



El medio ambiente
es de todos

Minambiente



Entrar

Informe del estado de la **calidad** del aire en Colombia 2020

Producción técnica

Wendi Yurani Garzón Herrera

Subdirección de Estudios Ambientales – Grupo de Seguimiento a la Sostenibilidad del Desarrollo - Ideam

Juan Manuel Rincón Riveros

Subdirección de Estudios Ambientales – Grupo de Seguimiento a la Sostenibilidad del Desarrollo - Ideam

Ana María Hernández Hernández

Subdirección de Estudios Ambientales – Coordinadora Grupo de Seguimiento a la Sostenibilidad del Desarrollo - Ideam

Apoyo técnico

Jorge Mendoza Ruiz

Subdirección de Estudios Ambientales – Grupo de Seguimiento a la Sostenibilidad del Desarrollo - Ideam

Diseño y diagramación

Imprenta Nacional de Colombia

Cítese como

Ideam. Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2020. Bogotá, D.C., 2021.

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. Diciembre 2021, Bogotá D.C., Colombia - Distribución Gratuita.

ISSN: 2619-2403 (En línea). Bogotá, D. C. Diciembre 2021.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Iván Duque Márquez

Presidente de la República de Colombia

Carlos Eduardo Correa Escaf

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Francisco Cruz Prada

Viceministro de Políticas y Normalización Ambiental

Juan Nicolás Galarza Sánchez

Viceministro de Ordenamiento Ambiental del Territorio

Yolanda González Hernández

Directora General Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Constantino Hernández Garay

Subdirector de Estudios Ambientales (E) Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Ideam

Yolanda González Hernández

Directora General – Ideam

Gilberto Galvis Bautista

Secretario General – Ideam

Consejo directivo

Carlos Eduardo Correa Escaf

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Ángela María Orozco Gómez

Ministra de Transporte

Luis Alberto Rodríguez

Director, Departamento Nacional de Planeación- DNP

Juan Daniel Oviedo Arango

Director, Departamento Nacional de Estadísticas-DANE

Juan Pablo Ruiz Soto

Delegado, Presidencia de la República

Ramón Leal Leal

Director Ejecutivo. Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible -ASOCARS

Diego Fernando Hernández Losada

Director General, Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología e Innovación - COLCIENCIAS

Gilberto Galvis Bautista

Secretaria Técnica del Consejo

Directivas

Constantino Hernández Garay

Subdirector (E) de Estudios Ambientales

Ana Celia Salinas Martín

Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental

Nelson Omar Vargas Martínez

Subdirector de Hidrología

Hugo Armando Saavedra Umbe

Subdirector de Meteorología (E)

Daniel Useche Samudio

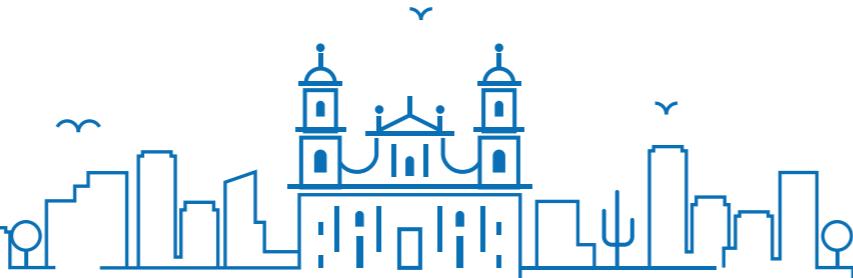
Jefe Oficina Pronósticos y Alertas



Fotografía: Adobe Stock



Contenido



Agradecimientos 7

Resumen ejecutivo 8

Prólogo 9

1 Contexto

- 1.1. Calidad del aire y desarrollo sostenible 11
- 1.2. Fuentes de emisión de contaminantes criterio 13
- 1.3. Calidad del aire y salud 15
- 1.3.1. Contaminación del aire y pandemia por Covid 19 18
- 1.4. Normatividad aplicable 21
- 1.5. Índice de calidad del aire (ICA) 21

2 Metodología

- 3 Estado de los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire** 25
 - 3.1. Evolución de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire 28
 - 3.2. Requerimientos de monitoreo de acuerdo con el tamaño de población 29
 - 3.3. Tecnologías de monitoreo empleadas 31
 - 3.4. Contaminantes evaluados 32
 - 3.5. Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire acreditados por el Ideam 33
 - 3.6. Representatividad temporal de la información 34

4 Estado de la calidad del aire nacional

- 4.1. Material Particulado PM₁₀ 37
- 4.2. Material Particulado PM_{2,5} 43
- 4.3. Dióxido de nitrógeno - NO₂ 49
- 4.4. Dióxido de azufre - SO₂ 53
- 4.5. Ozono troposférico - O₃ 57
- 4.6. Monóxido de carbono - CO 61

5 Estado de la calidad del aire regional

- 5.1. Departamento de Antioquia 66
- 5.2. Departamento del Atlántico 68
- 5.3. Ciudad de Bogotá D.C. 69
- 5.4. Departamento de Boyacá 71
- 5.5. Departamento de Caldas 73
- 5.6. Departamento del Cesar 74

- 5.7. Departamento de Córdoba 75
- 5.8. Departamento de Cundinamarca 76
- 5.9. Departamento del Meta 78
- 5.10. Departamento de Risaralda 79
- 5.11. Departamento de Santander 80
- 5.12. Departamento del Tolima 81
- 5.13. Departamento del Valle del Cauca 82

6

Impacto de las restricciones asociadas a la pandemia por Covid 19 en la calidad del aire

83

7

Evaluación de los indicadores de seguimiento y cumplimiento

90

- 7.1. Indicador de seguimiento a política de prevención y control de la contaminación del aire 92
- 7.2. Indicador de cumplimiento de la meta del Plan Nacional de Desarrollo 93
- 7.3. Indicador de cumplimiento de la meta de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 94

8

Influencia de la meteorología en la calidad del aire

97

- 8.1. Departamento de Antioquia – Área Metropolitana del Valle de Aburrá 99
- 8.2. Departamento de Antioquia – Corantioquia 101
- 8.3. Departamento del Atlántico – EPA Barranquilla Verde 103
- 8.4. Departamento de Boyacá – Corpoboyacá 104
- 8.5. Departamento de Santander – AMB – CDMB 106
- 8.6. Departamento del Valle del Cauca – CVC – DAGMA Cali 108

9

Conclusiones y recomendaciones

110

10

Referencias bibliográficas

112

11

Anexos

114



lista de figuras

Figura 1.	Ciclo de preparación del INGEI en Colombia	13
Figura 2.	Proceso Estadístico dentro del contexto organizacional NTE-PE1000	24
Figura 3.	Evolución del número de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire, años 2011-2020.....	28
Figura 4.	Evolución del número de estaciones fijas e indicativas, años 2011-2020	28
Figura 5.	Evolución del número de registros reportados al SISAIRE, años 2011-2020.....	28
Figura 6.	Tipos de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire según la tecnología empleada	31
Figura 7.	Evolución de los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire de acuerdo con la tecnología empleada, años 2011-2020.....	31
Figura 8.	Evolución número de estaciones por contaminante, años 2014-2020.....	32
Figura 9.	Número de estaciones de monitoreo por contaminante, años 2019-2020.....	32
Figura 10.	Comparación interanual del número de estaciones con representatividad temporal, años 2017-2020	34
Figura 11.	Porcentaje de estaciones con representatividad temporal, años 2019-2020	34
Figura 12.	Número de estaciones con y sin representatividad temporal, año 2020.....	34
Figura 13.	Concentraciones anuales de Material Particulado menor a 10 micras – Consolidado nacional, año 2020	37
Figura 14.	Concentraciones anuales de Material Particulado menor a 10 micras – Estaciones sin representatividad temporal - Indicativo nacional, año 2020	39
Figura 15.	Concentraciones anuales de material particulado menor a 10 micras – Evolución multianual, años 2011-2020 - estaciones con representatividad temporal	40
Figura 16.	Días con excedencias al nivel máximo permisible diario para Partículas Menores a 10 micras (PM_{10}), para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020.....	41
Figura 17.	Índice de calidad del aire para Partículas Menores a 10 micras (PM_{10}) para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020	42
Figura 18.	Concentraciones anuales de material particulado menor a 2,5 micras – Consolidado nacional, año 2020	43
Figura 19.	Concentraciones anuales de Material Particulado menor a 2,5 micras – Estaciones sin representatividad temporal - Consolidado indicativo nacional, año 2020.....	45
Figura 20.	Concentraciones anuales de material particulado menor a 2,5 micras – Evolución multianual, años 2011-2020 - Estaciones con representatividad temporal	46
Figura 21.	Días con excedencias al nivel máximo permisible diario para Partículas Menores a 2,5 micras ($PM_{2,5}$), para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020.....	47
Figura 22.	Índice de calidad del aire para Partículas Menores a 2,5 micras ($PM_{2,5}$) para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020	48
Figura 23.	Concentraciones anuales de dióxido de nitrógeno- Consolidado nacional, año 2020	49
Figura 24.	Concentraciones anuales de dióxido de nitrógeno - Estaciones sin representatividad temporal - Consolidado indicativo nacional.....	51
Figura 25.	Horas con excedencias al nivel máximo permisible horario para dióxido de nitrógeno (NO_2), para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020.....	52
Figura 26.	Índice de calidad del aire para dióxido de nitrógeno (NO_2) para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020....	52

Figura 27.	Concentraciones anuales de dióxido de azufre - Estaciones sin representatividad temporal - Consolidado indicativo nacional, año 2020	53
Figura 28.	Concentraciones anuales dióxido de azufre – Consolidado indicativo nacional, Año 2020	54
Figura 29.	Horas con excedencias al nivel máximo permisible horario para Dióxido de Azufre (SO_2) para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020.	55
Figura 30.	Índice de calidad del aire para dióxido de azufre (SO_2) para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020.	56
Figura 31.	Concentraciones anuales de ozono troposférico- Consolidado nacional, año 2020.....	57
Figura 32.	Concentraciones anuales ozono troposférico - Estaciones sin representatividad temporal - Consolidado indicativo nacional, año 2020	58
Figura 33.	Excedencias al nivel máximo permisible octohorario para ozono (O_3) para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020.....	59
Figura 34.	Índice de calidad del aire para ozono (O_3) para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020.	60
Figura 35.	Concentraciones anuales de monóxido de carbono- Consolidado nacional, año 2020.....	61
Figura 36.	Concentraciones promedio anuales monóxido de carbono - Estaciones sin representatividad temporal - Consolidado indicativo nacional, año 2020.....	62
Figura 37.	Excedencias al nivel máximo permisible octohorario para monóxido de carbono (CO) para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020.	63
Figura 38.	Índice de calidad del aire para monóxido de carbono (CO) para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020.	63
Figura 39.	Promedio semanal de $PM_{2,5}$ para el año 2020. Se usan los datos de las ciudades validadas y disponibles (azul) y los datos de reanálisis de CAMS (rojo) para cada fase de la cuarentena.....	85
Figura 40.	Promedio semanal de O_3 para el año 2020. Se usan los datos de las ciudades validadas y disponibles (azul) y los datos de reanálisis de CAMS (rojo) para cada fase de la cuarentena.....	86
Figura 41.	Promedio diario anual (rojo) y multianual (azul) para la estación de Centro de Alto Rendimiento (izquierda) y Kennedy (derecha) para (a) $PM_{2,5}$ y (b) O_3 en cada fase de la cuarentena.	87
Figura 42.	Número de puntos calientes acumulados mensuales en Colombia de 2015 a 2020. (MODIS).....	87
Figura 43.	Concentraciones de $PM_{2,5}$ tomadas del reanálisis de CAMS. Promedios de 2015 a 2019 (izquierda) y promedios de 2020 (derecha). Antes de cuarentena (A-B), cuarentena estricta (C-D), cuarentena parcial (E-F) y aislamiento selectivo (G-H). Los marcadores representan los centros poblados de mayor contaminación en Colombia.....	88
Figura 44.	Concentraciones de O_3 tomadas del reanálisis de CAMS. Promedios de 2015 a 2019 (izquierda) y promedios de 2020 (derecha). Antes de cuarentena (A-B), cuarentena estricta (C-D), cuarentena parcial (E-F) y aislamiento selectivo (G-H). Los marcadores representan los centros poblados de mayor contaminación en Colombia.	88
Figura 45.	Indicadores de seguimiento y cumplimiento nacionales	91
Figura 46.	Indicador del Plan Nacional de Desarrollo	93
Figura 47.	Indicador de los objetivos de desarrollo sostenible	94
Figura 48.	Ejemplo de diagrama polar para la estación de AMVA- Ciudadela Educativa que evaluó $PM_{2,5}$ en 2020.....	98
Figura 49.	Índice de la Anomalía Anual de la temperatura media para el año 2020	116
Figura 50.	Índice de la Precipitación Anual en porcentaje para el año 2020.....	117
Figura 51.	Mosaico de la radiación global recibida en una superficie horizontal durante el día. (kWh/m ² por día).	118
Figura 52.	Mosaico del ciclo anual de la velocidad promedio del viento a 10 m de altura (m/s).....	119



lista de tablas

Tabla 1.	Riesgo atribuible por Contaminación del aire por Material particulado-Comparativo	18
Tabla 2.	Normatividad de calidad del aire en Colombia versus recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud.....	20
Tabla 3.	Puntos de corte del Índice de Calidad del Aire (ICA)	21
Tabla 4.	Descripción general de los efectos a la salud de acuerdo con la categoría del estado de la Calidad del Aire	21
Tabla 5.	Fases y fechas de la cuarentena en Colombia	84
Tabla 6.	Evolución del indicador del Plan Nacional de Desarrollo - PM ₁₀ , años 2017-2020	93
Tabla 7.	Evolución del indicador de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, PM ₁₀ y PM _{2,5} , Años 2017-2020 ..	94
Tabla 8.	Comportamiento del índice oceánico de El Niño, año 2020	116



Fotografía: Adobe Stock

lista de infografías

Infografía 1.	Línea temporal de hitos direcionados al desarrollo mundial sostenible y evolución de los Objetivos para el Desarrollo Sostenible y Objetivos de Desarrollo del Milenio	12
Infografía 2.	Categorías y subcategorías incluidas en el inventario de contaminantes criterio y carbono negro 2010- 2018	14
Infografía 3.	Composición natural de la atmósfera y actividades contaminantes	16
Infografía 4.	Contaminantes criterio evaluados y principales efectos sobre la salud humana y el ambiente ..	16
Infografía 5.	Ciclo de la calidad del aire	17
Infografía 6.	Normatividad de calidad del aire en Colombia y recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud.	20
Infografía 7.	Flujograma de actividades para la elaboración del informe	24
Infografía 8.	Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire y estaciones de monitoreo, año 2020	27
Infografía 9.	Tipos y requerimientos de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire según el tamaño de población de los municipios	29
Infografía 10.	Municipios que requieren implementar o mejorar los SVCA, de acuerdo con el tipo requerido según su población, año 2020	30
Infografía 11.	Jurisdicción de autoridades ambientales con SVCA acreditados por Ideam, año 2020	33
Infografía 12.	Concentraciones anuales de Material Particulado menor a 10 micras – Clasificación de acuerdo con las recomendaciones de la OMS y normativa vigente – Consolidado nacional, año 2020 ..	38
Infografía 13.	Concentraciones anuales de Material Particulado menor a 2,5 micras – Clasificación de acuerdo con las recomendaciones de la OMS y normativa vigente – Consolidado nacional, año 2020 ..	44
Infografía 14.	Concentraciones anuales de Dióxido de nitrógeno – Clasificación de acuerdo con las recomendaciones de la OMS y normativa nacional – Consolidado nacional, año 2020 ..	50
Infografía 15.	Departamentos evaluados en conformidad con la jurisdicción territorial de las autoridades ambientales	65
Infografía 16.	Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento de Antioquia	66
Infografía 17.	Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento del Atlántico	68
Infografía 18.	Estado de la Calidad del Aire Regional – Ciudad de Bogotá D.C.	69
Infografía 19.	Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento de Boyacá	71
Infografía 20.	Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento de Caldas	73
Infografía 21.	Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento del Cesar	74
Infografía 22.	Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento de Córdoba	75
Infografía 23.	Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento de Cundinamarca	76
Infografía 24.	Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento del Meta	78
Infografía 25.	Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento de Risaralda	79
Infografía 26.	Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento de Santander	80
Infografía 27.	Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento del Tolima	81
Infografía 28.	Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento Valle del Cauca	82
Infografía 29.	Evolución del indicador de seguimiento a la política de prevención y control de la contaminación del aire, años 2016 – 2020	92
Infografía 30.	Estaciones de monitoreo de PM ₁₀ que cumplen con el objetivo intermedio 3 de las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud, año 2020	95
Infografía 31.	Estaciones de monitoreo de PM _{2,5} que cumplen con el objetivo intermedio 3 de las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud, año 2020	96



lista de acrónimos y siglas



Agronet	Red de información y comunicación del sector Agropecuario Colombiano	EPA Barranquilla Verde	Establecimiento Público Ambiental de Barranquilla - Barranquilla Verde
AMB	Área Metropolitana de Bucaramanga	EPA Cartagena	Establecimiento Público Ambiental de Cartagena
AMVA	Área Metropolitana del Valle de Aburrá	EPA U.S.	United States Environmental Protection Agency
ANDI	Asociación Nacional de Industriales	EVA	Evaluaciones Agropecuarias Municipales
ANH	Agencia Nacional de Hidrocarburos	FENAVI	Federación Nacional de Avicultores de Colombia
BECO	Balance energético colombiano	ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
CALAC+	Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina	Ideam	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
CAM	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena	IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
CAR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca	LEAP	Low Emissions Analysis Platform
Carder	Corporación Autónoma Regional de Risaralda	MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
CDMB	Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga	NDC	Nationally Determined Contributions
CEED	Censo de edificaciones	OMM / WMO	Organización Meteorológica Mundial
Codechocó	Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó	OPS	Organización Panamericana de la Salud
Corantioquia	Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia	OMS	Organización Mundial de la Salud
Cormacarena	Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial de la Macarena	PERS	Planes de Energización Rural Sostenible
Cornare	Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare	PND	Plan Nacional de Desarrollo
Corpamag	Corporación Autónoma Regional del Magdalena	PORKCOLOMBIA	Fondo nacional de la porcicultura
Corpoboyacá	Corporación Autónoma Regional de Boyacá	PROCEMCO	Cámara Colombiana de Cemento y Concreto
Corpocaldas	Corporación Autónoma Regional de Caldas	RUA	Registro Único Ambiental
Corpocesar	Corporación Autónoma Regional del Cesar	RUNT	Registro Único Nacional de Tránsito
Corpoguajira	Corporación Autónoma Regional de La Guajira	RNMA	Registro Nacional de Maquinaria Agrícola, Industrial y de Construcción Auto-propulsada
Corponariño	Corporación Autónoma Regional de Nariño	SDA	Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá
Corporonor	Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental	SICOM	Sistema de Información de Combustibles
Cortolima	Corporación Autónoma Regional del Tolima	SIMCO	Sistema de Información Minero Colombiano
CRA	Corporación Autónoma Regional del Atlántico	SIPG	Sistema de Información de Petróleo y Gas Colombiano
CRC	Corporación Autónoma Regional del Cauca	SISAIRE	Subsistema de Información sobre Calidad del Aire
CRQ	Corporación Autónoma Regional del Quindío	SSPD	Superintendencia de Servicios públicos domiciliarios
CSM	Cuenta satélite de Minería	SUI	Sistema Único de Información de servicios públicos domiciliarios
CVC	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca	SVCA	Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire
CVS	Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge	UPME	Unidad de Planeación Energética
Dagma	Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente de Cali	WSA	World Steel Association
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística	CO	Monóxido de Carbono
DNP	Departamento Nacional de Planeación	NO₂	Dióxido de Nitrógeno
EAM	Encuesta Anual Manufacturera	O₃	Ozono
ECV	Encuesta de Calidad de Vida	PM₁₀	Material particulado inferior a 10 micras
ENA	Encuesta Nacional Agropecuaria	PM_{2,5}	Material particulado inferior a 2,5 micras
		SO₂	Dióxido de Azufre





Agradecimientos

Al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por el apoyo permanente al Ideam en la gestión integral de la calidad del aire a nivel nacional, especialmente a los profesionales de la Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana.

A la directora del Ideam, doctora Yolanda González Hernández, quien ha brindado todo su apoyo para el fortalecimiento de las actividades que realiza permanentemente el Instituto, en lo que a calidad del aire se refiere, de manera que se continúe brindando soporte técnico permanente a las autoridades ambientales con el objetivo de mejorar el monitoreo, seguimiento y gestión de la calidad del aire en el país.

Al ingeniero Constantino Hernández, quien, en su ejercicio como subdirector de Estudios Ambientales, ha venido apoyando decididamente el tema.

A los profesionales de las Corporaciones Autónomas Regionales y de las Autoridades Ambientales de los Grandes Centros Urbanos

(AMB, AMVA, CAM, CAR, Carder, CDMB, Corantioquia, Cormacarena, Cornare, Corpamag, Corpoboyacá, Corpocaldas, Corpocesar, Corpoguajira, Corponariño, Corponor, Corporinoquía, Cortolima, CRC, CRQ, CVC, CVS, Dagma, EPA Barranquilla Verde y SDA) por su compromiso permanente en la operación de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) a nivel nacional, que suministran la información para elaborar este documento y por su dedicación con la toma de los datos, su validación y posterior carga al Subsistema de Información sobre Calidad del Aire (SISAIRE), en los plazos establecidos.

Al docente Luis Jorge Hernández Flórez¹, y su grupo de investigación conformado por Luis Camilo Blanco Becerra², Daniela Rodríguez Sánchez¹, por la elaboración del subcapítulo de colaboración Contaminación del aire y pandemia por Covid 19. Así como, al docente Luis Carlos Belalcazar³ y su grupo de investigación conformado por María Paula Castillo³; Edwin Ricardo Sanchez³; Nathalia Celis³ 4; Yuri

Gonzalez³ y Alejandro Casallas⁵⁻⁶, por la elaboración del capítulo de colaboración Impacto de las restricciones asociadas a la pandemia por Covid 19 en la calidad del aire. A todos ellos mil gracias por aportar sus conocimientos, profesionalismo, experiencias y productos de su arduo trabajo que enriquecen el contenido del presente informe, brindándole al usuario información confiable, con respaldo científico e investigativo para diversos fines.

Al químico Juan Carlos Ariza Porras, por su valiosa colaboración en la elaboración de contenidos infográficos más amigables para el lector.

Un especial agradecimiento al Grupo de Climatología y Agrometeorología de la Subdirección de Meteorología del Instituto, especialmente al subdirector Hugo Saavedra y al profesional Henry Benavidez por aportar sus valiosos conocimientos y productos para la construcción del subcapítulo anexo Comportamiento de los indicadores meteorológicos.

A todas aquellas personas que de una u otra forma prestaron su ayuda en la realización del presente documento, teniendo en cuenta las nuevas dinámicas laborales suscitadas a raíz de la emergencia sanitaria por el Covid 19.

¹ Facultad de Medicina. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

² Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia

³ Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

⁴ Università degli Studi di Padova. Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Padova, Italia

⁵ Escuela de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, Colombia

⁶ Earth System Physics, Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy



En colaboración con:





Resumen Ejecutivo

En los últimos años el Ideam ha publicado anualmente el informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia, con el principal objetivo de analizar y difundir la información de este recurso de una manera eficaz y de fácil comprensión para todos los lectores. A partir de estos informes se ha documentado la evolución de la calidad del aire en el país y se ha observado una transición favorable en la cobertura y recopilación de datos de la contaminación atmosférica.

A continuación, se presenta la octava edición del Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia, que para este año incluye tanto el análisis nacional como regional de la información de calidad del aire suministrada por los diferentes sistemas de vigilancia que operan en el país. Adicionalmente, se comparte la metodología utilizada para el desarrollo del inventario de emisiones de contaminantes criterio y carbono negro 2010-2018, lo que aporta al entendimiento del origen y distribución de los contaminantes atmosféricos. Por otro lado, se incluyen dos capítulos relacionados al impacto de la pandemia por Covid-19, efectos que se describen desde el punto de vista de salud y el impacto medioambiental que se observaron a lo largo del 2020.

En la primera parte del informe se brinda un contexto de los acuerdos internacionales que se han celebrado con rumbo al desarrollo sostenible, los cuales pretenden reducir las emisiones de carbono, gestionar los riesgos de los desastres naturales y el cambio climático y la mitigación de sus efectos. Seguido de esto, se relacionan los efectos que tienen estos contaminantes sobre la salud, el clima y el medio ambiente, y se hace un énfasis en el impacto de la pandemia por Covid-19 sobre los contaminantes y su repercusión sobre la salud de la población.

Como respuesta a los compromisos previamente mencionados, el país está avanzando en la construcción de un inventario de emisiones de contaminantes criterio y carbono negro que permitirá aportar a la gestión integral de la calidad del aire sobre el territorio nacional. De igual manera, se relacionan los límites máximos permisibles de los contaminantes criterio y el respectivo índice de calidad del aire para cada uno, estas dos herramientas permiten evaluar el estado de la calidad del aire y sus efectos directos a la salud de las personas.

El capítulo 2 explica cuál fue la metodología empleada para la elaboración del informe, con cada una de las etapas que involucra, sus responsables y las actividades que comprende para obtener este informe.

Entrando ya en el diagnóstico, el capítulo 3 corresponde al estado de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA), donde

se analiza la evolución de los sistemas de vigilancia, las tecnologías de medición que se emplean, los contaminantes evaluados durante el 2020, la cobertura temporal de la información reportada, los requerimientos de monitoreo de acuerdo al Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire y, por último, los SVCA acreditados ante el Ideam.

Como es habitual en todas las ediciones del informe, se presentan los consolidados nacionales para los contaminantes criterio, reflejando las concentraciones obtenidas en el año para su comparación normativa y el cálculo del Índice de Calidad del Aire para el 2020. En el siguiente capítulo, se presenta el estado de la calidad del aire por departamentos que reportaron información con suficiente representatividad temporal. Estos departamentos corresponden a Antioquia, Atlántico, Bogotá, Boyacá, Caldas, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Meta, Risaralda, Santander, Tolima y Valle del Cauca.

El capítulo 6 está enfocado en el análisis de los efectos de las restricciones nacionales sobre la calidad del aire del país, este capítulo presenta una integración de datos reportados por los distintos SVCA y los datos obtenidos de manera secundaria mediante el Servicio de Monitoreo de la Atmósfera de Copérnico (CAMS) del Centro Europeo de Pronósticos Meteorológicos de Mediano Alcance. Como resultado se pudo observar una disminución considerable de las emisiones antropogénicas y, de manera simultánea, un aporte de origen natural, ya que en 2020 se presenciaron deterioros en la calidad del aire tanto por incendios forestales como por la intrusión de polvo del Sahara al territorio nacional.

En el capítulo 7 se encuentra lo correspondiente a la evaluación del indicador de seguimiento de la política de prevención y control de la contaminación del aire, así como el avance en el cumplimiento de la meta de PM₁₀, establecida en el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad. Además, se presenta el seguimiento a las metas de PM₁₀ y PM_{2,5} definidas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible 3 (Salud y Bienestar) y 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles), los cuales hacen especial referencia a la temática de calidad del aire.

A partir del capítulo 8 se incluyó un análisis general del comportamiento anual de los indicadores meteorológicos, incluyendo variables como temperatura, precipitación, radiación y velocidad del viento, parámetros que cumplen un papel esencial en la generación, transporte y dispersión de los contaminantes atmosféricos.

Por último, el informe presenta una serie de conclusiones y recomendaciones, que se construyeron a partir de la evolución del monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. En general se observó un aumento favorable de estaciones e información que reportaron al subsistema de calidad del aire. De igual manera, se ha identificado un mejoramiento de la calidad del aire, que permite cumplir con los indicadores de seguimiento y cumplimiento en el territorio nacional.





Prólogo

De acuerdo con el más reciente estudio realizado por la Organización Mundial de la Salud, se estima que, en 2016, la contaminación ambiental del aire, tanto en las ciudades como en las zonas rurales, fue causa de 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo por año; esta mortalidad se debe a la exposición a partículas pequeñas de 2,5 micrones o menos de diámetro ($PM_{2.5}$), que causan enfermedades cardiovasculares, respiratoria, y cáncer. (World Health Organization, 2021). Cerca del 58% de dichas muertes se atribuye a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, mientras que el 18% de las muertes se debieron a enfermedad pulmonar obstructiva crónica e infecciones respiratorias agudas, y el 6% cáncer de pulmón. (World Health Organization, 2021).

Se ve afectada toda la población, pero la susceptibilidad a la contaminación puede variar con la salud o la edad (Organización Mundial de la Salud, 2005). "Los riesgos debidos a la contaminación atmosférica son superiores a lo que previamente se pensaba o entendía, en especial para las cardiopatías y los accidentes cerebrovasculares. En la actualidad hay pocos riesgos que afecten tanto a la salud en el mundo como la contaminación atmosférica; las pruebas apuntan la necesidad de medidas concertadas para limpiar el aire que todos respiramos" (World Health Organization, 2014). "Limpiar el aire que respiramos impide el desarrollo de enfermedades no transmisibles y además reduce los riesgos de enfermedad entre las mujeres y los grupos vulnerables, como los niños y los ancianos" (World Health Organization, 2014). En este orden de ideas el monitoreo sistemático de la calidad del aire se constituye en una herramienta fundamental para salvaguardar vidas.

Durante los últimos años el país ha venido avanzando y fortaleciendo el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, teniendo en cuenta que es un eje fundamental para apoyar la toma de decisiones en materia de salud pública. Conocer el estado del recurso obteniendo datos de calidad provenientes de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire que operan en Colombia, es el primer paso para orientar acerca de cómo se encuentra el aire que respiramos. Bajo esta perspectiva las autoridades ambientales juegan un papel preponderante, dado que son estas entidades quienes tienen la responsabilidad de operar y mantener los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire en el país, así como de validar y reportar su información al SISAIRE, Subsistema de Información de Calidad del Aire administrado por el Ideam que hace parte del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) y centraliza la mencionada información, con base en la cual se elabora el presente informe.

Enmarcado en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el monitoreo de la calidad del aire se destaca como una actividad fundamental, para suministrar información que permita conocer la calidad del aire que respira la población. Específicamente los ODS 3 Salud y Bienestar: Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades y ODS 11 ciudades y comunidades sostenibles: Lograr que las ciudades y asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, plantean metas para propender por el cambio de los modelos de desarrollo convencionales, hacia una verdadera sostenibilidad, de manera que se aseguren no solo los recursos que requieren las generaciones actuales, sino también las futuras.

En este sentido, conocer el estado de la calidad del aire es determinante para contar con información, orientar las políticas y estrategias gubernamentales, y si es el caso, implementar planes de descontaminación en aquellas zonas del país en las que se evidencie que la exposición de la población a las concentraciones de contaminantes puede acarrear efectos adversos sobre su salud. Colombia no ha sido ajena a estos retos que implican cumplir con las metas propuestas por los ODS, y ha venido alineando sus políticas y normas de manera que estos objetivos permitan orientar las agendas ambientales a estrategias de desarrollo sostenible, coordinando acciones públicas y privadas en torno de un objetivo en común garantizará el derecho constitucional de un ambiente sano donde los efectos de la contaminación atmosférica sean mínimos, y garanticen la salubridad de este bien común para todos los colombianos.

Lo anterior se ve reflejado en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2018-2022 "Pacto por Colombia, pacto por la equidad" y en el CONPES 3918 de 2018 "Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en Colombia", iniciativas nacionales mediante las cuales se formulan metas con sus respectivos indicadores, de manera que se pueda cuantificar, evaluar e impulsar este avance, con un horizonte al año 2030. Otra política de especial interés corresponde a la "Política de Prevención y Control de la Contaminación", en la que se establece un plan de acción con el objetivo de alcanzar niveles de calidad del aire que garanticen el bienestar del ser humano y del ambiente.

Los indicadores de seguimiento y cumplimiento orientan hacia la definición y evaluación de programas regionales de prevención y control de la contaminación atmosférica, así como la toma de decisiones en materia de calidad del aire y la formulación y ajuste de las diferentes estrategias y políticas nacionales. En Colombia, para tal fin se tienen establecidos tres indicadores: el indicador de seguimiento a la Política de prevención y control de la contaminación del aire, el de cumplimiento de la meta del Plan Nacional de Desarrollo (PND) y el de cumplimiento de las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Así mismo, para conocer el estado de la calidad del aire, a nivel nacional, adoptó la Resolución 2254 de 2017 - el Índice de Calidad del Aire, el cual permite categorizar

y asociar los niveles de inmisión de los contaminantes criterio con posibles efectos adversos a la salud de la población expuesta.

En el presente documento, que corresponde a la octava entrega, se presenta la evolución que han tenido los SVCA del país, así como el estado de la calidad del aire durante 2020, en un contexto nacional y regional, así mismo, se presenta la evolución de cada uno de los indicadores nacionales mencionados.



Fotografía: Adobe Stock



Capítulo 1

Contexto



Fotografía: Adobe Stock





1.1. Calidad del aire y desarrollo sostenible

Para hablar del término “desarrollo sostenible” se puede tomar como punto de partida el documento *Los Límites del Crecimiento*, o también conocido como Informe Meadows, que en 1972 presentó un análisis a largo plazo, de cómo el crecimiento de la población y el desarrollo económico afectan los recursos naturales y la sostenibilidad de la vida en el planeta. Este documento, elaborado por un equipo interdisciplinario del MIT (Massachusetts Institute of Technology) para dar respuesta a una solicitud el Club de Roma, abordó los cinco factores básicos que limitan el crecimiento en el planeta: población, producción agrícola, recursos naturales, producción industrial y contaminación.

Este documento presenta la crisis ambiental que vivía el planeta, así como los pronósticos a 50 años, como consecuencia del crecimiento exponencial de la población y del desarrollo económico “insostenible”, los cuales ponen en riesgo la vida en la Tierra y hace un llamado de atención para replantear los modelos establecidos, trayendo como resultado el surgimiento de muchos movimientos ambientalistas a nivel mundial.

Por otro lado, en el año 1992, se llevó a cabo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en Río de Janeiro (Brasil), más conocida como “Cumbre de la Tierra de Río”, en la cual se proclamaron 27 principios con el objetivo de lograr la cooperación entre los países, los sectores claves y las personas, en la búsqueda del desarrollo sostenible. Estos principios consideran al

ser humano como el centro del desarrollo sostenible, porque no solo se debe asegurar que se cuente con recursos suficientes para las generaciones presentes sino también para las futuras, por lo tanto se debe trabajar para erradicar la pobreza, que propende por niveles de vida inequitativos que hacen que los más pobres estén expuestos a condiciones de vida poco favorables. Así mismo, se considera al Estado, como responsable de velar por la protección tanto del ambiente propio, como el de los demás países, considerando la protección ambiental como parte fundamental del desarrollo y no como un tema aislado.

Esta Cumbre de la Tierra considera que es necesario fomentar la cooperación entre los países, entendiendo que los menos desarrollados requieren apoyo de los más desarrollados, trabajando mancomunadamente para proteger la salud de la población y la integridad de los ecosistemas. Para lograrlo, se necesita cambiar los modelos de producción insostenible por aquellos amigables con el planeta, posicionando a la educación e innovación, como pilares fundamentales para el desarrollo de tecnologías nuevas y limpias, de forma que se reduzcan los impactos del desarrollo económico sobre el planeta. Así mismo, se pone de manifiesto que los ciudadanos son actores fundamentales de cambio, para lo cual deben tener acceso a campañas de sensibilización y educación, así como a la información relacionada con los procesos de contaminación ambiental.

Otros aspectos de relevancia abordados por la Cumbre de la Tierra, que involucran las responsabilidades de los Estados, fueron la necesidad de fortalecer la normatividad ambiental alineada con el ordenamiento territorial y el desarrollo económico, que se

tengan en cuenta los perjuicios ocasionados por la contaminación ambiental, que los países eviten la reubicación y transferencia de actividades o sustancias que sean dañinas para la salud y/o el ambiente a otros países y que apliquen permanentemente el principio de precaución para evitar la degradación del ambiente. Además, deberán contar con una autoridad nacional que evalúe los impactos ambientales de las actividades que se vayan a realizar y que se sospeche pueden producir impactos negativos en su territorio. Estos deberán informar de manera oportuna en el caso de que ocurran situaciones de emergencia que puedan causar efectos ambientales adversos en otros Estados. Vale la pena resaltar que los principios proferidos en esta Cumbre, posicionan a la mujer, los jóvenes, las comunidades indígenas y la paz, como pilares fundamentales de la sostenibilidad.

Continuar con los esfuerzos coordinados a nivel mundial para avanzar en la búsqueda de un modelo de desarrollo que permita erradicar la pobreza extrema y el hambre, prevenir las enfermedades mortales y ampliar la enseñanza primaria a todos los niños, en el año 2000, 189 países miembros de las Naciones Unidas promulgaron los Objetivos de Desarrollo del Milenio o mejor conocidos como ODM, que fijaron ocho metas a 2015. Estos objetivos pretenden erradicar la pobreza extrema y el hambre; universalizar la enseñanza primaria; promover la igualdad entre los géneros y la autonomía de la mujer; reducir la mortalidad infantil; mejorar la salud materna; combatir el VIH/sida, el paludismo y otras enfermedades; garantizar la sostenibilidad del medio ambiente y fomentar una asociación mundial para el desarrollo. Estos objetivos permitieron avanzar de forma importante hacia la sostenibilidad ambiental, brindando valiosas lecciones y experiencias para trabajar por el logro de nuevos objetivos.



Fotografía: Adobe Stock



Calidad del aire y agenda 2030

Veinte años después de la Cumbre de Río, en 2012, se celebró la Cumbre Río +20, en la cual se reafirmó el compromiso político para adoptar los principios promulgados veinte años atrás y se evaluaron los avances y las dificultades identificadas hasta ese momento, evidenciando que la evolución no había sido la misma para todos los países. De acuerdo con el informe "El Informe que Queremos de las Naciones Unidas", publicado en 2012, "Nos preocupa profundamente el hecho de que una de cada cinco personas de este planeta, es decir, más de 1.000 millones de personas siga viviendo en la pobreza extrema, y que una de cada siete, o el 14%, esté malnutrida, en tanto ciertos problemas de salud pública, como las pandemias y las epidemias, siguen constituyendo una amenaza omnipresente". También se estimó que se debe impulsar la implementación del desarrollo sostenible, la erradicación de la pobreza, el hambre y las enfermedades prevenibles, porque para 2050 la población mundial superará los 9.000 millones de personas de las cuales dos terceras partes vivirán en zonas urbanas.

En este sentido, la cumbre se centró en la construcción de una economía verde, eliminar la pobreza y coordinar acciones a nivel mundial para lograr un desarrollo sostenible, tomando como base los ODM, para formular unos nuevos objetivos que, mediante una visión más amplia, abordan los problemas más urgentes a los que se enfrenta el planeta.

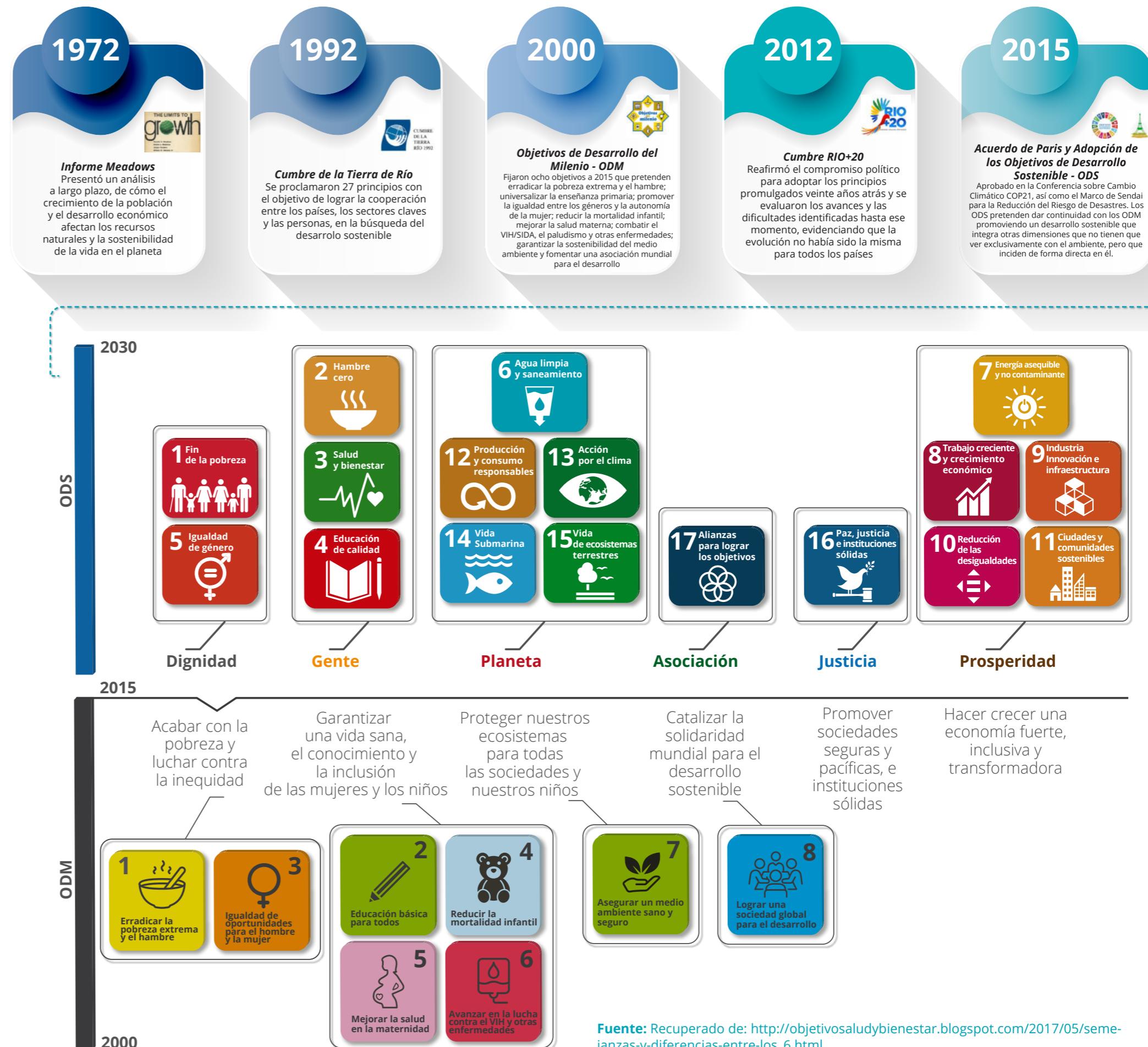
Continuando con este recorrido histórico del desarrollo sostenible, en 2015 se firma el histórico Acuerdo de París, que fue aprobado en la Conferencia sobre el Cambio Climático COP21, así como el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres. Mediante estos acuerdos se pretende reducir las emisiones de carbono, gestionar los riesgos de los desastres naturales y el cambio climático y la mitigación de sus efectos. Ese mismo año fueron adoptados los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como una apuesta ambiciosa que busca dar continuidad a los ODM, promoviendo un desarrollo sostenible que integre otras dimensiones que no tienen que ver exclusivamente con el ambiente, pero que inciden de forma directa en él. A diferencia de los ODM, los ODS incorporan la dimensión ambiental de forma transversal, incluyendo metas ambientales en objetivos económicos y sociales.

En lo que a calidad del aire se refiere, el país formuló dos metas con respecto a las concentraciones de material particulado PM₁₀ y PM_{2,5}, que son los contaminantes de mayor preocupación en el territorio nacional, debido a su afectación a la salud de la población expuesta y a las excedencias que se presentan a los límites normativos vigentes. Específicamente el ODS 11 Ciudades y comunidades sostenibles, meta 11.6. Minimizar el impacto ambiental de las ciudades, propone que a 2030 el 70% de las estaciones de calidad del aire que miden PM_{2,5} y PM₁₀ cumplan con el objetivo intermedio III de las Guías de la Organización Mundial de la Salud, que para el promedio anual corresponde a 15 µg/m³ y 30 µg/m³, respectivamente.

En esa misma línea el citado Plan Nacional de Desarrollo formuló la meta de que a 2022 el 35% de las estaciones que monitorean PM₁₀, cumplan con el objetivo intermedio III de las Guías de la Organización Mundial de la Salud. Quedan todos invitados a leer con detenimiento este documento, para conocer de primera mano cómo va el avance en estas metas y cómo fue el estado de la calidad del aire en el país durante el 2020.



Infografía 1. Línea temporal de hitos direcionados al desarrollo mundial sostenible y evolución de los Objetivos para el Desarrollo Sostenible y Objetivos de Desarrollo del Milenio



Fuente: Recuperado de: http://objetivosaludybienestar.blogspot.com/2017/05/semejanzas-y-diferencias-entre-los_6.html



1.2. Fuentes de emisión de contaminantes criterio

En el marco del Tercer Informe Bienal de Actualización (BUR3, por sus siglas en inglés), Colombia presenta el inventario de emisiones de contaminantes criterio y carbono negro del país 2010 - 2018, el cual incluye los resultados de las emisiones estimadas para cinco módulos contemplados por el EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019: energía, procesos industriales y uso de productos (IPPU, por sus siglas en inglés), agricultura, residuos, y fuentes naturales.

El inventario de emisiones de contaminantes criterio y carbono negro busca complementar la información que entrega el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero -INGEI y brinda una visión general de las fuentes emisoras de contaminantes con impacto local, lo que contribuye a la gestión integral de la calidad del aire en el país. El presente documento describe la exhaustividad, fuentes de información y metodologías empleadas para el cálculo del inventario nacional de contaminantes criterio y carbono negro 2010 - 2018.

Un inventario de emisiones es un listado que caracteriza y consolida las emisiones de contaminantes atmosféricos según su tipo de fuente y contaminantes generados, determinado por un intervalo de tiempo específico y un área geográfica delimitada. Para la elaboración de un inventario de emisiones es necesario tener un listado de las actividades emisoras dentro del área de estudio, con un intervalo de tiempo según se requiera (horario, mensual o anual). La información de población, empleo o desarrollo económico puede aportar a estimar y localizar posibles fuentes de emisión (USEPA, 1999).

No es práctico medir las emisiones de todas las fuentes que constituyen un inventario de emisiones, en consecuencia, el enfoque de estimación más común es combinar información sobre la magnitud, frecuencia o intensidad una actividad (denominados datos de actividad o DA) con coeficientes que cuantifican las emisiones o absorciones por unidad de actividad, denominados factores de emisión (FE). Por tanto, la ecuación para calcular las emisiones de cada actividad se define como:

$$\text{Emisiones} = \text{DA} * \text{FE}$$

Esta ecuación puede presentar modificaciones en circunstancias específicas, como ajustes para incluir parámetros de estimación distintos de los factores de emisión e incluir, por ejemplo, los efectos de una reducción adicional secundaria (EMEP/EEA, 2019).

Metodología fuentes de información y exhaustividad

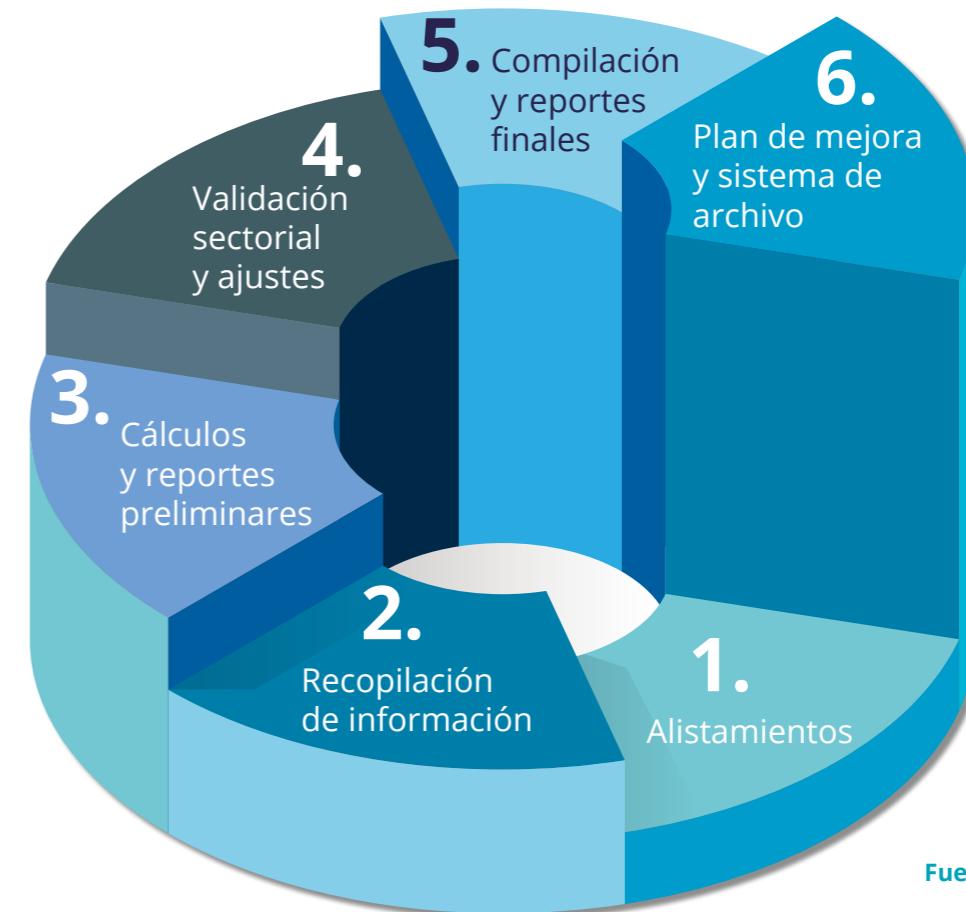
El inventario nacional de emisiones de contaminantes criterio y carbono negro se estimó por módulo y categoría según la nomenclatura NFR, de acuerdo con los métodos y lineamientos establecidos en el EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, guía técnica para la preparación de inventarios de emisiones nacionales (EMEP/EEA, 2019).

El capítulo 2 del BUR3 contiene el Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero (INGEI) junto con el inventario de contaminantes criterio y carbono negro del país, de tal manera que las etapas surtidas en el ciclo de preparación del INGEI también se llevaron a cabo en el desarrollo de este último ([ver Figura 1](#)). Esta articulación permitió que la información recopilada, calculada y analizada para estimar las emisiones GEI fuera la principal fuente de información necesaria para calcular las emisiones de carbono negro y contaminantes criterio, de tal manera que se mantuviera coherencia y consistencia con el INGEI, y se incorporaran las mejoras y actualizaciones incluidas en el reporte de emisiones GEI.

La información utilizada como datos de actividad fue previamente procesada en las etapas 1. Alistamiento y 2. Recopilación de información del ciclo de preparación del INGEI de Colombia. En este sentido, para la mayoría de las categorías del inventario nacional de contaminantes criterio y carbono negro se utilizaron los mismos datos empleados en la estimación de GEI que provee el INGEI. No obstante, a modo de referencia a continuación se describen las fuentes originales de información.



Figura 1. Ciclo de preparación del INGEI en Colombia



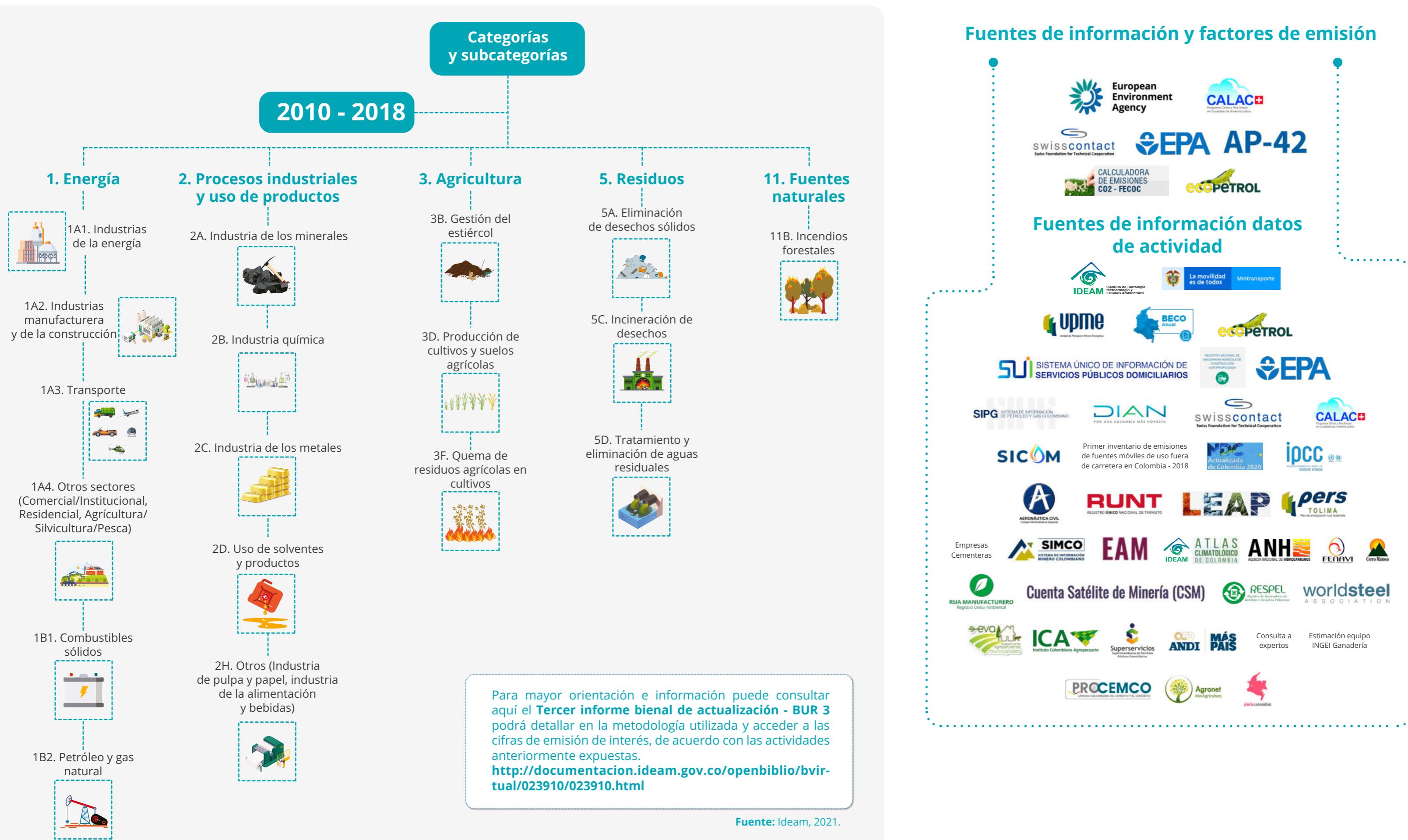
Fuente: Ideam, 2021.

En la [Infografía 2](#) se detalla el nivel metodológico y las fuentes de información de datos de actividad y factores de emisión, desagregados por subcategoría NFR, de acuerdo con la clasificación empleada por el Guidebook EMEP/EEA 2019.





Infografía 2. Categorías, subcategorías y fuentes de información de datos de actividad y factores de emisión incluidas en el inventario de contaminantes criterio y carbono negro 2010-2018





1.3. Calidad del aire y salud

La atmósfera está compuesta por una mezcla de gases y aerosoles y ha presentado variaciones en las proporciones de cada uno de sus constituyentes, no sólo a lo largo de las eras geológicas, sino también en períodos más cortos, como en el iniciado a mediados del siglo XVIII, cuando empezó la revolución industrial hasta la fecha. Estos componentes se pueden dividir básicamente en dos grupos: los gases constantes y los gases variables. Los gases constantes mantienen una proporción casi permanente en la atmósfera y entre ellos se encuentran los más abundantes, tales como el nitrógeno (78,08%), el oxígeno (20,95%) y el argón (0,93%).

Los gases variables son aquellos constituyentes que sufren mayores cambios en su proporción. En este grupo se destaca el dióxido de carbono, que se encuentra en cantidades relativamente altas (0,035%), pero con concentraciones variables a nivel estacional y a largo plazo, también el vapor de agua que presenta variaciones significativas tanto en el tiempo como en el espacio. Otros gases como el óxido nitroso, el metano y el ozono se encuentran en una menor proporción, aunque son importantes en los distintos procesos atmosféricos.

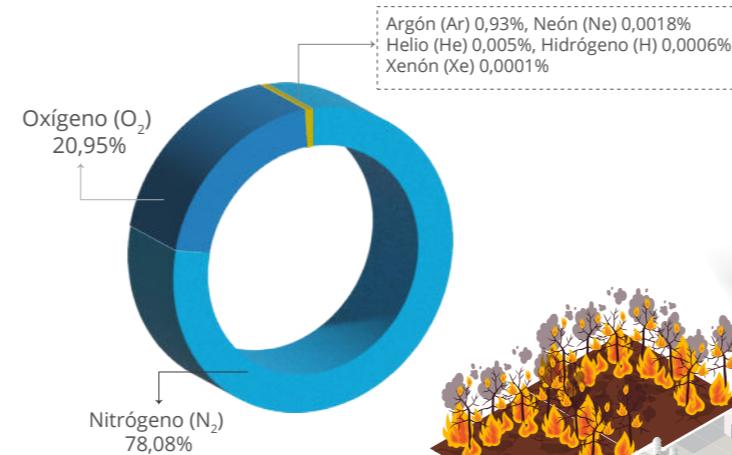
Cuando se habla de la contaminación del aire, se hace referencia a la alteración de la composición natural de la atmósfera. Existen cientos de contaminantes en el aire que se presentan en forma de partículas, gases y vapores. Un contaminante del aire puede definirse como cualquier sustancia que al ser liberada en la atmósfera altera la composición natural del aire y puede ocasionar efectos adversos en los seres humanos, vegetación, animales o los materiales (Inche, Gestión de la calidad del aire: causas, efectos y soluciones, 2004).

Las actividades humanas han tenido un efecto perjudicial en la composición del aire. La quema de combustibles fósiles y otras actividades industriales han cambiado su composición debido a la introducción de contaminantes, incluidos el dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas sólidas y líquidas conocidas como material particulado. Aunque todos estos contaminantes también pueden ser generados por fuentes naturales, las actividades humanas han aumentado significativamente su presencia en el aire que se respira (Inche, Gestión de la calidad del aire: causas, efectos y soluciones, 2004).



Infografía 3. Composición natural de la atmósfera y actividades contaminantes

Composición de la atmósfera



Componentes variables: Vapor de agua (H_2O) 0 a 4%, Dióxido de carbono (CO_2) 0,036%, Metano (CH_4) 0,00017%, Óxidos de Nitrógeno (NO_x) 0,00003%, Partículas (0,000001%), Clorofluorocarbonos (CFC) 1E-07%



La contaminación atmosférica ocurre cuando cambia la composición natural de la atmósfera; principalmente por actividades antrópicas.

Energía:

- » Industrias de la energía
- » Industrias manufactureras y de la construcción
- » Transporte
- » Otros sectores (Comercial/institucional, Residencial, Agricultura/Silvicultura/Pesca)
- » Combustibles sólidos
- » Petróleo y gas natural

Agricultura:

- » Gestión del estiércol
- » Producción de cultivos y suelos agrícolas
- » Quema de residuos agrícolas en cultivos

Residuos:

- » Eliminación de desechos sólidos
- » Incineración de desechos
- » Tratamiento y eliminación de aguas residuales

Fuentes naturales:

- » Incendios forestales
- » Erupciones volcánicas

Como se muestra en la **Infografía 3**, el origen de estos contaminantes es diverso, pueden ser emitidos a la atmósfera a partir de fuentes naturales como erupciones volcánicas, incendios forestales, erosión del suelo, procesos de polinización, entre otros, que son propios de la dinámica biogénica. También existen emisiones dadas por el desarrollo de actividades antropogénicas tales como los procesos de utilización de combustibles fósiles en la industria de la energía y en el transporte, el desarrollo de actividades manufactureras, de la construcción, mineras y de la industria del petróleo y química, el uso de fertilizantes, quema de residuos, gestión del estiércol, producción de cultivos y otras actividades de la agricultura, la quema de desechos, la eliminación e incineración de desechos sólidos, el tratamiento y eliminación de aguas residuales, entre otras.



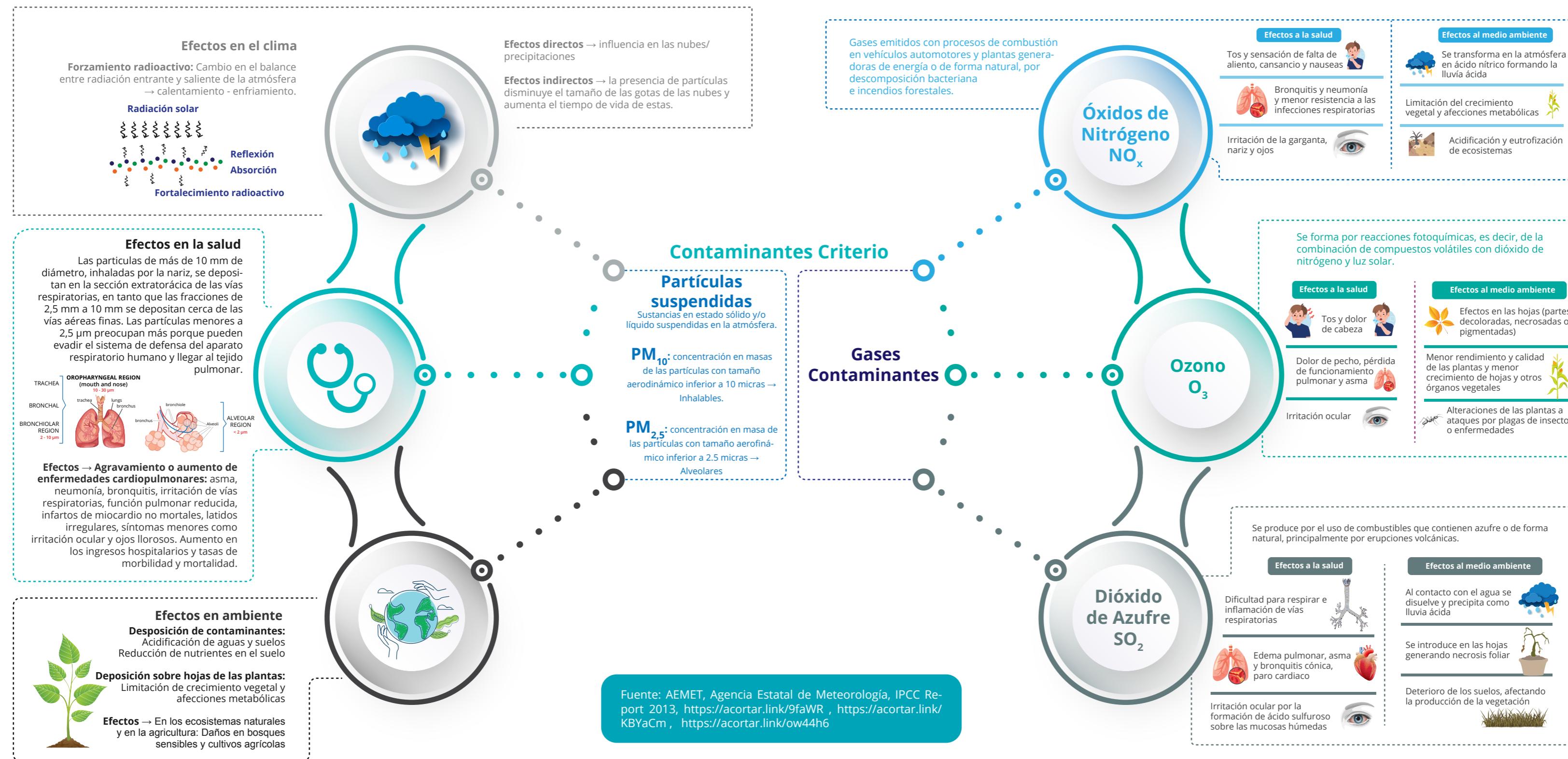


Las sustancias que degradan la calidad del aire tienen diversos orígenes y composición, y se han clasificado según sus efectos en la salud o en el ambiente como: contaminantes criterio, tóxicos o peligrosos, climáticos de vida corta y de efecto invernadero, son de especial interés para el presente informe los contaminantes criterio, dado que se determinaron como perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos a través de diversos estudios epidemiológicos. Dentro de los contaminantes criterio de interés a nivel nacional están: el Material Particulado menor a 10 micras -PM₁₀, Material Particulado menor a 2,5 micras -PM_{2,5}, Dióxido de Nitrógeno -NO₂, Dióxido de

Azufre -SO₂, Ozono troposférico -O₃ y Monóxido de Carbono -CO. La emisión a la atmósfera de estas sustancias contaminantes en cantidades crecientes como consecuencia de la expansión demográfica mundial y el progreso de la industria, han provocado ya concentraciones de estas sustancias en el aire ambiente que están acompañadas de aumentos de la mortalidad y morbilidad, existiendo pruebas suficientes de que, en general, las concentraciones elevadas de contaminantes criterio en el aire atentan contra la salud de los seres humanos (Inche, Gestión de la calidad del aire: causas, efectos y soluciones, 2004).



Infografía 4. Contaminantes criterio evaluados y principales efectos sobre la salud humana y el ambiente





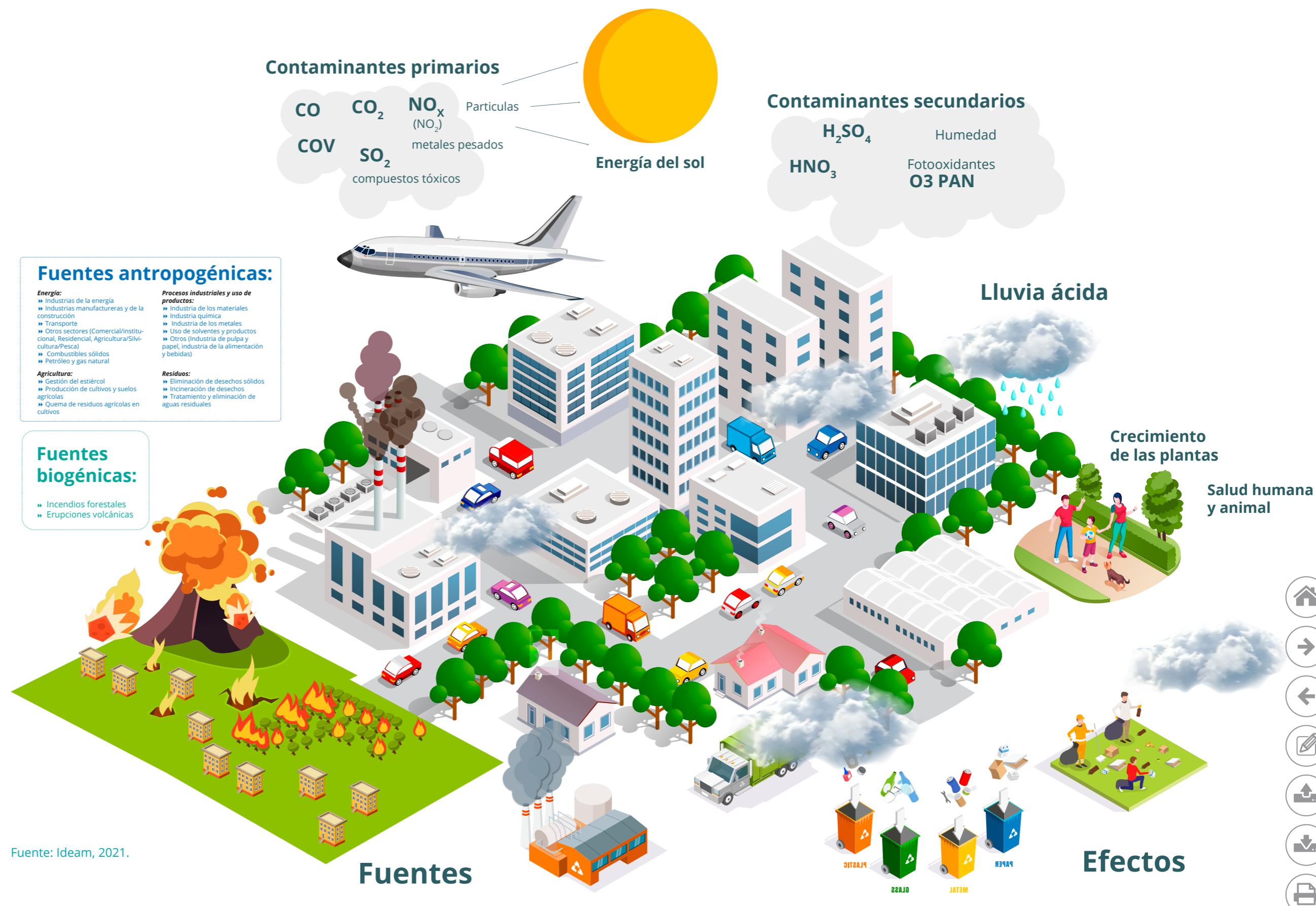
Infografía 5. Ciclo de la calidad del aire

Emisiones + Dispersión + Transformación = Inmisiones

(transporte y turbulencia)

Los contaminantes a su vez se pueden clasificar según su origen en contaminantes primarios o secundarios. Se entiende por contaminantes primarios aquellas sustancias que son vertidas directamente a la atmósfera producto de las diferentes actividades antrópicas o procesos biogénicos. Los contaminantes primarios provienen de muy diversas fuentes dando lugar a la llamada contaminación convencional, su naturaleza física y su composición química es muy variada (Inche, 2004) . Entre los contaminantes criterio de origen primario de interés para el presente informe se listan: las partículas primarias (también denominada Aerosoles Orgánicos Primarios), los dióxidos de azufre, los dióxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono.

Entre tanto, los contaminantes secundarios se generan en la tropósfera como producto de la reacción de la radiación solar con otros contaminantes primarios. Como es el caso del contaminante Ozono troposférico que se produce a partir de las reacciones fotoquímicas en presencia de radiación solar y contaminantes precursores, como los son principalmente los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV). Siendo este el contaminante criterio de origen secundario de especial interés para el presente informe. Aunque también existen algunas partículas de origen secundario, denominadas Aerosoles Orgánicos Secundarios, como los son los sulfatos - SO_4^{2-} (cuyo precursor es el SO_2), nitratos - NO_3^- (cuyo precursor son los NO_x) y amoníaco - NH_4^+ (cuyo precursor es el NH_3).





1.3.1. Contaminación del aire y pandemia por Covid 19

Subcapítulo de colaboración elaborado por:

Luis Jorge Hernández Flórez⁷

Luis Camilo Blanco Becerra⁸

Daniela Rodríguez Sánchez⁷

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha estimado que la contaminación del aire en las ciudades como en las zonas rurales, causó 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo por año; esta mortalidad tiene como origen la exposición a partículas menores a 2,5 micrones ($PM_{2,5}$), que causan enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer Organización mundial de la salud, (2021). El 91% de los 4,2 millones de muertes prematuras por esta causa se producen en países de ingresos bajos y medianos, principalmente en las regiones de Asia Sudoriental y el Pacífico Occidental de la OMS. Para 2016, esta organización estimó que aproximadamente el 58% de las muertes prematuras ligadas a la contaminación del aire se debieron a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, el 18% a enfermedad pulmonar obstructiva crónica e infecciones respiratorias agudas y finalmente el 6% se relacionaron con el cáncer de pulmón (Organización Mundial de la Salud, 2021).

Por otro lado, una evaluación llevada a cabo por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer de la OMS en 2013 estableció que la contaminación del aire exterior es carcinógena para el ser humano, indicando que las partículas del aire contaminado están estrechamente relacionadas con la creciente incidencia de cáncer de pulmón, de vías urinarias y de vejiga (Organización Mundial de la Salud, 2021).

En Colombia los diferentes Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA) han identificado al material particulado menor a 10 y 2,5 micrones (PM_{10} y $PM_{2,5}$) como los contaminantes criterio de mayor medición e importancia en todo el territorio nacional. En las grandes ciudades como Bogotá y Medellín las fuentes de contaminación están representadas en un 60% por fuentes móviles en especial el transporte público, camiones y motos y un 40% por chimeneas, quemas al aire libre, mal estado de las vías y desforestación (SDS, 2020). Actualmente solo el 15% de las estaciones de monitoreo de los SVCA cumplen con la meta de la OMS para $PM_{2,5}$ y según los nuevos lineamientos de la OMS para 2021 se excederían los límites

diario y anual para este contaminante que ahora exhiben valores más estrictos de $15 \mu g/m^3$ y $5 \mu g/m^3$ respectivamente (Ideam, 2019) (World Health Organization, 2021).

La calidad del aire hoy en día se considera uno de los principales determinantes de la salud a nivel urbano. Según datos de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá para el 2018, 2.320 muertes fueron atribuidas a la contaminación del aire. En Bogotá el riesgo atribuible a la contaminación del aire asociada a morbilidad y mortalidad por enfermedades crónicas no trasmisibles constituye la primera causa de mortalidad a nivel urbano; esto quiere decir que, si no hubiera contaminación del aire, disminuiría en un 24% la enfermedad isquémica del corazón (Tabla 1); esto es llamado en salud pública la fracción prevenible.

Tabla 1. Riesgo atribuible por Contaminación del aire por Material particulado - Comparativo

Riesgo atribuible por contaminación del aire extramural	Global	Colombia	Bogotá
Enfermedad respiratoria aguda	8%	17%	8%
Enfermedad isquémica del corazón	23%	13%	24%
Accidente cerebrovascular	25%	9%	25%
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	9%	21%	9%
Cáncer de pulmón	14%	12%	14%
Diabetes	22%	22%	1%

Fuente: Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, con base en el informe del estado de la calidad del aire (Ideam, 2019).

La pandemia mundial causada la Covid 19 ha llamado la atención en cuanto a la relación entre esta y la exposición crónica y aguda a contaminantes del aire, además de la presencia de mejores condiciones de calidad del aire por las cuarentenas establecidas para disminuir la diseminación del virus en la población mundial. Un estudio realizado en 597 ciudades de todo el mundo entre el 1º de enero y el 5 de julio de 2020 cuantificó los impactos derivados de 8 tipos de medidas de cuarentena en las concentraciones de diferentes contaminantes del aire. Los resultados muestran que el valor del índice de calidad del aire para NO_2 se redujo (23-37%) en relación con el período previo a la cuarentena, seguido del PM_{10} (14-20%), SO_2 (2-20%), $PM_{2,5}$ (7-16%) y CO (7-11%), mientras que el O_3 aumentó en un 10-27%.

El análisis de heterogeneidad entre ciudades mostró que los efectos de la cuarentena fueron más evidentes en ciudades de países de bajos ingresos, más industrializadas y mayormente pobladas. Se estimó que la reducción de los contaminantes en los 76 países y regiones involucradas, se traduciría en la disminución de 99.270 a 146.649 muertes prematuras, señalando la importancia de la implementación de estrategias continuas para el control de la contaminación del aire, protegiendo así la salud humana y reduciendo la pérdida de bienestar social presente tanto durante como después de la pandemia de Covid-19 (Lui, 2021).

En China se desarrollaron modelos de interrupción-recuperación y diseño de regresión-discontinuidad para caracterizar los patrones de interrupción-recuperación de la contaminación del aire. Se analizaron los impactos ambientales de las cuarentenas por la Covid-19, utilizando datos de contaminación del aire de cuatro metrópolis chinas (Shanghai, Wuhan, Tianjin, y Guangzhou). Los resultados revelaron que la curva de interrupción-recuperación de contaminantes del aire representada por los tres períodos de respuesta de la cuarentena (Nivel I, Nivel II y Nivel III) durante Covid-19, disminuyeron durante el Nivel I (25,3% - 48,8% en la concentración de NO_2 en las cuatro metrópolis en comparación con el mismo período en 2018-2019), recuperándose alrededor de la reapertura (Nivel II) y finalmente volviendo a disminuir durante el Nivel III (Cai, 2021).

En Colombia se evaluó el impacto de la cuarentena por la pandemia de la Covid-19 en las concentraciones de $PM_{2,5}$ en 5 estaciones de monitoreo de calidad del aire, identificando reducciones en los valores semanales de $PM_{2,5}$, del 41 al 84% en Bogotá, del 13 al 66% en Funza, del 17 al 57% en el departamento de Boyacá, del 35 al 86% en Valledupar y del 31 al 60% en el departamento de Risaralda. **Se concluyó que el comportamiento espacio-temporales de $PM_{2,5}$ en Colombia se afectó por factores como la reducción en el flujo vehicular durante la cuarentena, la precipitación regional y la altura de la capa límite planetaria (Arregocés, 2021).**

Por otra parte, en las ciudades de Bogotá y Medellín se analizó el comportamiento de los contaminantes criterio durante la implementación de la cuarentena por la Covid 19, empleando un conjunto de herramientas que incluían mediciones de superficie, así como datos satelitales y modelación, durante el período del 21 de febrero al 30 de junio de 2020. Los resultados mostraron reducciones de concentración de fondo de NO_2 , PM_{10} y $PM_{2,5}$ en el corto plazo del 60%, 44% y 40%, respectivamente, para la cuarentena estricta; y 62%, 58% y 69% para la cuarentena flexible. La disminución a largo plazo fue de 50%, 32% y 9% para la cuarentena estricta, y 37%, 29% y 19% para la cuarentena flexible. Las quemas de biomasa regionales aumentaron las concentraciones de $PM_{2,5}$ en $20 \mu g/m^3$ durante la cuarentena estricta, mientras el evento de polvo en el Sahara

⁷ Facultad de Medicina. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

⁸ Facultad de Ingeniería Ambiental. Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia





incrementó los valores de PM₁₀ hasta 168 µg/m³ en Bogotá y 104 µg/m³ en Medellín, trayendo consigo un riesgo adicional de morbilidad y mortalidad para la población (Méndez-Espinosa, 2020).

Especificamente para Bogotá, la Secretaría Distrital de Ambiente en el informe anual de calidad del aire correspondiente al año 2020 mostró que debido a la pandemia y a las restricciones de movilidad establecidas en el aislamiento preventivo en el país a causa de la Covid 19, durante los meses de abril a agosto disminuyó la contaminación del aire en la ciudad especialmente por material particulado; también señala que a partir de la última semana del mes de junio los niveles de contaminación se incrementaron de nuevo, atribuyendo esto al ingreso de arenas del Sahara en Suramérica y Centroamérica. Sin embargo, a pesar de la disminución de casi el 70% de la movilidad en Bogotá, persistieron los altos niveles de contaminación del aire por material particulado en algunos períodos de tiempo, debido a los incendios forestales en los Llanos colombo venezolanos, Cundinamarca y otros departamentos, sumados a los incendios dentro del área urbana de Bogotá en humedales y otras áreas, además de los fenómenos meteorológicos como inversión térmica presentes en la sabana de Bogotá (Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá, 2021).

Teniendo en cuenta las investigaciones a nivel mundial, sumado a los reportes de entidades distritales, municipales y departamentales que administran sistemas de vigilancia de calidad del aire, se identifica cómo la cuarentena derivada de la pandemia por la Covid 19 conllevó a una mejora en la calidad del aire en diferentes países, lo cual se evidencia en el comportamiento de la morbilidad y mortalidad relacionada con esta enfermedad. Un estudio realizado en China analizó las concentraciones de NO₂ y PM_{2,5} en 367 ciudades chinas durante el 1º de enero de 2016 hasta el 14 de marzo de 2020; se estableció que, debido a la cuarentena, el NO₂ se redujo en 22.8 µg/m³ en Wuhan y en 12.9 µg/m³. Para PM_{2,5} disminuyó 1.4 µg/m³ en Wuhan, mientras que la disminución entre las 367 ciudades fue de 18.9 µg/m³ en China. Se identificó que la mejora de la calidad del aire durante el período de cuarentena evitó un total de 8.911 muertes relacionadas con el NO₂ (95% IC: 6.950-10.866), el 65% de las cuales se atribuyeron a enfermedades cardiovasculares (enfermedad hipertensiva, enfermedad coronaria y accidente cerebrovascular) y EPOC. Además, se estimó que la reducción de PM_{2,5} durante el período de cuarentena evitó un total de 3.214 muertes relacionadas con PM_{2,5} (95% IC: 2.340-4.087) en China, 73% de las cuales fueron por enfermedades cardiovasculares y EPOC (Chen, 2020).

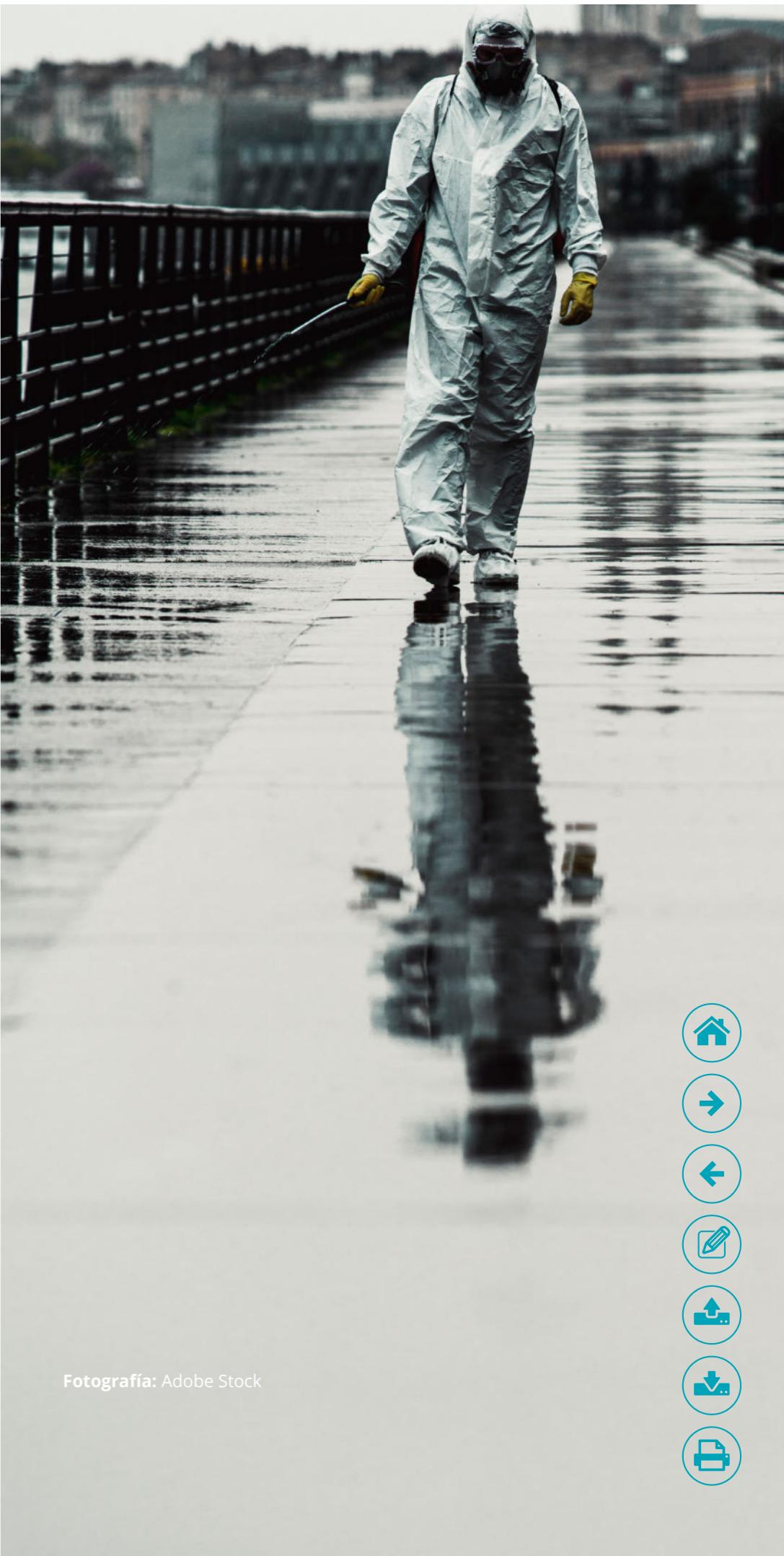
En la India se analizó el impacto de las cuarentenas en los índices de calidad del aire de los contaminantes dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), ozono troposférico (O₃), material particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}) y amoníaco (NH₃). Se encontró que las ciudades con mala calidad del aire se correlacionaron con mayores casos y muertes de Covid-19 ($r = 0.504$ y $r = 0.590$ para NO₂); por el contrario, se evidenció una disminución en la mortalidad en ciudades con mejor calidad del aire; los resultados sugieren que la contaminación del aire puede exacerbar las manifestaciones clínicas de Covid en la población (Naqvi, 2021).

