



GRACIAS!



Grupo de trabajo académico en
Ingeniería Hidráulica y Ambiental

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MANIZALES
INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEA