

ISSN: 2619-2403 (En línea)

INFORME DEL ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN COLOMBIA

2017

Juan Manuel Santos Calderón
Presidente de la República de Colombia

Luis Gilberto Murillo Urrutia
Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Willer Edilberto Guevara Hurtado
Viceministro de Políticas y Normalización Ambiental

Omar Franco Torres
Director General
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM

Diana Marcela Vargas Galvis
Subdirectora de Estudios Ambientales - IDEAM

PRODUCCIÓN TÉCNICA Y EDITORIAL

Leonardo Alfredo Pineda Pardo
Líder temático Calidad del Aire. Ingeniero Ambiental. Esp. Gestión de Proyectos de Ingeniería.
Grupo de Seguimiento a la Sostenibilidad del Desarrollo. Subdirección de Estudios Ambientales – IDEAM

Oscar Julián Guerrero Molina
Apoyo temático y estadístico. Ingeniero Químico. MSc. Ingeniería Ambiental
Grupo de Seguimiento a la Sostenibilidad del Desarrollo. Subdirección de Estudios Ambientales – IDEAM

Ana María Hernández Hernández
Coordinadora Grupo de Seguimiento a la Sostenibilidad del Desarrollo. Ing. Química.
Subdirección de Estudios Ambientales – IDEAM

Diseño de portada y diagramación
Grupo de Comunicaciones – IDEAM
Leonardo Alfredo Pineda Pardo – IDEAM

Fotografía de la carátula
Leonardo Alfredo Pineda Pardo – San Agustín, Huila.

Cítese como
IDEAM. Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2017. Primera Edición. Bogotá, D.C., 2018.

2018, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Todos los derechos reservados. Los textos pueden ser usados parcial o totalmente citando la fuente. Su reproducción total o parcial debe ser autorizada por el IDEAM.

Publicación anual aprobada por el IDEAM. Julio 2018, Bogotá D.C., Colombia - Distribución Gratuita.
ISSN: 2619-2403 (En línea)

PRIMERA EDICIÓN

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS

PRÓLOGO

INTRODUCCIÓN

1. CONTEXTO

- 1.1. **Normatividad Aplicable**
- 1.2. **Índice de Calidad del Aire – ICA**
- 1.3. **Medidas preventivas y de control implementadas a nivel nacional**

2. METODOLOGÍA

3. ESTADO DE LOS SISTEMAS DE VIGILANCIA

- 3.1. **Tecnología de medición empleada**
- 3.2. **Contaminantes y variables meteorológicas evaluados**
- 3.3. **Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire Acreditados**
- 3.4. **Cobertura temporal de la información reportada**

4. ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN COLOMBIA

- 4.1. **Partículas Suspendidas Totales – PST**
- 4.2. **Partículas Menores a 10 micras – PM₁₀**
- 4.3. **Partículas Menores a 2,5 micras – PM_{2.5}**
- 4.4. **Dióxido de Nitrógeno – NO₂**
- 4.5. **Dióxido de Azufre – SO₂**
- 4.6. **Ozono Troposférico – O₃**
- 4.7. **Monóxido de Carbono - CO**
- 4.8. **Evaluación del indicador de seguimiento de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire.**

5. INFLUENCIA DE LA METEOROLOGÍA EN LA CALIDAD DEL AIRE

- 5.1. **Secretaría Distrital de Ambiente (SDA).**
- 5.2. **Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA)**
- 5.3. **Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA)**
- 5.4. **Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR).**
- 5.5. **Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CORPOBOYACÁ).**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Omar Franco Torres por su liderazgo, apoyo y visión, las cuales permitieron la realización de diversos estudios e investigaciones asociadas a la contaminación atmosférica con un impacto positivo en la modificación de diversas políticas y estrategias de gestión en el país.

Al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana, especialmente a los ingenieros Mauricio Gaitán Varón, Mayra Alejandra Lancheros, Giovana Constanza Saavedra, Luisa Fernanda González y Mary Alejandra Lasso, por su gestión técnica y temática.

A los profesionales de las Corporaciones Autónomas Regionales y de las Autoridades Ambientales de los Grandes Centros Urbanos (AMVA, CAM, CARDER, CDMB, CORANTIOQUIA, CORNARE, CORPAMAG, CORPOBOYACÁ, CRA, CRC, SDA CORPOCALDAS, CORPOCESAR, CRQ, CVC, CORPOGUAJIRA, CORPONARIÑO, CVS, CODECHOCO, CORPORINOQUIA, CAR, CORMACARENA, CORTOLIMA, DAGMA, EPA CARTAGENA y EPA BARRANQUILLA VERDE) por el proceso de consecución de la información requerida para la elaboración de este informe, por su trabajo en campo y por la retroalimentación dada a las observaciones e inquietudes comunicadas por el IDEAM.

A los ingenieros Lina Marcela Guerrero y Gildardo Bermeo del Ministerio de Salud y Protección Social, Viviana Cerón y Sandra Alicia Reina del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Liceth Cantor y Ana María Vargas del Departamento Nacional de Planeación y Luis Carlos Gómez del Instituto Nacional de Salud, a quienes agradecemos la gestión interinstitucional y compromiso para mejorar las problemáticas de calidad del aire a nivel nacional.

PRÓLOGO

El rápido crecimiento demográfico de las ciudades colombianas y la explotación agrícola, minera e industrial en las regiones ha acelerado el uso y degradación de los recursos que constituyen el patrimonio natural de la nación. Debido a estos procesos, en el aire se han incorporado diferentes sustancias que han alterado las concentraciones naturales del recurso, convirtiéndose en un problema de salud pública debido al alto número de morbilidad y mortalidad asociada.

Muchas ciudades y regiones pueden sentir con mayor o menor gravedad los efectos de la contaminación atmosférica, debido a que la concentración de las sustancias contaminantes, además de depender del número y tipo de fuentes de emisión existentes, se ve influenciada directamente por las condiciones geomorfológicas, orográficas y climatológicas que inciden en los procesos de dilución, concentración y transporte de las diferentes sustancias.

La evaluación de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire, realizada por el Departamento Nacional de Planeación (2017), reveló que el 51% de los colombianos percibe la contaminación del aire como el mayor problema ambiental que enfrenta el país. De igual manera, el estudio de Valoración Económica de la Degradación Ambiental en Colombia 2015, realizado por esta misma entidad, develó que la baja calidad del aire urbano ocasiona 10.628 muertes al año, con un costo para el país de 12,2 billones de pesos (1,5% del PIB de 2015).

Por tal motivo, las Corporaciones Autónomas Regionales y las Autoridades Ambientales de los Grandes Centros Urbanos, han realizado un esfuerzo significativo para mejorar la cobertura espacial de los sistemas de vigilancia, automatizar los procesos de medición y mejorar la representatividad temporal de las series de datos, lo cual ha impactado positivamente en el diseño e implementación de medidas de prevención y control de la contaminación atmosférica.

En este contexto, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM presenta la quinta entrega del

Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia, el cual analiza la distribución espacial y tendencias temporales de los contaminantes atmosféricos evaluados a nivel nacional durante el año 2017. El informe se realiza con base en la información reportada por las Corporaciones Autónomas Regionales y Autoridades Ambientales de los Grandes Centros Urbanos en el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire - SISAIRE.

Los resultados presentados en este documento servirán como base para que a nivel nacional, departamental y municipal se formulen e implementen políticas, estrategias e instrumentos orientados a la adecuada planificación del territorio, el seguimiento y control de las fuentes de emisión, la gestión de la movilidad sostenible y la renovación tecnológica, con la cual se mejoraría la calidad del ambiente y la salud de la población.

La visión temática del instituto permitirá mejorar la calidad y oportunidad de la información generada por los sistemas de vigilancia permitiendo a la ciudadanía el entendimiento y empoderamiento de la temática. De igual manera, se continuará con el desarrollo de estudios e investigaciones que permitan conocer los impactos del desarrollo socioeconómico sobre el recurso, lo cual se traducirá en la formulación de políticas que mejoren la salud y calidad de vida de los colombianos.

INTRODUCCIÓN

Los dos últimos informes del Estado de la Calidad del Aire en Colombia publicados por el IDEAM¹ presentaron la realidad de muchas ciudades y regiones que han venido afrontando problemas de contaminación atmosférica. Estaciones de monitoreo localizadas en Bogotá, Medellín, Cali, Santa Marta, Ráquira, Nemocón, Sibaté, Yumbo y en la Zona Minera del Cesar registraron concentraciones promedio anual que superaron los niveles máximos permisibles establecidos en la normativa nacional.

Adicionalmente, durante los años 2015 y 2016 el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Secretaría Distrital de Ambiente se vieron en la obligación de realizar la declaratoria de episodios críticos de contaminación atmosférica, lo cual impactó las actividades desarrolladas por los sectores industrial y de transporte. Por otra parte, la concientización ciudadana sobre los orígenes y efectos de la contaminación del aire ha demandado la implementación de acciones, políticas y estrategias locales para dar solución a este problema.

A nivel nacional, el Departamento Nacional de Planeación realizó la Evaluación de los resultados de la Política de Prevención y Control de la Calidad del Aire², cuyos resultados mostraron logros parciales en temas estratégicos, tales como: reducción del contenido de azufre en el diésel y en la gasolina, implementación de sistemas de transporte público masivo, cumplimiento de estándares de emisión de fuentes fijas y gestión del riesgo por calidad del aire. Sin embargo, en muchas regiones las medidas implementadas no han tenido el impacto esperado, lo cual, asociado al crecimiento demográfico y del parque automotor, ha ocasionado altas concentraciones de contaminantes atmosféricos.

Por otra parte, el estudio de Valoración Económica de la Degradación Ambiental en

Colombia 2015³, realizado por el Departamento Nacional de Planeación, develó los costos asociados a la contaminación del aire urbano, de la contaminación del aire interior y de la deficiencia en la cobertura de acueducto y alcantarillado. Para la baja calidad del aire urbano, el estudio estimó que ocasiona 10.628 muertes al año, con un costo para el país de 12,2 billones de pesos equivalentes a 1,5% del PIB de 2015.

Como respuesta a la problemática, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente) realizó la actualización de la norma de calidad del aire ambiente a través de la Resolución 2254 de 2017. En ella, y acorde con las condiciones sociales y económicas del país, estableció niveles máximos de inmisión más estrictos, con el objetivo de proteger la salud de la población y el ambiente. A través de la misma resolución, MinAmbiente trazó una hoja de ruta, al establecer niveles máximos permisibles más restrictivos a partir del año 2030, lo cual es correspondiente con las metas del Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible y permitirá que las diferentes Corporaciones Autónomas Regionales y Autoridades Ambientales de los Grandes Centros Urbanos diseñen e implementen planes preventivos y de reducción de la contaminación atmosférica. Adicionalmente, la resolución ratificó al Subsistema de Información sobre Calidad del Aire - SISAIRE, como fuente oficial de información y mejoró la gobernanza del instituto al establecer la obligatoriedad de generar el Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia anualmente.

Para mejorar los procesos técnicos, administrativos, operativos y estadísticos que permiten la elaboración y publicación del informe, el Grupo de Seguimiento a la Sostenibilidad del Desarrollo de la Subdirección de Estudios Ambientales del IDEAM, ha implementado la operación estadística “Estadísticas para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire -

EMSCA”, la cual contiene a nivel de proceso todas las actividades asociadas al análisis de los contaminantes criterio, que permiten determinar el grado de degradación o conservación en el que se encuentra el recurso.

La primera sección del presente documento, realiza un análisis de contexto, definiendo los principales contaminantes atmosféricos, los efectos en la salud y sus correspondientes límites normativos. También presenta las diferentes estrategias y acciones implementadas desde el sector ambiental, para gestionar adecuadamente la calidad del aire a nivel nacional, regional y local, destacando los principales logros obtenidos.

La segunda sección presenta los pasos metodológicos ejecutados para la obtención, procesamiento, validación, análisis y consolidación de la base de datos del Subsistema de Información sobre Calidad del Aire - SISAIRE, con la cual se elabora este informe. La tercera sección, detalla el estado operativo y funcional de los sistemas de vigilancia de calidad del aire existentes a nivel nacional durante el año 2017, y las principales medidas que han implementado las Corporaciones Autónomas Regionales y las Autoridades Ambientales de los Grandes Centros Urbanos para mejorar la calidad y cobertura espacio - temporal de la información generada.

La cuarta sección, evalúa por estación de monitoreo, el comportamiento temporal de las concentraciones de los contaminantes criterio, frente a los límites normativos establecidos en la Resolución 2254 de 2017, el índice de calidad del aire - ICA y la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire. De igual manera, realiza un análisis prospectivo frente a los niveles objetivo de obligatorio cumplimiento para el año 2030.

¹ Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2011 - 2015; Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2016. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.

² Evaluación de resultados de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire, con el objetivo de determinar la efectividad de las medidas de prevención y control implementadas, y planear recomendaciones que permitan mejorar la gestión de la calidad del aire en el

país. CTTO DNP - 605 de 2016. Departamento Nacional de Planeación. 2017.

³ Valoración Económica de la Degradación Ambiental en Colombia 2015. Departamento Nacional de Planeación. 2018

La quinta sección, asocia al análisis de los contaminantes atmosféricos, el comportamiento de las variables meteorológicas, las cuales son determinantes en la dispersión, concentración y transporte, permitiendo conocer los orígenes, horarios críticos y posibles efectos y consecuencias.

Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente estudio, el cual permitirá a los tomadores de decisiones, el diseño y adopción de planes y estrategias para gestionar la calidad del aire a nivel local y regional, lo cual influye en la transformación territorial, sectorial, social, económica y ambiental del país.

1. CONTEXTO

Según cifras de la Organización Mundial de la Salud – OMS, para el año 2016, el 91% de la población mundial vivía en lugares donde no se respetaban las directrices de la OMS sobre calidad del aire, ocasionando 4,2 millones de defunciones prematuras. El 91% de estas muertes se produjeron en países de ingresos bajos y medios, presentándose las mayores tasas de morbilidad en las regiones correspondientes al Asia Sudoriental y el Pacífico Occidental. Los principales efectos asociados corresponden a accidentes cerebrovasculares, cáncer de pulmón y neumopatías crónicas y agudas.

Las sustancias que degradan la calidad del aire tienen diversos orígenes y composición, y se han clasificado según sus efectos en la salud o en el ambiente como: criterio, tóxicos o peligrosos, climáticos de vida corta y de efecto invernal. En el presente documento se analizan los resultados asociados al monitoreo y seguimiento de los contaminantes criterio, cuya evidencia epidemiológica señala que son perjudiciales para la salud y el ambiente.

Los inventarios de emisiones atmosféricas realizados en los principales centros urbanos del país, develan que aproximadamente el 80% de las emisiones provienen de fuentes móviles, mientras que, el restante 20% es generado por fuentes fijas.

Tabla 1.1. Definición y efectos de los contaminantes criterio.

MATERIAL PARTICULADO		
<i>Es una mezcla compleja de partículas líquidas y sólidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire, que varían en tamaño, forma y composición.</i>		
Sustancia	Definición	Efectos sobre la salud
PM₁₀	Material Particulado menor a 10 micras (PM₁₀) Son llamadas también partículas gruesas y tienen un tamaño comprendidos entre 2.5 y 10 micrómetros. Aproximadamente el ancho de un séptimo de cabello.	Afectan el tracto respiratorio superior por lo que se conocen como fracción torácica. Ocasiona irritación aguda de los ojos y de las vías respiratorias. Reducción de la capacidad pulmonar y agotamiento respiratorio. Desarrollo de problemas respiratorios y cardiovasculares.
PM_{2.5}	Material Particulado menor a 2.5 micras (PM_{2.5}) Se conocen como partículas finas de menor de 2.5 micras de diámetros. Suponen un mayor peligro para la salud que el PM ₁₀ , debido a que al inhalarlas pueden alcanzar zonas periféricas de los bronquiolos.	También denominada fracción respirable. Influye en el desarrollo de cardiopatías y neuropatías, así como enfermedades crónicas de obstrucción pulmonar. Agravan el asma y se asocian al desarrollo de diabetes, bajo peso al nacer e influye en una disminución en el desarrollo cognitivo de los niños.
GASES		
<i>Corresponden a diferentes sustancias y compuestos gaseosos que tienen una influencia directa en la química atmosférica ocasionando efectos sobre la salud y el ambiente.</i>		
Sustancia	Definición	Efectos sobre la salud
NO₂	Dióxido de Nitrógeno (NO₂) En un proceso paralelo al SO ₂ , el nitrógeno en los combustibles se convierte por combustión a altas temperaturas a óxidos de nitrógeno, NO _x , que corresponden a la suma de NO ₂ y NO	Irrita las vías respiratorias. Causa bronquitis y pulmonía. Reduce significativamente la resistencia respiratoria a las infecciones
SO₂	Dióxido de Azufre (SO₂) Gas incoloro que se forma a partir de la combustión de sustancias que contienen azufre, principalmente petróleo y carbón, así como de numerosos procesos industriales	Causa broncoconstricción, bronquitis y traqueítis. Agrava enfermedades respiratorias y cardiovasculares existentes
O₃	Ozono troposférico (O₃) Es un gas que no se emite directamente por fuentes primarias. Se produce a partir de reacciones fotoquímicas en presencia de radiación solar y precursores, tales como los óxidos de nitrógeno (NO _x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV).	Irrita el sistema respiratorio. Reduce la función pulmonar. Agrava el asma. Inflama y daña las células que recubren los pulmones. Agrava las enfermedades pulmonares crónicas. Causa daño pulmonar permanente:
CO	Monóxido de Carbono (CO) Se forma a partir de la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono. Este es un caso común donde una proporción del carbón se oxida solamente a monóxido de carbono, mientras que la combustión completa conduce a la formación de dióxido de carbono.	Inhabilita el transporte de oxígeno a las células. Provoca mareos, dolor de cabeza, náuseas, estados de inconciencia e incluso la muerte.

1.1. Normatividad Aplicable

Los niveles máximos permisibles para los contaminantes criterio a nivel nacional fueron adoptados por la Resolución 610 de 2010, y recientemente actualizados por la Resolución 2254 de 2017. Estas normas atienden las recomendaciones realizadas por la Organización Mundial de la Salud – OMS, la cual, a partir de la evidencia epidemiológica existente, estableció un valor guía y diferentes niveles objetivo a partir de los cuales se incrementa o disminuye la

morbilidad y mortalidad asociada a enfermedades respiratorias y cardiovasculares que se ven exacerbadas por concentraciones altas de contaminantes atmosféricos.

La adopción del nivel guía o de los niveles objetivo, depende de la capacidad social, económica, política e institucional de cada país, los cuales dependiendo su nivel de desarrollo deberán implementar medidas para avanzar en relación con la gestión de la calidad del aire.

De este modo, la normativa nacional establecida para la exposición prolongada a material particulado menor a 10 y a 2.5 micras, es correspondiente con el objetivo intermedio – 2 de la Organización Mundial de la Salud, mientras que, para exposición de corta duración, la normatividad colombiana corresponde con el objetivo intermedio – 3. Por su parte, para Ozono se encuentra adoptado el nivel guía de la OMS a nivel nacional, tal como se observa en la tabla a continuación.

Tabla 1.2. Normatividad de calidad del aire en Colombia vrs. Recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud.

Contaminante	Res. 610 de 2010	Res. 2254 de 2017 (a partir de 2018)	Res. 2254 a 2030 (a partir de 2030)	OMS Objetivo Intermedio – 2	OMS Objetivo Intermedio – 3	Valor Guía OMS
Valores anuales – Exposición prolongada						
PM ₁₀	50	50	30	50	30	20
PM _{2.5}	25	25	15	25	15	10
NO ₂	100	60	40	-	-	40
Valores diarios – Exposición de corta duración – 24 horas						
PM ₁₀	100	75	75	100	75	50
PM _{2.5}	50	37	37	50	37.5	25
SO ₂	250	50	20	-	-	-
Valores octohorarios – Exposición de corta duración – 8 horas						
O ₃	80	100	-	-	-	100
CO	10000	5000	-	-	-	-

1.2. Índice de Calidad del Aire – ICA

La evaluación de los potenciales efectos de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos en la salud de la población se realiza a través del cálculo del Índice de Calidad del Aire (ICA), el cual corresponde a un valor adimensional, que le asigna a determinada concentración, una categoría y un color, que representa los potenciales efectos asociados en la salud.

El Índice de Calidad del Aire el ICA, se calcula para seis de los siete contaminantes criterio contemplados en la normativa nacional (O₃,

PM₁₀, PM_{2.5}, CO, SO₂ y NO₂) en tiempos de exposición que oscilan entre 1 hora y 24 horas de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.

La escala que representa el ICA, oscila entre 0 y 500, donde los valores más altos corresponden a mayores niveles de contaminación atmosférica y, en consecuencia, efectos más nocivos a la salud de la población. Este rango se divide en seis categorías que son indicativas del estado general del aire teniendo en cuenta que el propósito principal del ICA es comunicar de

una manera fácil y eficaz a la población los efectos de la calidad del aire sobre su salud.

La Tabla 1.3, presenta los puntos de corte del Índice de Calidad del Aire (ICA) de acuerdo con el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Con excepción de las Partículas Suspendidas Totales, las concentraciones de cada uno de los contaminantes criterio establecidos por la Resolución 610 de 2010 fueron evaluadas en función de estos puntos de corte con el objetivo de determinar el potencial de afectación de estas sustancias sobre la salud de la población.

Tabla 1.3. Puntos de corte del Índice de Calidad del Aire ICA en Colombia.

ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN	O ₃ 8h ppm	O ₃ 1h ppm (1)	PM ₁₀ 24h µg/m ³	PM _{2,5} 24h µg/m ³	CO 8h ppm	SO ₂ 24h ppm	NO ₂ 1h ppm
0 - 50	Verde	Buena	0,000 - 0,059	-	0 - 54	0,0 - 15,4	0,0 - 4,4	0,000 - 0,034	(2)
51 - 100	Amarillo	Moderada	0,060 - 0,075	-	55 - 154	15,5 - 40,4	4,5 - 9,4	0,035 - 0,144	(2)
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	0,076 - 0,095	0,125 - 0,164	155 - 254	40,5 - 65,4	9,5 - 12,4	0,145 - 0,224	(2)
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	0,096 - 0,115	0,165 - 0,204	255 - 354	65,5 - 150,4	12,5 - 15,4	0,225 - 0,304	(2)
201 - 300	Púrpura	Muy dañina a la salud	0,116 - 0,374 (0,155 - 0,404) (4)	0,205 - 0,404	355 - 424	150,5 - 250,4	15,5 - 30,4	0,305 - 0,604	0,65 - 1,24
301 - 400	Marrón	Peligrosa	(3)	0,405 - 0,504	425 - 504	250,5 - 350,4	30,5 - 40,4	0,605 - 0,804	1,25 - 1,64
401 - 500	Marrón	Peligrosa	(3)	0,505 - 0,604	505 - 604	350,5 - 500,4	40,5 - 50,4	0,805 - 1,004	1,65 - 2,04

(1) Para O₃ se calculará el índice usando promedios de 8 horas y de 1 hora.

(2) Para NO₂ se tendrán en cuenta valores únicamente por encima de 200 teniendo en cuenta que han sido tomados de valores y parámetros EPA.

(3) Valores de concentraciones de 8 horas de ozono no definen valores más altos de ICA (≥301). Los valores de ICA de 301 o mayores serán calculados con concentraciones de 1 hora de ozono.

(4) Los números entre paréntesis se asocian a valores de 1 hora que se utilizarán en esta categoría sólo si se superponen.

1.3. Medidas preventivas y de control implementadas a nivel nacional

El mejoramiento de la calidad del aire en una ciudad o región depende de la adopción de medidas preventivas y correctivas. A nivel nacional, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en conjunto con IDEAM, las Corporaciones Autónomas Regionales y las Autoridades Ambientales de los Grandes Centros Urbanos, han venido implementando diferentes planes y estrategias para lograr la reducción de las emisiones en las ciudades y regiones del país.

Entre las medidas implementadas a nivel nacional se encuentran: el incremento de operativos en vía para el control de fuentes móviles, el monitoreo y evaluación constante a las fuentes industriales, el seguimiento a planes de manejo de proyectos mineros y de construcción. De igual manera, se ha involucrado a diferentes actores para el cumplimiento de las metas de reducción de la contaminación, siendo los proyectos más destacados los desarrollados por:

i. El Área Metropolitana del Valle de Aburrá realizó la adopción del Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire - PIGECA, donde estableció los objetivos

y acciones que deben desarrollarse por parte del gobierno, del sector privado, de los ciudadanos y de la academia, para mejorar la calidad del aire en el Valle de Aburrá. El ambicioso plan contempla la renovación de la flota del transporte público, la implementación de corredores verdes, el impulso a vehículos eléctricos, la ampliación de la red de ciclo rutas en la región, entre otras medidas cuyo enfoque permitirá mejorar el estado del recurso en todo el Valle de Aburrá.

De igual manera, el PIGECA dio impulso a la firma del “Pacto por la Calidad del Aire”, donde más de 66 actores públicos y privados se comprometieron a seguir acciones que ayuden a reducir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera. Entre los compromisos y logros a destacar se encuentra el suministro de un combustible de mejor calidad para la región (diésel entre 11 y 15 partes por millón de azufre y gasolina entre 101 y 140 partes por millón de azufre), renovación de varias flotas de transporte de carga, cambio de tecnología en hornos y calderas industriales, implementación de paneles solares en la industria entre otros.

ii. La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR viene brindando

apoyo a los artesanos y alfareros de Ráquira (Boyacá) y de Mochuelo (zona rural de Bogotá), para lograr la reconversión tecnológica de los hornos tradicionales empleados en este proceso industrial o la implementación de controles de emisiones en la fuente, lo cual permitirá reducir las emisiones contaminantes producidas por este sector industrial.

iii. La Corporación Autónoma Regional del Cesar - CORPOCESAR, en asocio con las empresas mineras, las entidades públicas locales y la ciudadanía, dio continuidad a la implementación del Programa de reducción de la contaminación para áreas fuente, el cual contempla la pavimentación de vías en los asentamientos humanos cercanos a los proyectos mineros, el control de velocidad en vías y el fortalecimiento de su red de monitoreo de calidad del aire.

iv. El Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente - DAGMA, realizó la publicación del Programa de Aire Limpio para Santiago de Cali. Dicho programa contempla entre otras medidas, la mejora continua del control de emisiones en fuentes fijas, la implementación de programas de producción más limpia, la modernización tecnológica del

transporte de carga, el desarrollo de una estrategia integrada para la movilidad sustentable, el fortalecimiento institucional, y la concientización y educación ambiental en pro de la calidad del aire.

- v. La Corporación Autónoma Regional de Boyacá – CORPOBOYACA, desarrolló el Proyecto de erradicación de fuentes contaminantes en el Valle de Sogamoso, a partir de la eliminación de hornos artesanales de producción de ladrillo y cal altamente contaminantes y la reconversión y mejora tecnológica de varios hornos industriales. Este proyecto contó con la participación de las comunidades, quienes, a partir de las mejoras tecnológicas, lograron incrementar la producción y venta de sus productos cerámicos y alfareros.

A partir de la evaluación de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire (PPCCA), el Departamento Nacional de Planeación, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en conjunto con otras entidades del orden nacional, entre las que se encuentran el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, el Ministerio de Salud y Protección Social, el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, la Unidad de Planeación Minero Energética y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, a través de documento CONPES 3943 de 2018 adoptaron la “Política para el mejoramiento de la calidad del aire”.

Con una inversión cercana a los 17.000 millones de pesos durante los próximos siete años, la política propone acciones intersectoriales para reducir las concentraciones de contaminantes en el aire a través de la reducción del contenido de azufre en los combustibles, la implementación de mejores técnicas y prácticas en la industria, la renovación y modernización del parque automotor, la optimización de la gestión de la información, el desarrollo y fortalecimiento de la investigación, el ordenamiento del territorio y la gestión del riesgo por contaminación del aire.

2. METODOLOGÍA

Para evaluar las problemáticas de calidad del aire en su jurisdicción y medir la efectividad de las medidas de prevención, control y mitigación implementadas, las Corporaciones Autónomas Regionales y las Autoridades Ambientales de los Grandes Centros Urbanos realizan periódicamente la evaluación del recurso. Para ello, se basan en los lineamientos contemplados en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de Calidad del Aire, el cual define las metodologías para realizar el diagnóstico, diseño, instalación, operación y mantenimiento de los equipos a través de los cuales se evalúan los diferentes contaminantes atmosféricos.

Por otra parte, y tras realizar los procesos de recolección, custodia, validación, análisis, transmisión y divulgación de los datos, las diferentes Corporaciones Autónomas Regionales y las Autoridades Ambientales de los Grandes Centros Urbanos tienen la obligatoriedad de reportar toda la información generada por su sistema de vigilancia (datos meteorológicos, de contaminantes y de ruido ambiental) al Subsistema de Información sobre Calidad del Aire - SISAIRE, el cual es la fuente principal de información para el diseño, evaluación y ajuste de las políticas y estrategias nacionales y regionales en prevención y control de la contaminación del aire.