Para América Latina y el Caribe (ALC) se evaluó la propagación del SARS-CoV-2 a través de la región mediante una correlación entre la temperatura promedio, temperatura mínima, temperatura máxima, precipitación, humedad relativa promedio, indicadores de velocidad del viento y contaminación del aire por PM₁₀, PM_{2,5} y NO₂ con los casos y muertes diarias por COVID-19, en ciudades como: Ciudad de México (México), Santo Domingo (República Dominicana), San Juan (Puerto Rico), Bogotá (Colombia), Guayaquil (Ecuador), Manaus (Brasil), Lima (Perú), Santiago (Chile), São Paulo (Brasil) y Buenos Aires (Argentina). Los resultados muestran que la temperatura promedio, la temperatura mínima y la calidad del aire se asociaron significativamente con la propagación de Covid-19 en ALC. Además, la humedad, la velocidad del viento y la precipitación mostraron una relación significativa con los casos diarios, los casos totales y la mortalidad para varias ciudades. La desigualdad de ingresos y los niveles de pobreza también se consideraron como una variable para el análisis cualitativo, sugiriendo que la desigualdad de ingresos y los niveles de pobreza en las ciudades analizadas se relacionaron con la propagación de Covid-19 positiva y negativa, respectivamente (Bolaño-Ortiz, 2020).

En Colombia se realizó un estudio cuyo fin fue determinar la asociación entre la exposición crónica a partículas finas (PM_{2,5}), aspectos sociodemográficos y condiciones de salud con la mortalidad por Covid-19. El estudio concluyó que no hubo evidencia de una asociación entre la exposición a largo plazo a PM_{2,5} y la tasa de mortalidad por Covid-19 a nivel municipal en Colombia. La demografía, la capacidad del sistema de salud y las condiciones sociales tuvieron evidencia de un efecto ecológico sobre la mortalidad por Covid 19 (Rodríguez-Villamizar, 2021).

La evidencia epidemiológica identifica a la contaminación del aire como un determinante social que influye en la presencia de la Covid 19 en la población, es por ello por lo que es necesario trabajar en las estrategias de vigilancia, prevención y control de la contaminación del aire, con el fin de minimizar la carga de enfermedad por enfermedades cardiopulmonares e infecciosas en la población. Es por ello que aunque los períodos de exposición a contaminantes del aire se estiman en períodos de 24 horas y anuales, estos no reflejan bien la exposición poblacional, razón por la cual el uso de metodologías NowCast (Environmental Protection Agency, 2021), como por ejemplo la utilizada en ciudad de México la cual considera promedios de 3, 6, 8 o 12 horas, dependiendo de las condiciones de emisión de las fuentes generadoras de contaminantes del aire, permite un acercamiento a la exposición poblacional desde las mediciones ambientales.

En síntesis, es clave para la salud urbana formular e implementar planes nacionales de calidad del aire que, sumados a los lineamientos mundiales de calidad del aire emitidos por la OMS, conllevan a beneficios futuros que impactaran las enfermedades derivadas de la contaminación del aire y los efectos de estas emisiones en el cambio climático.



Fotografía: Adobe Stock





1.4. Normatividad aplicable

Colombia ha tenido una larga y amplia tradición en materia de acciones para el control de la contaminación del aire. Inicialmente, en 1967 se instalaron los primeros equipos para el monitoreo de la calidad del aire, pero sólo fue hasta el año 1982 cuando a través del Decreto 02 se adoptó la primera norma que reguló la emisión y concentración de contaminantes en la atmósfera. Uno de los grandes avances en materia del control de la contaminación del aire fue la adopción mediante el Decreto 948 de 1995 del Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire, unificado en el año 2015 en el Título 5° del Decreto 1076. El Decreto 948 de 1995 permitió a Colombia avanzar en la política y normativa para la prevención, control y reducción de la contaminación atmosférica.

Tabla 2. Normatividad de calidad del aire en Colombia versus recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud

Contaminante	Res. 2254/17			OMS		Tiempo de exposición
	A partir de 2018	A partir de 2030	Objetivo Intermedio 2	Objetivo Intermedio 3	Valor Guía	
PM ₁₀	50	30	50	30	20	Anual
	75	75	100	75	50	24 horas
PM _{2,5}	25	15	25	15	10	Anual
	37	37	50	37,5	25	24 horas
SO ₂	50	20	50	-	20	24 horas
	100	-	-	-	-	1 hora
NO ₂	60	40		40		Anual
	200	-	-	-	200	1 hora
O ₃	100	-	-	-	100	8 horas
CO	5.000	-	-	-	-	8 horas
	35.000	-	-	-	-	1 hora

Fuente: Resolución 2254 de 2017.
Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud, 2005.

Así mismo, expedieron las normas de ruido ambiental (Resolución 627 de 2006), de emisiones contaminantes generadas por fuentes fijas (Resolución 909 de 2008) y fuentes móviles (Resolución 910 de 2008), de calidad del aire que ha surtido varias actualizaciones (Resolución 601 de 2006, Resolución 610 de 2010 y Resolución 2254 de 2017), las que promueven el uso de tecnologías limpias (Resolución 2604 de 2009 y Resolución 1111 de 2013), de olores ofensivos (Resolución 1541 de 2013), y se formuló la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire de 2010-PPCCA, que también fue actualizada mediante el CONPES 3943, Política para el Mejoramiento de la Calidad del Aire, entre otras.

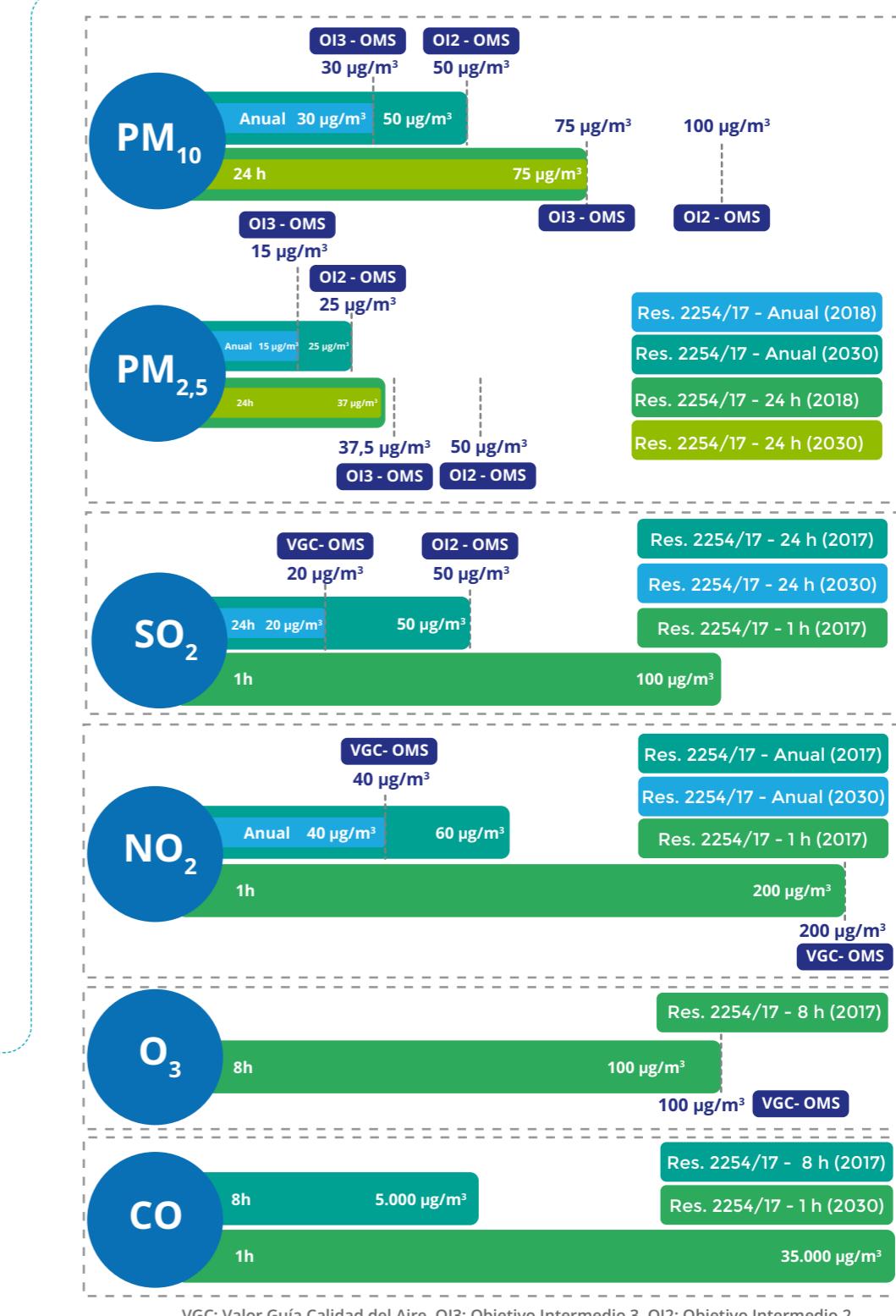
En general la normativa colombiana en materia de calidad del aire y emisiones se ha planteado en función de la protección de la salud humana y el medio ambiente, a través de un proceso de gradualidad que involucra la capacidad técnica, tecnológica y económica del país; ya que estos factores deben hacer parte de la construcción normativa de carácter técnico. Además del desarrollo normativo y de política, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible trabaja desde diferentes frentes en la formulación de estrategias coordinadas, eficientes y equitativas dirigidas a prevenir y controlar la contaminación del aire.

Bajo este contexto, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el 1º de noviembre de 2017 expidió la Resolución 2254, la cual establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión y adopta disposiciones para la gestión del recurso aire en el territorio nacional, con el objeto de garantizar un ambiente sano y minimizar el riesgo sobre la salud humana que pueda ser causado por la exposición a los contaminantes en la atmósfera.

La Resolución 2254 de 2017 atiende las recomendaciones realizadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS); que estableció un valor guía y diferentes niveles objetivo a partir de la evidencia epidemiológica, que se han propuesto como pasos de una reducción progresiva de la contaminación del aire en zonas donde la contaminación excede los límites máximos permisibles.



Infografía 6. Normatividad de calidad del aire en Colombia y recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud



Fuente: Ideam, 2021. Resolución 2254 de 2017. Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud, 2005.





1.5. Índice de calidad del aire (ICA)

El Índice de Calidad del Aire permite categorizar y correlacionar los niveles de inmisión de los contaminantes criterio obtenidos mediante las estaciones de monitoreo con posibles efectos adversos a la salud de la población expuesta. El ICA es un valor adimensional, entre 0 y 500, al cual se le asigna un color y una categoría que, de menor a mayor, en orden de importancia tiene una relación con potenciales efectos a la salud.



El ICA en Colombia se normaliza mediante la Resolución 2254 de 2017, la cual expone los puntos de corte para su ponderación y la respectiva categorización de acuerdo con los posibles efectos sobre la salud humana asociados, los cuales se presentan respectivamente en las **Tablas 3 y 4**.

Tabla 3. Puntos de corte del Índice de Calidad del Aire - ICA

Índice de Calidad del Aire - Categoría	Puntos de Corte del ICA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
	PM ₁₀ 24 horas	PM _{2,5} 24 horas	CO 8 horas	SO ₂ 1 hora	NO ₂ 1 hora	O ₃ 8 horas	O ₃ ⁹ 1 hora
Buena	0 - 54	0 - 12	0 - 5094	0 - 93	0 - 100	0 - 106	--
Aceptable	55 - 154	13 - 37	5095 - 10819	94 - 197	101 - 189	107 - 138	--
Dañina a la salud de grupos sensibles	155 - 254	38 - 55	10820 - 14254	198 - 486	190 - 677	139 - 167	245 - 323
Dañina para la salud	255 - 354	56 - 150	14255 - 17688	487 - 797	678 - 1221	168 - 207	324 - 401
Muy dañina para la salud	355 - 424	151 - 250	17689 - 34862	798 - 1583	1222 - 2349	208 - 393	402 - 794
Peligrosa	425 - 604	251 - 500	34863 - 57703	1584 - 2629	2350 - 3853	394 ¹⁰	795 - 1185

Fuente: Resolución 2254 de 2017.

⁹ En general, se requiere que en todas las zonas de monitoreo se reporte el ICA de ozono de 8 horas. Sin embargo, hay un pequeño número de áreas donde un ICA basado en valores de ozono de 1 hora sería más precautorio (estaciones ubicadas en zonas de alto tráfico vehicular en épocas de intensa radiación solar). En estos casos, además de calcular el valor del índice de ozono de 8 horas, se debe calcular ICA de ozono de 1 hora y reportar el más alto de los dos.

¹⁰ El ICA de ozono de 8 horas no será calculado para concentraciones mayores a 394 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para valores superiores se realiza únicamente el cálculo de ICA de ozono para 1 hora.



Tabla 4. Descripción general de los efectos a la salud de acuerdo con la categoría del estado de la Calidad del Aire

Índice de Calidad del Aire - Categoría	Efectos a la salud	Índice de Calidad del Aire - Categoría	Efectos a la salud
0 a 50 	La contaminación atmosférica supone un riesgo bajo para la salud	151 a 200 	Todos los individuos pueden comenzar a experimentar efectos sobre la salud. Los grupos sensibles pueden experimentar efectos más graves para la salud.
51 a 100 	Posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles	201 a 300 	Estado de alerta que significa que todos pueden experimentar efectos más graves para la salud.
101 a 150 	Los grupos poblacionales sensibles pueden presentar efectos para la salud. Las personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, niños, adultos mayores y las que constantemente realizan actividad física al aire libre, deben reducir su exposición a los contaminantes del aire.	301 a 500 	Advertencia sanitaria. Toda la población puede presentar efectos adversos graves en la salud humana y están propensos a verse afectados por graves efectos sobre la salud.

Fuente: Resolución 2254 de 2017.

Para mayor orientación acerca del índice de Calidad del Aire consulte aquí:
http://sisaire.ideam.gov.co/ideam-sisaire-web/aprendizaje.xhtml?de=INDICE_CALIDAD

También puede consultar en tiempo real el comportamiento de este indicador para los principales Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del país.
<http://iboca.ambiente.bogota.gov.co/mapa/>
https://siata.gov.co/slata_nuevo/



Capítulo 2

Metodología



El Ideam es la institución que almacena y administra la información para el diseño, evaluación y ajuste de las políticas y estrategias nacionales y regionales de prevención y control de la contaminación del aire, mediante el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire (SISAIRE). Las entidades encargadas de suministrar dicha información se componen por las Corporaciones Autónomas Regionales, las Corporaciones para el Desarrollo Sostenible, las Autoridades Ambientales de los Grandes Centros Urbanos y a las que se refiere el artículo 13 de la Ley 768 del 2002, las cuales tienen la obligación de reportar la información de calidad del aire, meteorológica y de ruido al SISAIRE.

El SISAIRE fue implementado a partir de lo establecido en la Resolución 651 de 2010, este sistema permite recolectar información de las variables meteorológicas y de calidad del aire, la cual es generada por los distintos Sistemas de Vigilancia que administran las autoridades ambientales, facilitando la disponibilidad y la calidad de la información ambiental que se requiera por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) para el logro del desarrollo sostenible del país.

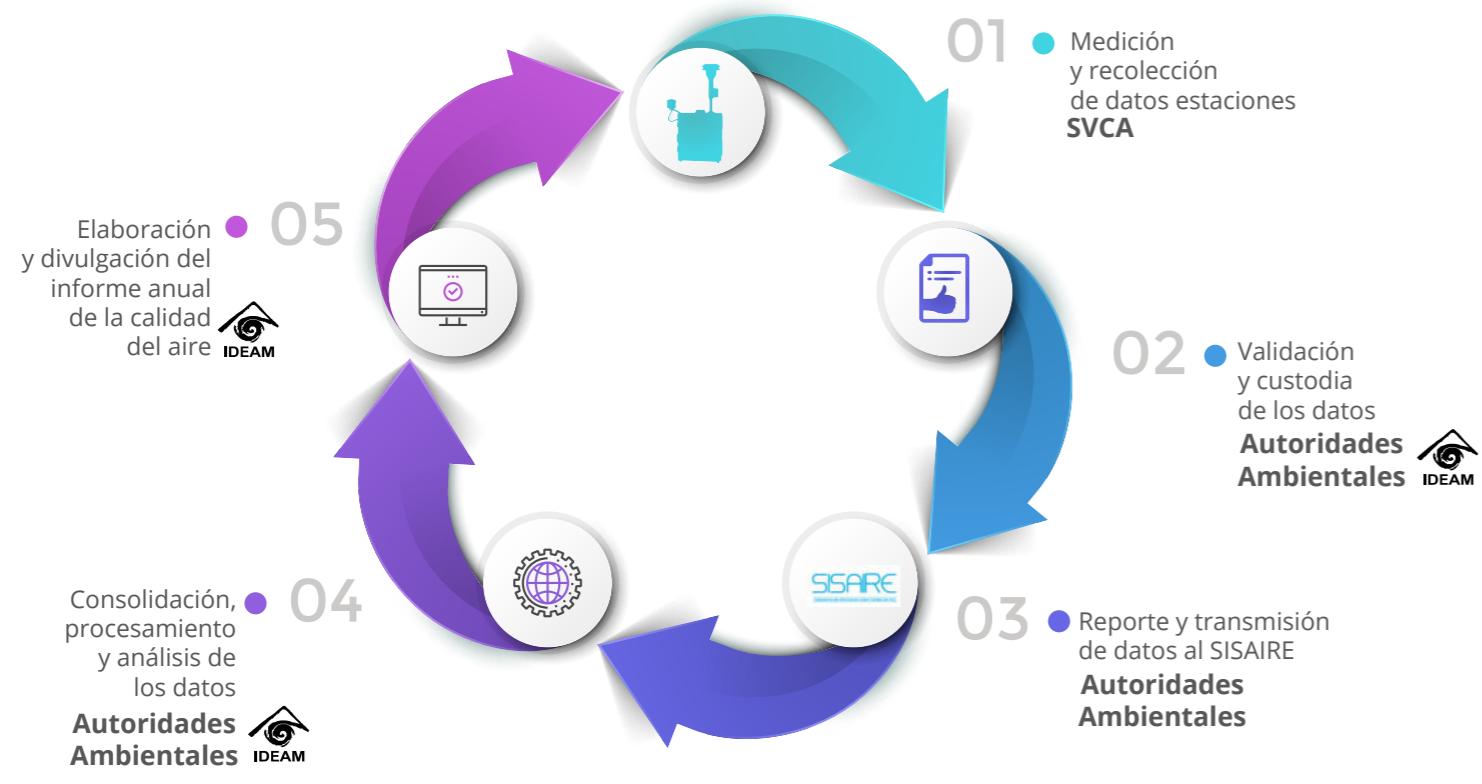
El Ideam con el fin de garantizar la oportunidad de los datos consultados por la ciudadanía en general, con una periodicidad trimestral realiza el seguimiento a los reportes realizados al SISAIRE por las Autoridades Ambientales a nivel nacional que operan SVCA. Con base en la información reportada, el Ideam elabora anualmente el Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia. Para este propósito, en el marco de la operación "Estadística del monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (EMSCA)" (Certificada en 2020 por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE de acuerdo con la Norma Técnica de Calidad del Proceso Estadístico NTE-PE1000), realiza la consolidación, 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; garantizando la consistencia, coherencia, confiabilidad y validez de la información entregada y presentada en el informe anual.

La elaboración del Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia de forma anual demanda una serie de actividades que incluyen: medición y recolección de datos de estaciones de los SVCA, validación y custodia de los datos, reporte transmisión de datos al SISAIRE, consolidación, procesamiento y análisis de los datos y elaboración y divulgación del informe. Las cuales se detallan a continuación en la [Infografía 7](#).





Infografía 7. Flujograma de actividades para la elaboración del informe



Fuente: Ideam, 2021.

1. Medición y recolección de datos de estaciones de los SVCA: El hecho de contar con datos confiables permite hacer un correcto diagnóstico de la problemática de la calidad del aire en una zona o área específica. Para ello, es importante contar con un Programa de Aseguramiento de la Calidad que contemple, entre otras, la realización de cronogramas de operación, mantenimiento y calibración de los equipos, así como con personal idóneo para la realización de estas actividades, de tal manera que los datos de los SVCA cumplan con los atributos de calidad.

2. Validación y custodia de los Datos: Esta etapa que le corresponde a la Autoridad Ambiental, permite determinar si los datos resultantes de la etapa de monitoreo son confiables, representativos y de calidad, acopiando e inspeccionando mediante evidencia objetiva que confirme que los requerimientos específicos del uso final de los datos han sido cumplidos; una vez validados, la Autoridad Ambiental los consolida en una base de datos donde estos son custodiados.

3. Reporte y transmisión de datos al SISAIRE: Las Autoridades Ambientales tienen la obligatoriedad de reportar toda la información validada generada por su sistema de vigilancia (datos meteorológicos, de contaminantes y de ruido ambiental) al SISAIRE, de acuerdo con la periodicidad establecida en la Resolución 651 de 2010.

4. Consolidación, procesamiento y análisis de los datos: Durante esta etapa, se ejecuta la fase de análisis, en la cual se examina la consistencia y coherencia de la información procesada; se realiza un proceso conjunto con las Autoridades Ambientales, donde por parte del Instituto, se remiten informes de inconsistencias para que la Autoridad Ambiental atienda las observaciones planteadas, con lo que se obtiene una base de datos consolidada y depurada con la cual se proceden a generar las salidas de información.

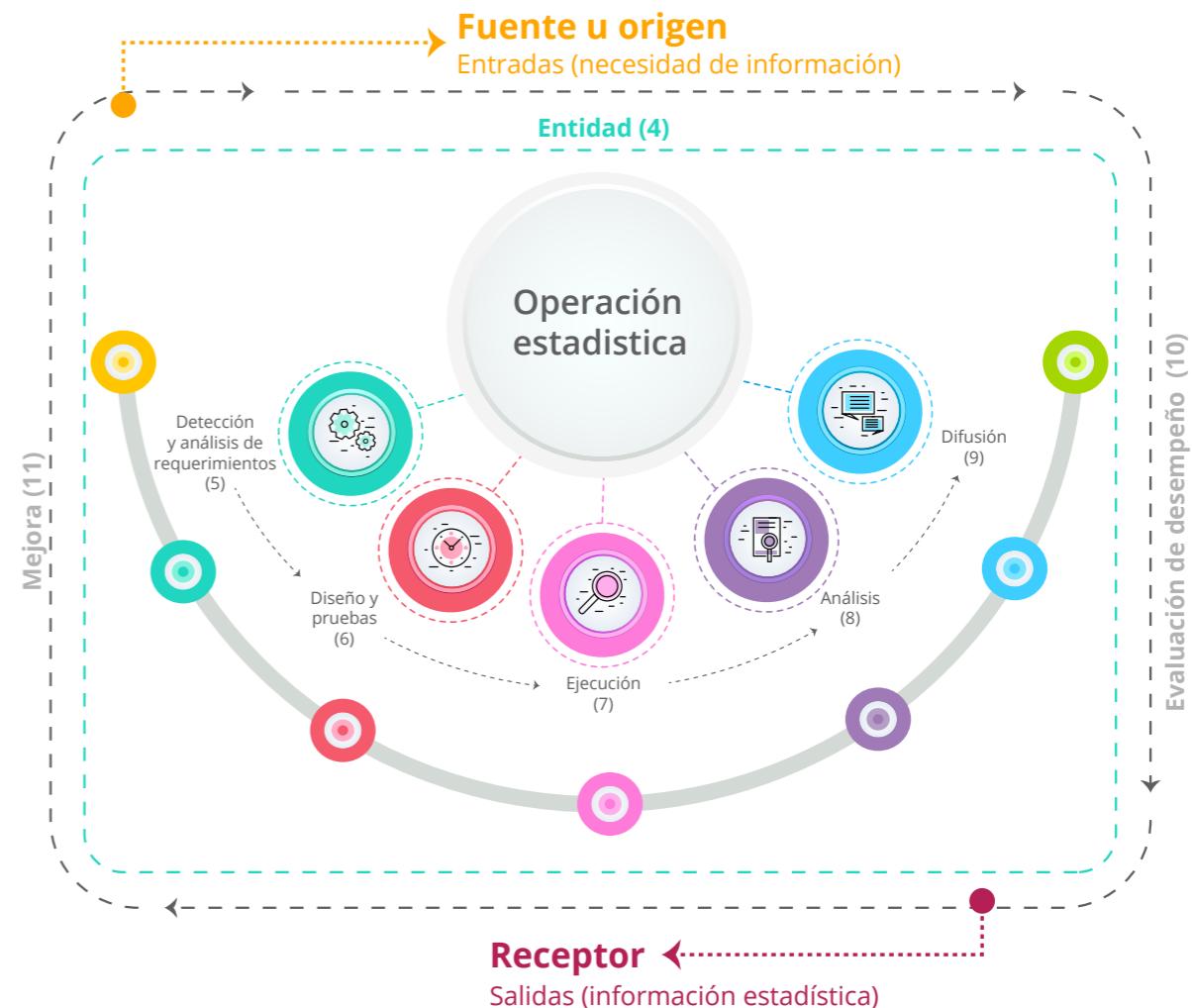
El Instituto ha desarrollado un proceso de estandarización y modernización del procesamiento de las bases de datos, mediante algoritmos estadísticos en lenguaje R, a través del cual se realizan los diferentes análisis operativos (cantidad de estaciones y equipos de monitoreo existentes, variables a evaluar 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 (relaciones entre las concentraciones de contaminantes con las variables meteorológicas).

5. Elaboración y divulgación del informe: Con los análisis realizados, se procede a la difusión de la información, se ponen a disposición de los usuarios los resultados de los diferentes análisis realizados; destacándose entre otros: el estado actual de los SVCA y de la calidad del aire en las regiones, las excedencias que se presentan en las estaciones de monitoreo, conforme a los niveles máximos permisibles para el tiempo de exposición anual de los contaminantes criterio, estipulados en la Resolución 2254 de 2017 y el comportamiento del Índice de Calidad del Aire (ICA). El informe queda disponible para consulta del público en los portales web del Ideam y del SISAIRE.