Mensualmente, el IDEAM realiza el seguimiento a la información reportada al SISAIRE por parte de las Autoridades Ambientales, con el fin de garantizar la oportunidad de los datos entregados a la ciudadanía en general, y anualmente, a través de la operación estadística denominada “Estadísticas para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire”, realiza la verificación estadística, espacial y temporal de la información reportada, por variable y por estación de monitoreo, con el fin de detectar y corregir, en un proceso constructivo e iterativo con las Autoridades Ambientales, posibles inconsistencias de los datos reportados; de este modo, se garantiza la consistencia, coherencia, confiabilidad y validez de la información entregada y presentada en el presente informe.

Para ello, el Instituto ha desarrollado un proceso de estandarización y semiautomatización de la operación estadística, empleando el entorno y lenguaje de programación estadística R, a través de los cuales se realizan los diferentes análisis operativos (cantidad de estaciones y equipos de monitoreo existentes, variables evaluadas y cobertura espacial), funcionales (tecnología empleada y representatividad temporal), estadísticos (cumplimiento normativo, tendencias anuales e interanuales, excedencias, índice de calidad del aire e indicador de seguimiento de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire) y meteorológicos (cruces entre las concentraciones reportadas por contaminantes con las variables meteorológicas reportadas).

Figura 2.1. Metodología de elaboración del Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia

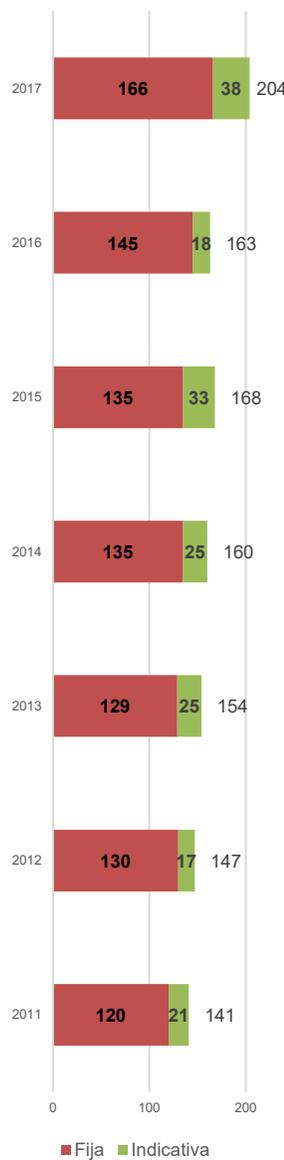


Con base en los reportes realizados por parte de las Corporaciones Autónomas Regionales y las Autoridades Ambientales de los Grandes Centros Urbanos en el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE, durante el año 2017, operaron a nivel nacional 26 sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire, conformados por 204 estaciones de monitoreo de las cuales 166 fueron fijas y 38 indicativas.

En comparación con el año inmediatamente anterior, el número de estaciones de monitoreo aumento de 163 a 204, lo cual representa un incremento del 25%. Por su parte, el número de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire aumentó un 13%, gracias a la incorporación de mediciones realizadas en jurisdicción de CORMACARENA, CRA, CODECHOCÓ y CORPORINOQUÍA

Tabla 3.1. Estaciones de monitoreo de calidad del aire por Autoridad Ambiental – 2017.

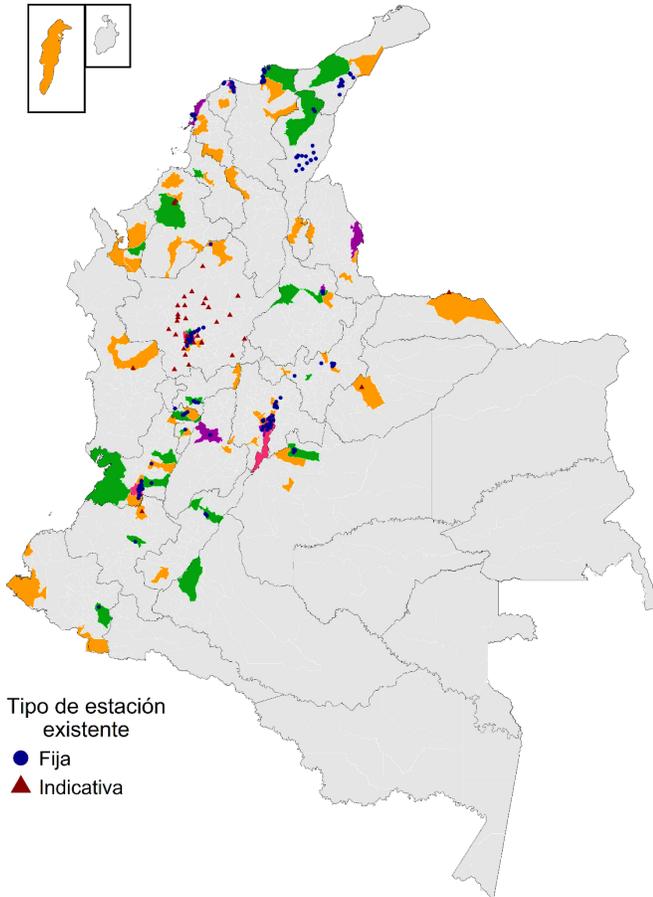
Número de estaciones por año



Autoridad Ambiental	Número de Estaciones	Estaciones de Monitoreo
AMVA	40	BAR-Hosp. S.V. Paul, BAR-Parque Las Aguas, BAR-Torre Social, BEL-Fernando Vélez, BEL-Secretaría de Salud, BEL-U. S. Buenaventura, CAL-Corp. Lasallista, CAL-Escuela Joaquín A., CAL-Plaza Mercado, CEN-Tráfico Centro, COP-Ciud. Educativa, COP-Hosp. Sta. Marg., ENV-Hospital, EST-Col. Ma. Goretti, EST-Hospital, Estación Secretaria, GIR-I.E. Col. Colombia, GIR-S.O.S Aburrá Norte, ITA-Casa Justicia, ITA-Col. Concejo, ITA-Col. El Rosario, ITA-Planta Tratamiento, MED-Altavista, MED-Bib. Fernando B., MED-CORANTIOQUIA, MED-Éxito San Antonio, MED-I.E. Ciro Mendiá, MED-I.E. José Félix, MED-I.E. Pedro Justo B., MED-I.T.M. Robledo, MED-Politécnico JIC, MED-Tanque Miraflores, MED-Tanques La Ye, MED-UN Fac. Minas, MED-UN Núcleo Volador, MED-Univ. Medellín, MED-Villahermosa, SAB-Centro Adtvo., SAB-I.E. José Félix, SUR-Tráfico Sur
CAM	2	CAM Norte, CORHUILA
CAR	13	Bogotá-Mochuelo, Cajicá-Manas, Cogua-PTAR I, Funza-Sisben, Mosquera-SENA, Mosquera-Villa Deportiva, Nemocón-Patio Bonito, Ráquira-Colegio, Sibaté-Los Sauces, Soacha-Hospital, Sopó-Briceño, Tocancipá-Planta Tibitoc, Zipaquirá-Emafez
CARDER	5	Dosquebradas-Balalaika, La Virginia-C. Río Risaralda, Pereira-CARDER, Pereira-Centro Tradicional, Sta. Rosa de Cabal
CDMB	3	Cabecera, Ciudadela, Florida
CODECHOCÓ	1	Univ. Tecnológica del Chocó
CORANTIOQUIA	28	Ca. Amagá 2017, Ca. Andes 2017, Ca. Angostura 2017, Ca. Anzá 2017, Ca. Belmira 2017, Ca. Briceño 2017, Ca. Cáceres 2017, Ca. Caicedo 2017, Ca. Campamento 2017, Ca. Cisneros 2017, Ca. Envigado EIA 2017, Ca. Fredonia 2017, Ca. Guadalupe 2017, Ca. Itagüí 2017, Ca. La Pintada 2017, Ca. La Sierra 2017, Ca. Liborina 2017, Ca. Olaya 2017, Ca. Remedios 2017, Ca. S. Ant. de Prado 2017, Ca. S. J. de la Montaña 2017, Ca. Sabanalarga 2017, Ca. San Cristóbal 2017, Ca. Sta. Fe de Antioquia 2017, Ca. Toledo 2017, Ca. Yalí 2017, Caucasia, Medellín-Altavista
CORMACARENA	3	Catumare, Cofrem, La Esmeralda
CORNARE	4	Hospital Guarne, Tres Ranchos, UCO, Valle de San Nicolás
CORPAMAG	13	Aeropuerto, Alcatraces, Ciénaga, Cordobita, Costa Verde, Don Jaca, Jolonura, Marina Santa Marta, Molinos Santa Marta, Pescaito, Playitas, Tayrona, UNIMAG
CORPOBOYACÁ	7	Hospital, Móvil Juan José Rondón, Nazareth, Nobsa-Bomberos, Paipa, Parque Rec. del Norte, Sogamoso-SENA
CORPOCALDAS	4	Liceo Isabel La Católica, Licorera, Maltería, Milán
CORPOCESAR	17	V1 Seminario, V4 Bomberos, ZMo1 La Loma Centro, ZMo2 La Jagua Centro, ZMo3 La Loma 2, ZMo4 La Palmita, ZMo5 La Aurora, ZMo6 Boquerón, ZMo7 Plan Bonito, ZMo9 La Jagua Vía, ZM12 Rincón Hondo, ZM13 El Hatillo, ZM15 Chiriguana, ZM19 Becerril, ZM2o Costa Hermosa, ZM21 La Victoria, ZM22 Casacará
CORPOGUAJIRA	10	Albania, Barrancas, Conejo, Cuestecitas, Hatonuevo, Las Casitas, Los Remedios, Pacharoca, Papayal, Provincial
CORPONARIÑO	1	Unimar
CORPORINOQUÍA	2	Arauca-Col. Simón Bolívar, Yopal-ITEY
CORTOLIMA	2	CORTOLIMA, Policía de Carreteras
CRA	6	Malambo-PIMSA, Malambo-Secret. de Tránsito, Puerto Colombia-Alcaldía, Puerto Colombia-Bomberos, Soledad-EDUMAS, Soledad-Policía Hipódromo
CRC	2	Edificio Edgar Negret, Santander
CRQ	1	CAM
CVC	8	Buga, Cali-Casajal, Jamundí, Palmira, Palmira-La Dolores, Yumbo, Yumbo-Las Américas, Yumbo - ACOPI
CVS	3	Terminal, UNISINU, UPB
DAGMA	9	Base Aérea, Cañaveralejo, Compartir, ERA-Obrero, La Ermita, La Flora, Pance, Transitoria-Navarro, Universidad del Valle
EPA Barranquilla Verde	3	Estación Móvil, Policía, Tres Ave Marías
EPA Cartagena	5	Base Naval, CARDIQUE, EPA Cartagena, Policía Virgen y Turística, Zona Franca La Candelaria
SDA	12	Bolívia, C. Alto Rendimiento, Carvajal - Sevillana, Guaymaral, Kennedy, Las Ferias, MinAmbiente, Puente Aranda, San Cristóbal, Suba, Tunal, Usaquén

La cobertura espacial de los sistemas de vigilancia abarcó 22 departamentos y 91 municipios, con cobertura en las regiones Andina, Caribe, Pacífico y Orinoquía. Sin embargo, y a pesar de los esfuerzos realizados por atender la problemática asociada a la contaminación atmosférica, existen municipios que aún no cuentan con Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire, o en los cuales, la capacidad instalada actualmente no brinda ni la cobertura espacial ni la complejidad adecuada.

Tabla 3.2. Municipios que no cuentan con SVCA durante 2017 según los criterios del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.



MUNICIPIO	DEPARTAMENTO	POBLACIÓN 2017	TIPO SVCA
CÚCUTA	Norte de Santander	640.370	INTERMEDIO
BUENAVENTURA	Valle del Cauca	381.862	BÁSICO
SINCELEJO	Sucre	265.384	BÁSICO
RIOHACHA	La Guajira	236.814	BÁSICO
TUNJA	Boyacá	187.735	BÁSICO
TULUÁ	Valle del Cauca	187.130	BÁSICO
BARRANCABERMEJA	Santander	173.380	BÁSICO
GIRÓN	Santander	170.917	BÁSICO
APARTADÓ	Antioquia	164.190	BÁSICO
FLORENCIA	Caquetá	157.035	BÁSICO
CARTAGO	Valle del Cauca	131.727	INDICATIVO
PIEDRECUESTA	Santander	128.247	INDICATIVO
FACATATIVÁ	Cundinamarca	123.931	INDICATIVO
TUMACO	Nariño	117.529	INDICATIVO
FUSAGASUGÁ	Cundinamarca	112.616	INDICATIVO
MAICAO	La Guajira	111.150	INDICATIVO
IPIALES	Nariño	105.875	INDICATIVO
CHÍA	Cundinamarca	104.214	INDICATIVO
DUITAMA	Boyacá	103.552	INDICATIVO
GIRARDOT	Cundinamarca	102.806	INDICATIVO
OCAÑA	Norte de Santander	90.620	INDICATIVO
VILLA DEL ROSARIO	Norte de Santander	88.664	INDICATIVO
MAGANGUÉ	Bolívar	86.210	INDICATIVO
AGUACHICA	Cesar	82.976	INDICATIVO
SABANALARGA	Atlántico	82.716	INDICATIVO
PITALITO	Huila	77.491	INDICATIVO
LOS PATIOS	Norte de Santander	76.128	INDICATIVO
CHIGORODÓ	Antioquia	70.264	INDICATIVO
MADRID	Cundinamarca	70.203	INDICATIVO
LA DORADA	Caldas	69.764	INDICATIVO
TURBACO	Bolívar	68.957	INDICATIVO
MONTELÍBANO	Córdoba	67.224	INDICATIVO
TURBO	Antioquia	67.148	INDICATIVO
ACACÍAS	Meta	60.918	INDICATIVO
CALARCÁ	Quindío	60.346	INDICATIVO
ARJONA	Bolívar	59.175	INDICATIVO
ESPINAL	Tolima	58.494	INDICATIVO
CHIQUINQUIRÁ	Boyacá	57.742	INDICATIVO
LORICA	Córdoba	56.275	INDICATIVO
FUNDACIÓN	Magdalena	55.842	INDICATIVO
PAMPLONA	Norte de Santander	55.366	INDICATIVO
GRANADA	Meta	54.418	INDICATIVO
CERETÉ	Córdoba	53.796	INDICATIVO
COROZAL	Sucre	52.060	INDICATIVO
EL CARMEN DE BOLÍVAR	Bolívar	61.785	INDICATIVO
SAN ANDRÉS	Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina	53.691	INDICATIVO

CRITERIOS DEL PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE

Tamaño Poblacional	Tipo de SVCA a implementar	No. Mínimo de estaciones	Contaminantes por evaluar
Menor o igual a 50.000	Especial	Dependerá de la existencia de problemas específicos	
Entre 50.001 y 150.000	Indicativo	2 (en campaña)	Mínimo PM10
Entre 150.001 y 500.000	Básico	2 (fijas)	Mínimo PM10
Entre 500.001 y 1.500.000	Intermedio	3 (fijas)	Mínimo PM10, PM2.5, Ozono
Mayor a 1.500.000	Avanzado	4 (fijas)	Mínimo PM10, PM2.5, Ozono

Las ciudades y municipios con población superior a 150.000 habitantes, que con corte al año 2017, no contaron con sistema de monitoreo y seguimiento de calidad del aire fueron: Cúcuta, Buenaventura, Sincelejo, Riohacha, Tuluá, Tunja, Barrancabermeja, Girón, Apartadó y Florencia.

Por su parte, los Sistemas de Vigilancia listados a continuación, no cuentan con la complejidad o el número de estaciones suficientes exigidas por el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.

Tabla 3.3. Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA) con complejidad inferior al reglamentado.

Municipio	Población Cabecera	Autoridad Ambiental	SVCA o número de estaciones actual	SVCA o número de estaciones a implementar
Montería	346.873	CVS	Indicativo	Básico
Ibagué	528.214	CORTOLIMA	2	3
Popayán	250.043	CRC	1	2
Armenia	290.189	CRQ	1	2
Pasto	371.045	CORPONARIÑO	1	2
Envigado	219.991	CORANTIOQUIA	1	2
Soacha	516.435	CAR	2	3

3.1. Tecnología de medición empleada

La evaluación de los contaminantes criterio se realiza con equipos especializados que cuentan con métodos y principios de detección avalados por reconocidas agencias gubernamentales internacionales e institutos de investigación. Dependiendo la complejidad del sistema de vigilancia de calidad del aire, los objetivos de medición y el presupuesto de cada autoridad ambiental se han venido implementando en el país estaciones de monitoreo con tecnología de monitoreo manual, mixta o automática.

En el caso de la tecnología de monitoreo manual, el principio de medición requiere un muestreo in situ y un posterior análisis en laboratorio, haciendo que la logística empleada para su operación sea compleja. Adicionalmente, la toma de decisiones ante situaciones críticas de emergencia es limitada, debido a que los tiempos de medición y muestreo son diarios.

Por su parte, las estaciones con tecnología automática permiten obtener resultados en tiempo real, haciendo que la toma de decisiones y reportes al público se brinde en tiempos oportunos, garantizando la

protección de la salud de los habitantes expuestos a la contaminación.

A nivel nacional, las Corporaciones Autónomas Regionales y las Autoridades Ambientales Urbanas de los Grandes Centros Urbanos, han venido implementando estaciones de monitoreo automáticas, las cuales se incrementaron en 23 unidades con respecto al año 2016. De igual manera, varios sistemas de vigilancia reforzaron la cobertura de sus mediciones con estaciones de monitoreo manuales, cuyo incremento con respecto al año anterior fue de 18 unidades.

Tabla 3.4. Tecnología de medición empleada por los SVCA que operaron en el país durante 2017.

Tipo de tecnología	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Automáticas	 33	 43	 42	 52	 55	 64	 87
Manuales	 101	 95	 103	 101	 104	 82	 100
Mixtas	 7	 9	 9	 7	 9	 17	 17

3.2. Contaminantes y variables meteorológicas evaluados

Las mediciones realizadas por las 204 estaciones se centran en el monitoreo y seguimiento de los contaminantes criterio, cuyos niveles máximos permisibles se encuentran regulados por la Resolución 2254 de 2017. Debido a sus potenciales afectaciones a la salud y al tipo de fuentes contaminantes existentes a nivel nacional, el contaminante más evaluado fue el material particulado menor a 10 micras (PM₁₀), cuyo seguimiento fue realizado por 163 de las 204

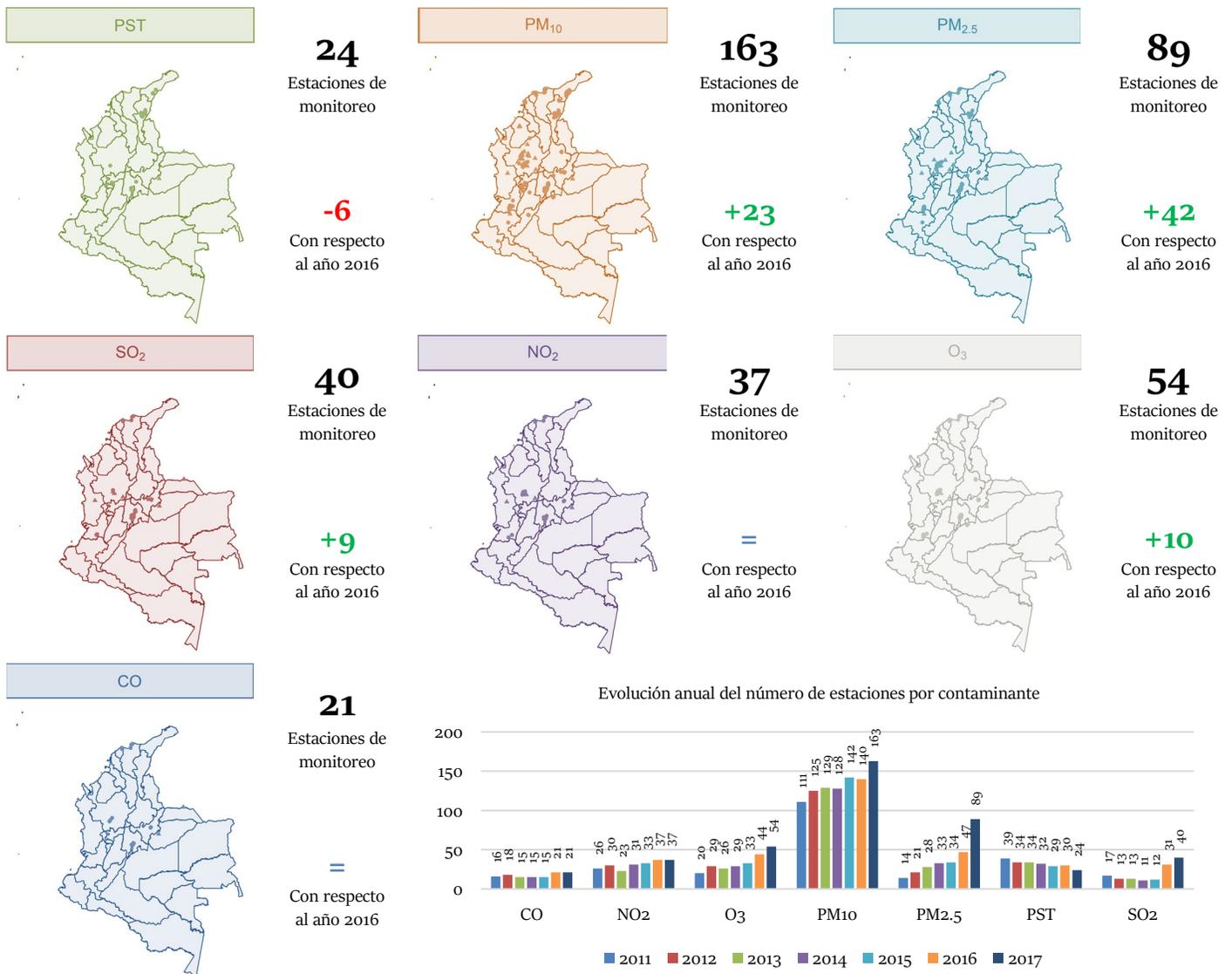
estaciones (79.9%). Con respecto al año 2016, el número de equipos empleados para la evaluación de material particulado menor a 2.5 micras (PM_{2.5}) presentó un incremento de 42 unidades, pasando de 47 a 89 estaciones con la capacidad de evaluar este contaminante.

Entre tanto, el seguimiento de las sustancias gaseosas (Dióxido de Azufre, Dióxido de nitrógeno, Monóxido de Carbono y Ozono) continúa concentrado en las principales ciudades del país (Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, Santa Marta) y en los municipios de Nobsa y Sogamoso. Sin

embargo, a nivel nacional se presentó un aumento de 9 y 10 estaciones de monitoreo para la evaluación de Dióxido de Azufre y Ozono respectivamente.

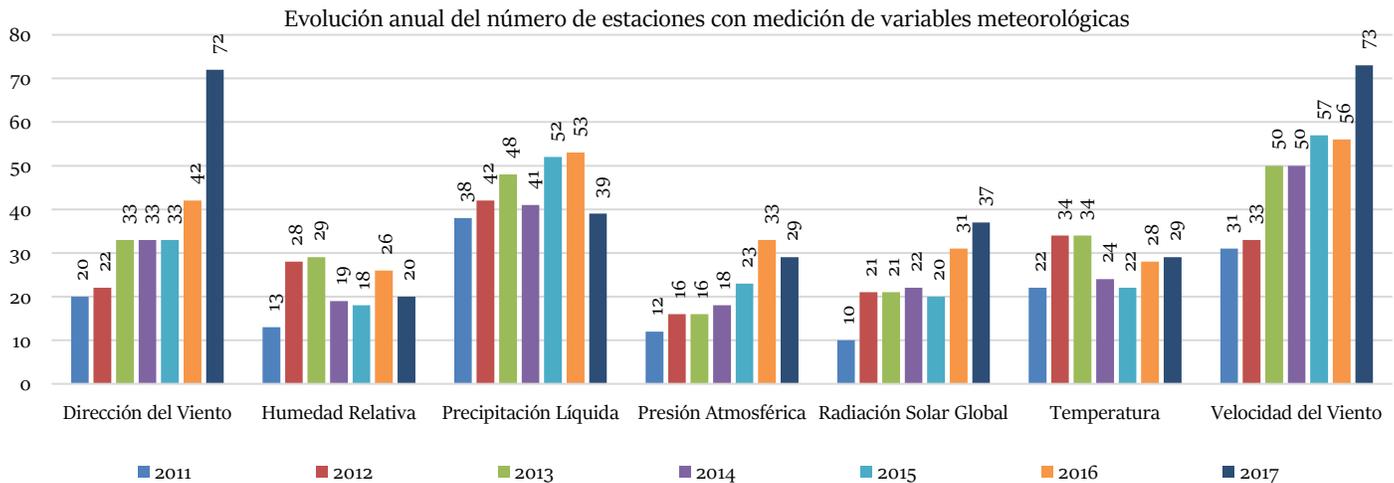
El único contaminante cuyo seguimiento decreció fue el PST, debido a las correspondientes actualizaciones normativas y a que la investigación epidemiológica se ha centrado en las partículas de menor tamaño cuyos efectos para la salud son mucho más nocivos.

Figura 3.2. Estaciones de monitoreo por tipo de contaminante evaluado.



Con respecto al componente meteorológico, el número estaciones a nivel nacional que durante el año 2017 realizaron la evaluación estas variables, se incrementó al pasar de 51 a 73, las cuales estuvieron distribuidas en 14 sistemas de vigilancia: AMVA, CDMB, CODECHOCÓ, CORANTIOQUIA, CORMACARENA, CORPAMAG, CORPOBOYACÁ, CORPOCESAR, CORPOGUAJIRA, CORTOLIMA, DAGMA, EPA Barranquilla Verde, EPA Cartagena y SDA, que representan 7 SVCA más con respecto al año anterior. Las variables más evaluadas fueron: Velocidad del Viento (73), Dirección del Viento (72), Precipitación líquida (39), Radiación Solar (37) y Presión Atmosférica (29).

Figura 3.3. Evolución anual del número de estaciones con medición de variables meteorológicas.



3.3. Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire Acreditados

De conformidad con el parágrafo 2 del artículo 5, del Decreto 1600 de 1994, “los laboratorios que produzcan información cuantitativa, física, química y biótica para los estudios o análisis requeridos por las autoridades ambientales competentes, y los demás que produzcan información de carácter oficial relacionada con la calidad del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, deberán poseer certificado de acreditación correspondiente otorgado por el IDEAM”.

Durante el año 2016 únicamente 2 Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (CORPOGUAJIRA y CORPOCESAR) se encontraban acreditados ante el IDEAM. Sin embargo, durante el año 2017, otras cuatro Autoridades Ambientales realizaron el proceso de acreditación (CAR, CVC, CORPOBOYACÁ y DAGMA), lo cual es una garantía de la competencia técnica y la idoneidad para la producción de datos e información físico química asociada a la operación y funcionamiento de sus correspondientes sistemas de vigilancia.

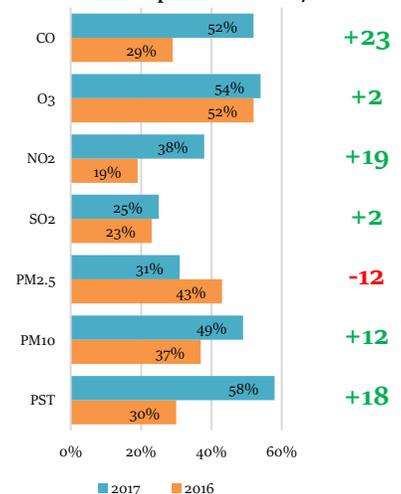
3.4. Cobertura temporal de la información reportada

La representatividad se refiere al grado en el cual los datos representan de una manera precisa y exacta, una característica de una población, la variación de un parámetro en un punto de muestreo, la condición de un proceso o una condición ambiental, encontrándose directamente relacionada con la Integridad temporal, la cual se define como la relación entre la cantidad de datos válidos obtenidos por un sistema de vigilancia comparado con la cantidad ideal que debería obtenerse en condiciones normales de operación.

El 59% de las estaciones de monitoreo fijas que operaron en el país durante 2017, cumplieron con el criterio de representatividad temporal en al menos uno de los parámetros evaluados. Esto significa un incremento del 12% con respecto al año 2016, y revela el importante esfuerzo que vienen realizando las Autoridades Ambientales para mejorar la calidad del dato y las tasas de operación de sus sistemas de vigilancia.

Entre las medidas implementadas, se encuentra la realización de acuerdos con las comunidades para evitar acciones vandálicas, la instalación de paneles solares en zonas con funcionamiento intermitente del fluido eléctrico, el fortalecimiento de las capacidades del personal técnico y operativo, el compromiso de la dirección con las partidas presupuestales y la renovación y mejoramiento tecnológico de los equipos instalados en las estaciones.

Figura 3.4. Representatividad temporal de las series reportadas en 2017.



4. ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN COLOMBIA

Durante el año 2017 se realizó el monitoreo y seguimiento de los siete contaminantes criterio contemplados por la Resolución 610 de 2010. En el presente capítulo se realiza el análisis de la situación de cada uno de los contaminantes evaluados en las estaciones de monitoreo, cuyas series reportadas al SISAI, cumplieron con una representatividad igual o superior al 75%, presentando los resultados de la concentración promedio anual por estación, la comparación con el nivel máximo permisible, el análisis de las tendencias interanuales para el periodo 2016 - 2017, la presentación del número de excedencias al nivel máximo permisible diario y el Índice de Calidad del Aire (ICA) que asocia el nivel de un contaminante dado con un potencial efecto a la salud.

La representatividad temporal permite definir **concluyentemente** el estado de la calidad del aire en el área circundante a la estación, debido a que el número de datos obtenidos es suficiente como para representar el comportamiento de un contaminante en una zona dada, con condiciones meteorológicas cambiantes a través de un periodo evaluado

También se presentan de manera indicativa, los resultados obtenidos para las estaciones de monitoreo que no cumplieron con el criterio de representatividad temporal (siempre y cuando superen un mínimo de 18 muestras válidas), debido a que en algunas ciudades y regiones es probable que exista población expuesta a altas concentraciones, por lo cual es imperativo realizar un llamado a la autoridad ambiental para que mejore los esfuerzos presupuestales, técnicos y operativos que permitan mejorar la calidad del dato. El éxito del programa de monitoreo

y seguimiento permitirá mejorar el diseño de medidas enfocadas en la prevención y control.

Por último, se presenta el análisis del indicador “Porcentaje de estaciones reportando cumplimiento de la norma de calidad del aire en el país” establecido como indicador de seguimiento del plan de acción de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire, la cual fue adoptada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en el año 2010.

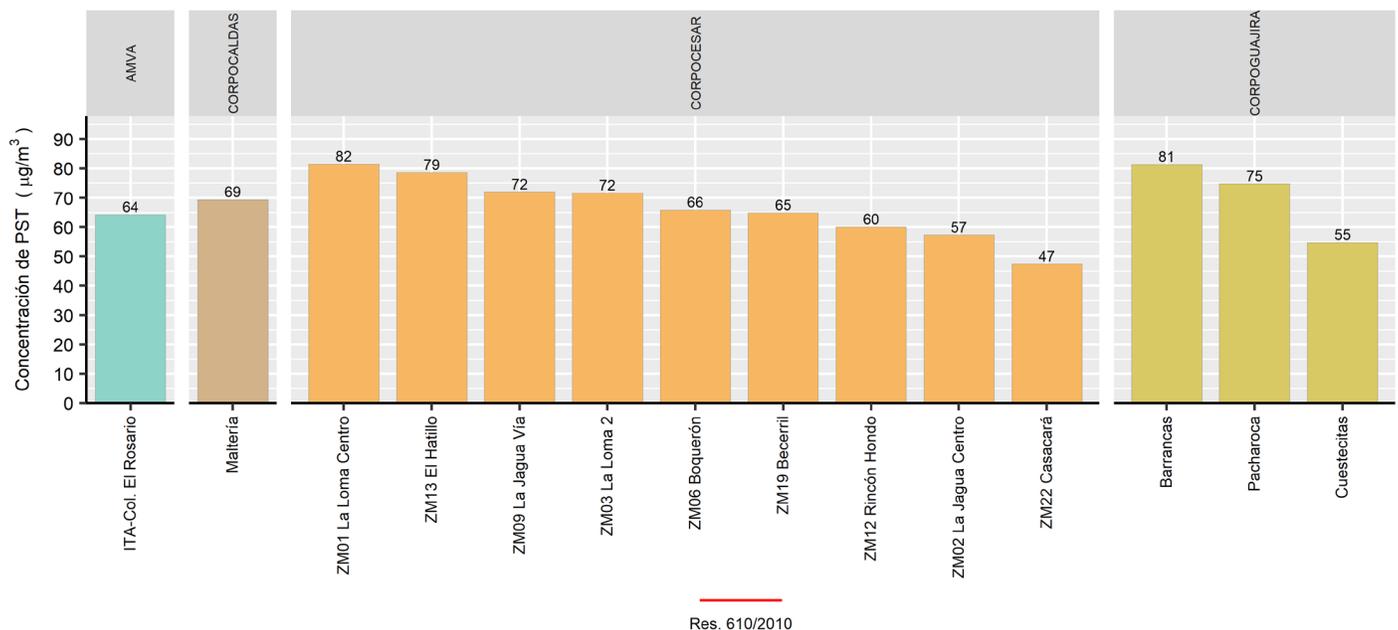
“Los análisis presentados a continuación corresponden al comportamiento de cada uno de los contaminantes por estación de monitoreo. Por tal motivo, y debido a las diversas condiciones topográficas, meteorológicas y geomorfológicas que influyen en la concentración o dilución de los diversos contaminantes atmosféricos, los resultados no son extrapolables a la totalidad de una ciudad o región.”

4.1. Partículas Suspendidas Totales – PST

Este tipo de material particulado incluye las fracciones inhalable, torácica y respirable, del material particulado, y debido a su tamaño y densidad permanecen suspendidas en el aire y no sedimentan en periodos cortos. Sus efectos se encuentran asociados a irritación ocular y a obstrucción buco nasal.

Según los lineamientos establecidos en la Resolución 610 de 2010, los niveles diarios y anuales de este contaminante a condiciones de referencia deben calcularse a partir del promedio geométrico de cada una de las mediciones realizadas. El nivel máximo permisible anual establecido por la Resolución 610 de 2010 corresponde a 100 µg/m³, mientras que para un tiempo de exposición diario es de 300 µg/m³.

Figura 4.1. Concentraciones promedio anual de Partículas Suspendidas Totales (PST) en 2017 para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%.



A partir de la entrada en vigencia de la Resolución 2254 de 2017, desaparece el nivel máximo permisible establecido para las Partículas Suspendidas Totales, haciendo que los esfuerzos en el monitoreo y seguimiento deberán centrarse en partículas de menor tamaño (PM_{10} y $PM_{2.5}$) cuyos efectos son mucho más nocivos. Sin embargo, este contaminante podrá evaluarse de manera indicativa con fines investigativos específicos. Por tal motivo, el presente informe es el último que evalúa el comportamiento de este contaminante a nivel nacional.

Concentración promedio anual

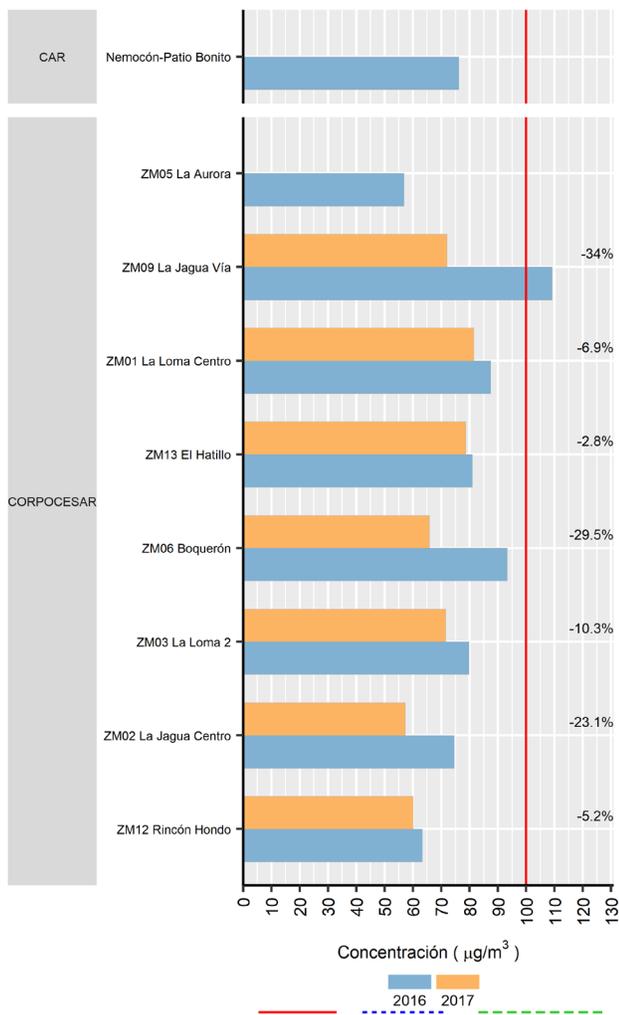
Las ciudades y regiones donde se evaluó este contaminante reportaron cumplimiento del nivel máximo permisible durante el año 2017. Su seguimiento se concentró en la Zona Minera del César, en la Zona Minera de la Guajira, en el municipio de Itagüí y en la zona industrial de Manizales.

Los resultados obtenidos, reflejan que las máximas concentraciones promedio anual detectadas, representan el 81,5% del nivel máximo permisible. El mayor registro se presentó en la estación de monitoreo ZM01 - La Loma Centro, ubicada en jurisdicción de CORPOCESAR.

Tendencias anuales 2016 - 2017

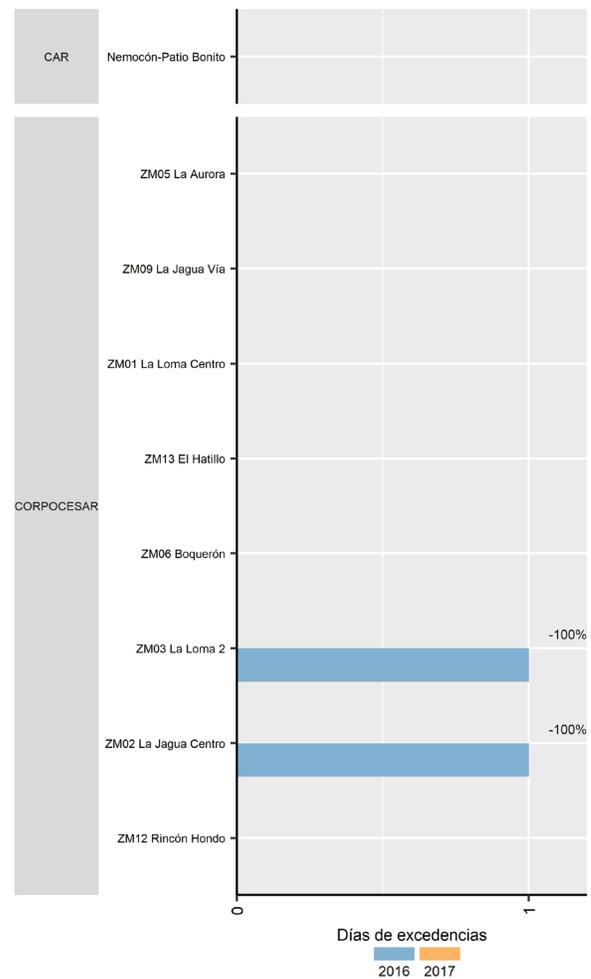
Con respecto al año 2016, la variación de las concentraciones promedio anual para la totalidad de estaciones de monitoreo que evaluaron Partículas Suspendidas Totales en jurisdicción de CORPOCESAR, muestran una disminución significativa de las concentraciones, presentándose la mayor reducción en la estación de monitoreo correspondiente a ZM09 - La Jagua Vía, cuya reducción viene siendo constante desde el año 2015.

Figura 4.2. Variación del promedio anual de Partículas Suspendidas Totales (PST) para las estaciones de los SVCA que tienen una representatividad temporal igual o superior a 75%. Años 2016 y 2017.



Res. 610/2010 Res. 2254/2017 Res. 2254/2017 a 2030

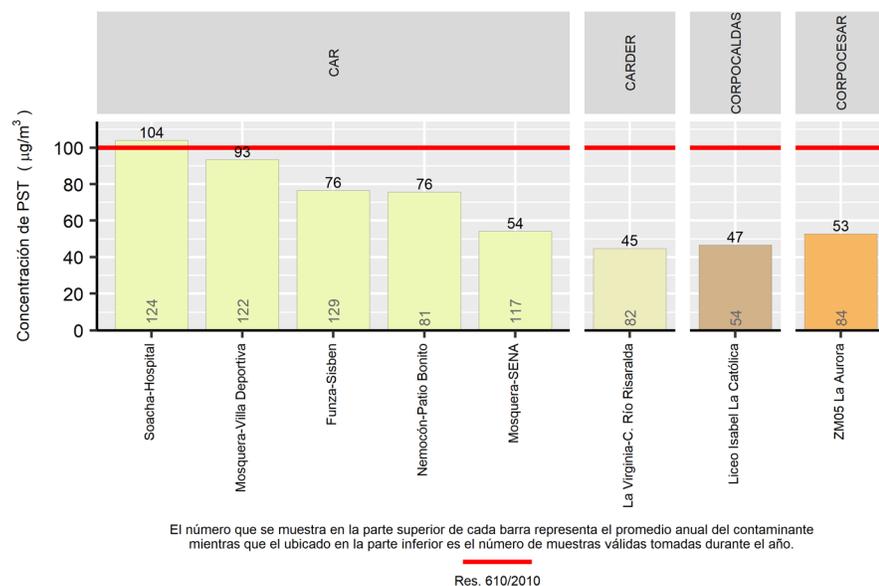
Figura 4.3. Variación anual de días con excedencias de Partículas Suspendidas Totales (PST) para las estaciones de los SVCA que tienen una representatividad temporal igual o superior a 75%. Años 2016 y 2017.



Excedencias al nivel máximo permisible diario

Durante el año 2017, ninguna estación de monitoreo reportó excedencias al nivel máximo diario establecido para PST, lo cual indica una mejoría significativa con respecto a los resultados obtenidos en el año 2016, donde las estaciones de monitoreo Zm03 - La Loma 2 y ZMo2 - La Jagua Centro, pertenecientes al SCVA de CORPOCESAR habían reportado al menos un día con excedencias.

Figura 4.4. Concentraciones promedio anual de Partículas Suspensas Totales (PST) en 2017 para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal inferior a 75%.



Los resultados correspondientes a cada estación de monitoreo se presentan de manera comparativa, sin discriminar la clasificación de la estación de monitoreo (industrial, de tráfico, residencial o de fondo), debido a que a nivel nacional la Resolución 2254 de 2017, a través del nivel máximo permisible, hace énfasis en los tiempos de exposición sin importar el objetivo o propósito de la estación.

Estaciones de monitoreo con representatividad temporal inferior al 75%

Con más de 120 muestras válidas a lo largo del año, la estación de monitoreo Soacha - Hospital, localizada en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca presentó registros indicativos de PST que superan el nivel máximo permisible anual. Por tal motivo, es necesario que se incrementen los controles operativos por parte de la Autoridad Ambiental, con el objetivo de mejorar la calidad del dato y disminuir las emisiones en las fuentes.

4.2. Partículas Menores a 10 micras - PM₁₀

Este contaminante corresponde a la fracción torácica del material particulado, y tiene un alto potencial de afectación debido a su capacidad de penetración en las vías respiratorias. Sin embargo, es importante mencionar que el material particulado no es un factor causal directo de enfermedad o mortalidad respiratoria aguda sino un factor asociado, que en combinación con otros factores produce un aumento de las enfermedades respiratorias. Entre dichos factores se encuentra la edad del individuo (niños menores a 5 años y adultos mayores a 65 años tienen mayor prevalencia), la existencia de antecedentes cardiorrespiratorios y cardiovasculares, mujeres en estado de gravidez, y condiciones socioeconómicas deficientes.

Según los lineamientos establecidos en las Resoluciones 2154 de 2017 y 610 de 2010, los niveles diarios y anuales de este contaminante a condiciones de referencia, corresponden a 100 µg/m³ y 50 µg/m³ respectivamente.

Concentraciones promedio anuales

Durante el año 2017, las concentraciones de este contaminante excedieron el nivel máximo permisible anual en 7 estaciones de monitoreo: Carvajal - Sevillana y Kennedy en Bogotá (SDA), Tráfico Centro y Éxito San Antonio en Medellín (AMVA), Molinos Santa Marta (CORPAMAG), Yumbo Las Américas (CVC) y Compartir en Santiago de Cali (DAGMA). El cumplimiento normativo a nivel nacional para esta variable fue del 91,2% (18,1% más con respecto al año 2016).

Las áreas circundantes de las estaciones de monitoreo que superaron los niveles máximos permisibles se caracterizan por la alta densidad poblacional, un gran número de fuentes móviles y la ubicación de fuentes fijas y de área cercanas, que contribuyen al aumento de las concentraciones de este contaminante en el aire ambiente.

“...el material particulado no es un factor causal directo de mortalidad o enfermedad respiratoria aguda sino un factor asociado, que en combinación con otros factores produce un aumento de las enfermedades respiratorias.”

Figura 4.5. Concentraciones promedio anual de Partículas Menores a 10 micras (PM₁₀) en 2017 para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%.

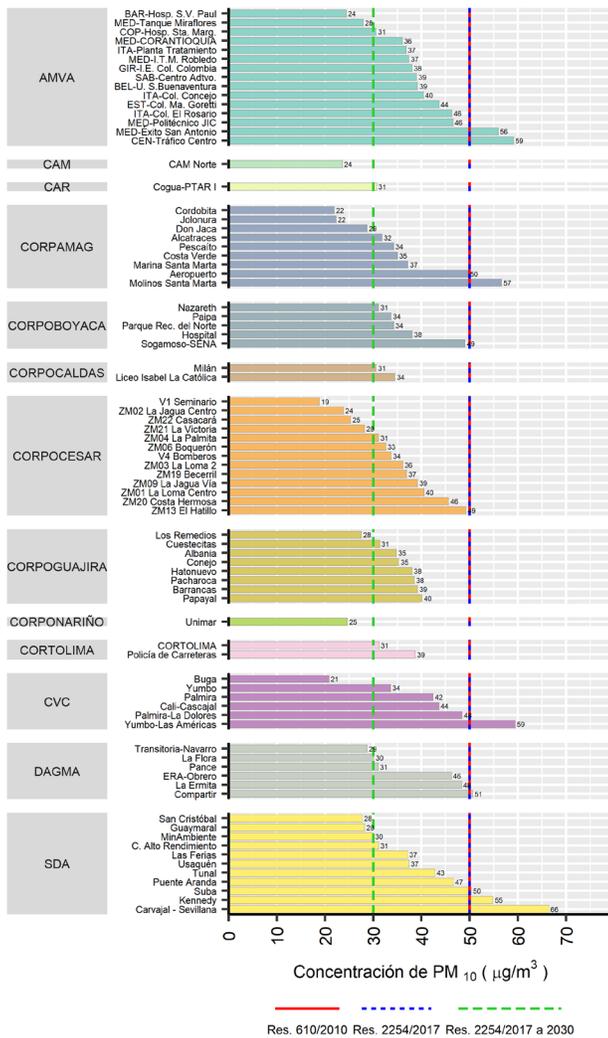
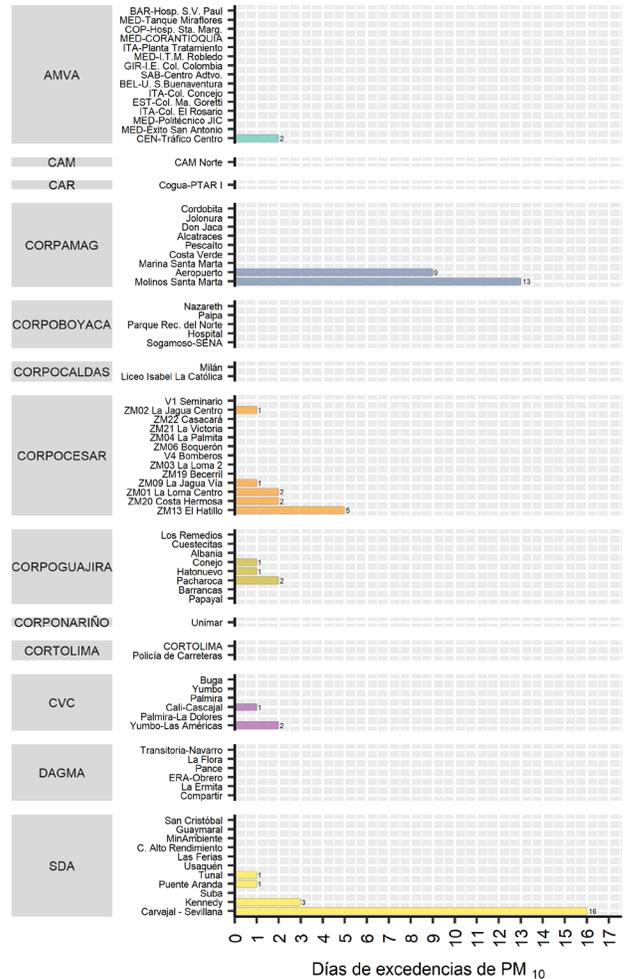


Figura 4.6. Días con excedencias al nivel máximo permisible diario para Partículas Menores a 10 micras (PM₁₀) en 2017, para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%.



Por otra parte, existen 17 estaciones de monitoreo, cuyas concentraciones promedio anual son inferiores al nivel máximo permisible establecido como objetivo para el año 2030 (30 µg/m³). Entre ellas se destacan las ubicadas en jurisdicción del AMVA (Tanque Miraflores en Medellín y Hospital San Vicente de Paúl en Barbosa) y de la SDA (San Cristóbal y Guaymaral), cuyas jurisdicciones han sido catalogadas, en general, como las de peor calidad del aire del país. Sin embargo, la influencia de condiciones meteorológicas adversas ocasiona que el problema se encuentre muy localizado y centralizado en ciertas estaciones. De ahí, la importancia de realizar el análisis por estación.

Excedencias al nivel máximo permisible diario.

A nivel nacional, la estación de monitoreo Carvajal – Sevillana de la Secretaría Distrital de Ambiente - SDA fue la que registró la mayor cantidad de días (16) con excedencias al nivel máximo permisible diario (100 µg/m³). En segundo y tercer lugar se ubican las estaciones de monitoreo Molinos Santa Marta y Aeropuerto, localizadas en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Magdalena – CORPAMAG, las cuales registraron 13 y 9 días con excedencias respectivamente.

Por otra parte, las estaciones de monitoreo ZM09 – La Jagua Vía (1), ZM01 – La Loma Centro (2), ZM20 – Costa Hermosa (2) y ZM13 – El Hatillo (5), localizadas en la zona minera del César, y Conejo (1), Hatonuevo (1) y Pacharoca (1) ubicadas en la zona minera de la Guajira, reportaron al menos un día con excedencias al nivel máximo permisible diario.

En cuanto a las estaciones de monitoreo ubicadas en los principales centros urbanos del país, se presentaron excedencias en: Tráfico Centro (2 días) ubicada en jurisdicción del AMVA, Cali – Cascajal (1 día) y Yumbo Las Américas (2 días) localizadas en el área de competencia de la CVC, y Tunal (1 día), Puente Aranda (1 día) y Kennedy (3 días) pertenecientes a la SDA.

Tendencias anuales 2016 - 2017

El análisis de las concentraciones obtenidas por estación de monitoreo y por autoridad ambiental, para el periodo 2016 - 2017, revela la reducción de las concentraciones de PM₁₀, en la mayoría de las estaciones de monitoreo que evaluaron este contaminante a nivel nacional.

“Durante el año 2017, las concentraciones de este contaminante reportaron cumplimiento en el 91,4% de las estaciones de monitoreo.

Las mayores reducciones con respecto al año 2016, se presentaron en las estaciones de monitoreo: I.T.M Robledo (-34,3%) e I.E. Colegio Colombia (-21,5%) ubicadas en jurisdicción del AMVA, Pescaito (-21%) localizada en jurisdicción de CORPAMAG, Transitoria Navarro (-24,5%) bajo competencia del DAGMA, ZMog La Jagua Vía (-21%), ZM19 Becerril (-21,8%), ZM02 La Jagua Centro (-33,1%), ZM21 - La Victoria (-29,7%) y ZM06 - Boquerón (-20,7%) pertenecientes a CORPOCESAR.

Por su parte, los registros obtenidos en las estaciones de monitoreo Molinos Santa Marta (CORPAMAG), Politécnico Jaime Isaza Cadavid (AMVA) y Hospital

(CORPOBOYACÁ), fueron las únicas que a nivel nacional registraron aumento en sus concentraciones con incrementos porcentuales de +13%, +1,8% y +3% respectivamente.

En cuanto a los días con excedencias al nivel máximo permisible diario, se observa una reducción significativa con respecto al año 2016, siendo la estación de monitoreo Molinos Santa Marta (CORPAMAG), la única que incrementa los sobrepasos a este límite (100 µg/m³) con respecto al año inmediatamente anterior.

Figura 4.7. Variación del promedio anual de Partículas Menores a 10 micras (PM₁₀) para las estaciones de los SVCA que tienen una representatividad temporal igual o superior a 75%. Años 2016 y 2017.

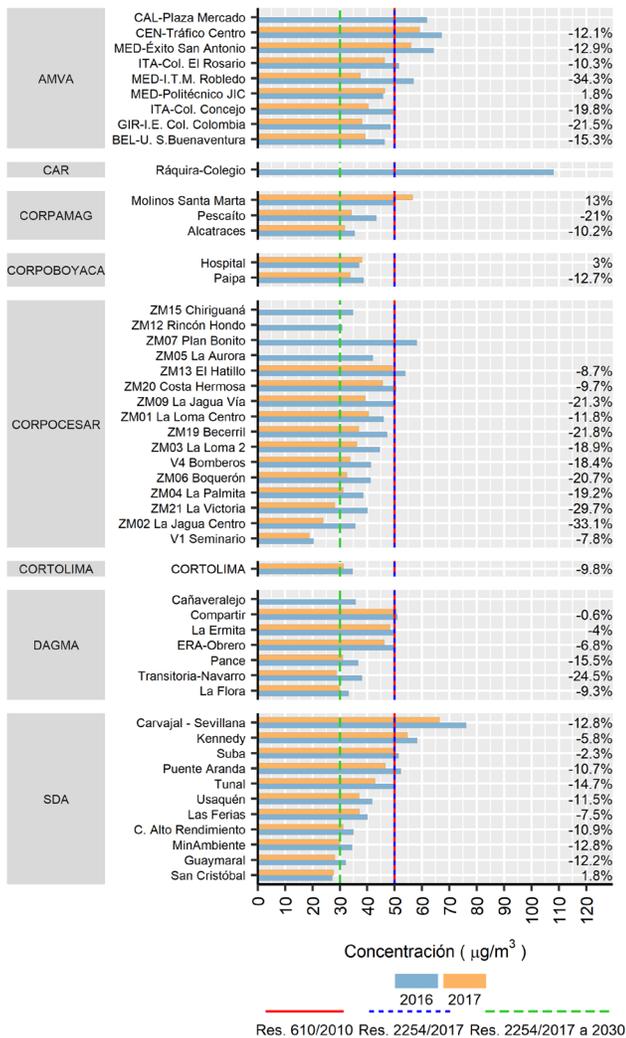
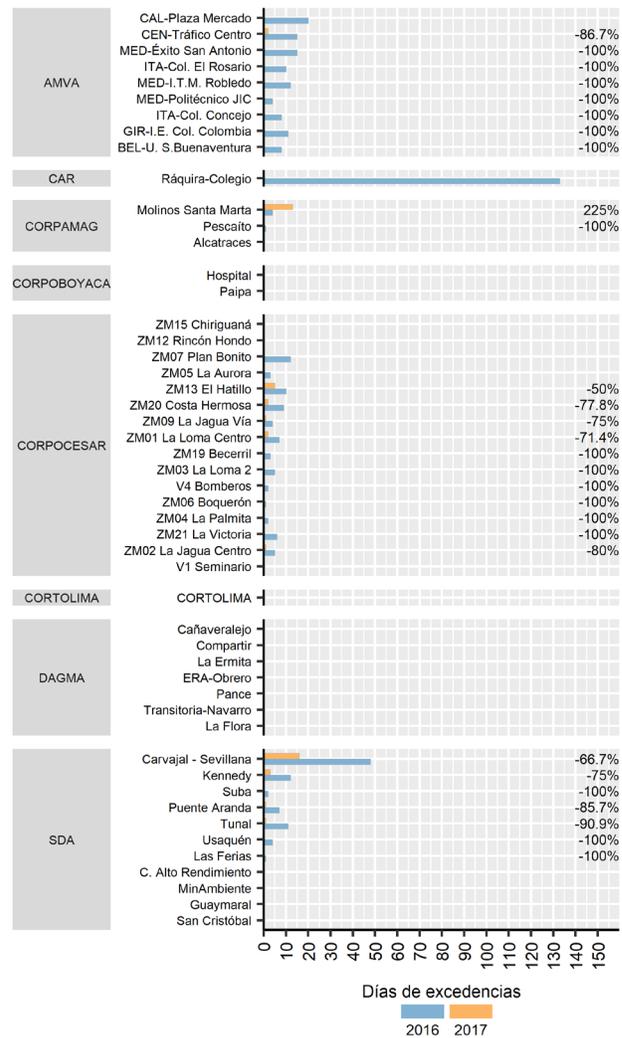


Figura 4.8. Variación anual de días con excedencias de Partículas Menores a 10 micras (PM₁₀) para las estaciones de los SVCA que tienen una representatividad temporal igual o superior a 75%. Años 2016 y 2017.