A su vez, este proceso estadístico, en cabeza del Ideam, sigue estrictamente los lineamientos y fases en el marco de la operación "Estadísticas para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (EMSCA)", Certificada en 2020 por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) de acuerdo con la Norma Técnica de Calidad del Proceso Estadístico NTE-PE1000 ([ver Figura 2](#)).



Figura 2. Proceso Estadístico NTE-PE1000



Fuente: DANE - Adaptación del modelo GSBPM versión 5, Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas.



Capítulo 3

Estado de los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire

Fotografía: Adobe Stock





Fotografía: Adobe Stock

De acuerdo con lo estipulado en la normatividad ambiental, en Colombia, el monitoreo, evaluación y seguimiento de los fenómenos de contaminación del aire está a cargo de las Corporaciones Autónomas Regionales y las Autoridades Ambientales de los Grandes Centros Urbanos. Así mismo, en cabeza de dichas autoridades está la definición e implementación de programas regionales de prevención y control de contaminación (Decreto 1076 de 2015, artículo 2.2.5.1.6.2. literal d).

Los niveles de concentración de los contaminantes atmosféricos son monitoreados por Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire, cuyos lineamientos técnicos de diseño y operación se establecen en el "Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire", adoptado mediante la Resolución 650 del 2010 y modificado mediante la Resolución 2154 de 2010. A partir de los lineamientos contemplados en el citado Protocolo, las autoridades ambientales dentro del territorio de su competencia han venido implementando y operando diversas estaciones de monitoreo agrupadas en dichos SVCA; realizando observación y seguimiento constante, medición, evaluación y control de los fenómenos de contaminación del aire. La información capturada, procesada y validada por las Autoridades Ambientales es reportada en SISAIRE (www.sisaire.gov.co), que corresponde a la principal fuente de información sobre Calidad del Aire en Colombia.

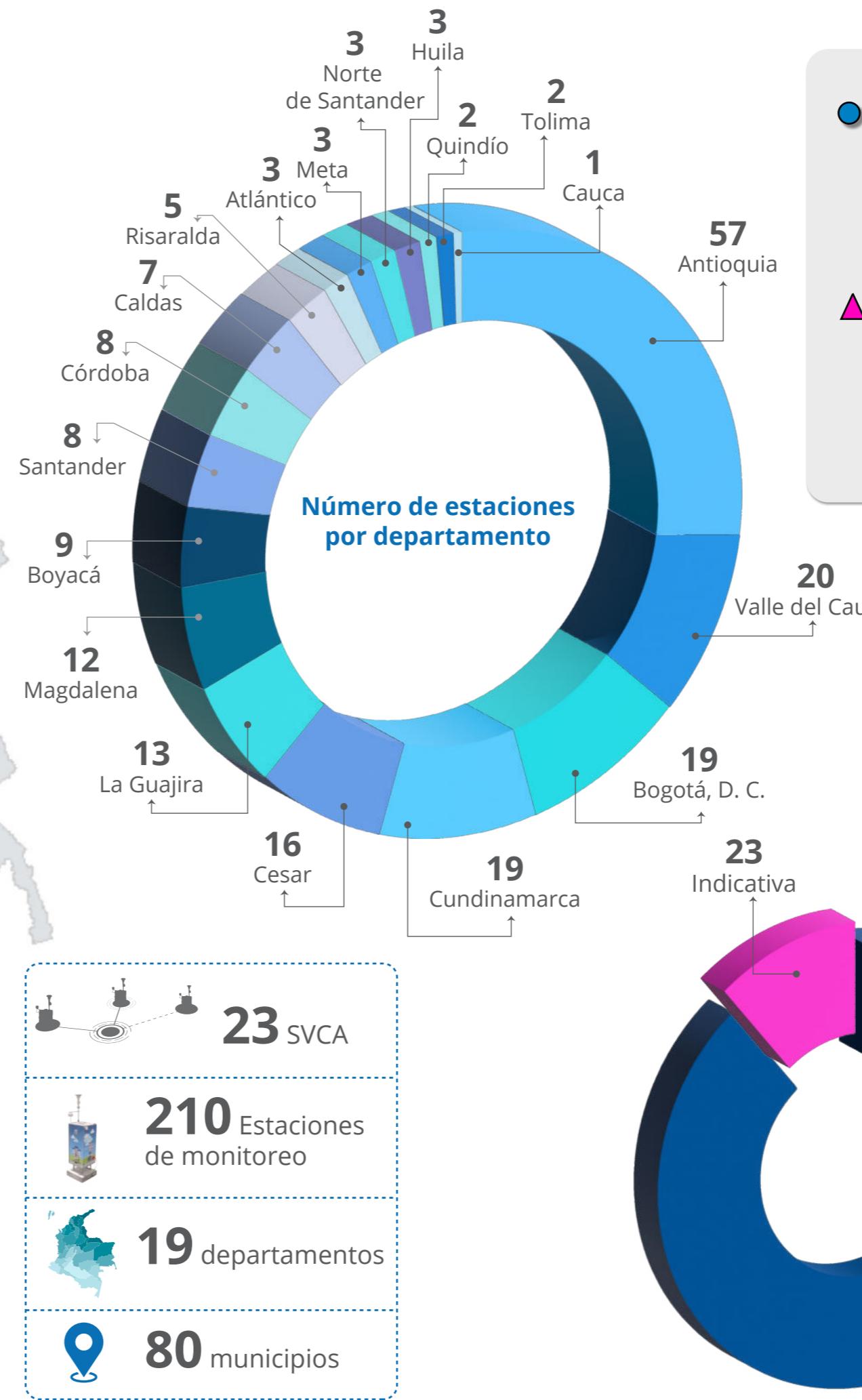
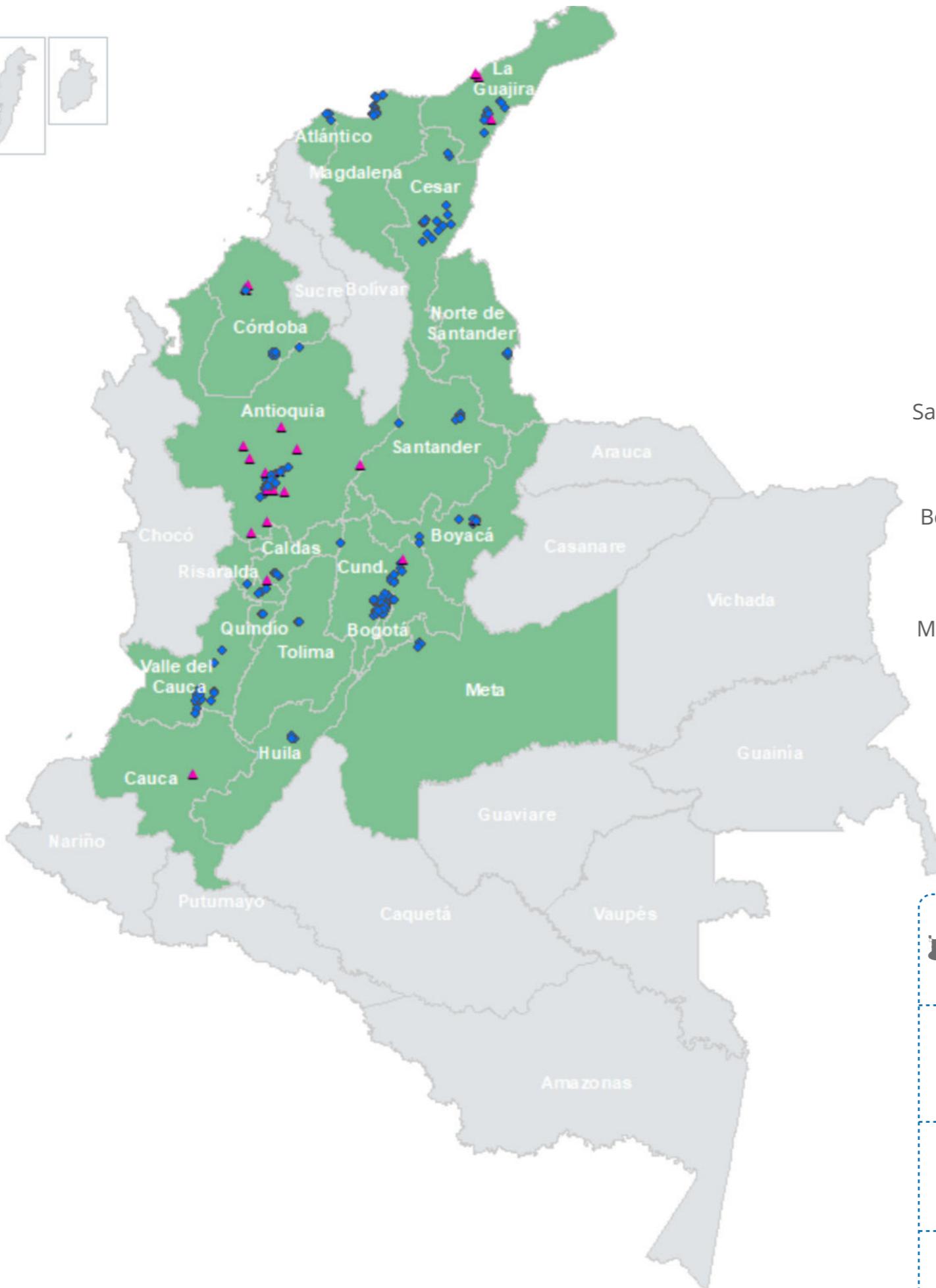
El monitoreo y seguimiento de los contaminantes criterio determinados mediante los SVCA operados por autoridades ambientales permite evaluar la calidad del aire regional y local y verificar el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente (Resolución 2254 del 1º de noviembre de 2017). Así mismo, permite mediante la ponderación del índice de Calidad del Aire (ICA), correlacionar los niveles de polución con posibles efectos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente. Además, permite evaluar indicadores de cumplimiento y seguimiento nacional, como lo son el indicador de la Política de prevención y control de la contaminación del aire, la meta del Plan Nacional de Desarrollo y las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Es por ello, que el Ideam desde al año 2007 ha venido desarrollando periódicamente los informes nacionales del estado de la calidad del aire, siendo estos importantes insumos para la formulación y el seguimiento de políticas orientadas al control de la contaminación del aire, a sensibilizar a la población con respecto a esta problemática y a establecer el estado del recurso aire a nivel nacional.

En Colombia, se empezó a monitorear la calidad del aire por parte de autoridades ambientales desde 1993, denotándose importantes avances en los SVCA, es así que, de acuerdo con la información reportada en SISAIRE, durante el año 2020, la nación contó con un total de 23 SVCA operados por autoridades ambientales, las cuales cada día vienen fortaleciendo el monitoreo y control de la contaminación atmosférica, de tal manera que para el año en mención se contó con un total de 210 estaciones de monitoreo, de las cuales 187 fueron fijas y 23 indicativas. Por su parte, la cobertura espacial de dichos SVCA abarcó 19 departamentos y 80 municipios ([ver Infografía 8](#)).



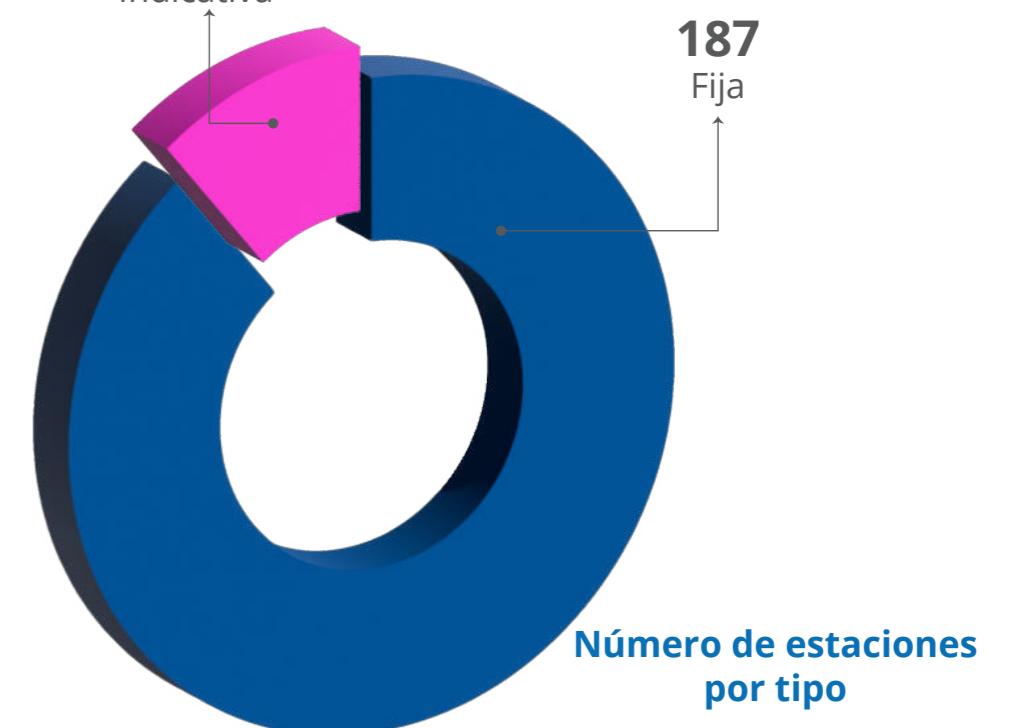


Infografía 8. Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire y estaciones de monitoreo, año 2020



● **Estación Fija:** Monitorea permanentemente en el lugar de su ubicación, permitiendo conocer las variaciones estacionales de cada contaminante y sus tendencias.

▲ **Estación Indicativa:** Monitorea durante un período mínimo de 18 días, con el fin de conocer las afectaciones puntuales o sitios con posibles afectaciones en la calidad del aire.



3.1. Evolución de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire

En Colombia, las Corporaciones Autónomas Regionales y las Autoridades Ambientales de los Grandes Centros Urbanos han fortalecido sus Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire, de tal manera que como se observa en la **Figura 3**, desde el 2012 año tras año por lo general se evidencia un aumento gradual en el número de SVCA, pasando de 15 SVCA en 2012 a 23 SVCA en 2020, no obstante, es preciso señalar que con respecto al año anterior (2019), se registra una disminución de 1 SVCA, correspondiente al SVCA de Corporinoquía, el cual debido a un proceso de renovación, suspendió su operación durante el año 2020. Así mismo, es de precisar que, pese a que en 2020 se presentaron diversas dificultades económicas y logísticas, tras la declaratoria de la emergencia sanitaria dada por Covid-19, se realizaron grandes esfuerzos por parte de las autoridades ambientales para mantener el monitoreo de la calidad del aire, es por ello, que, bajo este contexto, se resalta que la disminución registrada es poco significativa.

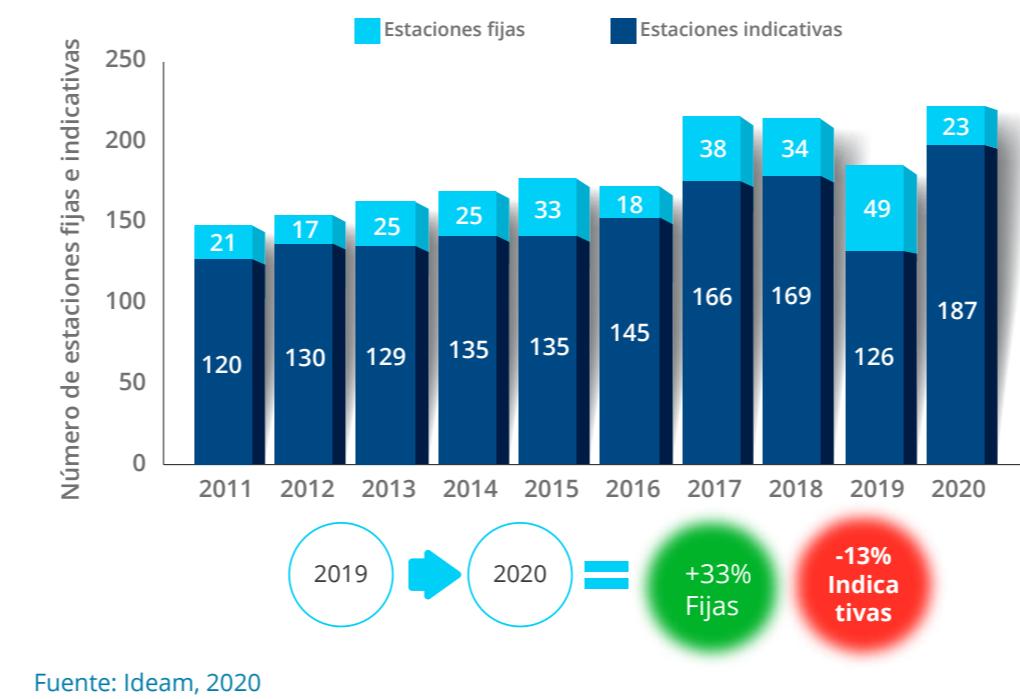
Figura 3. Evolución del número de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire, años 2011-2020



Por su parte, tal como se ilustra en la **Figura 4** desde 2011 hasta la presente vigencia se alcanza el mayor número de estaciones de monitoreo, sumando un total de 210. Así mismo, con respecto a 2019, el número de estaciones fijas aumentó considerablemente, de tal manera que, durante 2020 se contó con 187 estaciones fijas de monitoreo reportando su información en SISAIRE, representando un incremento de 61 estaciones fijas, que equivale al 33%, lo que evidencia la buena gestión de las autoridades ambientales en el fortalecimiento de sus SVCA y reporte de información al SISAIRE. En cuanto a las estaciones indicativas, para el año 2020 operaron 23 estaciones indicativas, reflejando un descenso de 26 estaciones indicativas con respecto al año 2019, que corresponde al 13% de las estaciones, siendo esto igualmente un panorama positivo, esto ya que lo ideal es fortalecer el monitoreo permanente y reducir gradualmente el monitoreo indicativo o por campañas.



Figura 4. Evolución del número de estaciones fijas e indicativas, años 2011-2020



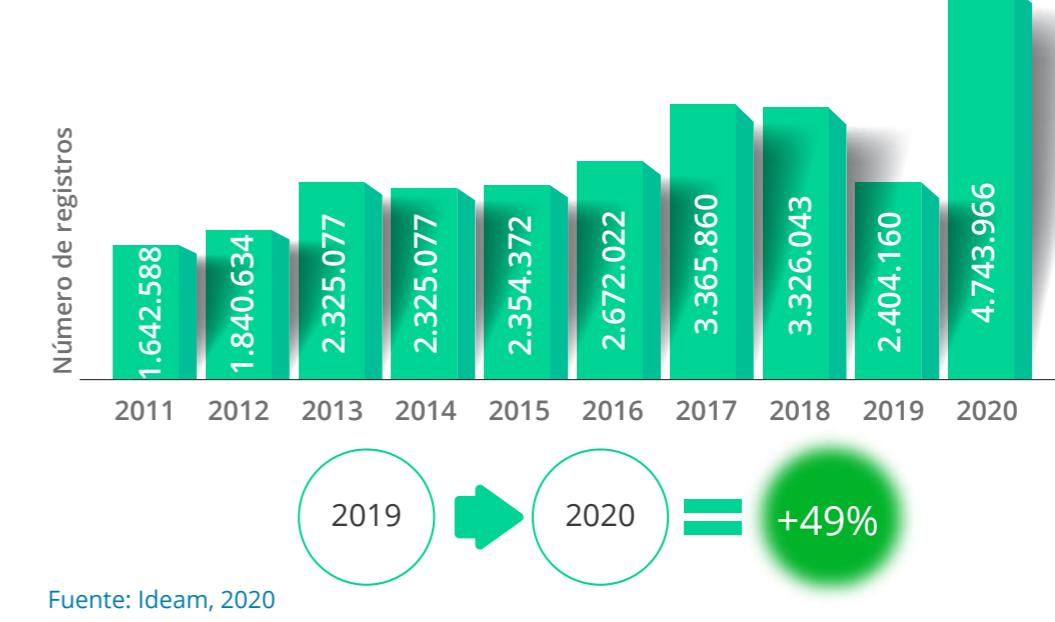
Así mismo, la cifra de registros totales obtenida durante 2020 corresponde a la más alta registrada históricamente desde 2011 (**Figura 5**). En comparación con 2019, para el 2020 aumentó el número de registros, lo cual evidencia y se debe a una mejor gestión por parte de las autoridades ambientales en reportar su información al SISAIRE, así como a un mayor seguimiento y apoyo por parte del Ideam



como administrador del SISAIRE a las autoridades ambientales y por supuesto a la mejora y fortalecimiento de los SVCA. En este sentido, se destaca un incremento de 2.339.806 registros para el año 2020, reflejando un aumento del 49%.



Figura 5. Evolución del número de registros reportados al SISAIRE, años 2011-2020



3.2. Requerimientos de monitoreo de acuerdo con el tamaño de población

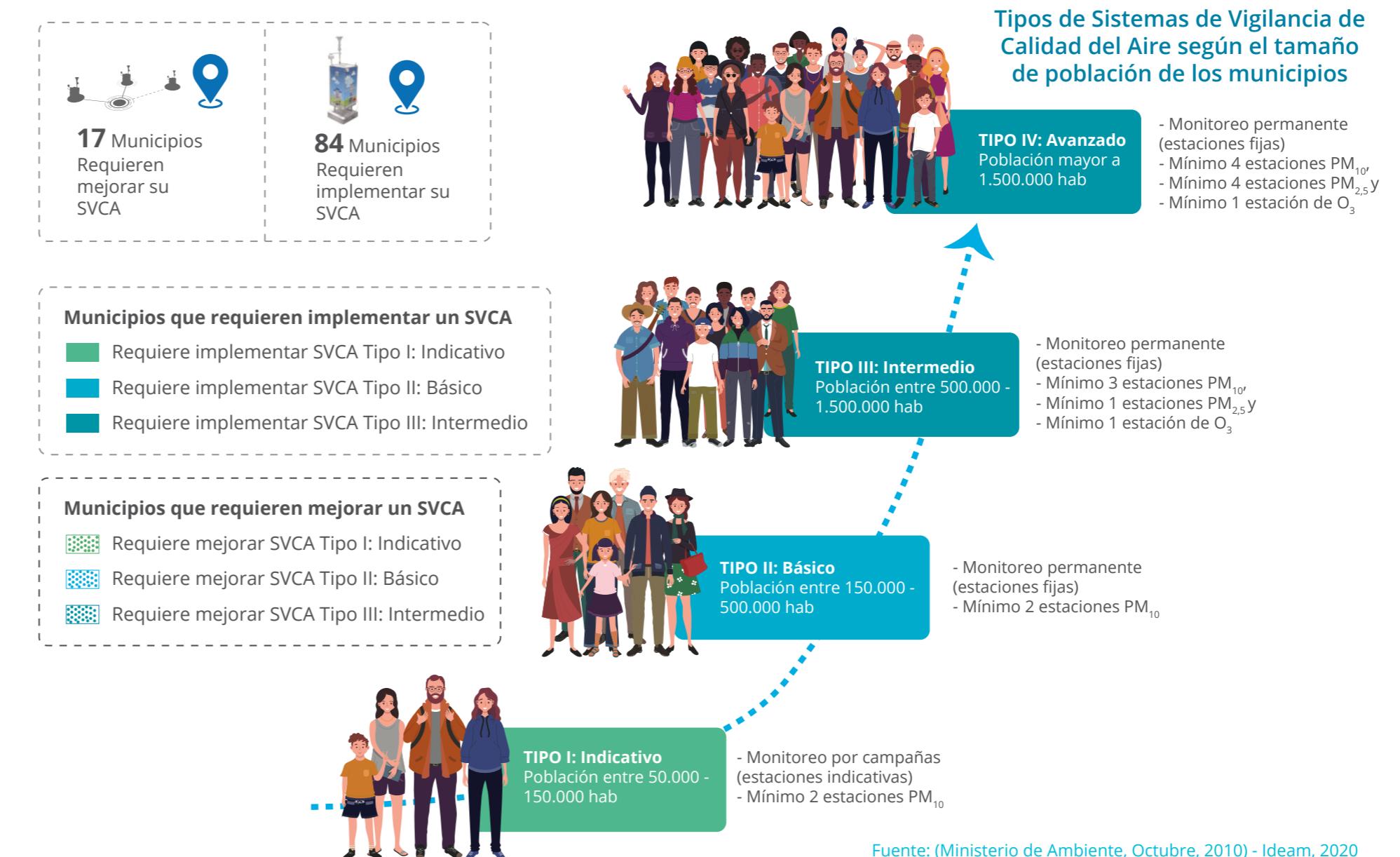
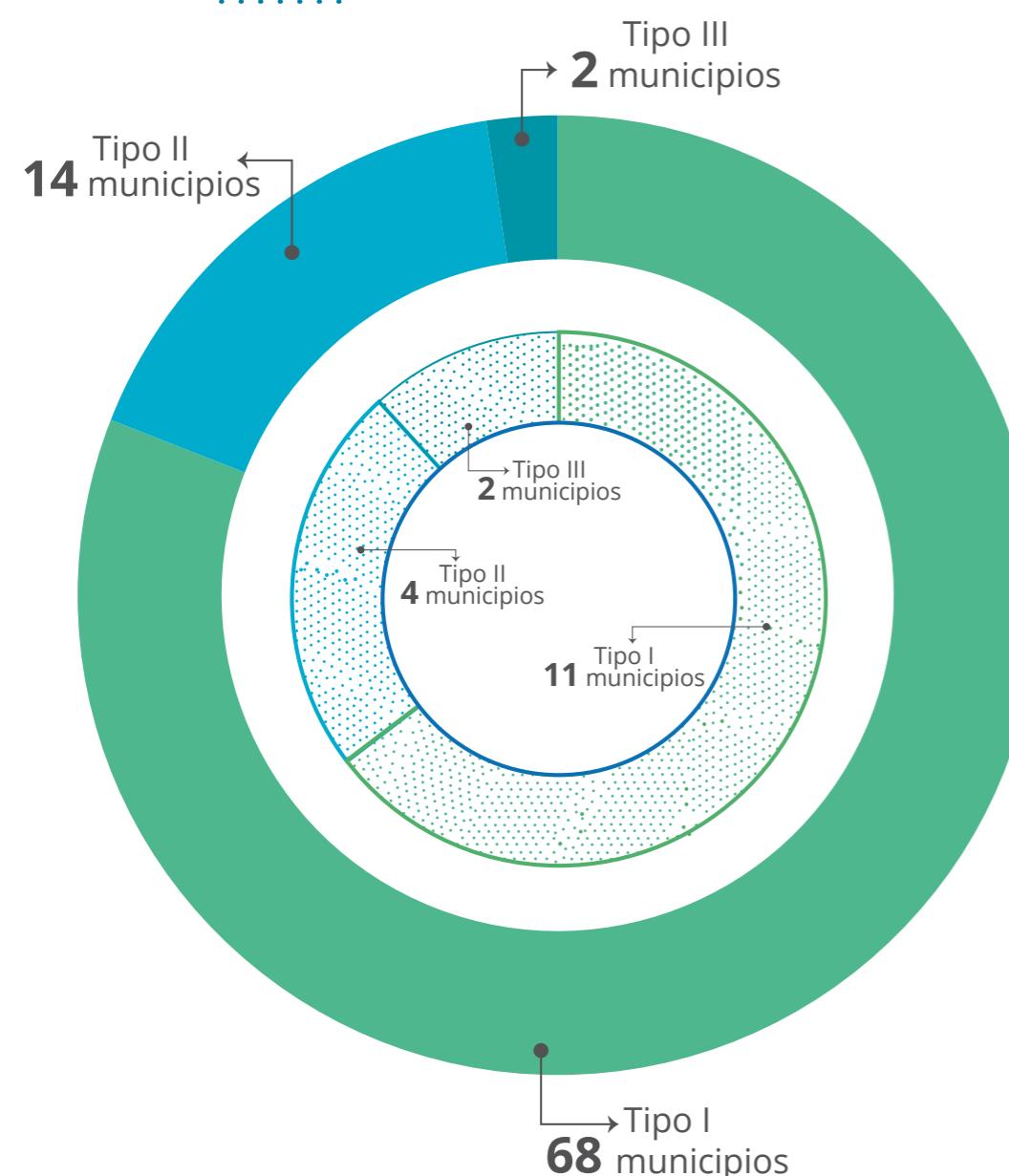
En el territorio nacional, el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire establece los requerimientos o necesidades de monitoreo en función del tamaño de la población de los municipios, tal como se ilustra en la **Infografía 9**.