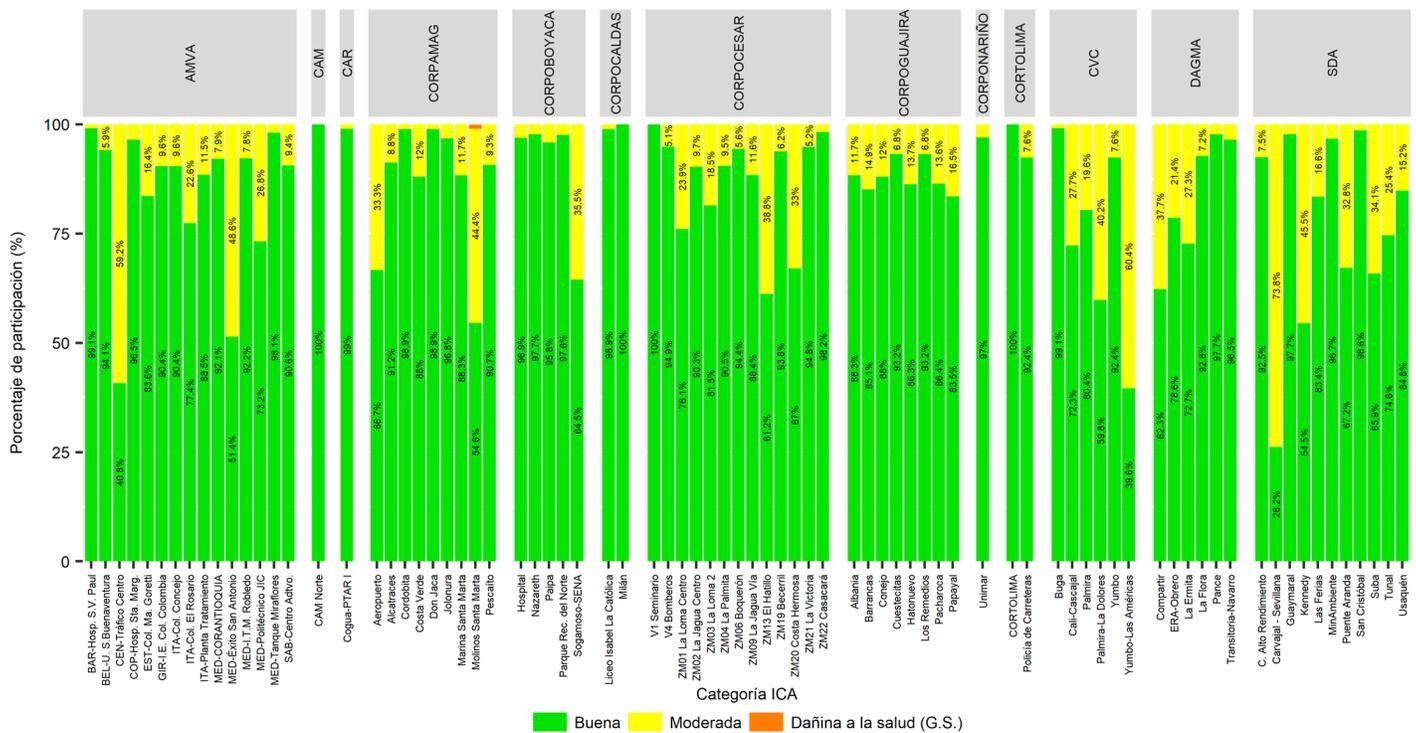
Índice de Calidad del Aire - ICA

El cálculo del Índice de Calidad del Aire para este contaminante indica que, durante el año 2017, la única estación de monitoreo que reportó concentraciones dañinas a la salud de grupos sensibles fue Molinos Santa Marta, ubicada en jurisdicción de CORPAMAG; sin embargo, los registros que se ubicaron en esta categoría corresponden únicamente al 0,9% de la serie de datos.

En cuanto a las estaciones de monitoreo que incumplieron el nivel máximo permisible promedio anual, se tiene que el 73,8% y el 45,5% de las mediciones realizadas en las estaciones Carvajal - Sevilla y Kennedy, ubicadas en jurisdicción de la Secretaría Distrital de Ambiente, registraron concentraciones categorizadas como moderadas; dentro de esta misma categoría, también se ubican el 59,2% y el 48,6% de los reportes realizados por las estaciones Tráfico Centro y Éxito San Antonio del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, y el 60,4% de las mediciones obtenidas por la estación Yumbo Las Américas, ubicada en el área de competencia de la CVC.

En la condición “moderada”, según la literatura internacional, las personas extremadamente sensibles con asma y adultos con enfermedad cardiovascular como hipertensión arterial, enfermedad isquémica del miocardio o pulmonar como asma, enfisema y bronquitis crónica deben reducir la actividad física fuerte o prolongada, debido a que las concentraciones de calidad del aire pueden exacerbar la sintomatología de sus enfermedades de base.

Figura 4.9. Índice de calidad del aire para Partículas Menores a 10 micras (PM₁₀) en 2017 para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%.

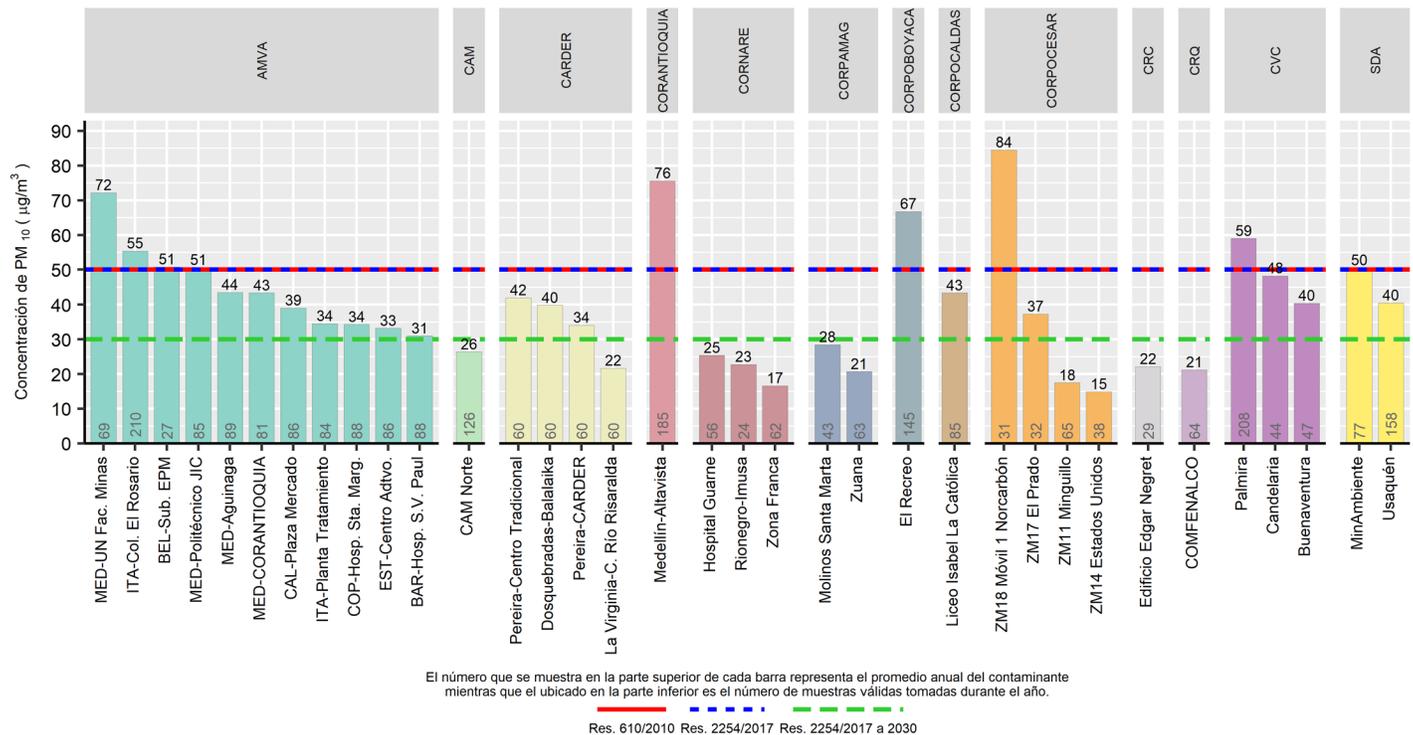


Estaciones de monitoreo con representatividad temporal inferior al 75%

La evaluación indicativa del nivel máximo permisible promedio anual para las estaciones de monitoreo que no cumplieron con el criterio de representatividad temporal, revela que las estaciones de monitoreo Bogotá - Mochuelo, Soacha - Hospital, Mosquera - Villa Deportiva y Funza - Sisbén, localizadas en jurisdicción de la CAR; Cabecera y Ciudadela, en el área de competencia de la CDMB; Medellín - Altavista, operada por CORANTIOQUIA; Cofrem en Villavicencio, operada por CORMACARENA; Ciénaga en jurisdicción de CORPAMAG; ZM07 - Plan Bonito, vinculada al SVCA de CORPOCESAR; Provincial y las Casitas, en competencia de CORPOGUAJIRA; Yumbo - ACOPI y Jamundí, operadas por CVC; y Base Naval en competencia de EPA CARTAGENA, registraron concentraciones que superan el límite máximo establecido para este periodo de tiempo.

En varios de los casos mencionados, se superan las 200 muestras válidas en el año (más de 6 meses de medición), por lo que este indicador revela la existencia de problemáticas locales asociadas a la contaminación atmosférica, por lo que las Autoridades Ambientales correspondientes deberán implementar las medidas preventivas y correctivas para evitar la exposición de la población a altas concentraciones de sustancias contaminantes en la atmósfera, y sus consecuentes efectos en la salud.

Figura 4.10. Concentraciones promedio anual de Partículas Menores a 10 micras (PM₁₀) en 2017 para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal inferior a 75%.



4.3. Partículas Menores a 2.5 micras – PM_{2.5}

Durante el último año, el monitoreo y seguimiento de este contaminante se incrementó debido a la alta capacidad de penetración en el tracto respiratorio de este tipo de partículas, por lo cual sus potenciales efectos en la salud son mucho más negativos. Los niveles máximos permisibles establecidos en las Resoluciones 610 de 2010 y 2254 de 2017 corresponden a 25 µg/m³ para un tiempo de exposición anual, mientras que, para un tiempo de exposición diario es de 50 µg/m³.

Concentraciones promedio anuales

En los sistemas de vigilancia que evaluaron este contaminante y cumplieron con el criterio de representatividad temporal superior al 75%, se sobrepasó el nivel máximo permisible promedio anual en siete (7) de las veintiséis (26) estaciones de monitoreo, por lo que su nivel de cumplimiento a nivel nacional se ubicó en 73,1%.

Las estaciones de monitoreo Carvajal – Sevillana y Kennedy, localizadas en el Distrito Capital; y las correspondientes a Tráfico Sur, Tráfico Centro, Universidad Nacional Facultad de Minas, Corporación Lasallista (Caldas) y Casa de Justicia (Itagüí), en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, presentaron concentraciones que superaron el nivel máximo permisible.

En cuanto al cumplimiento del nivel máximo permisible (15µg/m³) establecido como objetivo por la Resolución 2254 de 2017 para el año 2030, se tiene que las estaciones de monitoreo San Cristóbal y Usaquén de la SDA, y ZM09 – La Jagua Vía, Zm02 – La Jagua Centro y Zm22 – Casacará, ubicadas en competencia de CORPOCESAR, reportan niveles que se ajustan a dicho nivel normativo, por lo que los esfuerzos de dichas autoridades ambientales deberán centrarse en evitar el incremento de

estas concentraciones a través de la implementación de Planes Preventivos de Contaminación Atmosférica.

Excedencias al nivel máximo diario

Las excedencias al nivel máximo permisible diario se presentaron con mayor frecuencia en las estaciones de monitoreo pertenecientes al SVCA operado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, lo cual se debe a la existencia de periodos con condiciones meteorológicas adversas, que impiden la dispersión de los contaminantes a través del Valle. Por su parte, en las jurisdicciones de la CVC y de la SDA, las estaciones de monitoreo Palmira – La Dolores, Carvajal – Sevillana y Kennedy, registraron al menos un día con excedencias, lo cual fue ocasionado por la ocurrencia de fenómenos particulares que afectaron la concentración del contaminante durante un periodo diario.

Figura 4.11. Concentraciones promedio anual de Partículas Menores a 2,5 micras (PM_{2,5}) en 2017 para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%.

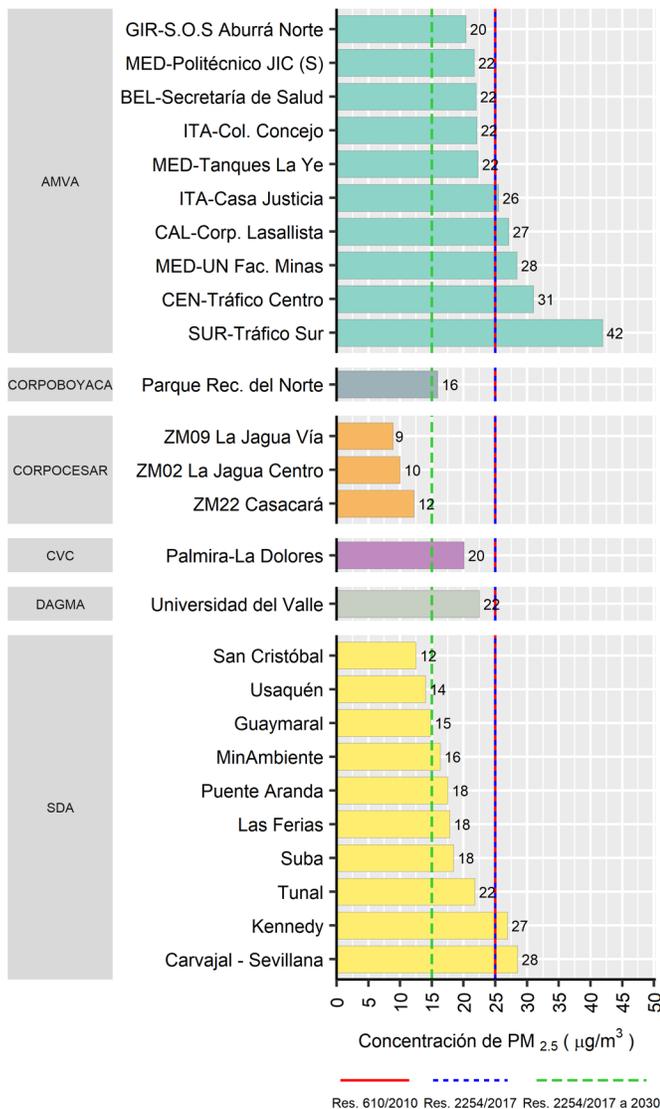
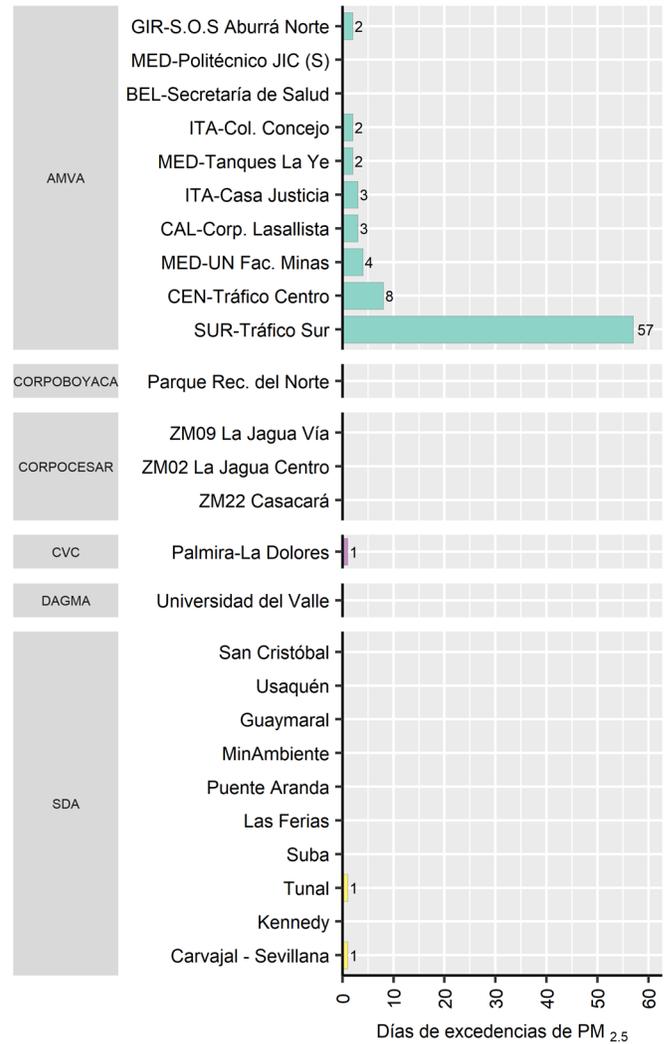


Figura 4.12. Días con excedencias al nivel máximo permisible diario para Partículas Menores a 2,5 micras (PM_{2,5}) en 2017, para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%.



Tendencias anuales 2016 - 2017

La variación porcentual de los resultados obtenidos en el año 2017 con respecto a los del año 2016, muestra menores concentraciones promedio anual en todas las estaciones de monitoreo. En el caso del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, las reducciones oscilan entre -13,3% (Casa de Justicia - Itagüí) y -21,3% (Tráfico Centro - Medellín), las cuales se vieron influenciadas por la aplicación de las medidas contempladas en el Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire; por su parte, el sistema de vigilancia operado por

CORPOCESAR presentó disminuciones que fluctuaron entre -24,2% (ZM22 - Casacará) y -57,4% (La Jagua - Vía) influenciadas por la mejora en las vías y por la aplicación del programa de reducción de la contaminación para áreas fuente, el cual cuenta con la participación de la comunidad, de las entidades públicas municipales y de los correspondientes proyectos mineros.

En cuanto a la Secretaría Distrital de Ambiente, se presentaron menores concentraciones promedio anual en todas las estaciones de monitoreo, con valores que varían entre -6,8% (Tunal) y -19,1%

(Usaquén). Este cambio positivo, también se ve reflejado en la reducción de los días en los cuales se presentaron excedencias al nivel máximo permisible diario.

A pesar de los buenos resultados mostrados por la totalidad de estaciones que evaluaron este parámetro, es necesario que las Autoridades Ambientales en conjunto con las entidades locales y departamentales encaminen sus esfuerzos para dar cumplimiento al nivel objetivo planteado por la Resolución 2254 de 2017 como de obligatorio cumplimiento para el año 2030.

Figura 4.13. Variación del promedio anual de Partículas Menores a 2.5 micras (PM_{2.5}) para las estaciones de los SVCA que tienen una representatividad temporal igual o superior a 75%. Años 2016 y 2017.

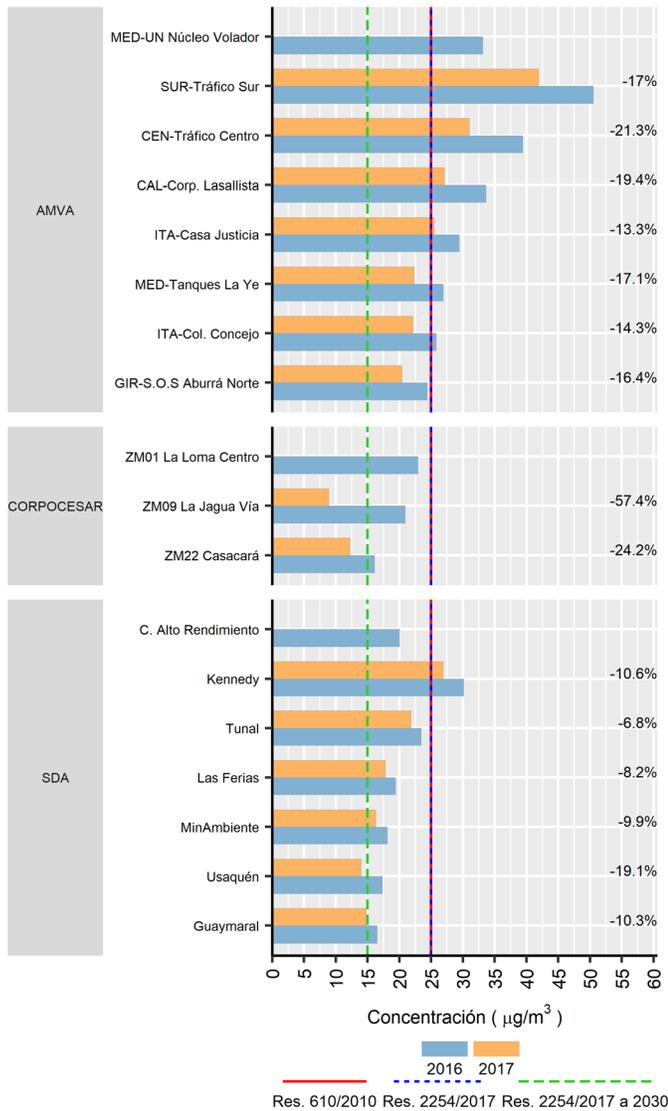
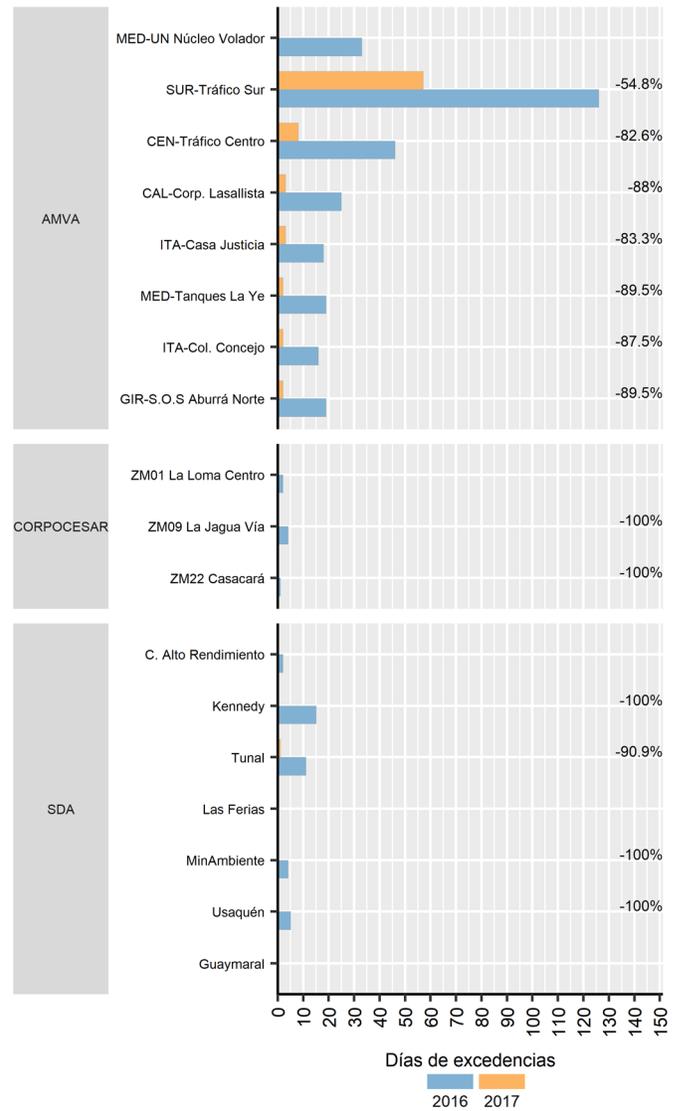


Figura 4.14. Variación anual de días con excedencias de Partículas Menores a 2.5 micras (PM_{2.5}) para las estaciones de los SVCA que tienen una representatividad temporal igual o superior a 75%. Años 2016 y 2017.



Índice de Calidad del Aire - ICA

Los resultados del cálculo del Índice de Calidad del Aire para este contaminante indican que es el que tiene mayor potencial de afectación sobre la salud de la población, debido a que en varias estaciones del país se reportan concentraciones Dañinas a la salud y Dañinas para Grupos Sensibles.

A nivel nacional, la estación de monitoreo que registro las concentraciones de material particulado menor a 2.5 micras más críticas fue Tráfico Sur (antes Metro La Estrella), localizada en competencia del AMVA, donde

se registraron concentraciones Dañinas a la Salud (0,7%), Dañinas a la Salud de Grupos Sensibles (53,1%) y Moderadas (46,2%), lo cual podría ocasionar efectos adversos en personas que se sometan a una exposición prolongada. En esta misma jurisdicción, los registros reportados por las demás estaciones de monitoreo se ubican predominantemente en categoría moderada, con valores porcentuales que oscilan entre 75,6% (Girardota - S.O.S Aburrá Norte) y 94% (Caldas - Corporación Lasallista).

En cuanto a la jurisdicción de SDA, el 6,2% de las mediciones de PM_{2.5} realizadas en la estación de monitoreo Carvajal - Sevillana se ubicaron en categoría Dañina a la Salud de Grupos Sensibles, el 90,6% en categoría moderada y únicamente el 3,2% en categoría buena, mientras que, las demás estaciones de monitoreo reportan gran cantidad de registros en categoría moderada, con reportes porcentuales que fluctúan entre 36,5% (Usaquén) y 84,8% (Kennedy).

En cuanto las estaciones de monitoreo Universidad del Valle (DAGMA) y Palmira - La Dolores (CVC) localizadas en el Departamento del Valle del Cauca, se obtuvieron concentraciones en categoría moderada durante el 83,7% y el 63% del tiempo total de medición.

Figura 4.15. Índice de calidad del aire para Partículas Menores a 2.5 micras (PM_{2.5}) en 2017 para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%.

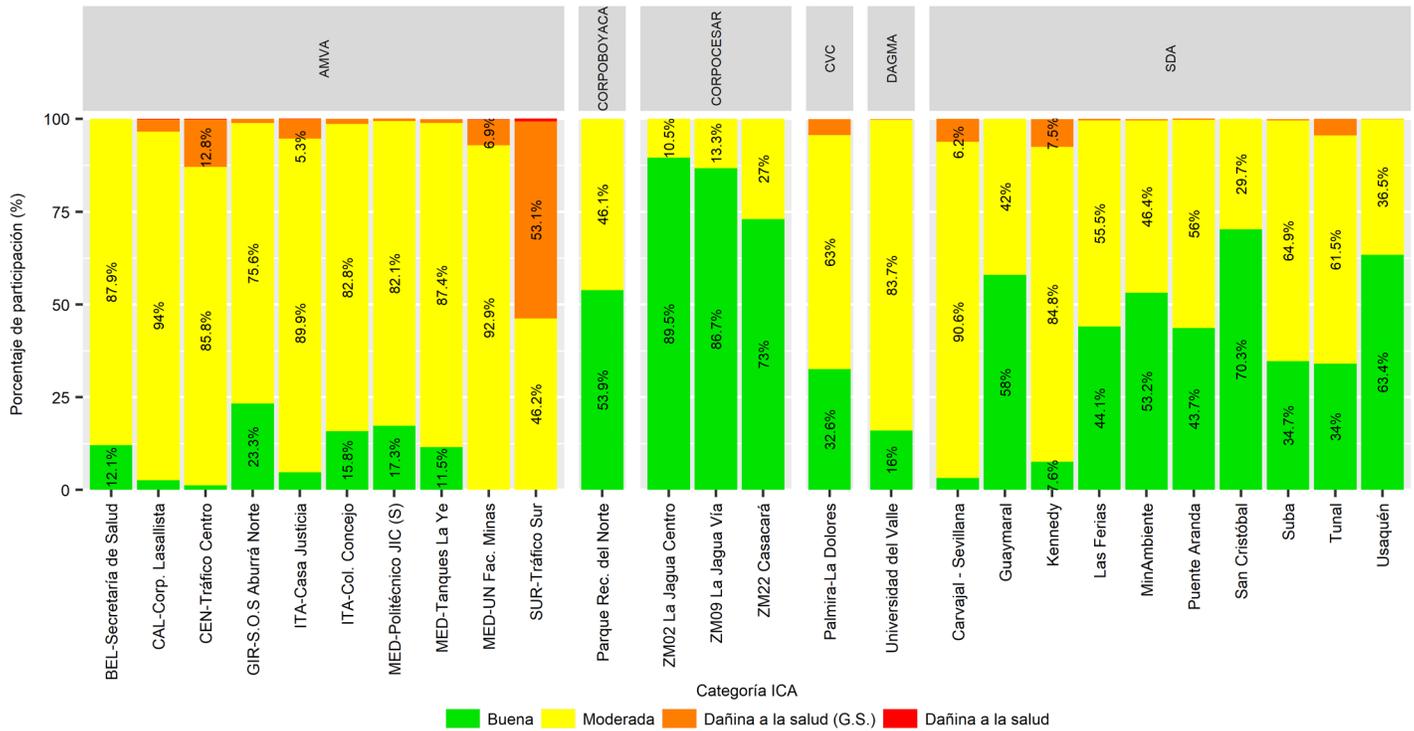
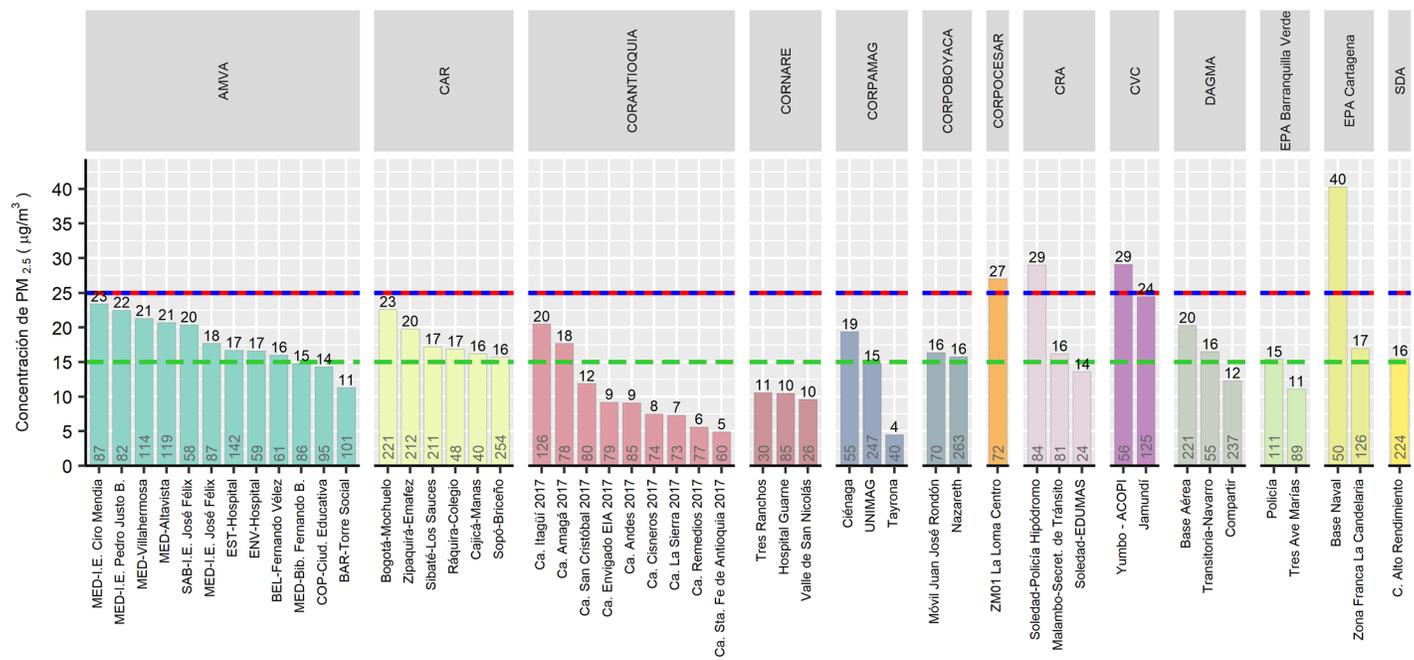


Figura 4.16. Concentraciones promedio anual de Partículas Menores a 2.5 micras (PM_{2.5}) en 2017 para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal inferior a 75%.



El número que se muestra en la parte superior de cada barra representa el promedio anual del contaminante mientras que el ubicado en la parte inferior es el número de muestras válidas tomadas durante el año.

Res. 610/2010 Res. 2254/2017 Res. 2254/2017 a 2030

Estaciones de monitoreo con representatividad temporal inferior al 75%

Las estaciones de monitoreo ZMo1 - La Loma Centro (CORPOCESAR), Soledad - Policía Hipódromo (CRA), Yumbo - ACOPI (CVC) y Base Naval (EPA Cartagena) registraron concentraciones promedio indicativas que superan el nivel máximo permisible anual de $PM_{2.5}$ establecido por las Resoluciones 610 de 2010 y 2254 de 2017, lo que conlleva a que las correspondientes Autoridades Ambientales refuercen las medidas de prevención y control para evitar la exposición de la población a altas concentraciones de este contaminante.

4.4. Dióxido de Nitrógeno - NO_2

La Resolución 610 de 2010 contempla tres límites máximos permisibles para este parámetro, los cuales son $100 \mu g/m^3$, $150 \mu g/m^3$ y $200 \mu g/m^3$ para los tiempos de exposición anual, diario y horario, respectivamente, los cuales fueron modificados por la Resolución 2254 de 2017, a niveles de $60 \mu g/m^3$ para el tiempo de exposición anual y de $200 \mu g/m^3$ para una exposición horaria.

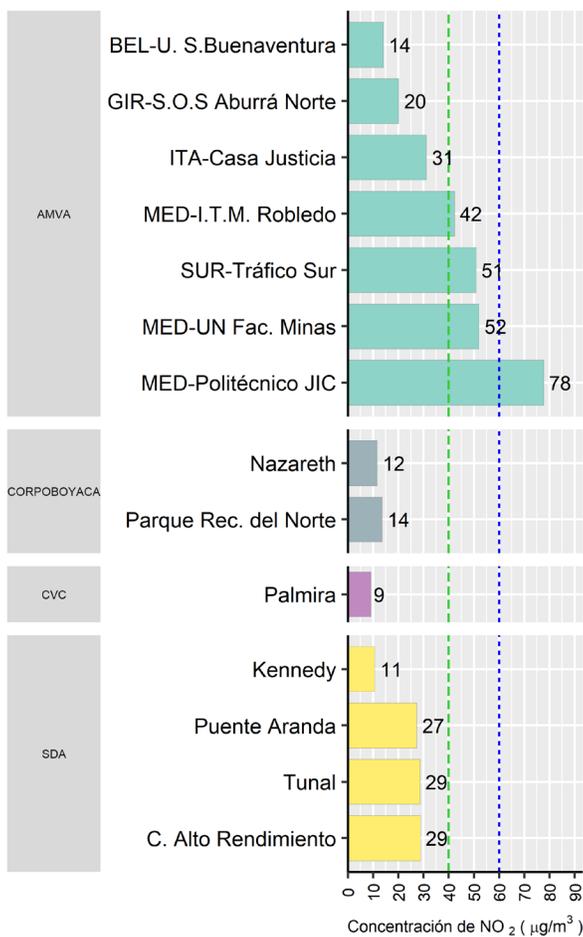
Concentraciones promedio anuales

Durante el año 2017, las concentraciones de este contaminante a nivel nacional se encontraron en niveles inferiores al 80% del nivel máximo permisible anual contemplado

en la Resolución 610 de 2010, siendo la estación Medellín - Politécnico Jaime Izasa Cadavid la que registra las mayores concentraciones de este contaminante ($78 \mu g/m^3$). Sin embargo, esta estación presentaría sobrepasos si la evaluación se realizaría frente al límite normativo contemplado en la Resolución 2254 de 2017 (la cual entró en vigencia a partir del 1 de enero de 2018).

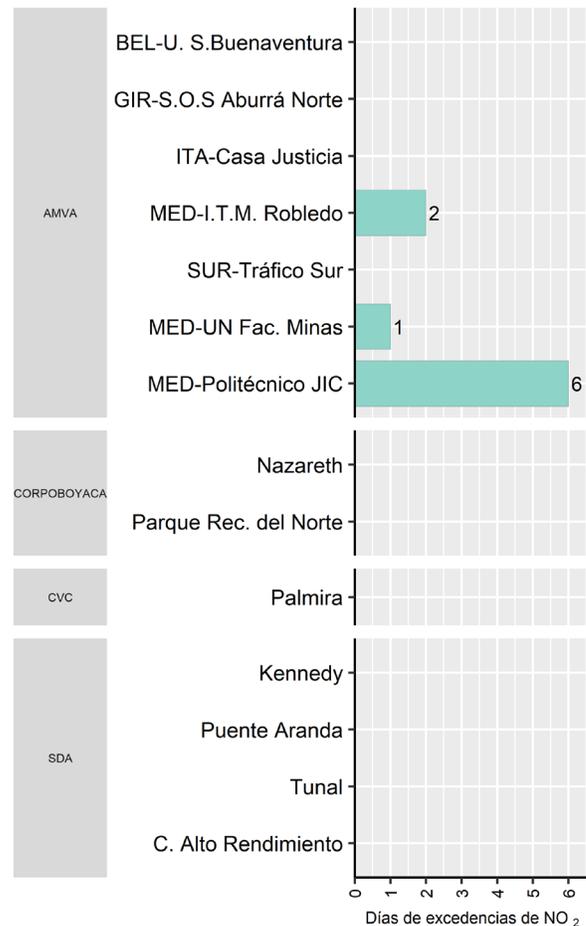
En cuanto al cumplimiento del nivel máximo permisible que entrará en vigencia en el año 2030, se observa que, a nivel nacional 10 estaciones de monitoreo dan cumplimiento a dicha norma, lo que conlleva a que las correspondientes autoridades ambientales realicen planes y programas preventivos para evitar el incremento de dicho nivel.

Figura 4.17. Concentraciones promedio anual de Dióxido de Nitrógeno (NO_2) en 2017 para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%.



Res. 610/2010 Res. 2254/2017 Res. 2254/2017 a 2C

Figura 4.18. Días con excedencias al nivel máximo permisible diario para Dióxido de Nitrógeno (NO_2) en 2017, para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%.



Excedencias al nivel máximo diario

Durante el año 2017, se presentaron excedencias al nivel máximo diario (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) contemplado en la Resolución 610 de 2010, en las estaciones de monitoreo Universidad Nacional Facultad de Minas, I.T.M. Robledo y Politécnico Jaime Isaza Cadavid, localizadas en la ciudad de Medellín en jurisdicción de Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Tendencias anuales 2016 - 2017

Las estaciones de monitoreo Centro de Alto Rendimiento, Tunal y Puente Aranda, localizadas en jurisdicción de la SDA, presentaron reducciones en las concentraciones de NO_2 de -11,7%, -10,1% y 16% respectivamente, mientras que, Medellín - Politécnico Jaime Isaza Cadavid e Itagüí - Casa de Justicia, reportaron incrementos porcentuales de 66,5% y 13,1%, por lo que el Área Metropolitana del Valle de Aburrá deberá incrementar los

controles en las fuentes fijas y móviles que producen este contaminante, con el objetivo de reducir su concentración.

Con respecto a la variación de los días con excedencias, se observa un incremento en la frecuencia de ocurrencia de estos eventos, en las estaciones de monitoreo localizadas en jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, y una reducción en los reportes de este indicador en la estación el Tunal (SDA), la cual era la única que había reportado alguna excedencia en el periodo 2011 - 2016.

Figura 4.19. Variación del promedio anual de Dióxido de Nitrógeno (NO_2) para las estaciones de los SVCA que tienen una representatividad temporal igual o superior a 75%. Años 2016 y 2017.

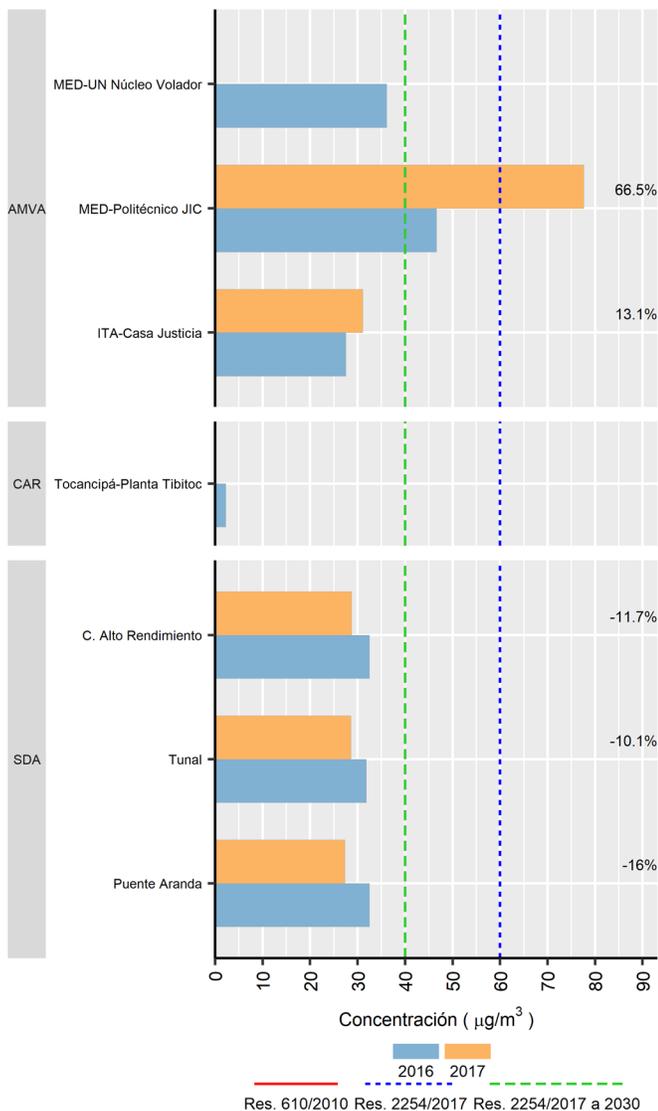


Figura 4.20. Variación anual de días con excedencias de Dióxido de Nitrógeno (NO_2) para las estaciones de los SVCA que tienen una representatividad temporal igual o superior a 75%. Años 2016 y 2017.

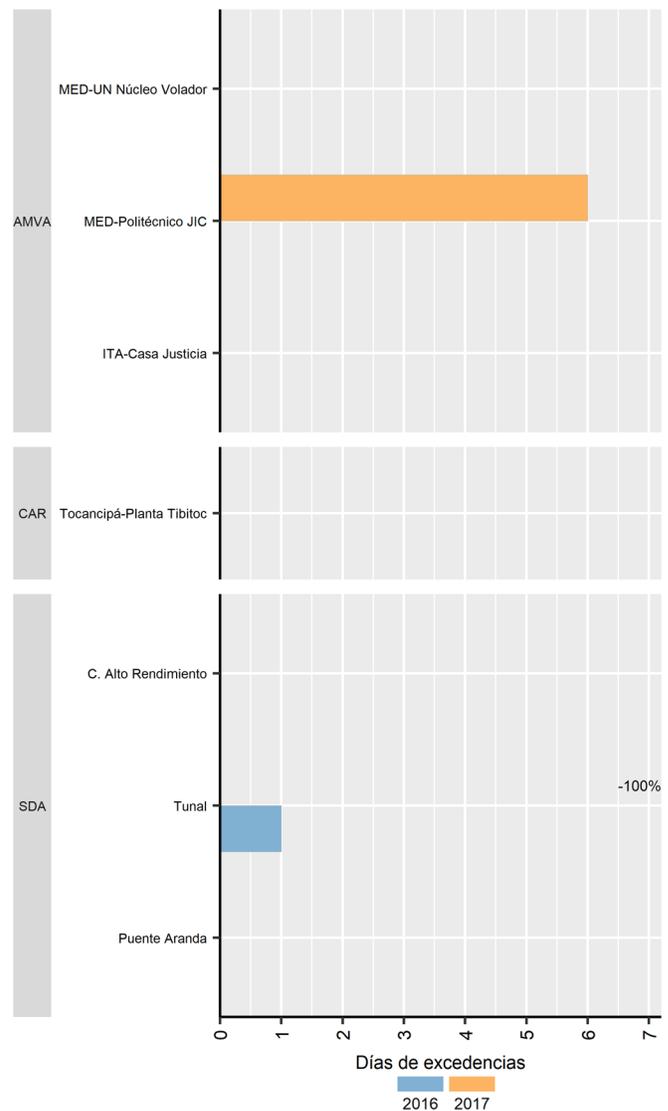
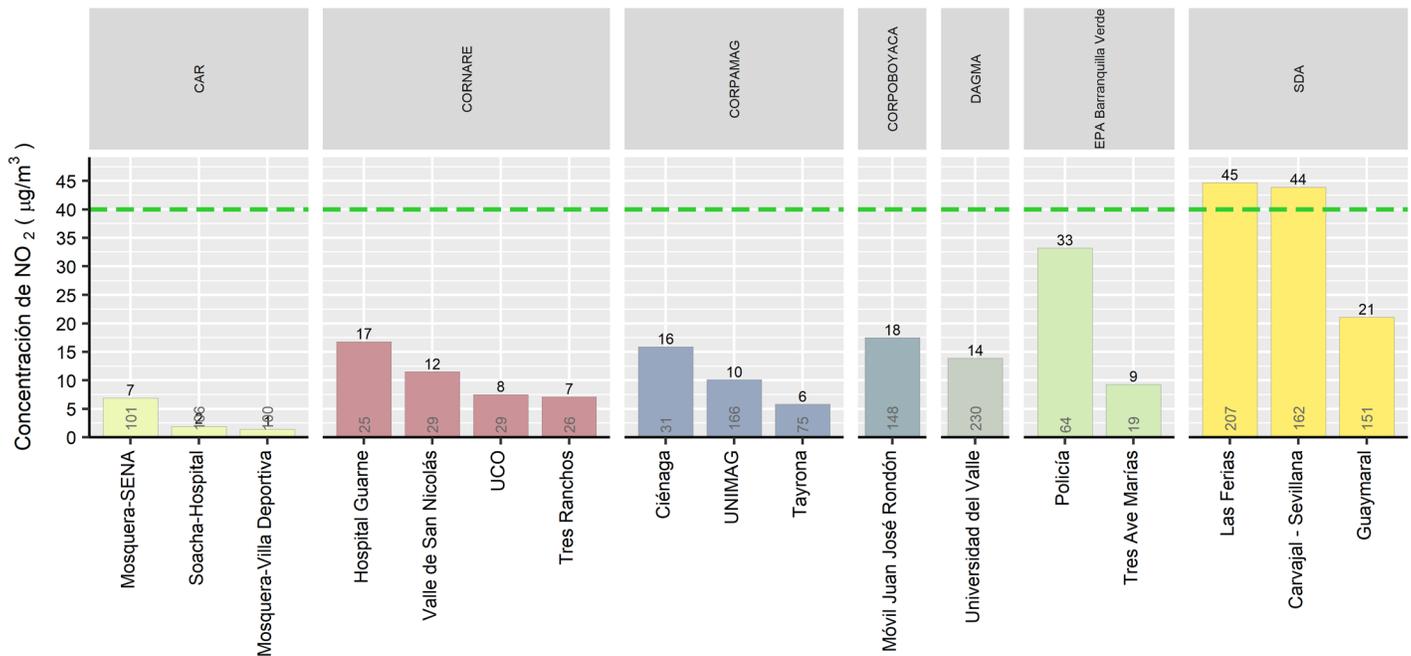


Figura 4.21. Concentraciones promedio anual de Dióxido de Nitrógeno (NO₂) en 2017 para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal inferior a 75%.



El número que se muestra en la parte superior de cada barra representa el promedio anual del contaminante mientras que el ubicado en la parte inferior es el número de muestras válidas tomadas durante el año.

Res. 610/2010 Res. 2254/2017 Res. 2254/2017 a 2030

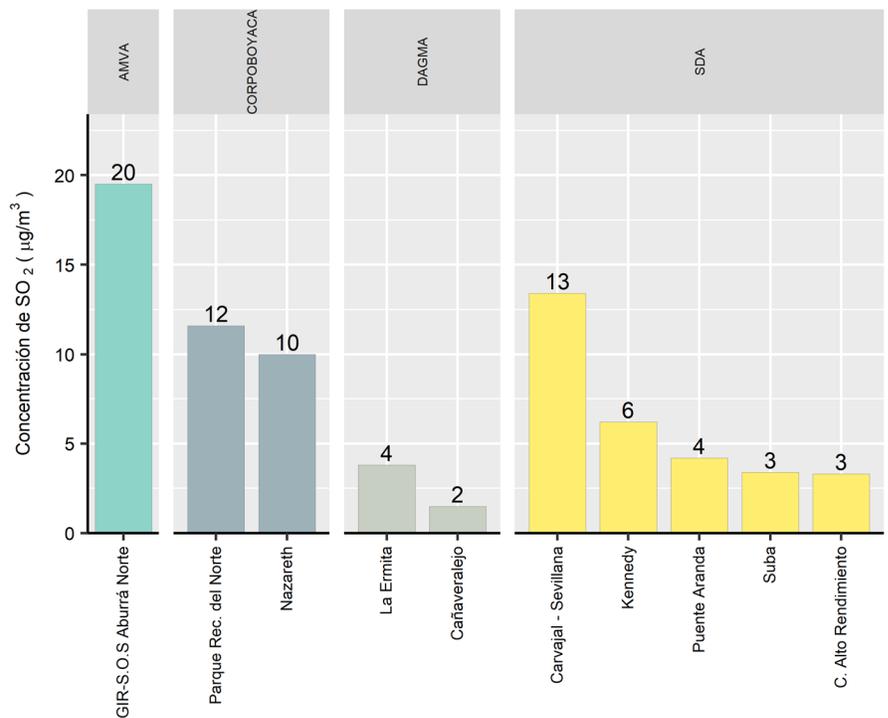
Estaciones de monitoreo con representatividad temporal inferior al 75%

En las estaciones de monitoreo con representatividad temporal inferior al 75%, de manera indicativa, se observa el cumplimiento de los niveles máximos permisibles promedio anual contemplados en las Resoluciones 610 de 2010 y 2254 de 2017, por lo que las Autoridades Ambientales deberán implementar acciones para mejorar la tasa de operación de los equipos, así como planes preventivos que eviten el incremento de las concentraciones de este contaminante.

4.5. Dióxido de Azufre - SO₂

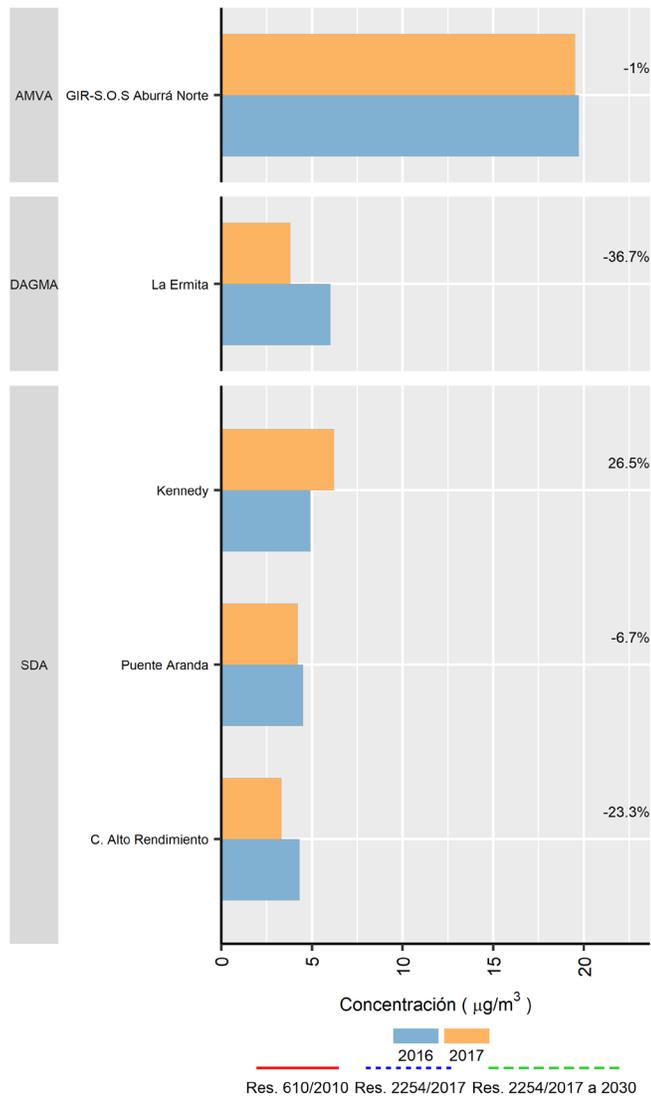
Los niveles máximos se encuentran regulados por la Resolución 610 de 2010, la cual establece que no deben sobrepasarse los 80 µg/m³, 250 µg/m³ y 750 µg/m³ en tiempos de exposición de 1 año, 24 horas y 3 horas (promedios móviles). Por su parte, la Resolución 2254 de 2010 define el cumplimiento de 50 µg/m³ y 100 µg/m³ para tiempos de exposición diarios y horarios respectivamente.

Figura 4.22. Concentraciones promedio anual de Dióxido de Azufre (SO₂) en 2017 para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%.



Res. 610/2010

Figura 4.23. Días con excedencias al nivel máximo permisible diario para Partículas Menores a 10 micras (PM10) en 2017 para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%.



Concentraciones promedio anuales

Durante el año 2017, las máximas concentraciones obtenidas a nivel nacional correspondieron al 25% del nivel máximo permisible, lo cual refleja el bajo potencial de afectación que tiene este contaminante, sobre la salud de la población y el ambiente.

La estación de monitoreo que registró las mayores concentraciones fue Girardota - S.O.S. Aburrá Norte, localizada en jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. En segundo lugar, se ubicó la estación de monitoreo Carvajal - Sevilla, ubicada en la capital de la república, en donde el promedio anual de este contaminante fue de 13 µg/m³.

En cuanto a las estaciones de monitoreo localizadas en jurisdicción de CORPOBOYACÁ, registraron valores promedio anual que no superan los 12 µg/m³.

Los registros promedio anual más bajos a nivel nacional se registraron en el sistema de vigilancia del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), donde las concentraciones reportadas no superan los 4 µg/m³ promedio anual.

Excedencias al nivel máximo diario

Durante el año 2017, no se presentaron excedencias al nivel máximo diario, ni al límite establecido para este contaminante en un tiempo de exposición de tres horas.

La máxima concentración diaria fue 41,7 µg/m³, la cual fue registrada en la estación Girardota - S.O.S. Aburrá Norte (AMVA), y es ampliamente inferior al nivel máximo permisible de 250 µg/m³.

Por su parte, el promedio móvil de 3 horas más alto registrado durante el año 2017, se presentó en Parque Recreacional (CORPOBOYACÁ), donde se alcanzó una concentración de 157,4 µg/m³, valor que es notablemente inferior a los 750 µg/m³, establecidos como nivel máximo permisible para este periodo de exposición.

Tendencias anuales 2016 - 2017

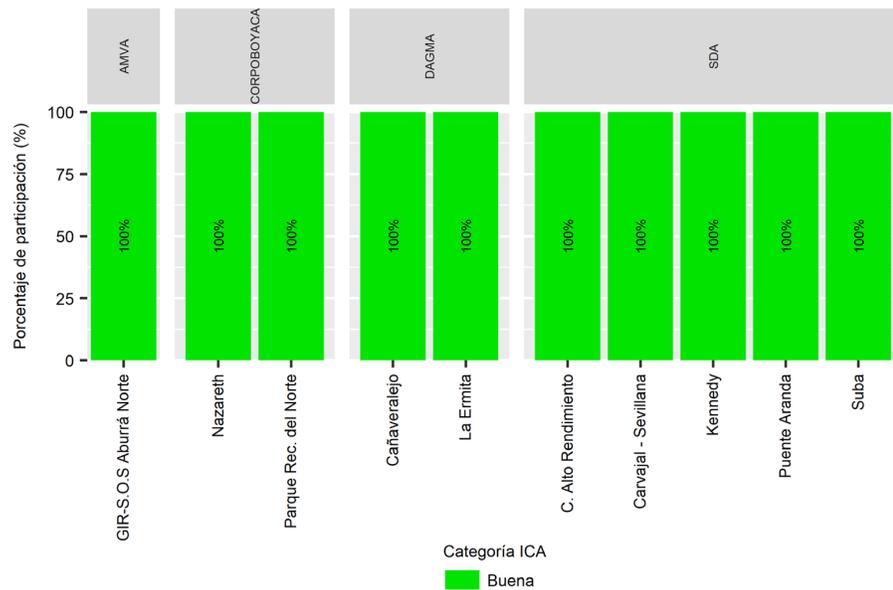
La estación de monitoreo Kennedy (SDA), reportó un incremento porcentual de 26,5%, con respecto a las concentraciones reportadas en el año 2016.

Por su parte, las estaciones de monitoreo Girardota S.O.S. Aburrá Norte (AMVA), Cali - La Ermita (DAGMA), Puente Aranda y Centro de Alto Rendimiento (SDA), registraron menores concentraciones, con variaciones porcentuales que oscilan entre -1% y -36,7%.

Índice de Calidad del Aire (ICA)

El Índice de calidad del aire obtenido para este contaminante revela que todas las concentraciones registradas a lo largo del año 2017 se ubicaron en la categoría buena, por lo que se descarta cualquier afectación o sintomatología asociada a la presencia de altas concentraciones de este contaminante en la atmósfera.

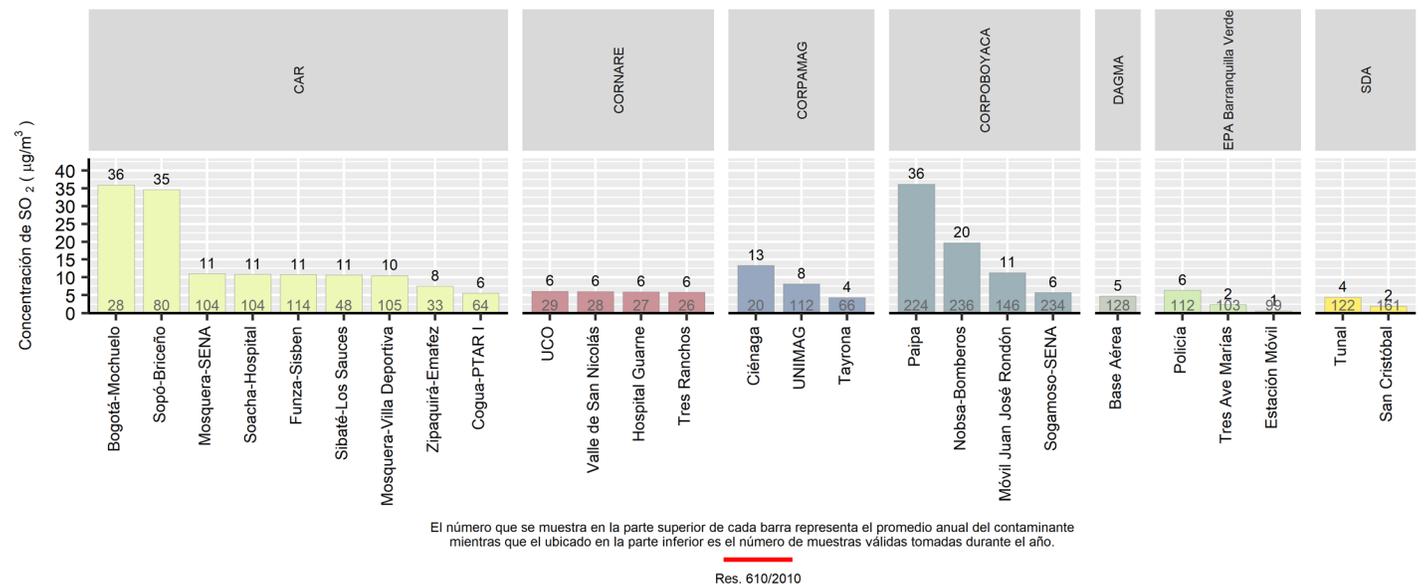
Figura 4.24. Índice de calidad del aire para Dióxido de Azufre (SO₂) en 2017 para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%.