Aunque en los últimos años se ha fortalecido el monitoreo de la calidad del aire y las autoridades ambientales de orden regional y local han realizado grandes esfuerzos mediante programas regionales de prevención y control de contaminación, orientados a atender problemáticas específicas asociadas a la

contaminación atmosférica, con el fin de lograr una adecuada e integral gestión del recurso aire. Se identifican grandes retos y oportunidades, ya que de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, en el país, como se ilustra en la **Infografía 9** e **infografía 10** en 2020 se identificaron 84 municipios que de acuerdo con el tamaño de su población requieren un Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire. De estos, el 81% requiere implementar un SVCA Indicativo -Tipo I (dado que en 2020 no contaron con un SVCA o no refirió operación), el 17% requiere un SVCA Básico (Tipo II) y el 2% un SVCA Intermedio (Tipo III). Se identifican 17 municipios que requieren mejorar o fortalecer su capacidad instalada para realizar un adecuado seguimiento a la contaminación atmosférica, e incrementar el número de estaciones requeridas o la complejidad del SVCA, de acuerdo con el crecimiento poblacional. En este sentido, se identificó que de estos municipios el 65% de dichos municipios necesitan fortalecer su SVCA Indicativo (Tipo I), el 23% requiere la transición a un SVCA Básico (Tipo II) y el 12% necesita la transición a un SVCA Intermedio (Tipo III).

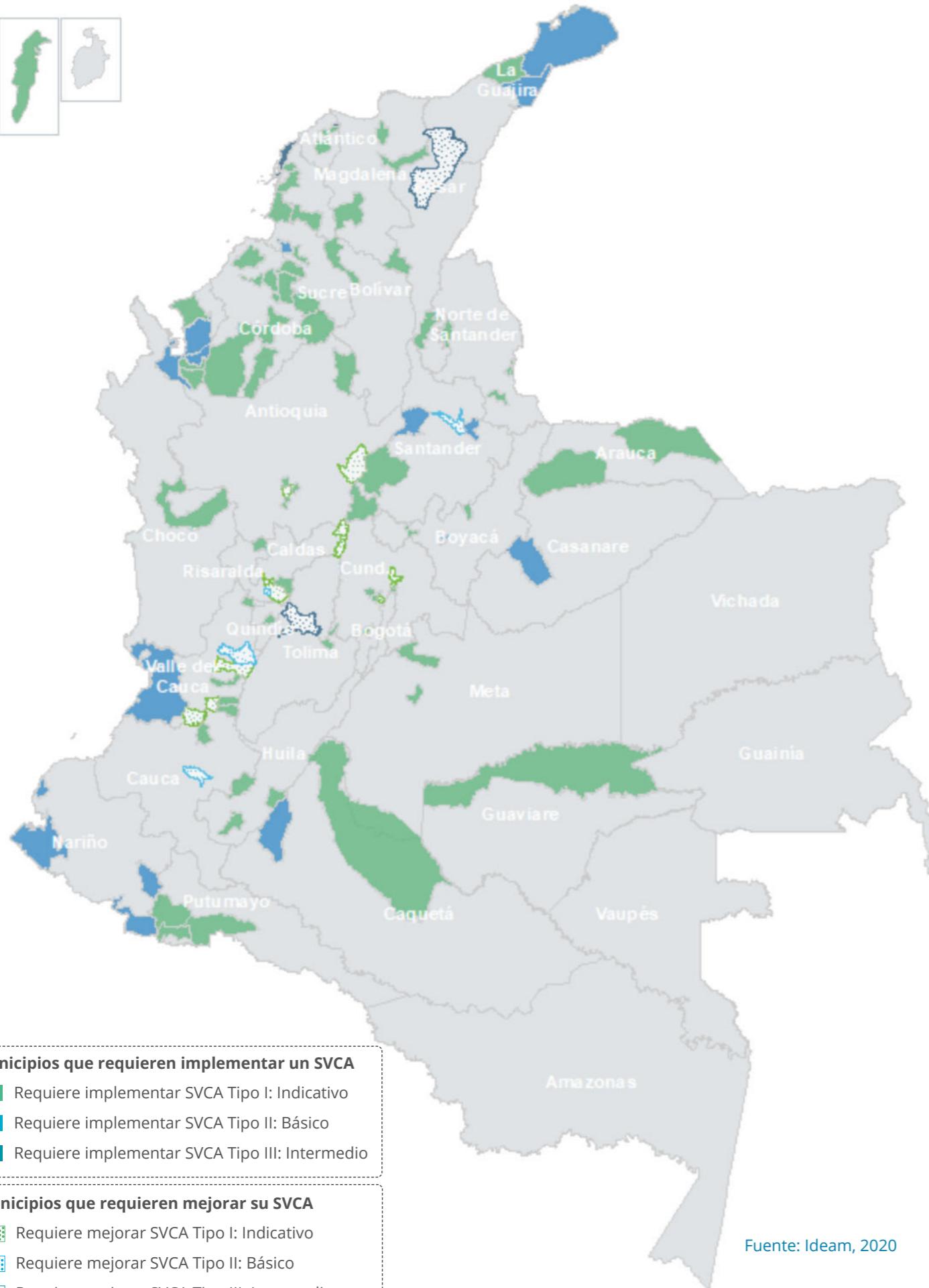


Infografía 9. Tipos y requerimientos de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire según el tamaño de población de los municipios





Infografía 10. Municipios que requieren implementar o mejorar los SVCA, de acuerdo con el tipo requerido según su población, año 2020



Municipios que requieren implementar un SVCA.			Municipios que requieren implementar un SVCA.		
DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	TIPO SVCA	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	TIPO SVCA
Antioquia	La Ceja	Tipo I: Indicativo	La Guajira	Manaure	Tipo I: indicativo
	Marinilla	Tipo I: Indicativo		Maicao	Tipo II: Básico
	Guarne	Tipo I: Indicativo		Uribia	Tipo II: Básico
	Chigorodó	Tipo I: Indicativo		El Banco	Tipo I: Indicativo
	Carepa	Tipo I: Indicativo		Plato	Tipo I: Indicativo
	El Bagre	Tipo I: Indicativo		Fundación	Tipo I: Indicativo
	Necoclí	Tipo I: Indicativo		Zona Bananera	Tipo I: Indicativo
	Apartadó	Tipo II: Básico		Granada	Tipo I: Indicativo
	Turbo	Tipo II: Básico		Acacias	Tipo I: Indicativo
	Tame	Tipo I: Indicativo		Ipiales	Tipo II: Básico
Arauca	Arauca	Tipo I: Indicativo	Magdalena	Pasto	Tipo II: Básico
A. de San Andrés	San Andrés	Tipo I: Indicativo		Tumaco	Tipo II: Básico
Atlántico	Sabanalarga	Tipo I: Indicativo		Pamplona	Tipo I: Indicativo
	Baranoa	Tipo I: Indicativo		Los Patios	Tipo I: Indicativo
	Malambo	Tipo I: Indicativo		Villa del Rosario	Tipo I: Indicativo
	Soledad	Tipo III: Intermedio		Ocaña	Tipo I: Indicativo
	Magangué	Tipo I: Indicativo		Valle del Guamuez	Tipo I: Indicativo
	El Carmen de Bolívar	Tipo I: Indicativo		Puerto Asís	Tipo I: Indicativo
	Arjona	Tipo I: Indicativo		Orito	Tipo I: Indicativo
	Turbaco	Tipo I: Indicativo		Calarcá	Tipo I: Indicativo
Bolívar	Cartagena	Tipo III: Intermedio	Nariño	Cimitarra	Tipo I: Indicativo
Boyacá	Chiquinquirá	Tipo I: Indicativo		Piedecuesta	Tipo II: Básico
	Duitama	Tipo I: Indicativo		Barrancabermeja	Tipo II: Básico
	Puerto Boyacá	Tipo I: Indicativo		San Marcos	Tipo I: Indicativo
	Tunja	Tipo II: Básico		Corozal	Tipo I: Indicativo
Caldas	Villamaría	Tipo I: Indicativo		San Onofre	Tipo I: Indicativo
	Riosucio	Tipo I: Indicativo		Sincelejo	Tipo II: Básico
Caquetá	San Vicente del Caguán	Tipo I: Indicativo		Espinal	Tipo I: Indicativo
	Florencia	Tipo II: Básico		Florida	Tipo I: Indicativo
Casanare	Yopal	Tipo II: Básico		Pradera	Tipo I: Indicativo
Cauca	Santander de Quilichao	Tipo I: Indicativo	Putumayo	El Cerrito	Tipo I: Indicativo
Cesar	Aguachica	Tipo I: Indicativo		Cartago	Tipo I: Indicativo
Chocó	Quibdó	Tipo I: Indicativo		Buenaventura	Tipo II: Básico
	Puerto Libertador	Tipo I: Indicativo			
	Tierralta	Tipo I: Indicativo			
	Ayapel	Tipo I: Indicativo			
	Planeta Rica	Tipo I: Indicativo			
	Cereté	Tipo I: Indicativo			
	Sahagún	Tipo I: Indicativo			
Córdoba	Ciénaga de Oro	Tipo I: Indicativo			
	Chinú	Tipo I: Indicativo	Quindío		
	Lorica	Tipo I: Indicativo			
	Fusagasugá	Tipo I: Indicativo			
	Girardot	Tipo I: Indicativo			
	Madrid	Tipo I: Indicativo			
	Facatativá	Tipo I: Indicativo			
	Chía	Tipo I: Indicativo			
	San José del Guaviare	Tipo I: Indicativo			
	Pitalito	Tipo I: Indicativo			
Guaviare	Garzón	Tipo I: Indicativo			
Huila	La Plata	Tipo I: Indicativo			

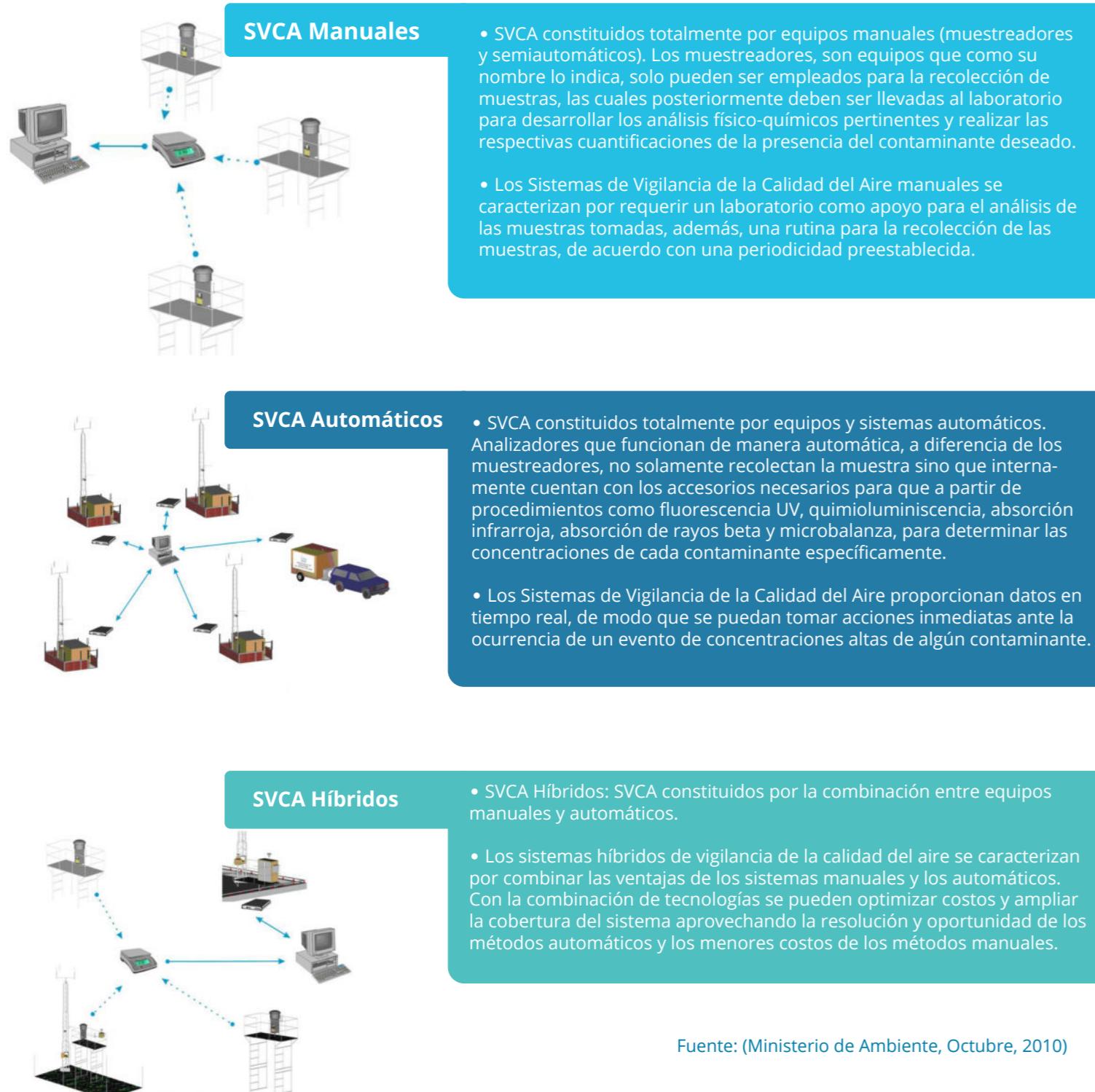
Municipios que requieren mejorar su SVCA		
DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	TIPO SVCA
Antioquia	Rionegro	Tipo I: Indicativo
	Puerto Berrio	Tipo I: Indicativo
	Chinchiná	Tipo I: Indicativo
	La Dorada	Tipo I: Indicativo
	Popayán	Tipo II: Básico
	Valladupar	Tipo III: Intermedio
	Funza	Tipo I: Indicativo
	Cajicá	Tipo I: Indicativo
	Zipaquirá	Tipo I: Indicativo
	Santa Rosa de Cabal	Tipo I: Indicativo
Caldas	Dosquebradas	Tipo II: Básico
	Girón	Tipo II: Básico
	Ibagué	Tipo III: Intermedio
	Jamundí	Tipo I: Indicativo
	Candelaria	Tipo I: Indicativo
Cundinamarca	Guadalajara de Buga	Tipo I: Indicativo
	Tuluá	Tipo II: Básico
Risaralda		
Santander		
Tolima		
Valle del Cauca		



3.3. Tecnologías de monitoreo empleadas

Para realizar las mediciones de la concentración de contaminantes atmosféricos, los SVCA están conformados por equipos que bien pueden ser muestreadores manuales o semiautomáticos o analizadores propiamente dichos (**Figura 6**).

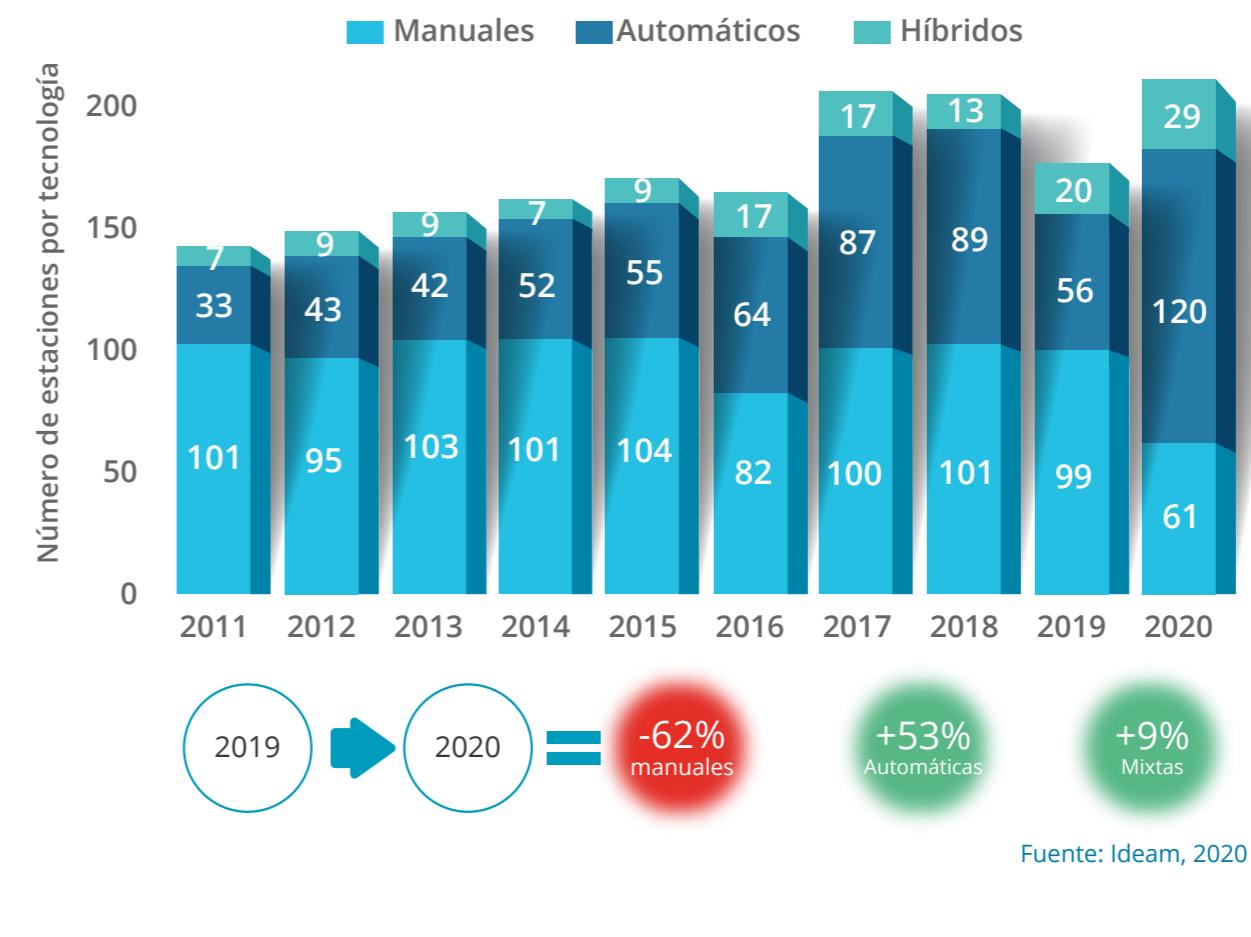
 **Figura 6.** Tipos de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire según la tecnología empleada



En cuanto a las tecnologías de medición de los SVCA, desde el año 2011, las autoridades ambientales han venido implementando gradualmente mejores tecnologías y reemplazando equipos manuales (muestreadores y semiautomáticos) por automáticos, para disminuir el tiempo de actuación frente a la declaratoria de estados de excepcionales de prevención, alerta y emergencia; haciendo que la toma de decisiones y reportes al público se brinde en tiempo real, lo que a su vez garantiza la protección de la salud de los habitantes expuestos a potenciales eventos de contaminación.

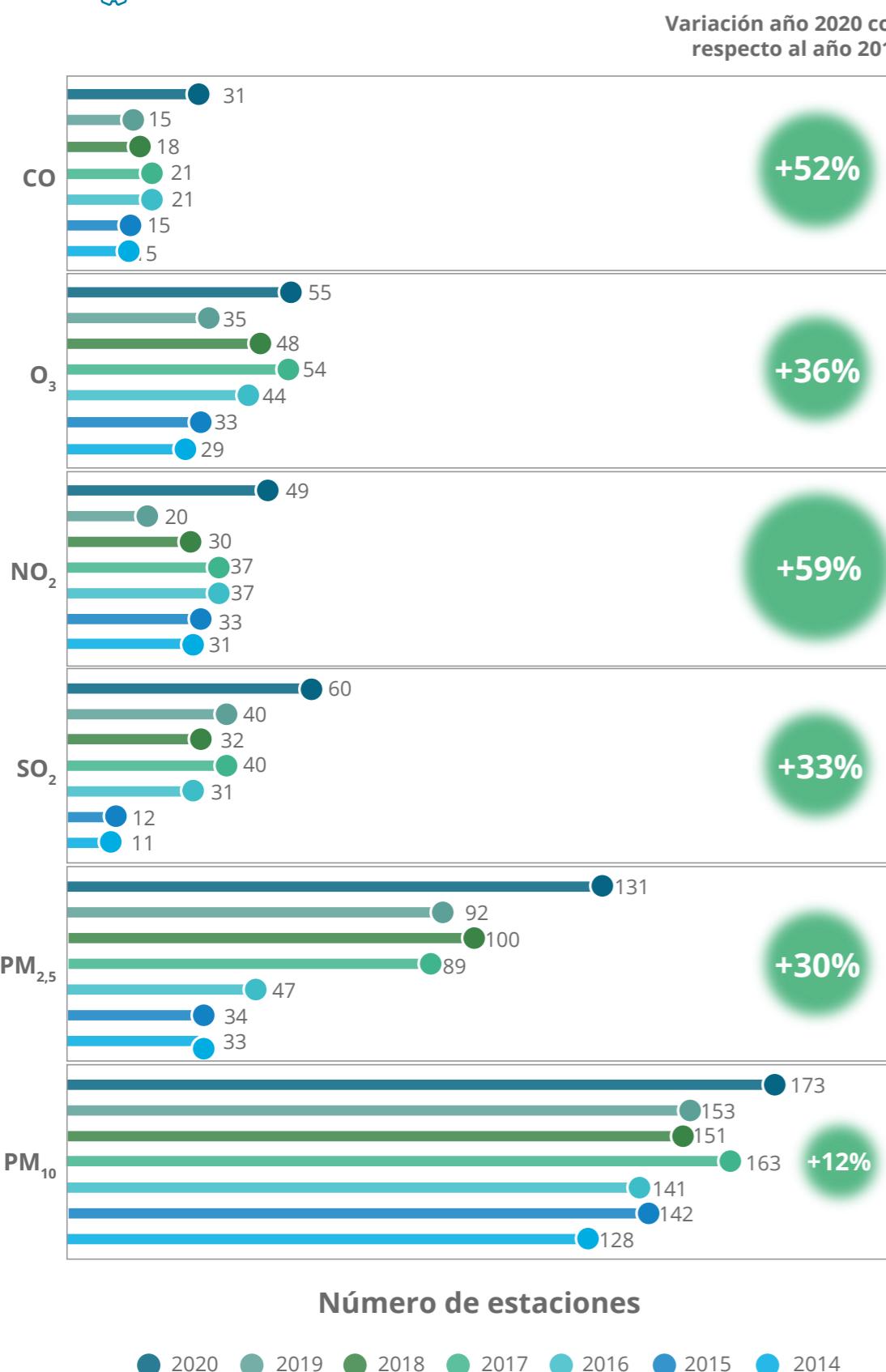
En la **Figura 7**, se observa una tasa de crecimiento constante sobre la implementación de este tipo de tecnologías a lo largo de los últimos 10 años, por ello es de resaltar que para el año 2020 se alcanza el mayor número de estaciones de monitoreo con tecnologías automáticas, señalándose un total de 120, lo que representa un aumento de 64 con respecto 2019, equivalente 53%. En cuanto a las estaciones de monitoreo que emplean tecnologías manuales, para el año 2020, con respecto al 2019, se destaca un descenso de 38 estaciones (62%), permitiendo evidenciar un panorama bastante positivo que enaltece la buena gestión de las autoridades ambientales en el fortalecimiento del monitoreo sistemático de la calidad del aire, orientado al descenso gradual de las estaciones manuales y al crecimiento del uso de tecnologías automáticas, lo que a su vez trae consigo grandes retos y oportunidades de mejora frente a la implementación y fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana frente a episodios de contaminación del aire.

 **Figura 7.** Evolución de los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire de acuerdo con la tecnología empleada, años 2011-2020



3.4. Contaminantes evaluados

 **Figura 8.** Evolución número de estaciones por contaminante, años 2014-2020

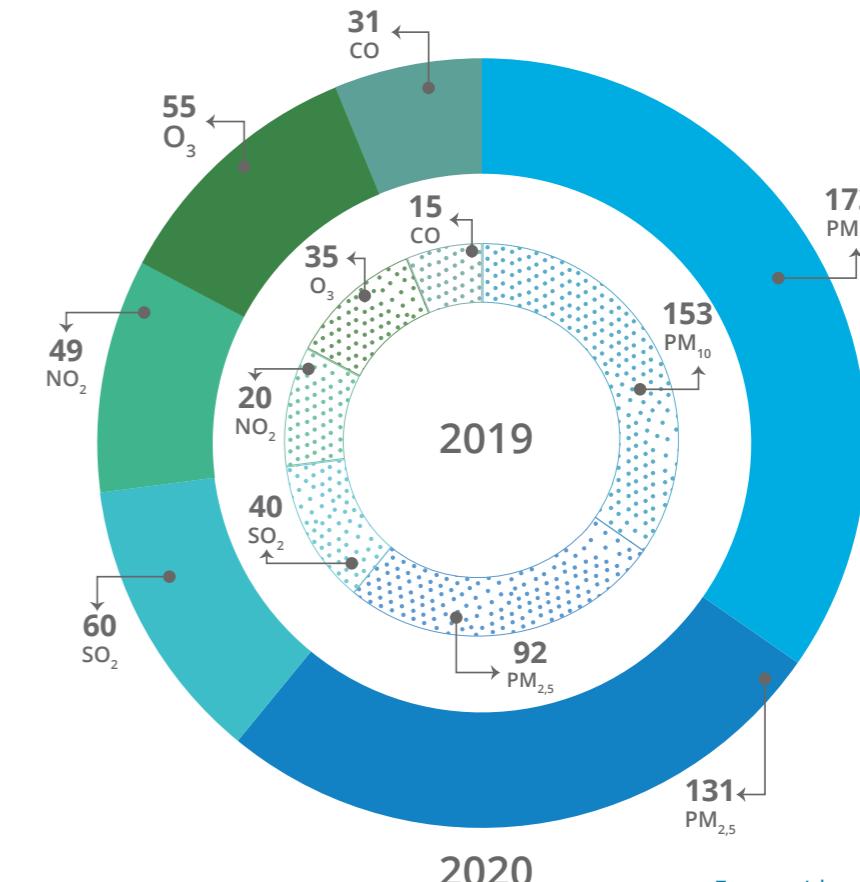


Los contaminantes criterio evaluados mediante los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del aire del país corresponden a los seis contaminantes criterio, denominados así, dada su evidencia epidemiológica de ser susceptibles a ocasionar efectos adversos sobre la salud humana, cuyos niveles máximos permisibles se encuentran regulados por la Resolución 2257 de 2017.

Como se muestra en la **Figura 8**, durante el año 2020, el contaminante criterio más evaluado fue el material particulado menor a 10 micras – PM₁₀, cuyo monitoreo se realizó por 173 estaciones, correspondientes al 82% del total, seguido del material Particulado menor a 2,5 micras – PM_{2.5}, el cual fue monitoreado por el 62% de las estaciones, es decir por 131.

Con respecto a los gases reactivos (SO₂, NO₂, CO y O₃) se monitorean en menor proporción (en menos del 30% de las estaciones), el Monóxido de Carbono – CO fue el contaminante menos monitoreado, puesto que sólo se mide en 31 estaciones (15%). En este sentido, es importante mencionar que esta tendencia se debe a que, históricamente, la incidencia de los gases reactivos no es significativa, dado que se mantienen dentro de los límites máximos permisibles.