Estaciones de monitoreo con representatividad temporal inferior al 75%

Las estaciones de monitoreo Bogotá - Mochuelo y Sopó - Briceño, ubicadas en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, y la estación Paipa localizada en el área de competencia de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá - CORPOBOYACÁ, registraron concentraciones más altas que las observadas en los puntos que cumplieron con la representatividad temporal. Sin embargo, estos reportes cumplen ampliamente el nivel máximo permisible anual adoptado a través de la Resolución 610 de 2010.

Figura 4.25. Concentraciones promedio anual de Dióxido de Azufre (SO₂) en 2017 para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal inferior a 75%.



4.6. Ozono Troposférico - O₃

Las estaciones de monitoreo que evaluaron este contaminante y que cumplieron con el criterio de representatividad temporal superior al 75 %, se encuentran ubicadas en jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente de Cali, del Establecimiento Público Ambiental de Cartagena, de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá y de la Secretaria Distrital de Ambiente.

La Resolución 2254 de 2017, establece un nivel máximo permisible de 100 µg/m³ para un tiempo de exposición de 8 horas. Por su parte, la Resolución 610 de 2010, establece los niveles máximos permisibles de O₃ en 120 µg/m³ y 80 µg/m³ para tiempos de exposición de 1 hora y 8 horas, respectivamente. En este contaminante no existe un límite anual y, por tanto, la evaluación del comportamiento de los promedios anuales carece de un valor de comparación.

Excedencias al nivel máximo octohorario

Las estaciones de monitoreo Universidad del Valle (168 días) y Pance (113 días), localizadas en jurisdicción del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) de la ciudad de Cali, son las que, a nivel nacional, presentan la mayor cantidad de días con excedencias al límite máximo permisible establecido para un tiempo de exposición de ocho horas.

Por su parte, los registros obtenidos en el SVCA del Área Metropolitana del Valle de Aburrá muestran un número significativo de excedencias en varias estaciones de monitoreo, siendo Itagüí - Colegio Concejo (118 días), la que reportó la mayor cantidad de registros que superan el nivel máximo octohorario.

Por su parte, los registros obtenidos en las estaciones de monitoreo pertenecientes a los SVCA de CDMB, CORPOBOYACÁ, EPA Cartagena y SDA, reportaron al menos un día con excedencias al promedio octohorario, por lo que deben reforzarse los controles en las emisiones de los precursores que dan origen a esta sustancia.

Figura 4.26. Días con excedencias al nivel máximo permisible octohorario para Ozono (O₃) en 2017, para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%.

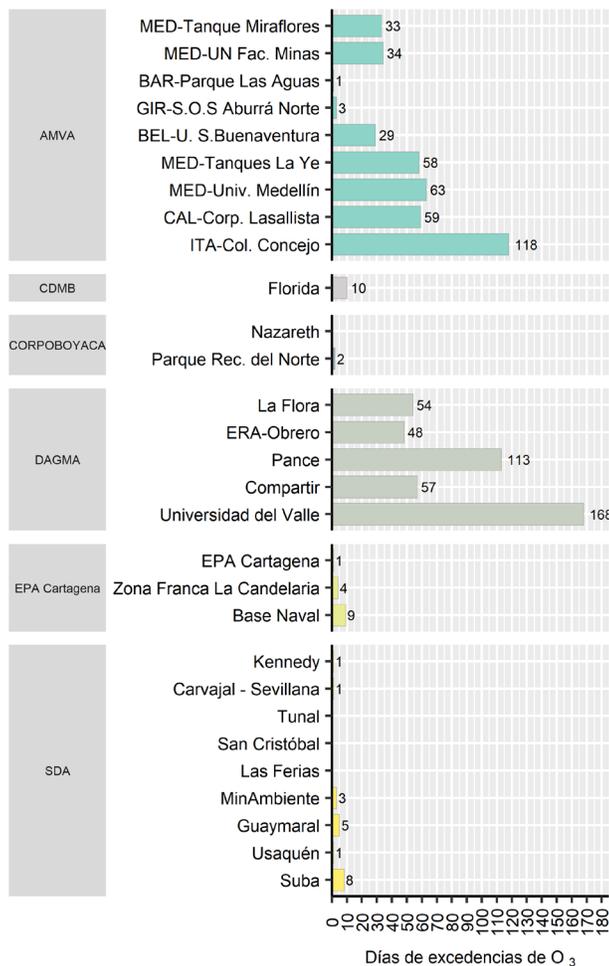
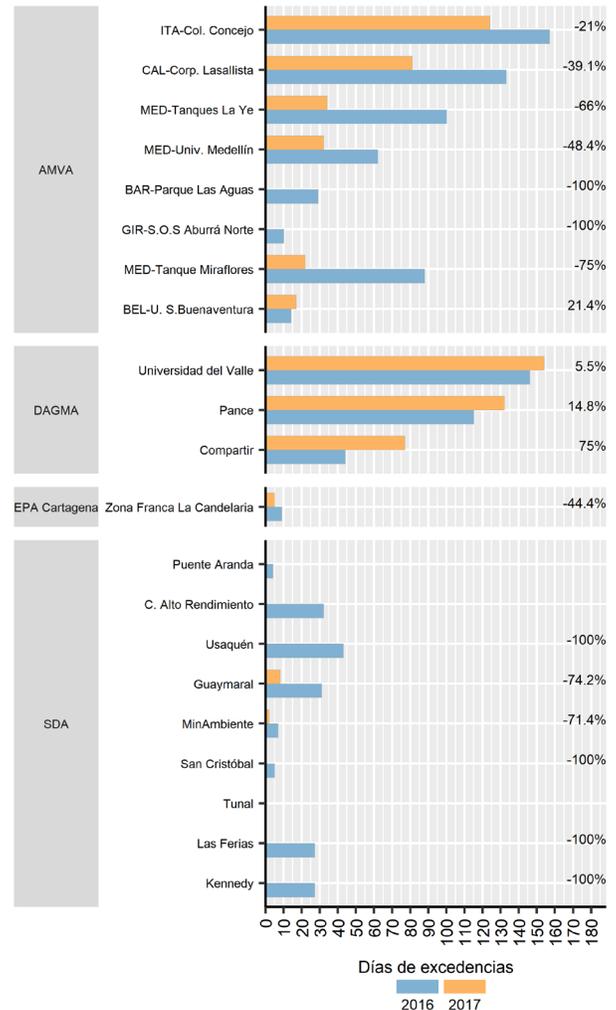


Figura 4.27. Variación anual de días con excedencias de Ozono (O₃) para las estaciones de los SVCA que tienen una representatividad temporal igual o superior a 75%. Años 2016 y 2017.



Tendencias anuales 2016 - 2017

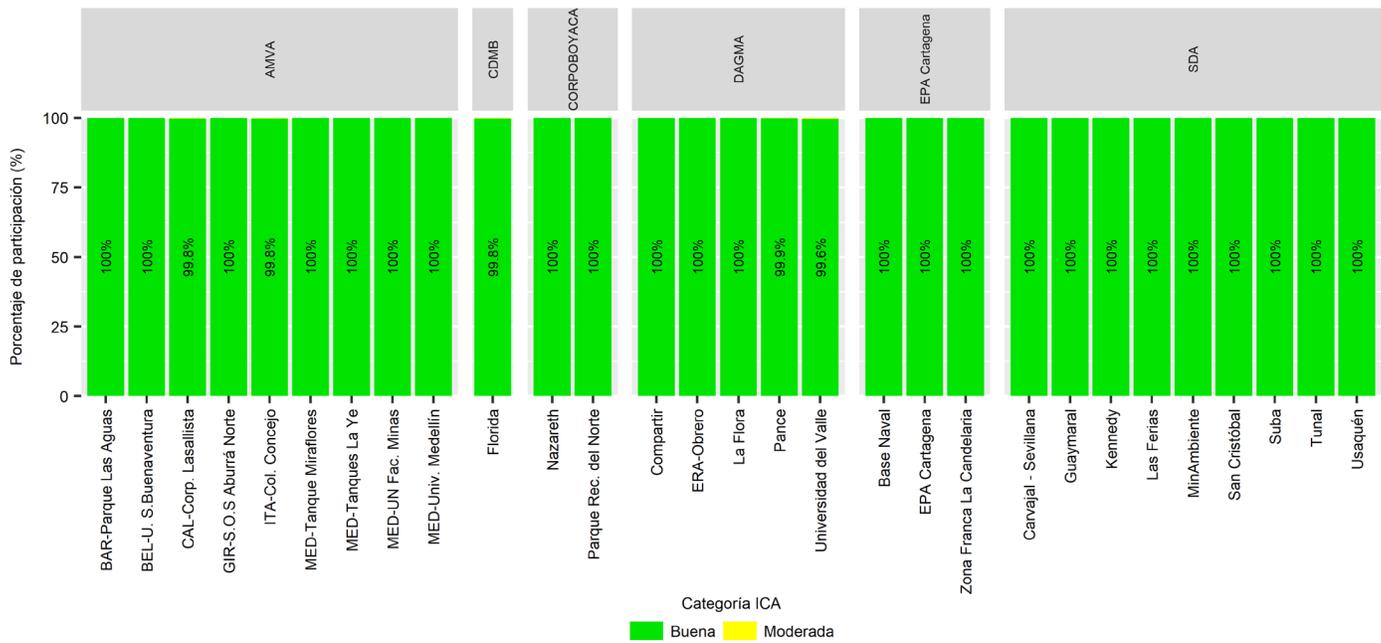
La mayoría de las estaciones de monitoreo que evaluaron esta variable reportan reducción en el número de días en los cuales se excede el nivel máximo promedio octohorario establecido por la Res. 610 de 2010 para esta variable.

Sin embargo, las estaciones de monitoreo Pance, Universidad del Valle y Compartir, localizadas en Santiago de Cali (DAGMA), y Universidad San Buenaventura en Bello (AMVA), fueron las únicas estaciones de monitoreo que mostraron incremento en el número de días con excedencias al nivel promedio octohorario. La variación porcentual de los correspondientes aumentos oscila entre 5,5% y 75%.

Índice de Calidad del Aire - ICA

El 100% de las mediciones realizadas para este contaminante se ubicaron en la categoría buena, descartando cualquier efecto a la salud de la población expuesta a las concentraciones reportadas.

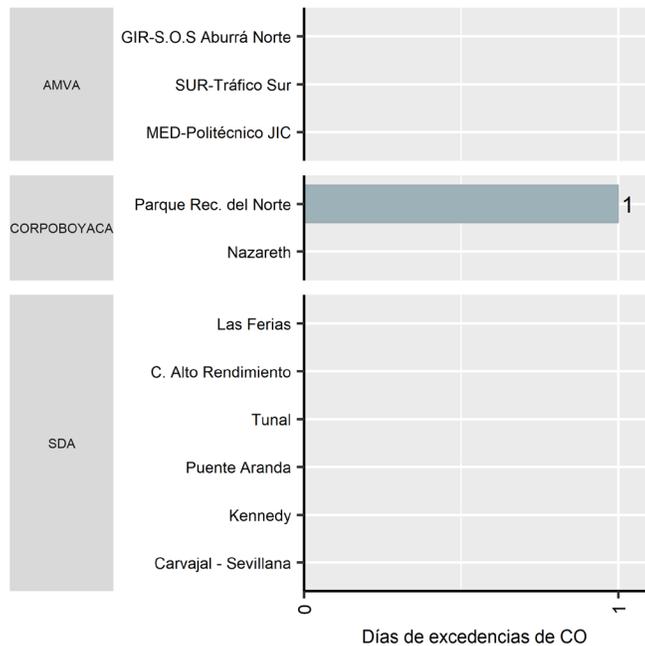
Figura 4.28. Índice de calidad del aire para Ozono (O₃) en 2017 para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%.



4.7. Monóxido de Carbono - CO

Este gas es producto de la combustión incompleta, y la importancia de su seguimiento y control radica en que durante los procesos de respiración tiene la capacidad de sustituir al oxígeno en la hemoglobina de la sangre, por lo cual interfiere en la transferencia de oxígeno a los tejidos, lo cual en altas concentraciones puede ser mortal.

Figura 4.29. Días con excedencias al nivel máximo permisible octohorario para Monóxido de Carbono (CO) en 2017, para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal superior a 75%.



La Resolución 610 de 2010, establece los niveles máximos permisibles de CO en el aire ambiente, en 40.000 µg/m³ y 10.000 µg/m³ para tiempos de exposición de 1 hora y 8 horas, mientras que la Resolución 2254 de 2017, hizo más estrictos dichos niveles, al adoptarlos como 35.000 µg/m³ para un periodo de exposición de 1 hora y 5.000 µg/m³ para un periodo de 8 horas. Al igual que lo ocurrido con el Ozono, en este contaminante no existe un límite anual, por tanto, la evaluación del comportamiento de los promedios anuales carece de un valor de comparación.

Excedencias al nivel máximo octohorario.

Durante el año 2017, se presentó una excedencia al nivel máximo permisible establecido para un tiempo de exposición de 8 horas, en la estación de monitoreo Parque Recreacional del Norte localizada en jurisdicción de CORPOBOYACÁ. La concentración promedio octohorario alcanzada en este punto fue de 11.254 µg/m³.

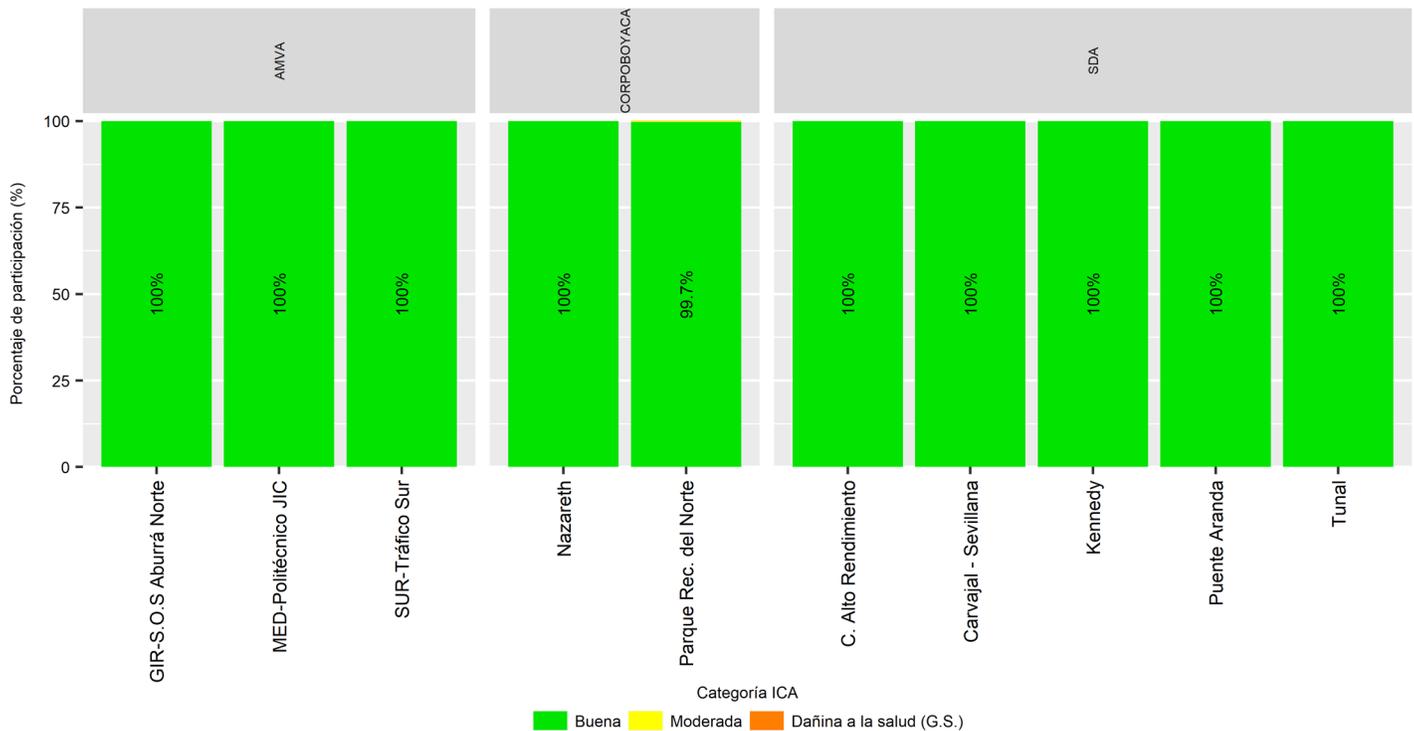
Tendencias anuales 2016 - 2017.

Parque Recreacional del Norte (CORPOBOYACÁ), es la primera estación de monitoreo que reporta excedencias al nivel máximo octohorario establecido por la Resolución 610 de 2010. Durante el periodo 2011 -2016 ninguna estación de monitoreo había reportado excedencia alguna a los límites horario y octohorario establecidos en la Resolución 610 de 2010, para esta sustancia contaminante.

Índice de Calidad del Aire - ICA

A nivel nacional, el 100% de las mediciones realizadas para este contaminante se ubican en la categoría del índice de calidad del aire “buena”, razón por la cual, los registros obtenidos, no representan ningún efecto adverso para la salud de la población y el ambiente.

Figura 4.30. Índice de calidad del aire para Monóxido de Carbono (CO) en 2017 para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%.



4.8. Evaluación del indicador de seguimiento de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire.

En el año 2010, el Consejo Nacional Ambiental realizó la adopción de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire, estableciendo un plan de acción con el objetivo de alcanzar niveles de calidad del aire que garanticen el bienestar del ser humano y el ambiente.

Para realizar el seguimiento, y evaluar la efectividad de las medidas implementadas, la política definió una serie de indicadores, entre los cuales se encuentra el “Porcentaje de estaciones de calidad del aire, reportando cumplimiento de la norma de calidad del aire en el país”.

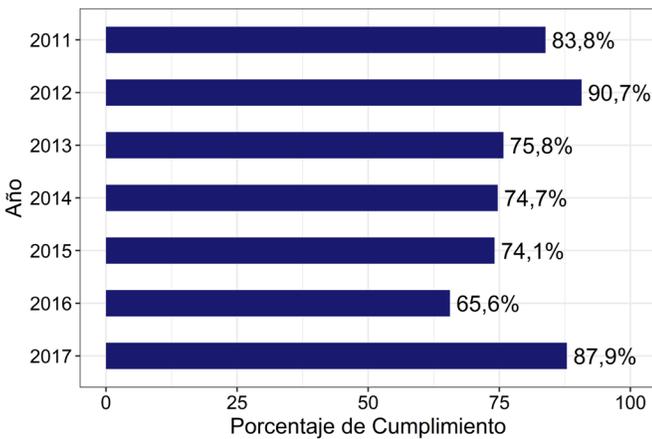
Con el fin de evaluar el estado de avance de dicho indicador, se realizó el correspondiente cálculo, a partir del total de estaciones que cumplieron con el criterio de representatividad temporal superior al 75%; para ello, y teniendo en cuenta que el aire es una mezcla de sustancias y partículas disueltas o suspendidas, se asumió que si alguna de las estaciones de monitoreo instaladas en el país incumplía la norma en alguno de los parámetros evaluados, la totalidad de la estación de monitoreo incumple con la norma de calidad del aire en el país.

$$\frac{\text{No. estaciones de monitoreo que incumplen en algún parámetro}}{\text{No. total de estaciones con representatividad temporal } \geq 75\%} * 100$$

Los resultados de dicho cálculo indican que el 87,9% de las estaciones de monitoreo de calidad del aire en el país reportan cumplimiento de los niveles de inmisión regulados por la Resolución 610 de 2010.

En comparación con el año inmediatamente anterior, el indicador tuvo un aumento de 22,3%, debido a la implementación de planes y programas de prevención y control de la contaminación atmosférica, al desarrollo de proyectos de producción más limpia y al cierre o suspensión de fuentes emisoras por parte de las Autoridades Ambientales.

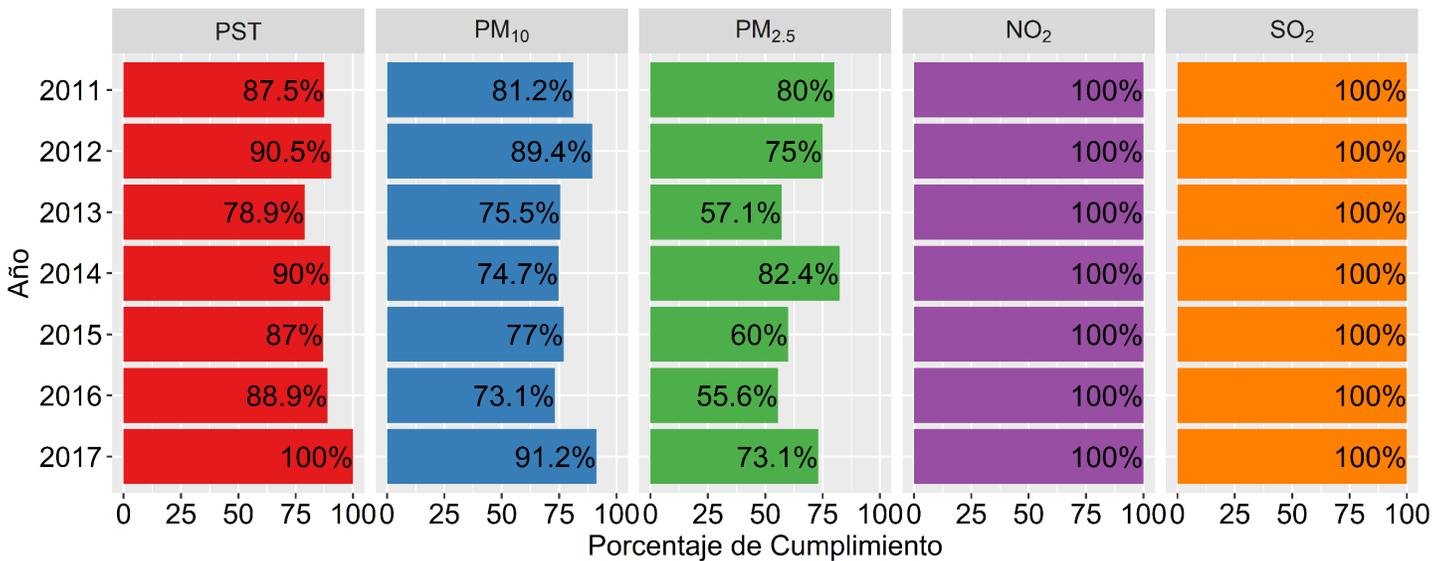
Figura 4.31. Porcentaje de estaciones que reportaron cumplimiento de la norma de calidad del aire durante 2011 - 2017.



La evaluación de este indicador por contaminante a nivel nacional, señala que el 91,2% de las estaciones de monitoreo que evaluaron material particulado menor a 10 micras (PM_{10}), reportaron cumplimiento de la normativa establecida para este parámetro, mientras que, del total de estaciones de monitoreo que evaluaron material particulado menor a 2,5 micras ($PM_{2,5}$), el 73,1% reportaron cumplimiento del nivel máximo permisible anual establecido por la Resoluciones 610 de 2010 y 2254 de 2017, para esta sustancia.

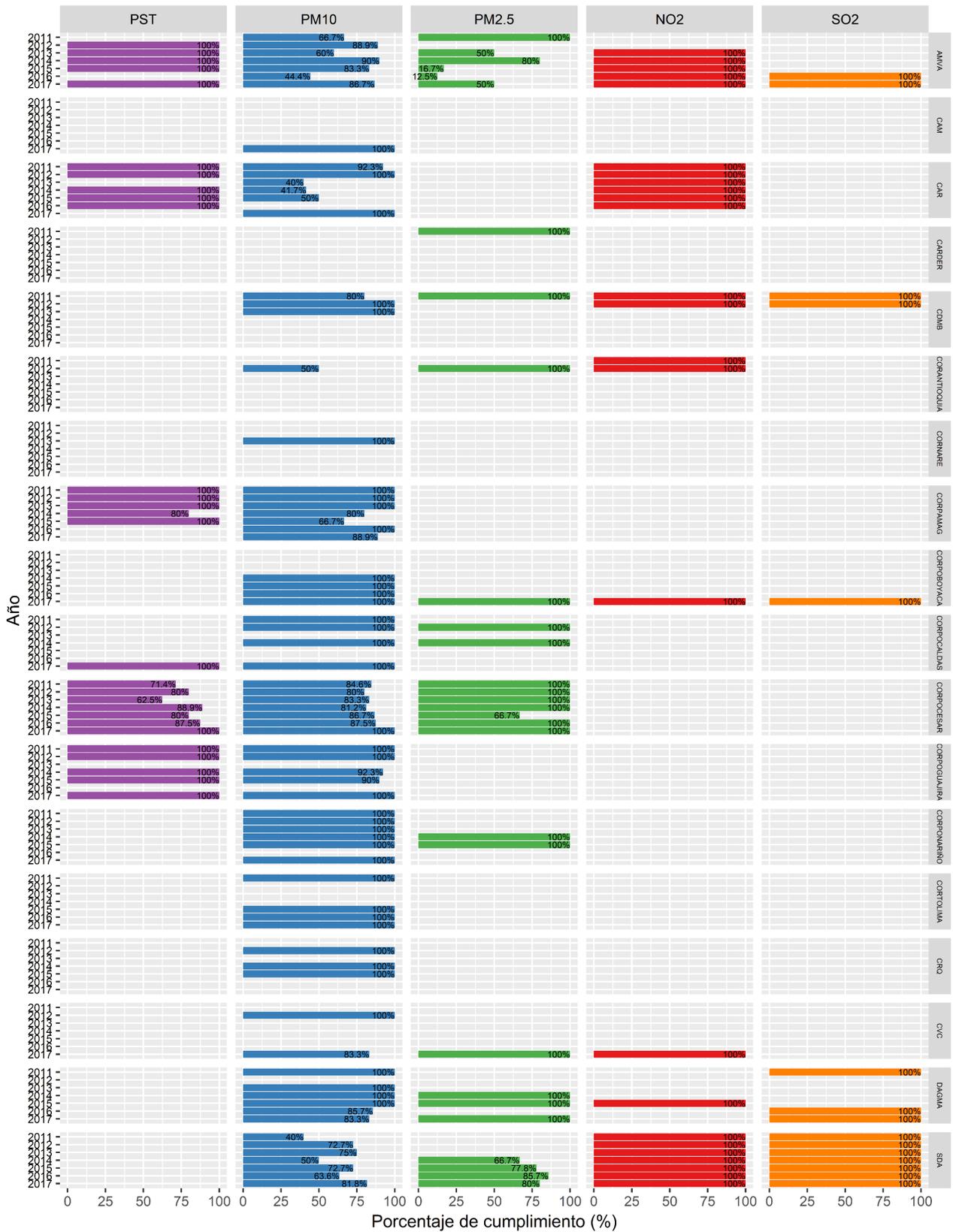
De igual manera, se destaca el cumplimiento del nivel máximo permisible anual en la totalidad de estaciones de monitoreo que evaluaron Partículas Suspensas Totales, Dióxido de Azufre y Dióxido de Nitrógeno.

Figura 4.32. Porcentaje de estaciones que reportaron cumplimiento de la norma de calidad del aire por parámetro durante 2017.



Por su parte, la valoración de este indicador por contaminante a nivel regional, indica que con excepción de los Sistemas de Vigilancia ubicados en jurisdicción del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) y de la Corporación Autónoma Regional del Magdalena (CORPAMAG), el porcentaje de cumplimiento normativo del material particulado menor a 10 micras se incrementó debido a la implementación de medidas eficaces de prevención y control. A pesar de los buenos resultados, el país debe realizar grandes esfuerzos técnicos y económicos para cumplir con los niveles establecidos por la Resolución 2254 de 2017 como obligatorios a partir del año 2030, lo cual permitiría la adopción de metas mucho más ambiciosas, como son los niveles guía de la OMS.

Figura 4.33. Porcentaje de estaciones que reportaron cumplimiento de la norma de calidad del aire, por Autoridad Ambiental y por parámetro, durante 2017.



5. INFLUENCIA DE LA METEOROLOGÍA EN LA CALIDAD DEL AIRE

La meteorología juega un papel fundamental en la dispersión, concentración y transporte de un contaminante en la atmósfera. De este modo influye en el comportamiento y permanencia de las diferentes sustancias contaminantes sobre una ciudad o región, lo cual conduce a la existencia de una alta variabilidad en las concentraciones evaluadas en una estación de monitoreo.