 **Figura 9.** Número de estaciones de monitoreo por contaminante, años 2019-2020



A partir de la **Figura 9** es de resaltar que, durante el año 2020, en relación con 2019, para cada uno de los seis contaminantes criterio se evidencia un importante comportamiento ascendente en cuanto a las estaciones de monitoreo, esta tendencia es significativa para el NO₂, que refiere un incremento porcentual del 59% de las estaciones, seguido del CO, que señala un aumento del 52%, continuamente se listan el O₃, SO₂ y PM_{2.5}, que reflejan crecimientos entre el 30% y el 36% de las estaciones.

Lo anterior permite enaltecer el crecimiento de la capacidad técnica de las autoridades ambientales del país, frente a la gestión de la calidad del aire, mediante el reporte oportuno de información al SISAIRE, el fortalecimiento de sus SVCA y la incorporación de equipos de monitoreo que permiten expandir el grado de conocimiento de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos de interés para la salud humana.





Infografía 11. Jurisdicción de autoridades ambientales con SVCA acreditados por Ideam, año 2020

3.5. Sistemas de vigilancia de calidad del aire acreditados por el Ideam

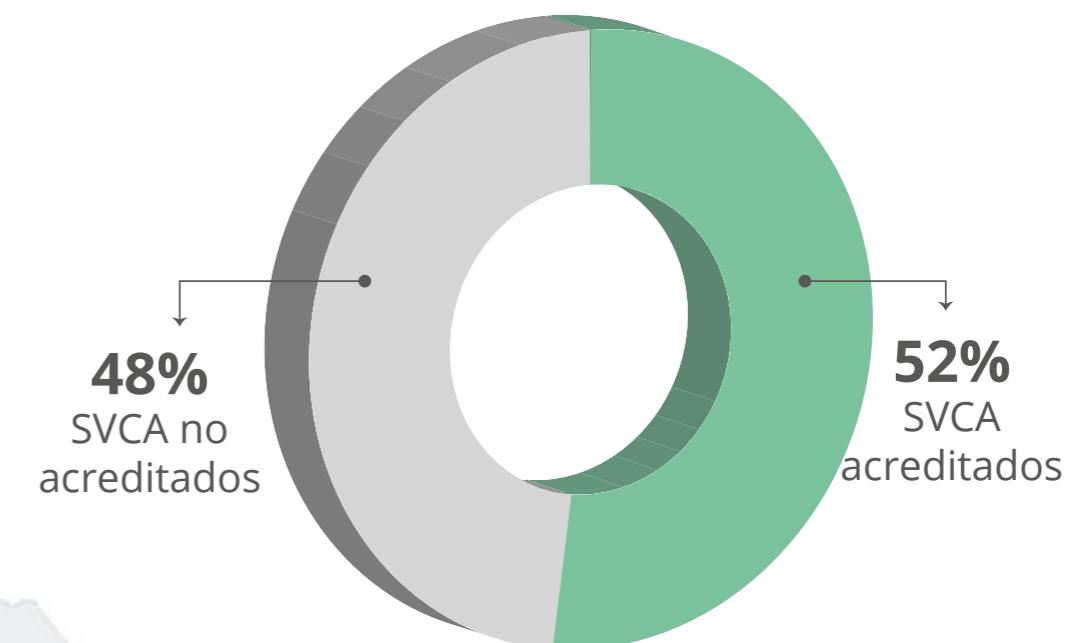
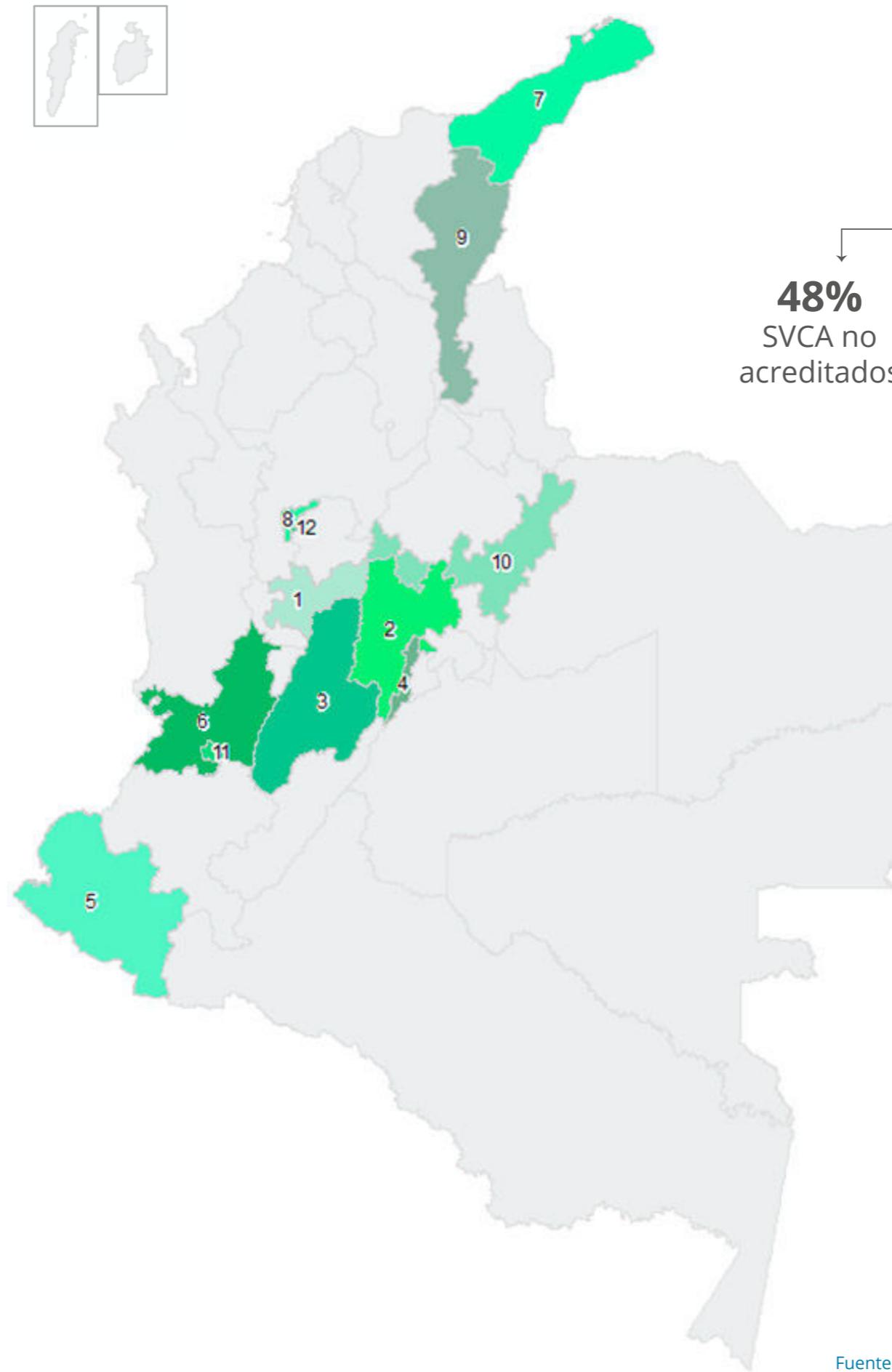
La normativa colombiana señala que, "los laboratorios que produzcan información cuantitativa, física, química y biótica para los estudios o análisis requeridos por las autoridades ambientales competentes, y los demás que produzcan información de carácter oficial relacionada con la calidad del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, deberán poseer certificado de acreditación correspondiente otorgado por el Ideam" (Parágrafo 2 del artículo 5, del Decreto 1600 de 1994).

A partir de 2016, se empezaron a fortalecer los procesos de acreditación de los SVCA del país, es así como para este entonces se contaba solo con tres autoridades ambientales acreditadas, correspondientes a Corpoguajira, Cortolima y Corpocesar; durante el año 2017, se sumaron cuatro autoridades ambientales: la CAR Cundinamarca, CVC Valle del Cauca, Corpoboyacá y DAGMA Cali; durante el 2018 surtieron el debido proceso de acreditación dos SVCA más, correspondientes a son AMVA Valle de Aburrá y SDA Bogotá; para el 2019, se incorporó el SVCA de Corponariño.

Finalmente, para el 2020, se incorporó a la lista la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Agropecuario del Municipio de Envigado (Antioquia), sumando así un total de 12 SVCA acreditados, bajo los lineamientos de la norma NTC-ISO/IEC 17025. No obstante, como se ilustra en la **Infografía 11** dicha cifra permite identificar oportunidades de mejora a nivel nacional, esto ya que corresponde al 52% del total de los SVCA operados por autoridades ambientales, resaltándose la necesidad de que los SVCA restantes (48%) emprendan sus procesos de acreditación, este es un gran reto para el país, que debe ser abordado de manera gradual mediante la incentivación de la acreditación.

La acreditación es una garantía de la competencia técnica y la idoneidad para la producción de datos e información fisicoquímica asociada a la operación y funcionamiento de sus correspondientes SVCA.

Consulte aquí la Lista de Laboratorios Acreditados por el IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/acreditacion>



- 1. Corpocaldas
- 2. CAR Cundinamarca
- 3. Cortolima
- 4. SDA Bogotá
- 5. Corponariño
- 6. CVC Valle del Cauca
- 7. Corpoguajira
- 8. AMVA Valle de Aburrá
- 9. Corpocesar
- 10. Corpoboyacá
- 11. DAGMA Cali
- 12. SMADA Envigado

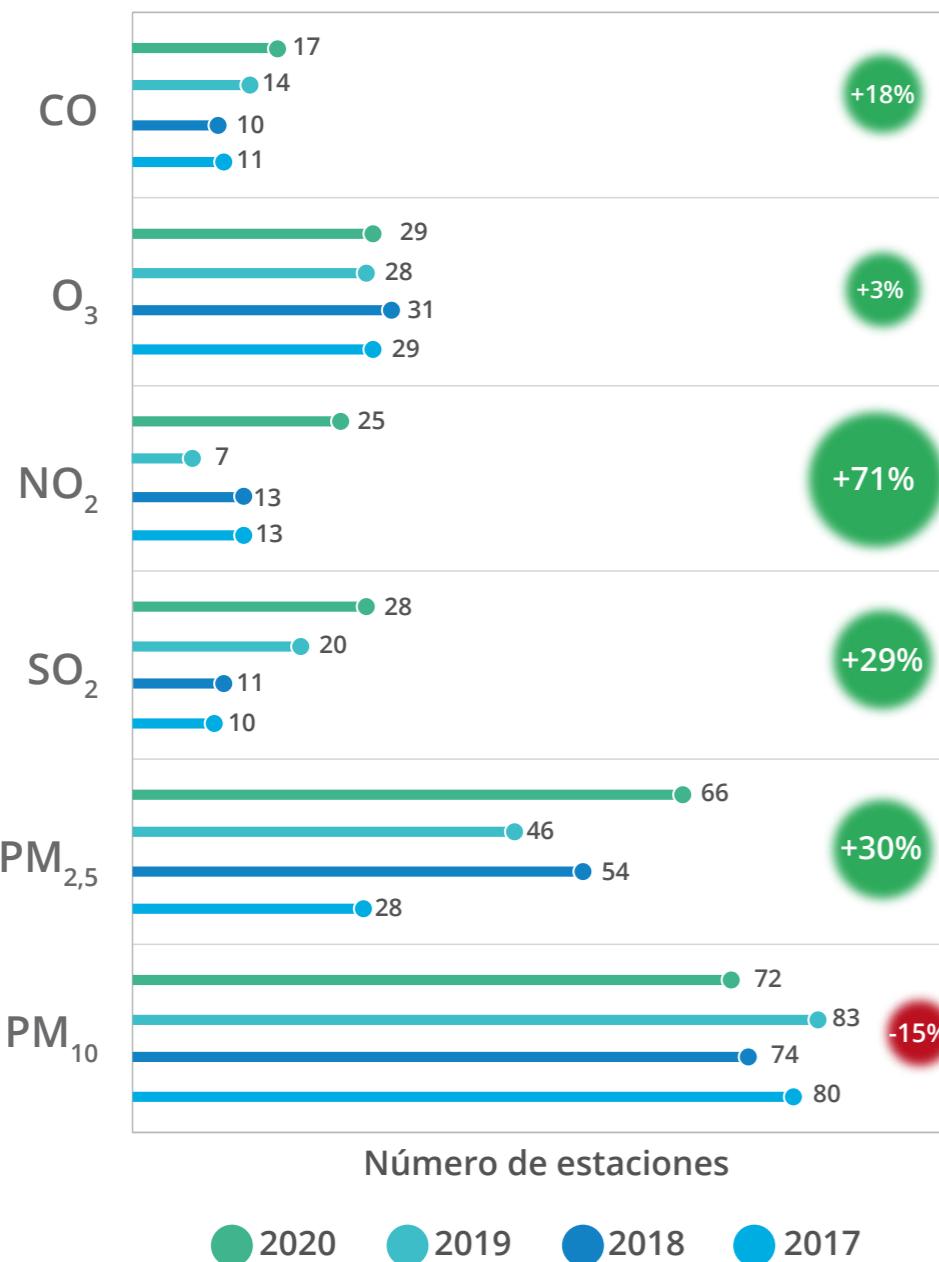
Fuente: Ideam, 2020



3.6. Representatividad temporal de la información



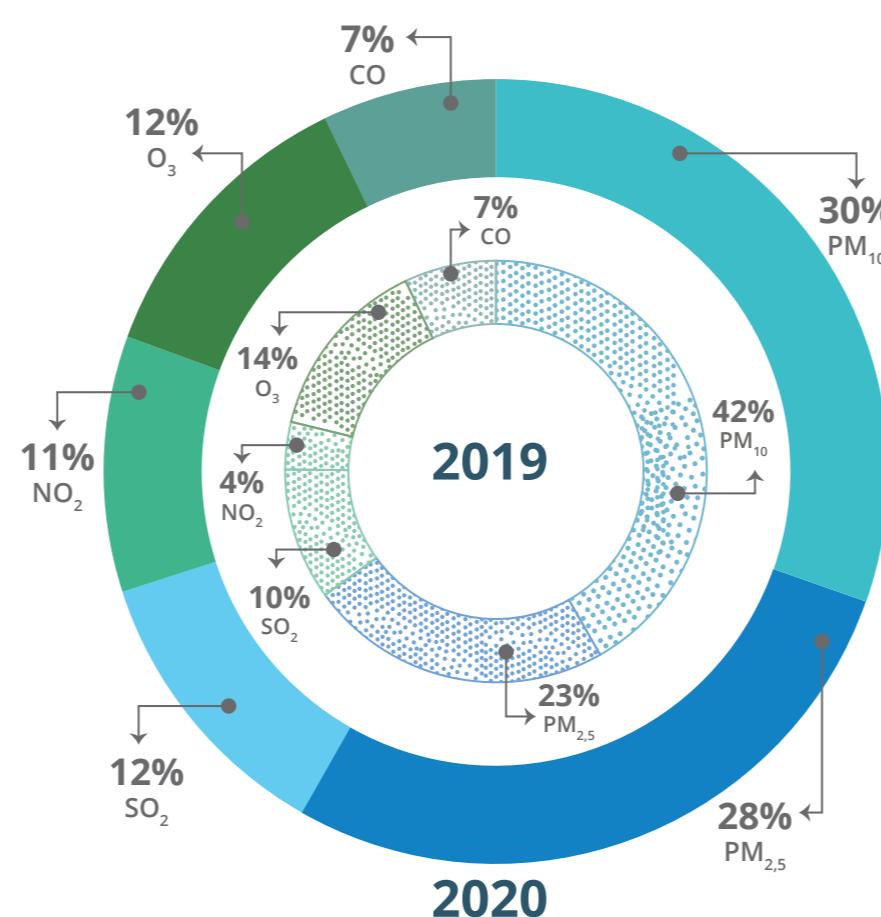
Figura 10. Comparación interanual del número de estaciones con representatividad temporal, años 2017-2020



De acuerdo con el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, la representatividad temporal debe ser igual o superior al 75% de los datos de cada uno de los grupos a analizar, para que estos sean considerados como datos válidos y aceptados, para que sea posible efectuar una adecuada comparación normativa.

En la **Figura 10** se presenta la evolución en los últimos cuatro años (2017-2020), con respecto al número de estaciones que de acuerdo con la información reportada en el SISAIRE cumplen con el criterio de representatividad igual o mayor al 75% de los datos recolectados. El análisis se realizó para los contaminantes criterio que se evalúan a nivel nacional mediante los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire.

Figura 11. Porcentaje de estaciones con representatividad temporal, años 2019-2020



Tal como se ilustra en las **Figuras 10 y 11**, para el año 2020 con respecto a 2019, en la mayoría de los contaminantes evaluados se identificó un avance considerable en el aumento de estaciones que cumplen con el criterio de representatividad temporal, aportando información valiosa y representativa para la gestión integral de la calidad del aire. Se resalta el comportamiento ascendente más significativo con respecto a la medición representativa del Dióxido de Nitrógeno, que refirió un incremento del 71% de las estaciones, seguido del monitoreo del Dióxido de Azufre y Material Particulado PM_{2.5}, señalando incrementos cercanos al 30%, además el monitoreo continuo del Monóxido de Carbono, que refirió un incremento del 18% de las estaciones con datos

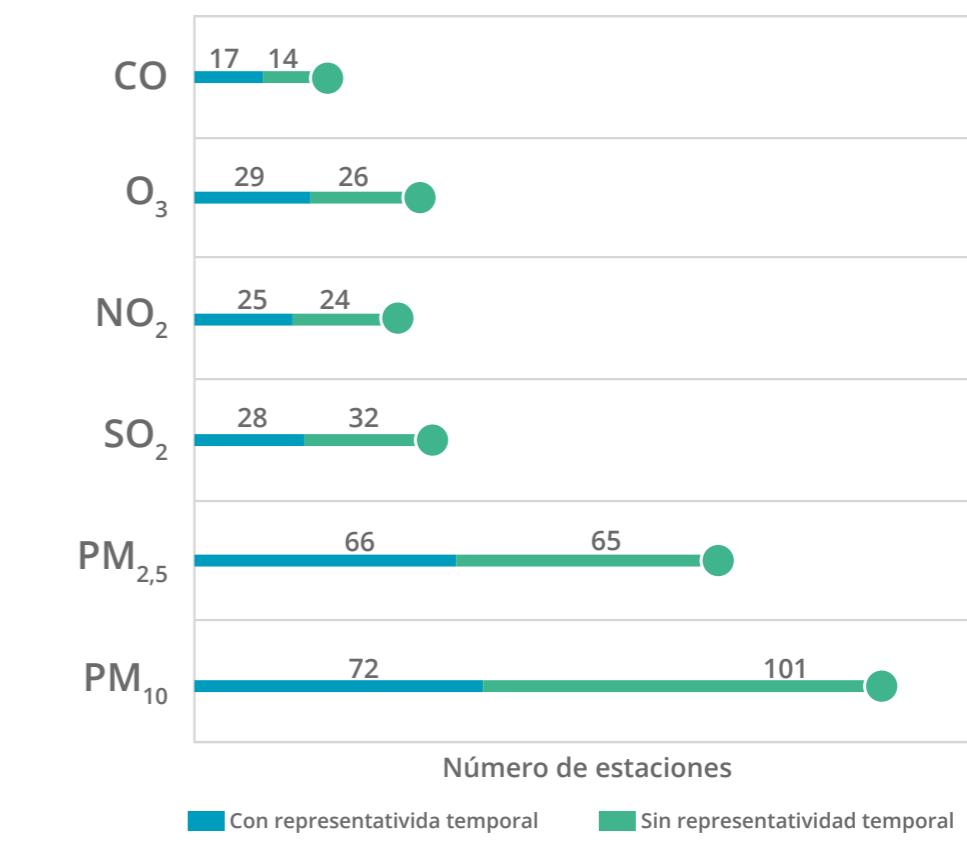
representativos; en comparación con el monitoreo del Ozono que no señaló una variación significativa.

En este sentido se identifican oportunidades de mejora en cuanto a la representatividad temporal que registraron durante el año 2020 las estaciones de monitoreo de Material Particulado menor a 10 µm, ya que se registró una reducción del 15% de estaciones que cumplen con el criterio de representatividad temporal.

Así mismo, a partir de los resultados ilustrados en la **Figura 12** se identifican oportunidades de mejora, ya que se denota que el número de las estaciones de monitoreo sin representatividad temporal fue superior o similar a las estaciones que cumplen con este criterio. Lo anterior, identifica las acciones de mejora en los aspectos operativos y técnicos de las estaciones, para optimizar la representatividad de las mediciones y obtener un mayor número de estaciones que arroje datos confiables y válidos. En especial, con respecto a las estaciones de monitoreo de material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), pues se evidencia que, con respecto al número total de estaciones, la fracción de estaciones sin representatividad temporal es considerable.



Figura 12. Número de estaciones con y sin representatividad temporal, año 2020



Capítulo 4

Estado de la calidad del aire

Fotografía: Adobe Stock



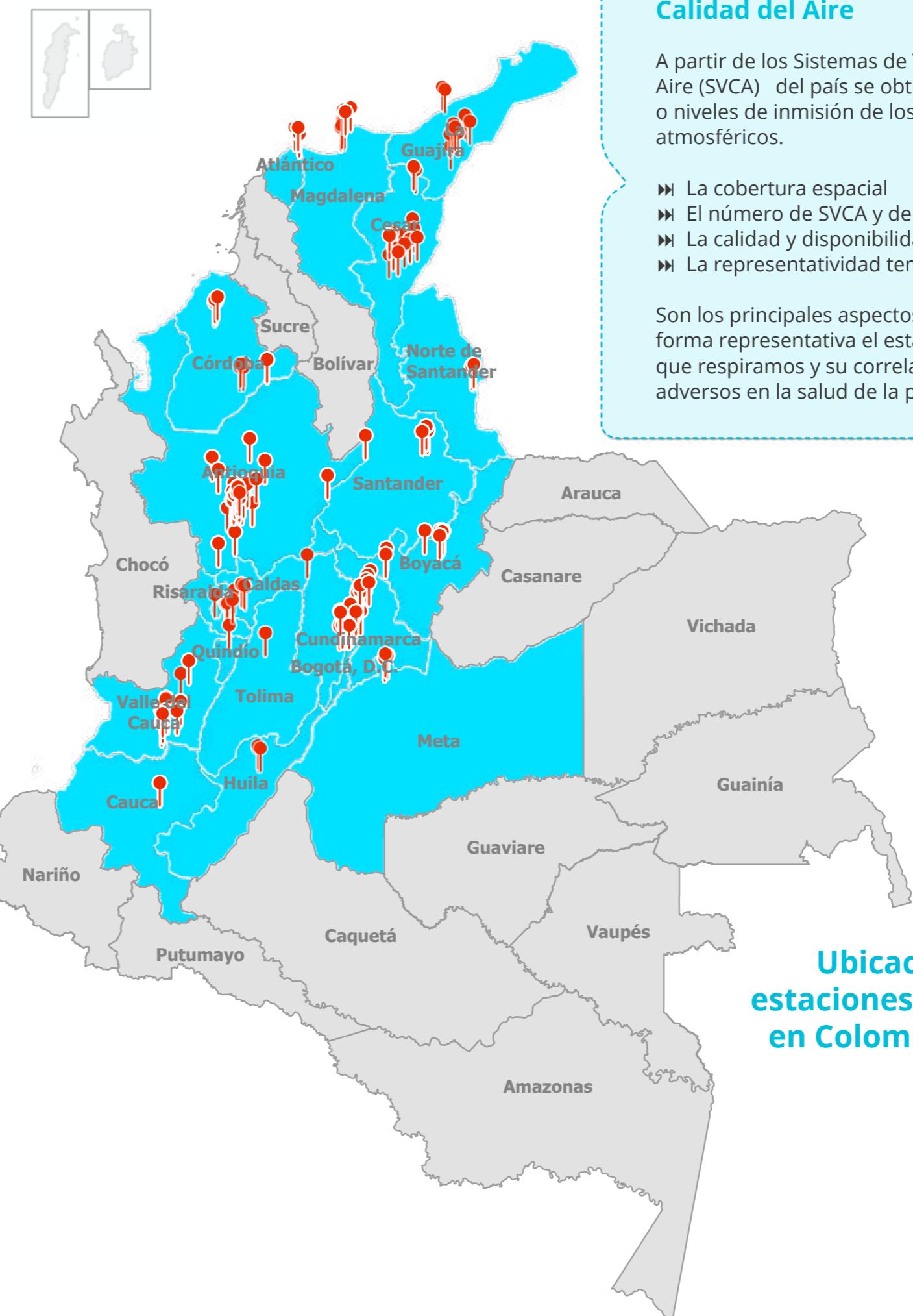


Durante el año 2020 se realizó el monitoreo y seguimiento de los seis contaminantes criterio contemplados en la Resolución 2254 de 2017. En el presente capítulo se presenta el análisis de las concentraciones de los contaminantes evaluados en las estaciones de monitoreo, cuyas series reportadas al SISAIRE 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 las estaciones con excepciones en la norma, en el periodo 2011 – 2020 y el Índice de Calidad del Aire (ICA) que asocia el nivel de un contaminante dado con un potencial efecto a la salud.

"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".

También se presentan de manera indicativa, los resultados obtenidos para las estaciones de monitoreo que no cumplieron con el criterio de representatividad temporal, 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 las autoridades ambientales para que mejoren los esfuerzos presupuestales, técnicos y operativos que permitan mejorar la calidad del dato. El éxito del programa de monitoreo y seguimiento a la calidad del aire permitirá aportar al conocimiento de la dinámica que presenta la contaminación atmosférica local, de igual manera, a la gestión integral de calidad del aire enfocada en la prevención y control.

"La representatividad temporal permite definir, de forma concluyente, el estado de la calidad del aire en el área circundante a la estación, debido a que el número de datos obtenidos es suficiente para representar el comportamiento de un contaminante en una zona dada, con condiciones meteorológicas cambiantes durante un período evaluado".



Monitoreo y evaluación del Estado de la Calidad del Aire

A partir de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) del país se obtienen las concentraciones o niveles de inmisión de los diferentes contaminantes atmosféricos.

- » La cobertura espacial
- » El número de SVCA y de estaciones de monitoreo
- » La calidad y disponibilidad de información
- » La representatividad temporal

Son los principales aspectos para determinar de forma representativa el estado de la calidad del aire que respiramos y su correlación con posibles efectos adversos en la salud de la población.