Por tal motivo, en el presente capítulo se realiza un análisis de cruce de contaminantes atmosféricos con datos de variables meteorológicas, reportados por las estaciones de monitoreo de calidad del aire.

De las catorce jurisdicciones que, durante el año 2017, realizaron seguimiento a sus variables meteorológicas (CODECHOCÓ, CORANTIOQUIA, AMVA, CORMACARENA, CORPAMAG, CDMB, CORPOBOYACÁ, CORPOCESAR, DAGMA, CORPOGUAJIRA, CORTOLIMA, EPA Barranquilla Verde, EPA Cartagena y SDA), se seleccionaron para el análisis las series que cumplen con el criterio de representatividad temporal superior al 75%, siguiendo de este modo los lineamientos establecidos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.

Una vez seleccionadas las series, se realizó el procesamiento de las bases de datos a través del software computacional de código abierto R (R Core Team, 2017), donde para los análisis específicos se utilizó el paquete openair (Carlsaw & Ropkins, 2012; Carlsaw D. C., 2015) el cual proporciona herramientas para análisis especializados en calidad del aire, incluyendo cruces con meteorología. Los resultados obtenidos permiten establecer el origen, destino, variabilidad e influencia de los contaminantes atmosféricos en la zona circundante de cada una de las estaciones analizadas.

Debido a la disponibilidad de información, y a la representatividad de sus series, el presente análisis se centra en los sistemas de vigilancia de calidad del aire operados por la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), el

Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), la Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR) y la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CORPOBOYACÁ).

5.1. Secretaría Distrital de Ambiente (SDA).

Las concentraciones de Material Particulado Menor a 10 micras (PM_{10}), reportadas por las once (11) estaciones de monitoreo administradas y operadas por la Secretaría Distrital de Ambiente, revelan que en los meses de febrero y noviembre, cuando se presenta tiempo seco, se reportan las más altas concentraciones, lo cual está asociado a las bajas temperaturas que se producen durante la noche, que impiden el ascenso y dispersión de los contaminantes, por lo que las concentraciones evaluadas son mucho más altas.

Figura 5.1. Variación temporal del Material Particulado Menor a 10 micras (PM_{10}) en las estaciones de la SDA durante 2017.

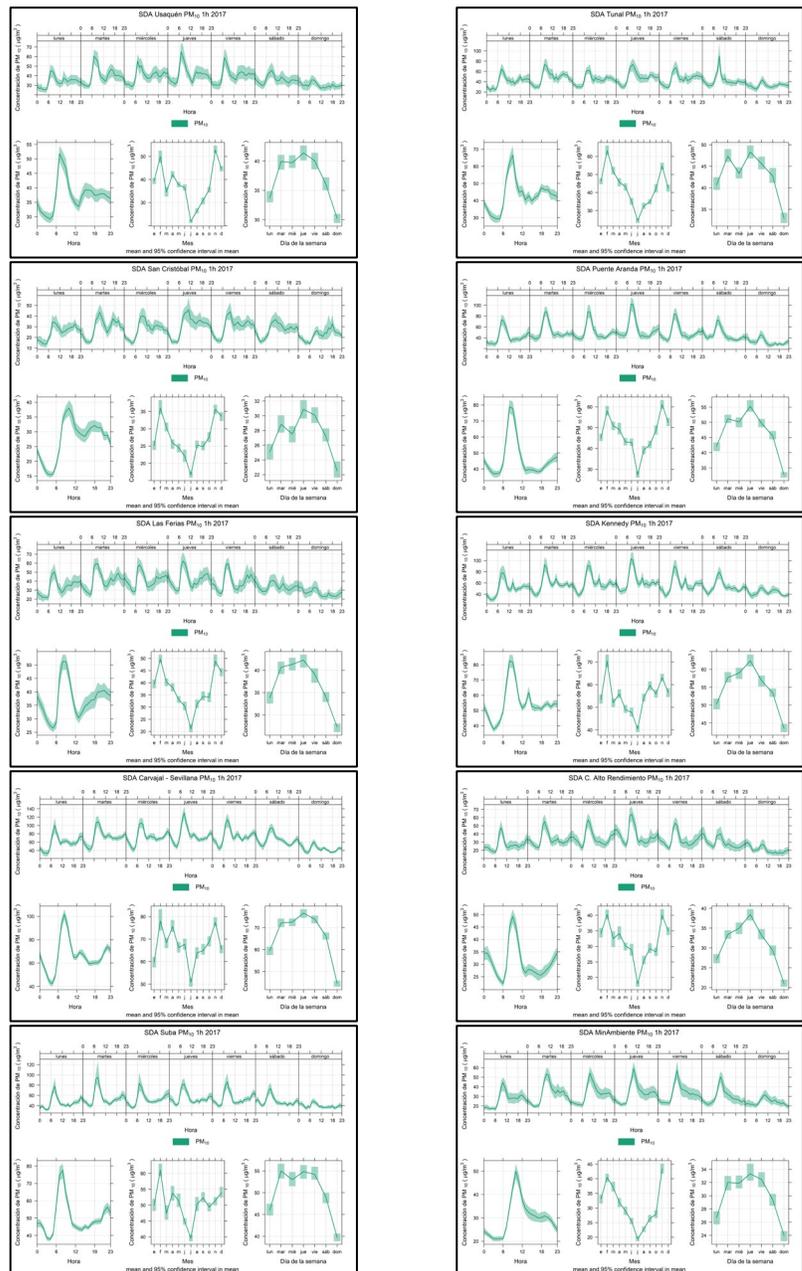
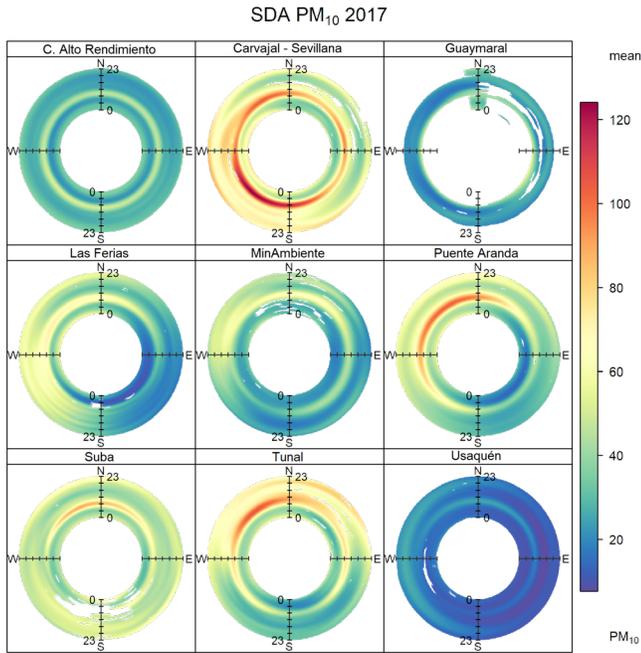


Figura 5.2. Calendario de contaminación para las estaciones de la Secretaría Distrital de Ambiente que evaluaron Material Particulado Menor a 2.5 micras (PM_{2.5}) durante el año 2017.



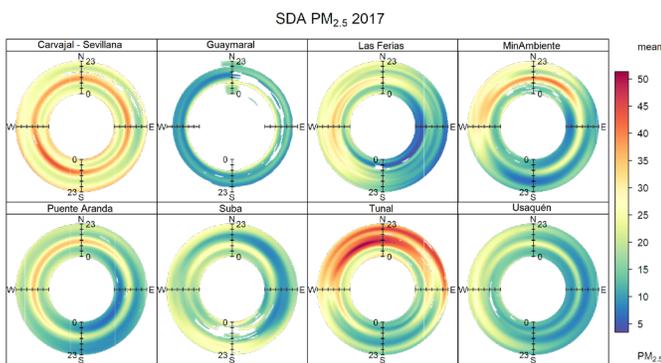
Durante 2017, las concentraciones más altas de material particulado menor a 2.5 micras (PM_{2.5}) se presentaron en los meses de febrero, marzo y noviembre debido a la frecuente formación de inversiones térmicas.

Figura 5.3. Diagrama polar anular, para las estaciones de monitoreo de la Secretaría Distrital de Ambiente que evaluaron PM_{10} durante 2017.



En lo que respecta a los diagramas polares anulares, obtenidos para PM_{10} y $PM_{2.5}$, se aprecia la influencia de los horarios de mayor tráfico vehicular sobre los resultados obtenidos en la mayoría de las estaciones de monitoreo, siendo muy notoria en las estaciones de monitoreo Tunal, Puente Aranda, Carvajal - Sevilla y MinAmbiente.

Figura 5.4. Diagrama polar anular, para las estaciones de monitoreo de la Secretaría Distrital de Ambiente que evaluaron $PM_{2.5}$ durante 2017.

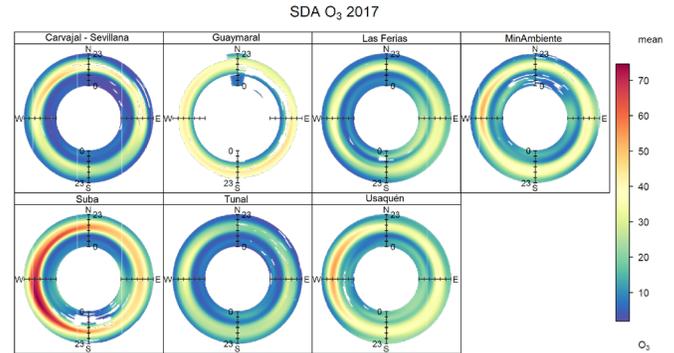


Estas estaciones de monitoreo registran altas concentraciones de partículas en los horarios de 8:00 am a 10:00 am, en las cuales se presenta la mayor cantidad de vehículos circulando a lo largo y ancho de la ciudad.

En cuanto al diagrama polar anular, correspondiente al contaminante ozono, las concentraciones obtenidas en jurisdicción de las estaciones administradas por la Secretaría Distrital de Ambiente, revelan que las mayores concentraciones se registran hacia medio día, y que las estaciones de monitoreo con mayor afectación en este horario

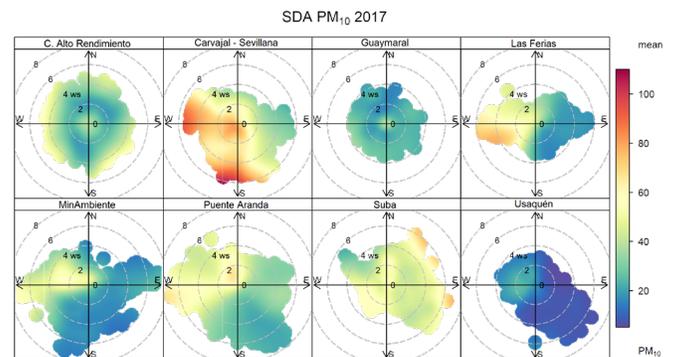
corresponden a las localizadas en zonas con poca actividad industrial, alta presencia de áreas verdes o zonas periurbanas. Lo anterior se explica, porque en el centro de la ciudad, en las zonas con alto tráfico vehicular o actividad industrial se presentan altas emisiones de óxidos de nitrógeno que participan en procesos de destrucción del ozono, manteniendo de esta forma niveles relativamente bajos.

Figura 5.5. Diagrama polar anular, para las estaciones de monitoreo de la Secretaría Distrital de Ambiente que evaluaron O_3 durante 2017.



Por último, se presentan los diagramas polares, los cuales para el presente análisis servirán de complemento a los diagramas polares anulares, debido a que permitirán apreciar las velocidades del viento con las cuales se transportan los contaminantes en las áreas circundantes a las estaciones de monitoreo

Figura 5.6. Diagrama polar para las estaciones de monitoreo de la Secretaría Distrital de Ambiente que evaluaron PM_{10} durante 2017



Los diagramas polares obtenidos para material particulado menor a 10 micras y menor a 2.5 micras, revelan que en el caso de la estación Carvajal - Sevilla, las mayores concentraciones de estos contaminantes se presentan con velocidades del viento que oscilan entre 4 m/s y 5 m/s, que provienen de las direcciones cardinales oeste y sur.

Por su parte, los vientos que llegan a la estación de monitoreo Las Ferias provienen del oeste, en velocidades que se encuentran entre 4 m/s y 6 m/s. En cuanto a las estaciones Centro de Alto Rendimiento, Guaymaral y MinAmbiente, presentan bajas concentraciones y las velocidades promedio, en general, no superan los 4 m/s.

Figura 5.7. Diagrama polar para las estaciones de monitoreo de la Secretaría Distrital de Ambiente que evaluaron $PM_{2.5}$ durante 2017.

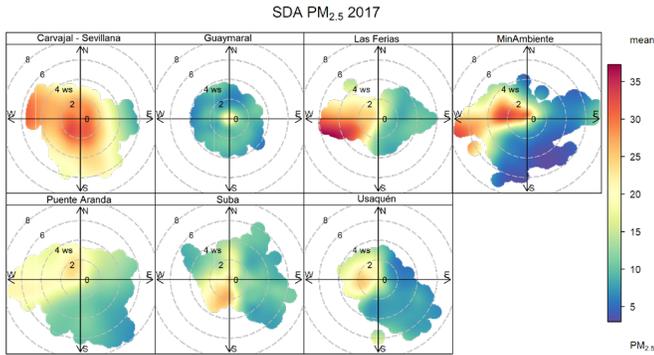
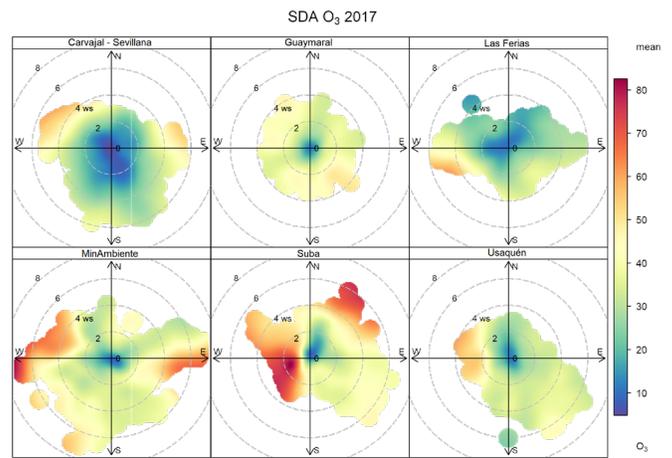


Figura 5.8. Diagrama polar para las estaciones de monitoreo de la Secretaría Distrital de Ambiente que evaluaron O_3 .

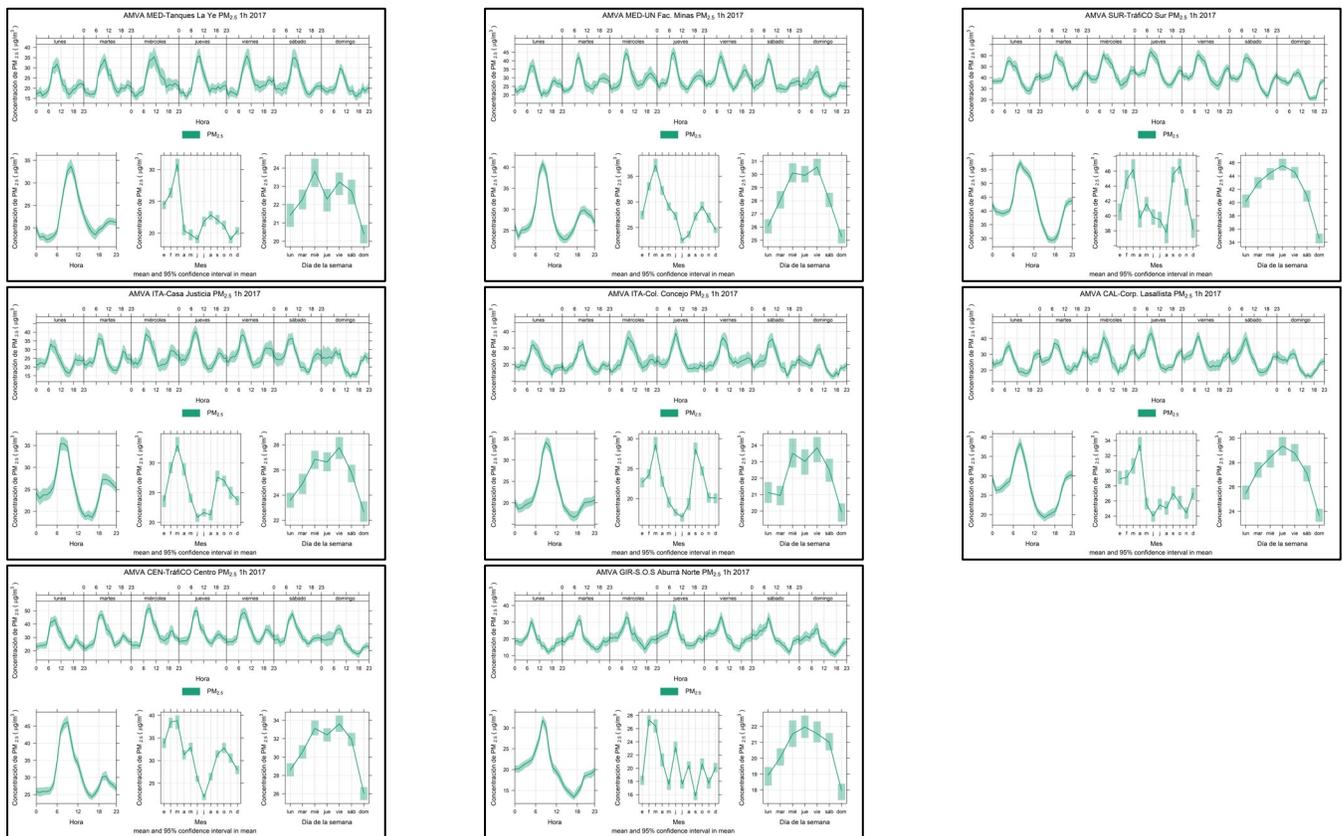


En lo que respecta al contaminante ozono, los diagramas polares revelan la gran influencia de los vientos provenientes del oeste, sobre las concentraciones registradas en cada estación, presentándose los mayores niveles de este contaminante en las velocidades que oscilan entre 2 m/s y 6 m/s.

5.2. Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA)

Debido a sus características topográficas y geomorfológicas angostas y encajonadas, el Valle de Aburrá es una cuenca donde al aire se le dificulta circular. En ciertas épocas del año, la ventilación dentro del valle no es suficiente para remover la cantidad de gases emitidos por las diferentes fuentes de emisión que se localizan en los diez municipios que componen la región.

Figura 5.9. Variación temporal del Material Particulado Menor a 2.5 micras ($PM_{2.5}$) en las estaciones del Área Metropolitana del Valle de Aburrá durante 2017.



La variación horaria muestra que entre las 8:00 y 10:00 horas se presentan las concentraciones más críticas durante el día, mientras que, entre las 19:00 y 21:00 se registra un segundo pico con menor intensidad, los cuales están asociados a la circulación del tránsito automotor.

Esta situación es confirmada por los diagramas polares anulares, en especial de los observados para las estaciones Tráfico Centro y Tráfico Sur, en los que se aprecia claramente la influencia de la hora pico de las fuentes móviles sobre las concentraciones de los contaminantes evaluados.

Por otra parte, en esta región durante los meses de marzo y noviembre se presenta la transición entre la época seca y la época de lluvias, lo cual incide en la formación de nubosidad con poca altura que impide la adecuada dispersión de los gases. Por tal motivo, las variaciones temporales de la variable $PM_{2.5}$, muestran la existencia de dos periodos en el año con altas concentraciones de material particulado.

Lo anterior se corrobora con los resultados obtenidos en los calendarios de contaminación para las estaciones de monitoreo que evaluaron Material Particulado Menor a 10 micras (PM_{10}) en la jurisdicción, los cuales denotan el periodo crítico apreciado en el mes de marzo y a principios del mes de abril, los cuales conllevaron a la activación de varias medidas contenidas en el Plan Operacional para Enfrentar Episodios de Contaminación – POECA.

Con respecto al Ozono, las estaciones de monitoreo Caldas – Corporación Lasallista, Itagüí – Colegio El Concejo y Bello - Universidad de San Buenaventura, registraron las mayores concentraciones de este contaminante entre las 10:30 y las 15:00 horas, donde la radiación solar es mayor y la formación de este contaminante se ve favorecida debido a que las estaciones de monitoreo se encuentran cercanas a áreas verdes, alejadas de fuentes de emisión o localizadas en áreas periurbanas.

Figura 5.10. Calendario de contaminación para las estaciones del Área Metropolitana del Valle de Aburrá que evaluaron Material Particulado Menor a 10 y a 2,5 micras (PM_{10} y $PM_{2.5}$) durante el año 2017.

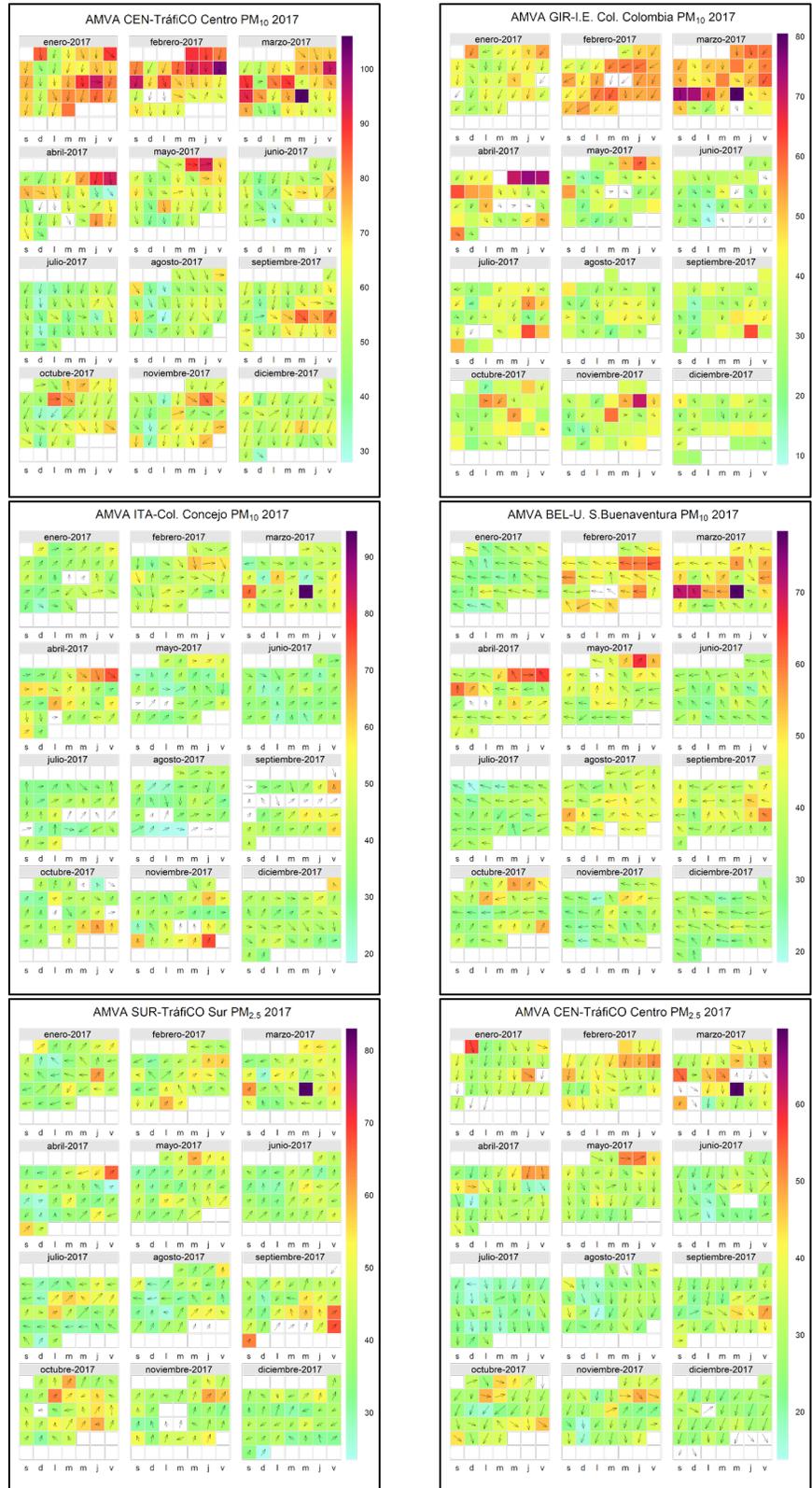
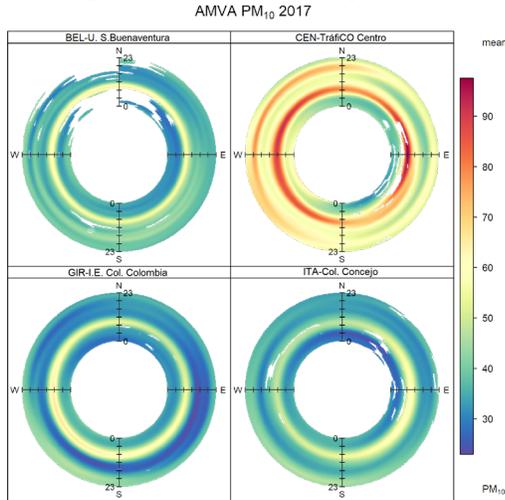


Figura 5.11. Diagrama polar anular, para las estaciones de monitoreo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá que evaluaron PM₁₀.



Entre tanto, los diagramas polares revelan que las estaciones de monitoreo Tráfico - Centro, Tráfico - Sur, Itagiú - Colegio El Concejo y Caldas - Corporación Lasallista, reciben concentraciones variables de material particulado incluso en periodos de calma. En el caso de las estaciones de tráfico, son más notorias las concentraciones detectadas debido a la cercanía de los equipos analizadores con las fuentes de emisión.

Figura 5.14. Diagrama polar para las estaciones de monitoreo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá que evaluaron PM₁₀

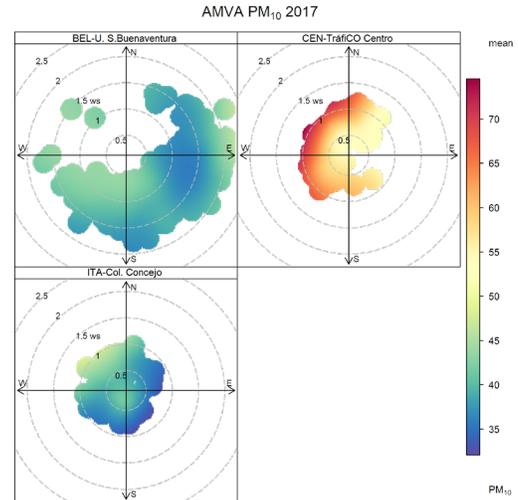
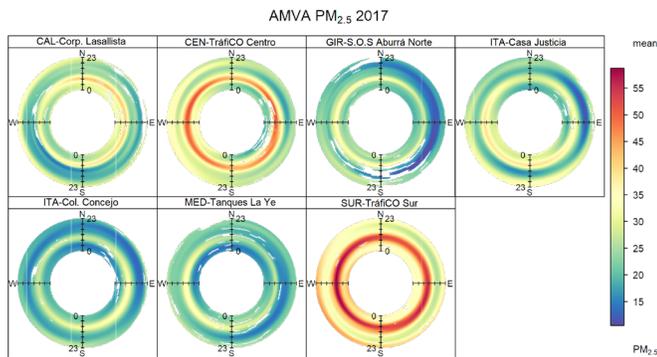


Figura 5.12. Diagrama polar anular, para las estaciones de monitoreo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá que evaluaron PM_{2.5}



Para el caso de las estaciones Bello - Universidad San Buenaventura y Girardota - S.O.S. Aburrá Norte, se aprecia que los mayores aportes de material particulado provienen de las direcciones Sureste y Noreste respectivamente, con velocidades que oscilan entre los 2 m/s y 4 m/s.

Figura 5.15. Diagrama polar para las estaciones de monitoreo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá que evaluaron PM_{2.5}.