Ubicación de las estaciones de monitoreo en Colombia, año 2020

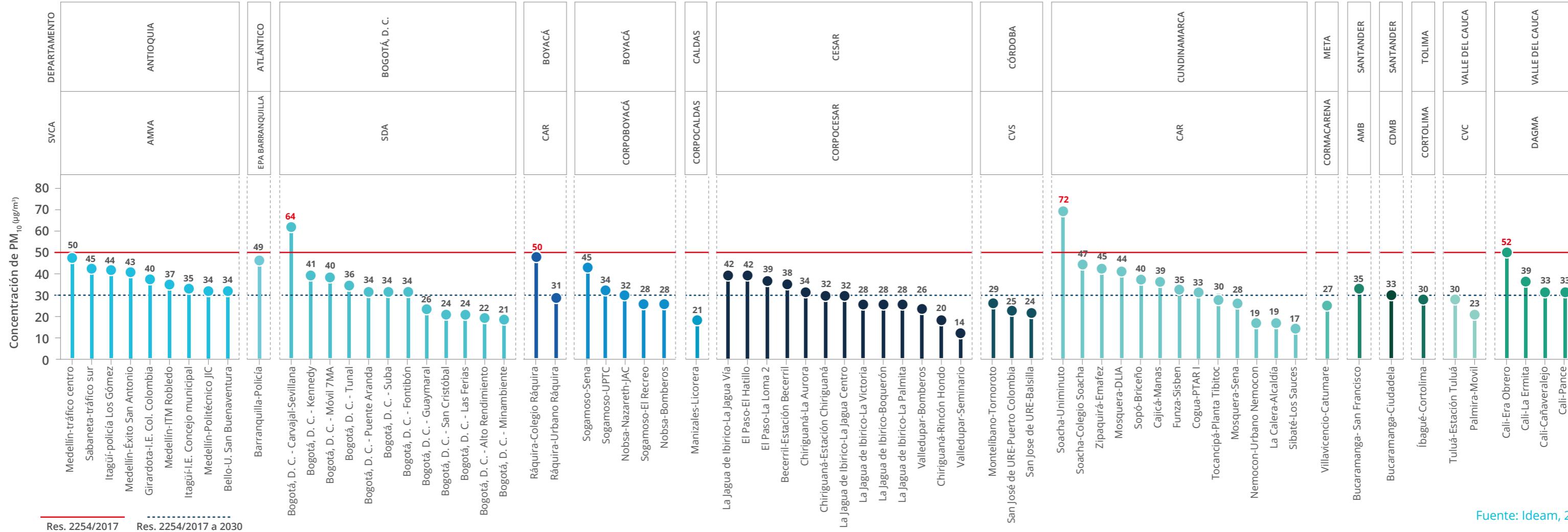


4.1. Material Particulado PM₁₀

Concentraciones promedio anuales



Figura 13. Concentraciones anuales de Material Particulado menor a 10 micras – Consolidado nacional, año 2020



Fuente: Ideam, 2020

En la **Figura 13** se presenta el consolidado nacional de los promedios anuales de Material Particulado PM₁₀ registrados por cada una de las estaciones de monitoreo de calidad del aire que presentaron una representatividad temporal superior al 75%; para facilitar la comparación normativa, allí se ilustra el respectivo nivel máximo permisible establecido por la Resolución 2254 del 2017 para un período de exposición anual (representado por la línea discontinua roja) y el referente normativo proyectado para el año 2030 (línea discontinua azul), el cual se basa en el objetivo intermedio 3 de las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud.

A partir del comportamiento anual de esta variable ilustrado en la **Figura 13**, se destaca que el 94,2% de las estaciones de monitoreo, refieren cumplimiento con respecto al nivel máximo permisible aplicable (50 µg/m³), lo que representa un aumento del 1,5% de estaciones en situación de cumplimiento en relación con el año 2019. Las estaciones que durante 2020 sobrepasaron el referente normativo en mención se ubican en las ciudades de Bogotá (estación Carvajal Sevillana) y Cali (estación ERA Obrero) y en los municipios de Ráquira, Boyacá (estación Colegio) y Soacha, Cundinamarca (estación Uniminuto). Las cuatro estaciones de monitoreo que superaron el nivel máximo permisible anual se caracterizan por la alta densidad poblacional, un gran número de fuentes móviles o la ubicación de fuentes fijas industriales, que contribuyen al aumento de las concentraciones de este contaminante en el aire ambiente. En comparación

con el referente normativo proyectado al 2030 (30 µg/m³), se puede decir que, en 2020, se presentó un 29% de estaciones que cumplen con el límite proyectado, entre las cuales se encuentran cinco (5) estaciones de la SDA de Bogotá, ciudad comúnmente catalogada como una de las más contaminadas del país.

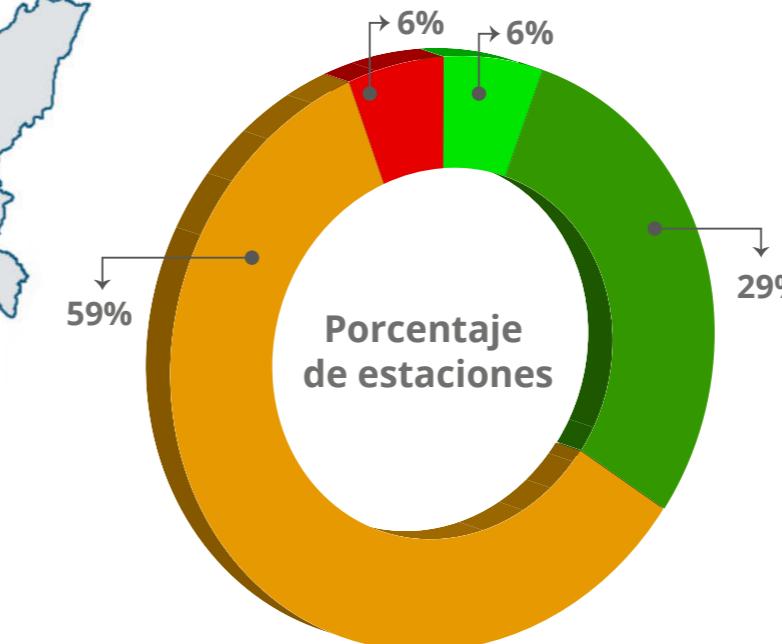
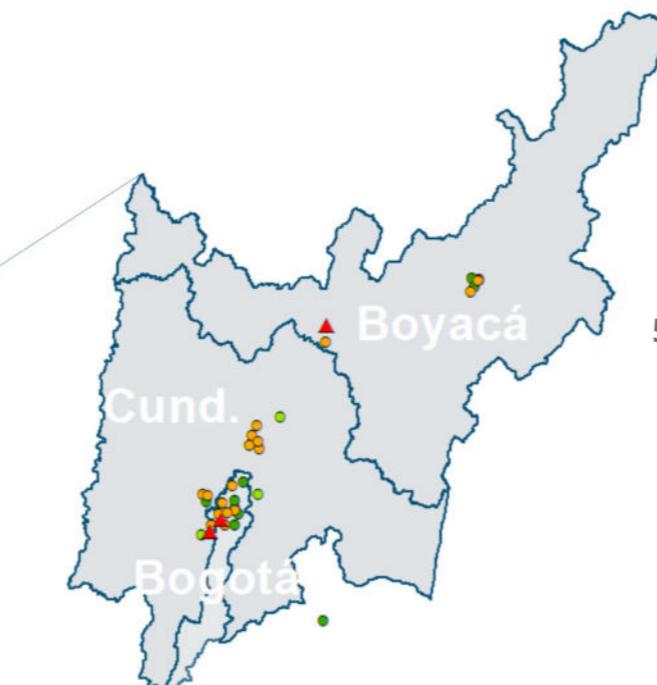
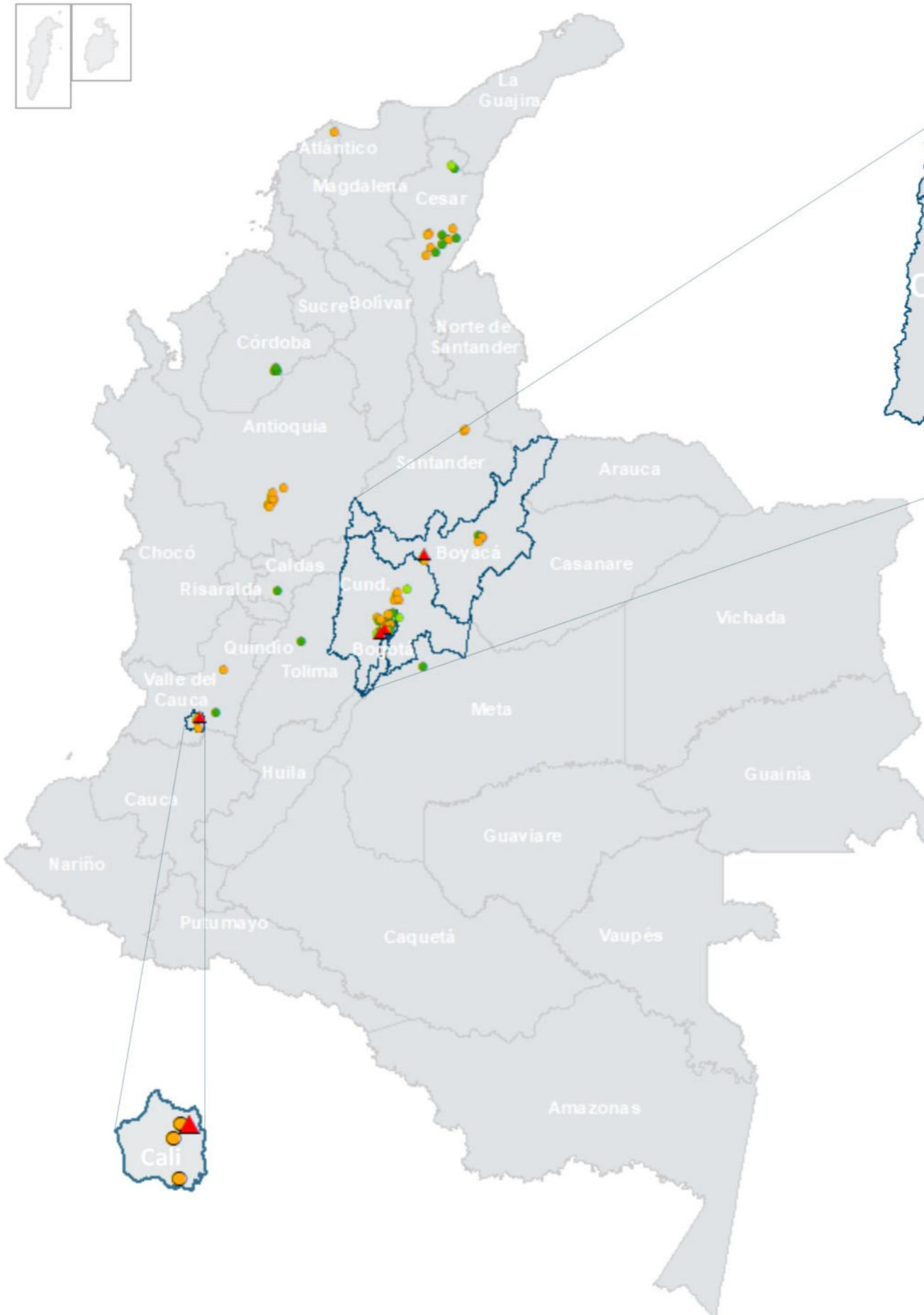
En la **Infografía 12** se espacializan las concentraciones anuales de PM₁₀ en función de las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud y normativa vigente, de acuerdo con una simbología de colores que considera los valores guía recomendados por la OMS, los respectivos objetivos intermedios y la normativa nacional, se representan las estaciones de monitoreo que durante el año 2020 midieron este contaminante de manera representativa. Esto con el propósito de asignar una clasificación a cada estación y obtener

una perspectiva nacional con respecto al avance de cumplimiento u orientación hacia los valores guías recomendados por la OMS. Se observa que, en el país, cerca del 60% de las estaciones se ajustan al objetivo intermedio 2 de la OMS (cuyo punto de corte coincide con el límite normativo nacional vigente: 50 µg/m³); en segunda instancia, se aprecia que el 29% de las estaciones se ajusta al objetivo intermedio 3 (cuyo nivel de inmisión corresponde al límite normativo nacional proyectado a 2030: 30 µg/m³); así mismo, que los porcentajes de representatividad más bajos se aprecian en las estaciones que ya se ajustan al valor guía de la OMS (20 µg/m³), representando un 6% del total de las estaciones de monitoreo. Aunque cabe mencionar, que en un porcentaje igualmente bajo (6%) también se encuentran las estaciones que sobrepasan o incumplen el límite normativo vigente (>50 µg/m³).





Infografía 12. Concentraciones anuales de Material Particulado menor a 10 micras – Clasificación de acuerdo con las recomendaciones de la OMS y normativa vigente – Consolidado nacional, año 2020

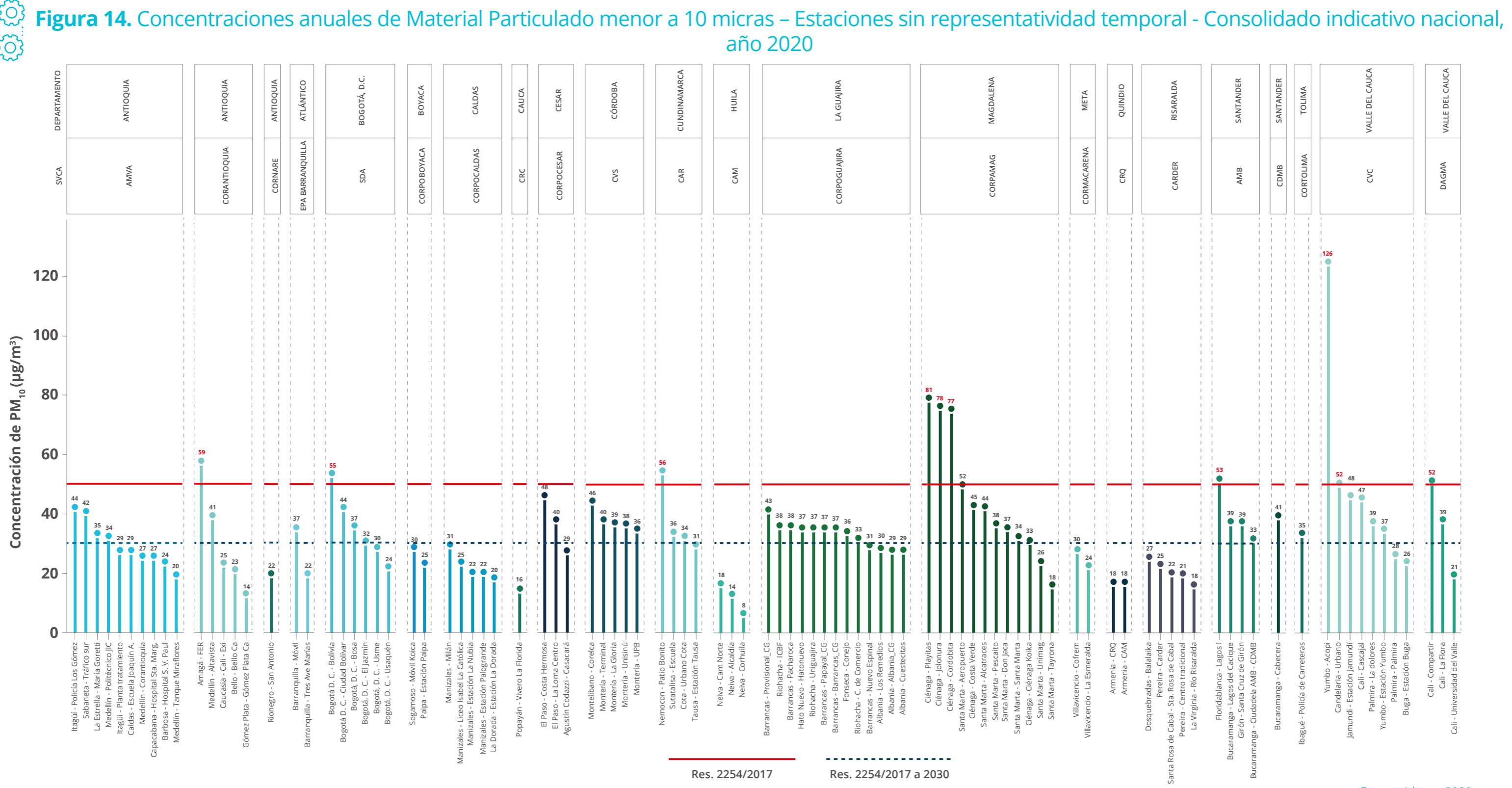


Leyenda PM ₁₀ Promedio Anual	
≤ 20 µg/m ³	Se ajusta al valor guía de la OMS
>20 ≤30 µg/m ³	Se ajusta al Objetivo Intermedio 3 de la OMS
>30 ≤50 µg/m ³	Se ajusta al Objetivo Intermedio 2 de la OMS
>50 <72 µg/m ³	No cumple con la Res. 2254/17

SVCA	Clasificación de acuerdo con las recomendaciones de la OMS y normativa vigente	No. estaciones
Se ajusta al valor guía de la OMS		
CAR	Alcaldía, Los Sauces, Urbano Nemocón	3
CORPOCESAR	Seminario	1
Se ajusta al Objetivo Intermedio 3 de la OMS		
CAR	Sena	1
CORMACARENA	Catumare	1
CORPOBOYACA	Bomberos, El Recreo	2
CORPOCALDAS	Licorera	1
CORPOCESAR	Bomberos, Boquerón, La Palmita, La Victoria	5
CORTOLIMA	Cortolima	1
CVC	Móvil	1
CVS	Balsilla, Puerto Colombia, Tornoroto	3
SDA	C. Alto Rendimiento, Guaymaral, Las Ferias, Minambiente, San Cristóbal	5
Se ajusta al Objetivo Intermedio 2 de la OMS		
AMB	San Francisco	1
AMVA	Éxito San Antonio, I.E. Col. Colombia, I.E. Concejo Municipal, Itm Robledo, Policía Los Gómez, Politécnico Jic, Tráfico Centro, Tráfico Sur, U. San Buenaventura	9
CAR	Briceño, Colegio Soacha, Dlia, Emafez, Manas, Planta Tibitoc, Ptar I, Sisbén, Urbano Ráquira	9
CDMB	Ciudadela	1
CORPOBOYACÁ	Nazareth-Jac, Sena, Uptc	3
CORPOCESAR	El Hatillo, Estación Becerril, Estación Chiriguaná, La Aurora, La Jagua Centro, La Jagua Vía, La Loma 2	7
CVC	Estación Tuluá	1
DAGMA	Cañaveralejo, La Ermita, Pance	3
EPA BARRANQUILLA	Policía	1
SDA	Fontibón, Kennedy, Móvil 7Ma, Puente Aranda, Suba, Tunal	6
No cumple con la Res. 2254/17 (vigente)		
CAR	Colegio Ráquira, Uniminuto	2
DAGMA	Era Obrero	1
SDA	Carvajal - Sevillana	1



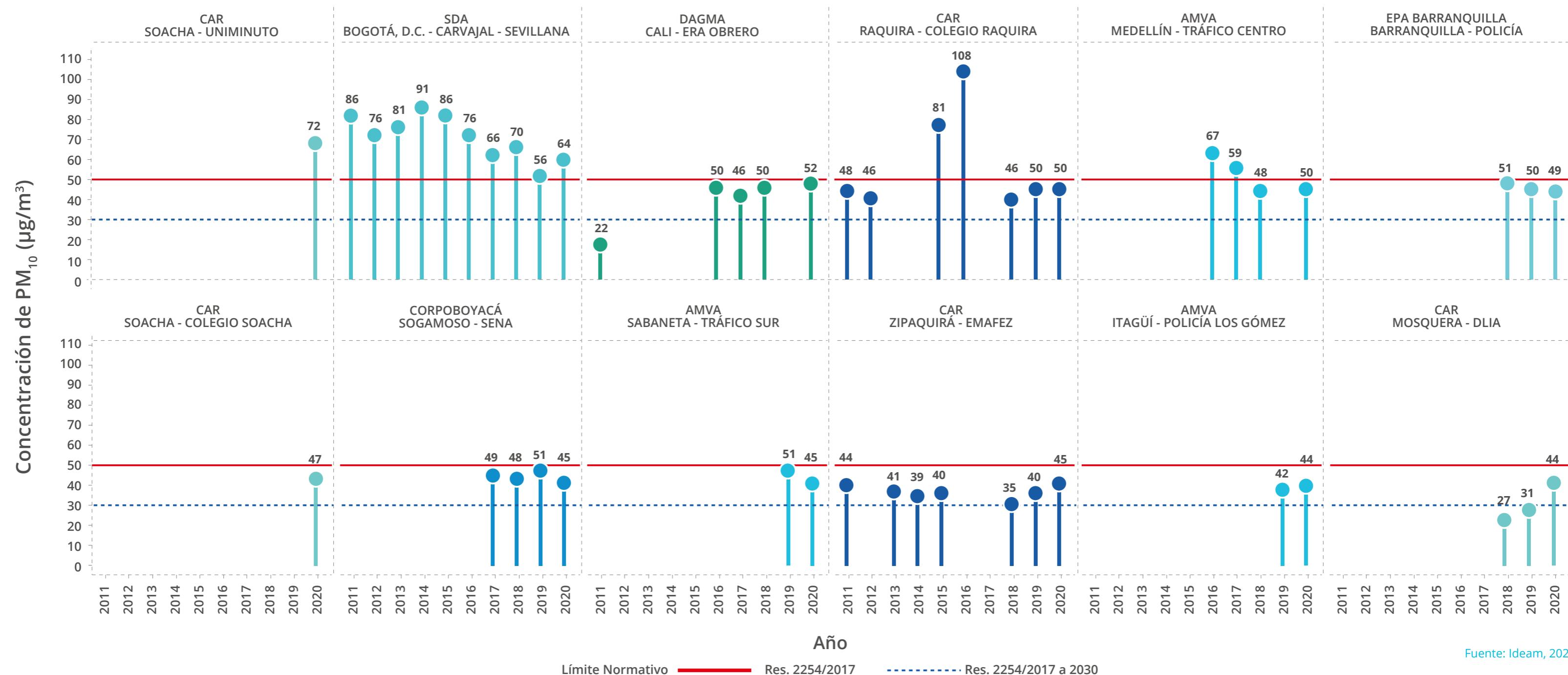
Concentraciones promedio anuales - estaciones que no cumplen con representatividad temporal



Tendencias anuales 2011-2020



Figura 15. Concentraciones anuales de material particulado menor a 10 micras – Evolución multianual, años 2011-2020 - estaciones con representatividad temporal



En la **Figura 15** se presenta el comparativo multianual desde el año 2011 de las concentraciones medias anuales de PM_{10} registradas en las estaciones de monitoreo que para el año 2020 reflejaron las máximas concentraciones anuales en comparación con lo establecido en la Resolución 2254 de 2017 (representado por la línea roja) y con el referente normativo proyectado para el año 2030 (línea discontinua azul).

Las estaciones de Carvajal-Sevillana (SDA Bogotá), Colegio Ráquira (CAR Cundinamarca), Tráfico Centro (AMVA), Tráfico Sur (AMVA), SENA (Corpoboyacá) y Policía (EPA Barranquilla), muestran una tendencia a la disminución a través de los años, y se espera que para los próximos años dichas estaciones que superan el máximo permisible se ajusten a la normativa vigente. Entre tanto, en el caso de las estaciones, ERA Obrero (DAGMA Cali), EMAFEZ (CAR Cundinamarca), Policía Los Gómez (AMVA) y DLIA (CAR Cundinamarca) se evidencia una tendencia al aumento en los últimos años, por lo cual es necesario realizar una gestión integral por parte de las autoridades ambientales competentes, orientada a reducir las concentraciones de PM_{10} .

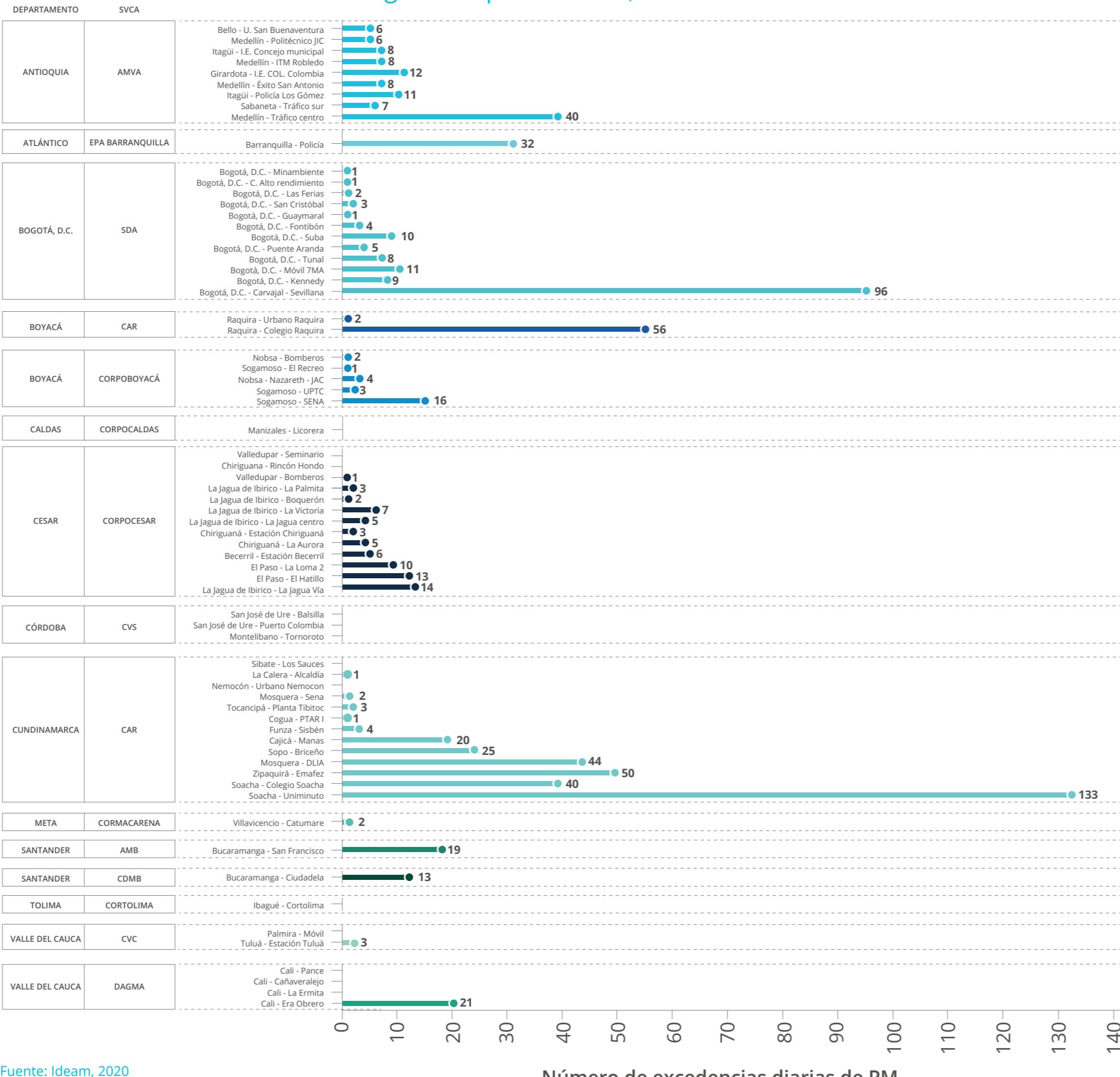




Excedencias concentraciones diarias



Figura 16. Días con excedencias al nivel máximo permisible diario para Partículas Menores a 10 micras (PM_{10}), para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020



Fuente: Ideam, 2020

En el año 2020, la CAR Cundinamarca inició el monitoreo de PM_{10} en la estación Soacha-Uniminuto debido al interés en el monitoreo y seguimiento del contaminante en la zona, como resultado de dicho seguimiento se observó ciento treinta y tres (133) días con excedencia al límite permisible para un tiempo de exposición de 24 horas, estipulado en la Resolución 2254 de 2017. Otras estaciones con mayor número de excedencias son Carvajal - Sevillana (SDA Bogotá) con 96 días y Ráquira - Colegio (CAR Cundinamarca) con 56 días, las cuales han registrado un alto número de excedencias por la carga industrial y de tráfico vehicular presentados en la zona.

Por otra parte, las estaciones de monitoreo Zipaquirá-EMAFEZ (50 días), Mosquera-DLIA (44 días), Soacha-Colegio (40 días), Sopo-Briceño (25 días) y Cajicá-Manas (20 días), localizadas en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR, durante el año 2020 reportaron un alto número de excedencias al nivel máximo permisible diario para el contaminante PM_{10} . De igual manera, estaciones como Medellín-Tráfico Centro (40 días) y Barranquilla-Policía (32 días) en jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá - AMVA y del Establecimiento Público Ambiental de Barranquilla - EPA Barranquilla respectivamente, reflejaron mayor número de excedencias en comparación con años anteriores, presentando las mayores concentraciones en los tres (3) primeros meses del año.