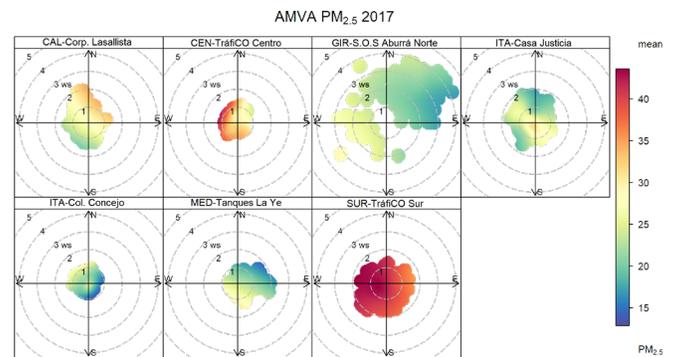
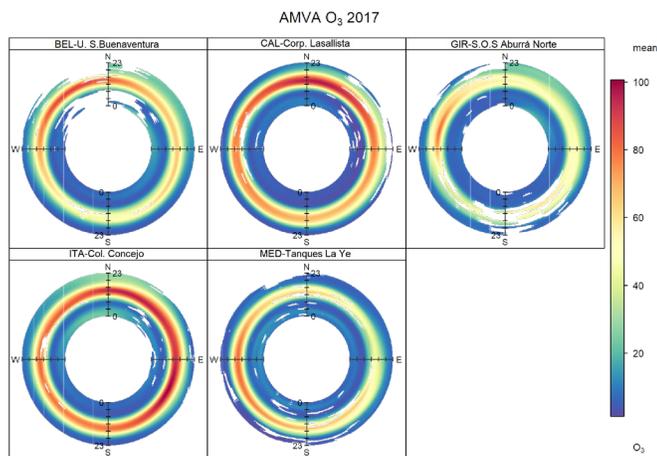
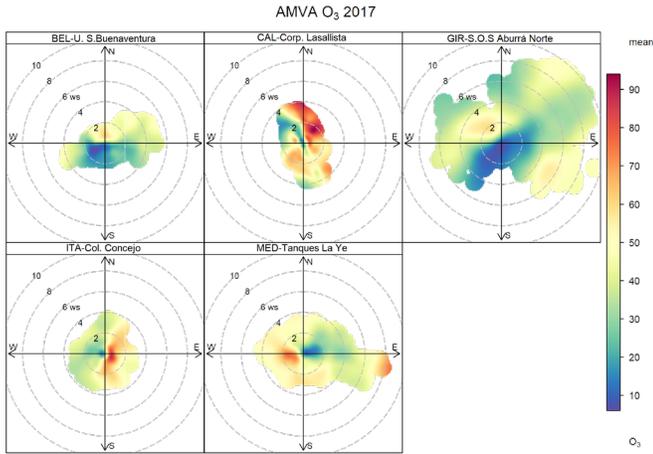


Figura 5.13. Diagrama polar anular, para las estaciones de monitoreo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá que evaluaron O₃



Por su parte, los diagramas polares obtenidos para el contaminante Ozono en el área de jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, indican que la estación de monitoreo Caldas - Corporación Lasallista, registra concentraciones de este contaminante, que provienen en proporciones relativamente equivalentes de todos los puntos cardinales con velocidades entre los 0 m/s y los 4 m/s.

Figura 5.16. Diagrama polar para las estaciones de monitoreo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá que evaluaron O₃.



5.3. Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA)

Los gráficos de variación temporal obtenidos para Santiago de Cali revelan la ausencia de patrones mensuales entre las diferentes estaciones que evaluaron Material Particulado Menor a 10 micras - PM₁₀. Sin embargo, el rango de fluctuación en las estaciones La Ermita, ERA - Obrero y Compartir, se mantiene entre 40 µg/m³ y 50 µg/m³, lo cual indica persistencia de las concentraciones de material particulado en las áreas circundantes.

Figura 5.17. Variación temporal del Material Particulado Menor a 10 micras (PM₁₀) en las estaciones del DAGMA durante 2017.

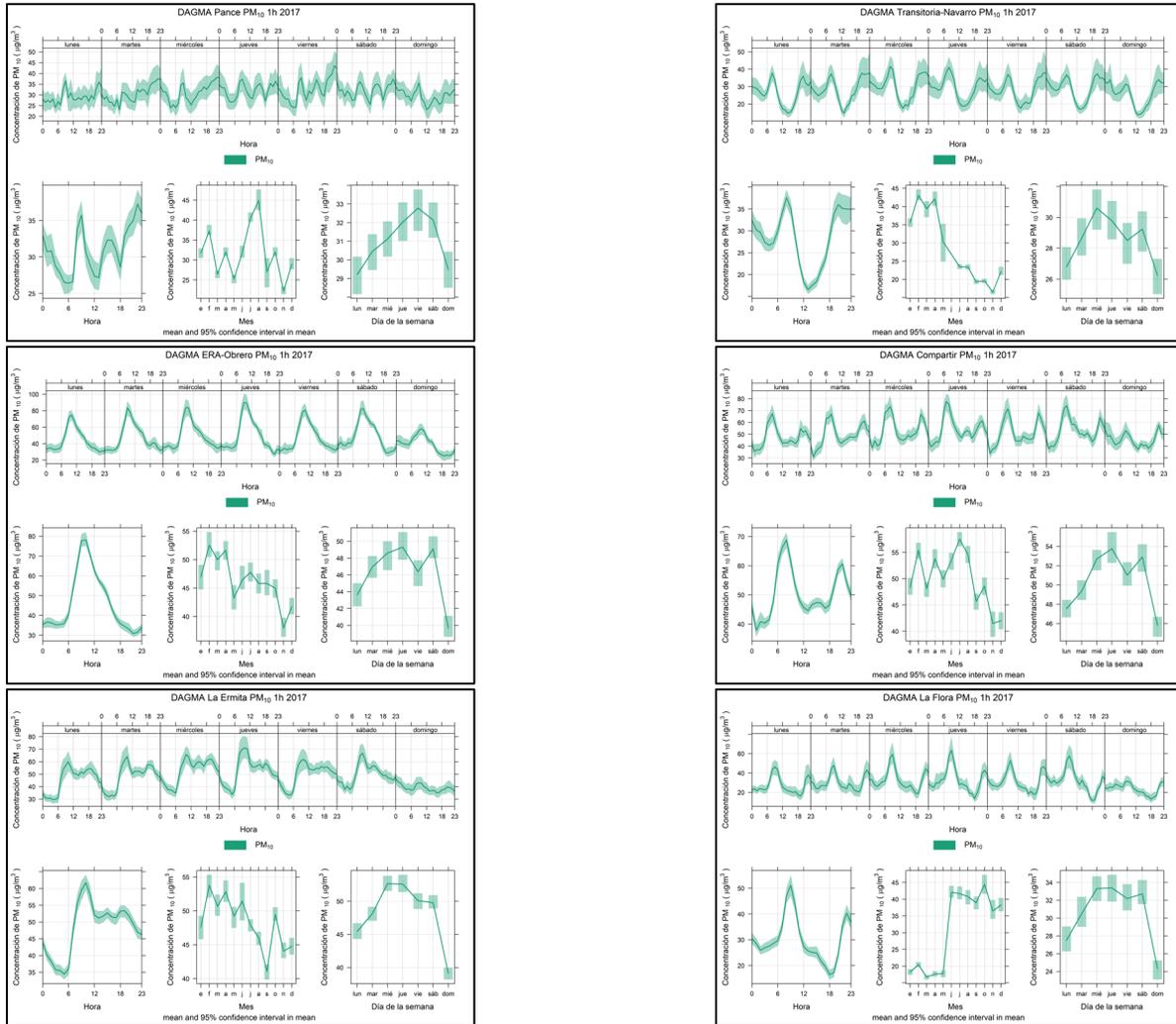
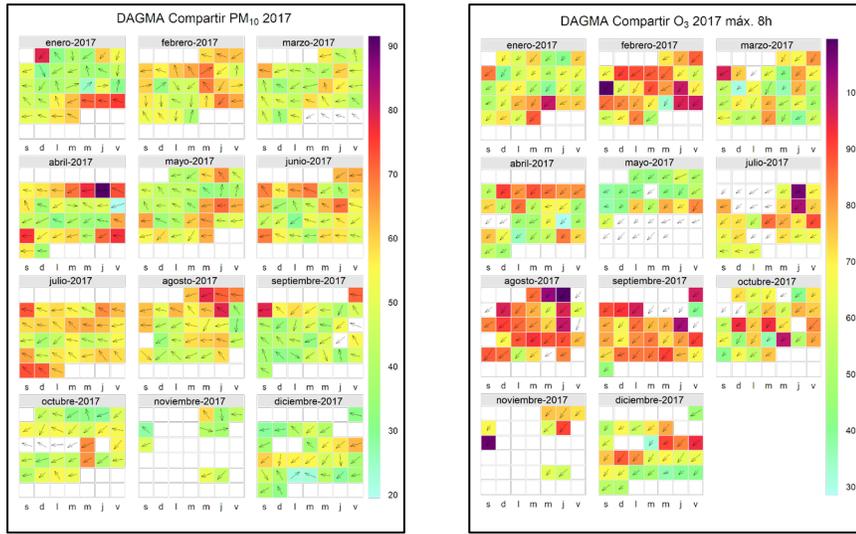


Figura 5.18. Calendario de contaminación para las estaciones del DAGMA que evaluaron Material Particulado Menor a 10 micras (PM₁₀) y Ozono (O₃) durante el año 2017.



En cuanto a los diagramas polares anulares obtenidos para esta misma estación, se aprecia la correlación existente entre las emisiones de material particulado menor a 10 y 2.5 micras, siendo los horarios correspondientes a las horas pico, los que mayor incidencia presentan por altas concentraciones de partículas.

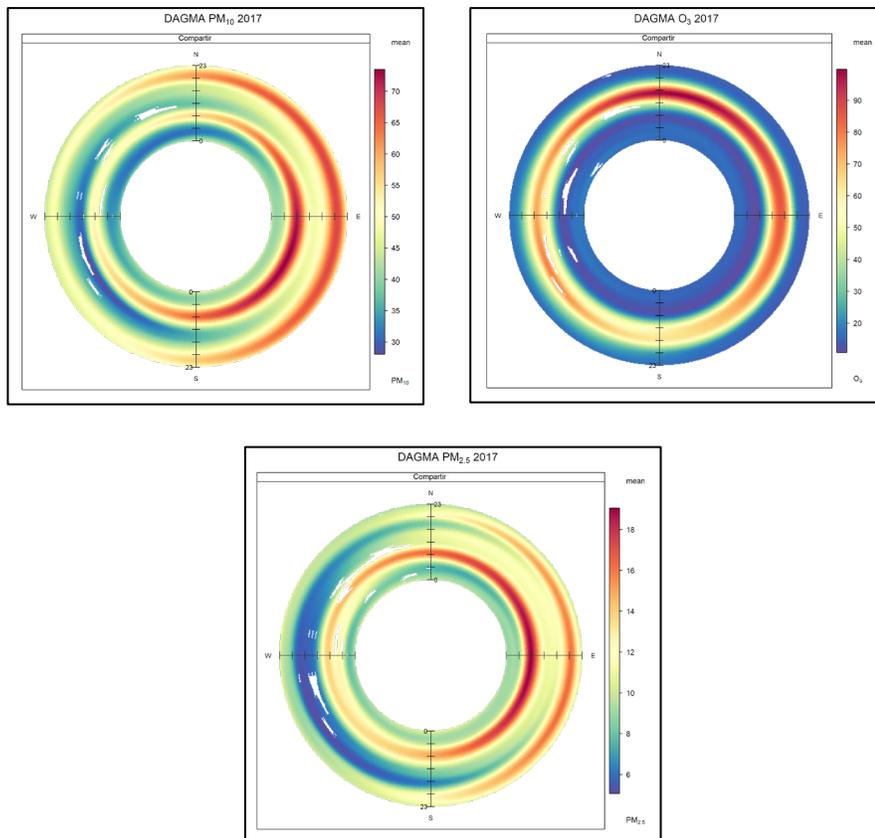
Al igual que en otras jurisdicciones, se observa que el ozono es más alto en zonas rurales o periurbanas. En el caso del área circundante a la estación Compartir, durante el año 2017, se apreció una alta formación de este contaminante, cuya incidencia corresponde con las horas donde se presenta mayor radiación solar (10:00 - 14:00).

5.4. Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR).

En cuanto a los calendarios de contaminación obtenidos para la estación Compartir, se observa la presencia de altas concentraciones de material particulado menor a 10 micras durante los primeros días del mes de abril, mientras que, para ozono se presentan con mayor frecuencia altas concentraciones que superan el promedio octohorario establecido por la Resolución 610 de 2010.

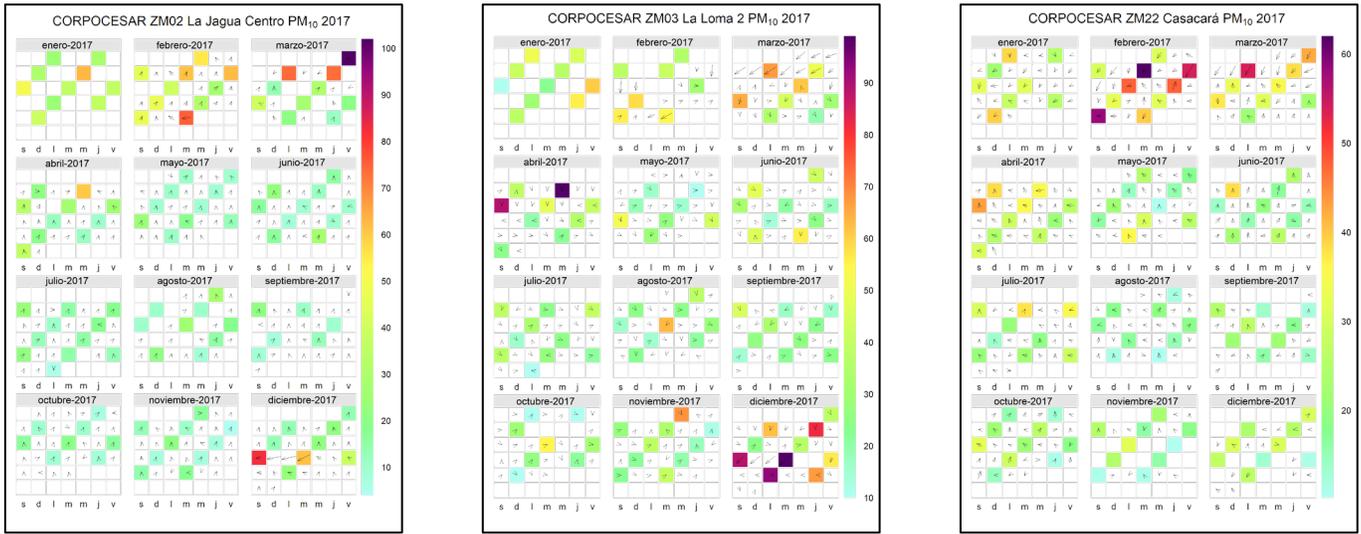
Los calendarios de contaminación de material particulado menor a 10 micras, obtenidos para las estaciones de monitoreo ZM02 - La Jagua Centro, ZM03 - La Loma 2 y ZM22 - Casacará, muestran que las más altas concentraciones de este contaminante se presentan en los meses de febrero y marzo, lo cual coincide con la época pluviométrica seca, donde se presentan gran cantidad de incendios forestales y el polvo proveniente de las vías y de la zona carbonífera, es más susceptible a resuspenderse.

Figura 5.19. Diagrama polar anular, para las estaciones de monitoreo del DAGMA que evaluaron PM₁₀, PM_{2,5} y O₃, durante el año 2017.



Debido a que el monitoreo se realiza con una frecuencia de tres días en cada estación, se recomienda a la Autoridad Ambiental, incrementar la frecuencia de monitoreo durante los meses o periodos que históricamente se han identificado como críticos, con el fin de evitar exposición de la población a altas concentraciones de este contaminante.

Figura 5.20. Calendario de contaminación para las estaciones de CORPOCESAR que evaluaron Material Particulado Menor a 10 micras (PM₁₀) durante el año 2017.



5.5. Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CORPOBOYACÁ).

Los calendarios de contaminación de material particulado menor a 10 micras muestran que en la estación de monitoreo Parque Recreacional del Norte durante la primera semana del mes de abril se presentaron días con altas concentraciones de material particulado, y que el mes más crítico corresponde al mes de diciembre. Por su parte, el diagrama polar anular muestra la existencia de dos picos de material particulado durante el día (5:00 a 8:30 y 20:00 a 24:00), los cuales están asociados a la operación de fuentes industriales que se localizan en el Valle del Sogamoso.

Figura 5.21. Calendario de contaminación para las estaciones de CORPOBOYACÁ que evaluaron Material Particulado Menor a 10 micras (PM₁₀) durante el año 2017.

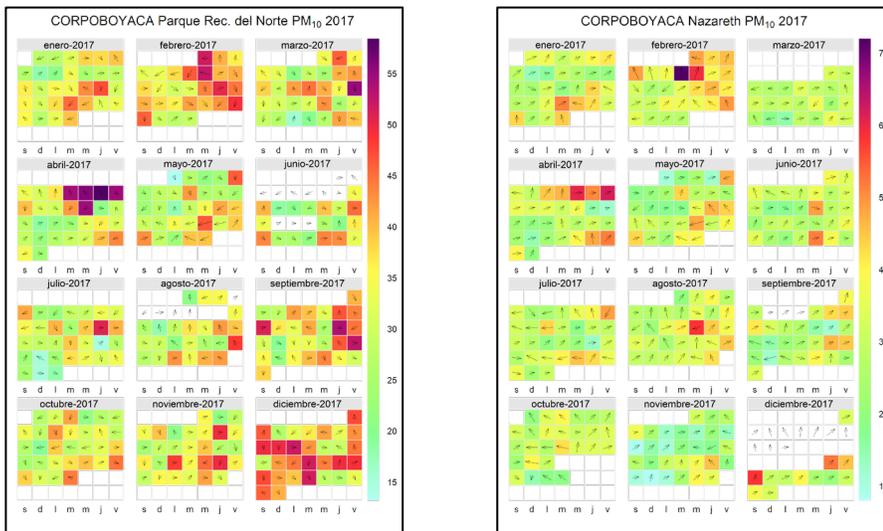
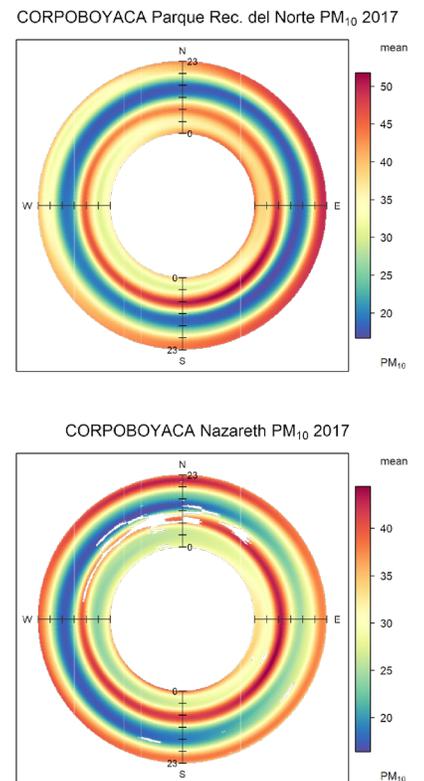


Figura 5.22. Diagrama polar anular, para las estaciones de monitoreo de CORPOBOYACÁ que evaluaron PM₁₀, durante el año 2017.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante el año 2017, operaron a nivel nacional 26 Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire, los cuales contaron con 204 estaciones de monitoreo, siendo 166 fijas y 38 indicativas. Los contaminantes evaluados fueron los establecidos como criterio por la Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, que corresponden a: Partículas Suspendidas Totales (PST), Material Particulado menor a 10 micras (PM_{10}), Material Particulado menor a 2,5 micras ($PM_{2.5}$), Ozono (O_3), Dióxido de Nitrógeno (NO_2), Monóxido de Carbono (CO) y Dióxido de Azufre (SO_2).

La cobertura espacial de las estaciones de monitoreo abarcó 91 municipios y 22 departamentos. Sin embargo, existen 46 áreas a nivel nacional, que cumplen con los criterios establecidos por el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de Calidad del Aire, y aún no cuentan con medición en su jurisdicción, siendo las más relevantes las correspondientes a los municipios de Cúcuta, Buenaventura, Sincelejo, Riohacha, Tuluá, Tunja, Barrancabermeja, Girón, Apartadó y Florencia. De igual manera, siete de las veintiséis jurisdicciones que monitorearon durante el año 2017, no cuentan con el número suficiente de estaciones en su Sistema de Vigilancia correspondiendo estos municipios a Montería, Ibagué, Popayán, Armenia, Pasto, Envigado y Soacha.

Las Autoridades Ambientales durante los últimos cinco años han venido implementando y renovando sus Sistemas de Vigilancia con tecnología automática para realizar la evaluación y seguimiento de los contaminantes atmosféricos, en detrimento de los equipos con tecnología manual. Lo anterior mejora la confiabilidad, temporalidad y oportunidad de las mediciones, permitiendo a la Autoridad Ambiental adoptar medidas de control precisas e informar a la comunidad en tiempos adecuados sobre los riesgos de determinados niveles de contaminación.

La base de datos fue consolidada a partir de los reportes realizados por cada Sistema de Vigilancia, en el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire – SISAIRE. La validación final, se realizó a través de un proceso conjunto y constructivo con cada Autoridad Ambiental, la cual permitió solucionar potenciales inconsistencias en los datos. Sin embargo, y a pesar de la gestión realizada únicamente 87 de las 166 estaciones fijas que funcionaron el país, cumplieron con el criterio de representatividad temporal superior al 75% en al menos uno de los parámetros evaluados, lo cual devela la necesidad de fortalecer presupuestal, operativa y técnicamente los grupos encargados de la operación de los Sistemas de Vigilancia.

En cuanto a las tendencias de los contaminantes analizados, los que presentaron mayor preocupación fueron en su orden el $PM_{2.5}$ y el PM_{10} . En varias estaciones de monitoreo sus concentraciones excedieron los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010; adicionalmente, los resultados del cálculo del Índice de Calidad del Aire evidenciaron que representan los mayores riesgos de afectación a la salud de la población. Estas observaciones se destacan especialmente en los grandes centros urbanos de Bogotá, Cali, Medellín y Santa Marta, así como en los municipios de Ráquira (Boyacá) y Yumbo (Valle del Cauca).

Las concentraciones más altas de $PM_{2.5}$ fueron observadas en las estaciones de monitoreo Carvajal – Sevillana y Kennedy, localizadas en el Distrito Capital; y las correspondientes a Tráfico Sur, Tráfico Centro, Universidad Nacional Facultad de Minas, Corporación Lasallista (Caldas) y Casa de Justicia (Itagüí), en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá; en cuanto al número de días que exceden el límite diario, las estaciones de estas jurisdicciones también se destacan por tener los valores más altos. Las tendencias anuales indican la mejoría de las concentraciones de este contaminante en la totalidad de estaciones de monitoreo que evaluaron esta variable. Sin embargo, es necesario continuar ampliando su cobertura en el país, debido a los comprobados efectos sobre la salud de la población, en especial de los grupos sensibles.

El PM_{10} es el contaminante más monitoreado en el país, presentando excedencias al nivel máximo permisible anual en 7 estaciones de monitoreo, siendo los puntos más críticos los correspondientes a: Carvajal – Sevillana y Kennedy en Bogotá (SDA), Tráfico Centro y Éxito San Antonio en Medellín (AMVA), Molinos Santa Marta (CORPAMAG), Yumbo Las Américas (CVC) y Compartir en Santiago de Cali (DAGMA). El cumplimiento normativo a nivel nacional para esta variable fue del 91,2%, correspondiendo a un 18,1% más con respecto al año 2016.

En cuanto a las Partículas Suspendidas Totales (PST), se reportó cumplimiento normativo en la totalidad de estaciones de monitoreo que evaluaron esta variable; las máximas concentraciones promedio anual detectadas, representan el 81,5% del nivel máximo permisible. El mayor registro se presentó en la estación de monitoreo ZM01 - La Loma Centro, ubicada en jurisdicción de CORPOCESAR.

El Dióxido de Nitrógeno (NO_2) reportó concentraciones que se encontraron por debajo del 80% del nivel máximo permisible anual, siendo la estación Medellín – Politécnico Jaime Izasa Cadavid la que registra las mayores concentraciones de este contaminante ($78 \mu g/m^3$) a nivel nacional. Lo anterior demuestra el bajo potencial de afectación que sobre la salud de la población colombiana tiene este contaminante criterio.

Con respecto al Dióxido de Azufre (SO_2), las concentraciones detectadas a nivel nacional durante el año 2017 se encontraron en concentraciones inferiores a los niveles máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010, registrándose las cantidades más altas en la estación de monitoreo Girardota - S.O.S Aburrá Norte, localizada en jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. No obstante, los niveles detectados no superaron el 25% del nivel máximo permisible anual, razón por la cual el potencial de afectación sobre la salud de la población a nivel nacional es bajo.

En tres estaciones de monitoreo se presentaron más de 100 días con excedencia a los niveles máximos permisibles octohorarios establecidos por la Resolución 610 de 2010 para el contaminante ozono (O_3), siendo la jurisdicción del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente, la que mayor afectación registró.

Para el parámetro Monóxido de Carbono (CO), durante el año 2017, se presentó una excedencia al nivel máximo permisible establecido para un tiempo de exposición de 8 horas, en la estación de monitoreo Parque Recreacional del Norte localizada en jurisdicción de CORPOBOYACÁ. La concentración promedio octohorario alcanzada en este punto fue de $11.254 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La evaluación del Índice de Calidad del Aire (ICA), reveló la frecuencia con la cual se vienen presentando concentraciones Dañinas a la Salud y Dañinas a la Salud de Grupos Sensibles, siendo los contaminantes Partículas Menores a 2.5 micras ($PM_{2.5}$) y Partículas Menores a 10 Micras (PM_{10}), los que mayor potencial de afectación vienen registrando a nivel nacional. Situación contraria se presenta con las concentraciones obtenidas a nivel nacional para los contaminantes Dióxido de Azufre, Ozono y Monóxido de Carbono, donde el cálculo del ICA señala que en el 100% de los casos analizados las concentraciones se ubican en categoría Buena, por lo que los potenciales efectos en la salud de la población son mínimos.

En cuanto a la evaluación del indicador “Porcentaje de estaciones de calidad del aire, reportando cumplimiento de la norma de calidad del aire del país” planteado por la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire, se obtuvo que el 87,9% de las estaciones cumple con los niveles de inmisión regulados por la Resolución 610 de 2010. En cuanto a la evaluación de este indicador por contaminante, el 73,1% y el 91,2 % de las estaciones de monitoreo que evaluaron $PM_{2.5}$ y PM_{10} reportaron cumplimiento de los niveles máximos anuales establecidos por la normatividad nacional para estos contaminantes.

En las jurisdicciones del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y de la Secretaría Distrital de Ambiente, se presentan durante diversas épocas del año, procesos de inversión térmica, los cuales afectan la adecuada dispersión de los contaminantes y ocasionan concentraciones altas de sustancias, con efectos potencialmente dañinos sobre la salud de las personas y el ambiente.

Es necesario que todas las regiones del país inicien con la formulación e implementación de programas de reducción de la calidad del aire, con el objetivo de reducir las concentraciones de los contaminantes atmosféricos y cumplir con los niveles máximos permisibles establecidos como obligatorios a partir del año 2030. Las medidas que deberán implementarse, en las ciudades y regiones del país deben involucrar a los representantes de la sociedad civil, a los sectores productivos, a las autoridades locales y regionales y todas las instituciones y entidades que tengan relación con el tema, por lo cual deberá avanzarse en los temas de gobernanza y apropiación de la problemática por parte de la ciudadanía.

REFERENCIAS

- Carslaw, D. C. (2015). *The openair manual - open source tools for analysing air pollution data. Manual for version 1.1-4*. King's College London.
- Carslaw DC, Ropkins K (2012). "openair — An R package for air quality data analysis." *Environmental Modelling & Software*, 27-28(o), 52-61. ISSN 1364-8152, doi: 10.1016/j.envsoft.2011.09.008.
- IDEAM. (2012). *Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2007-2010*. Bogotá, D.C.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire*. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire*. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire: manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire*.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (24 de marzo de 2010). Resolución 610 de 2010. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (29 de marzo de 2010). Resolución 651 de 2010. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Resolución Número 610. 24 de marzo de 2010*. Obtenido de Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: <https://www.minambiente.gov.co/>
- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Obtenido de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO_SDE_PHE_OEH_o6.o2_spa.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (2016). *Impacto del medio ambiente en la salud*. Obtenido de Salud ambiental: http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/PHE-prevention-diseases-infographic-ES.pdf?ua=1
- Presidencia de la República. (22 de 12 de 1993). Ley 99 de 1993. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Imprenta Nacional.
- Presidencia de la República. (5 de junio de 1995). Decreto 948 de 1995. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Imprenta Nacional.
- R Core Team. (2016). *R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing*. Vienna, Austria. Obtenido de <https://www.R-project.org/>
- Samoli, E., Peng, R., Ramsay, T., Pipikou, M., Touloumi, G., Dominici, F., & Katsouyanni, K. (2008). Acute effects of ambient particulate matter on mortality in Europe and North America: results from the APHENA study. *Environmental health perspectives*, 116(11), 1480.
- USEPA. (15 de septiembre de 2015). *Fine Particle (PM2.5) Designations*. Obtenido de EPA - United States Environmental Protection Agency: <http://www3.epa.gov/airquality/particlepollution/designations/index.htm>
- USEPA. (2015). *What Are the Six Common Air Pollutants?* Obtenido de United States Environmental Protection Agency: <http://www3.epa.gov/airquality/urbanair/>
- WHO - Regional Office for Europe. (2006). *Air Quality Guidelines. Global Update 2005*. Copenhagen.
- WHO. (2006). *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. Obtenido de Air pollution: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_o6.o2_eng.pdf
- Wickham, H. (2009). *ggplot2: elegant graphics for data analysis*. New York: Springer.
- World Health Organization - Regional Office for Europe. (2011). *Exposure to air pollution (particulate matter) in outdoor air. Fact sheet 3.3*. Obtenido de http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/ENHIS_Factsheet_3.3_July_2011.pdf
- World Health Organization. (2013). *Health effects of particulate matter. Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia*. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe.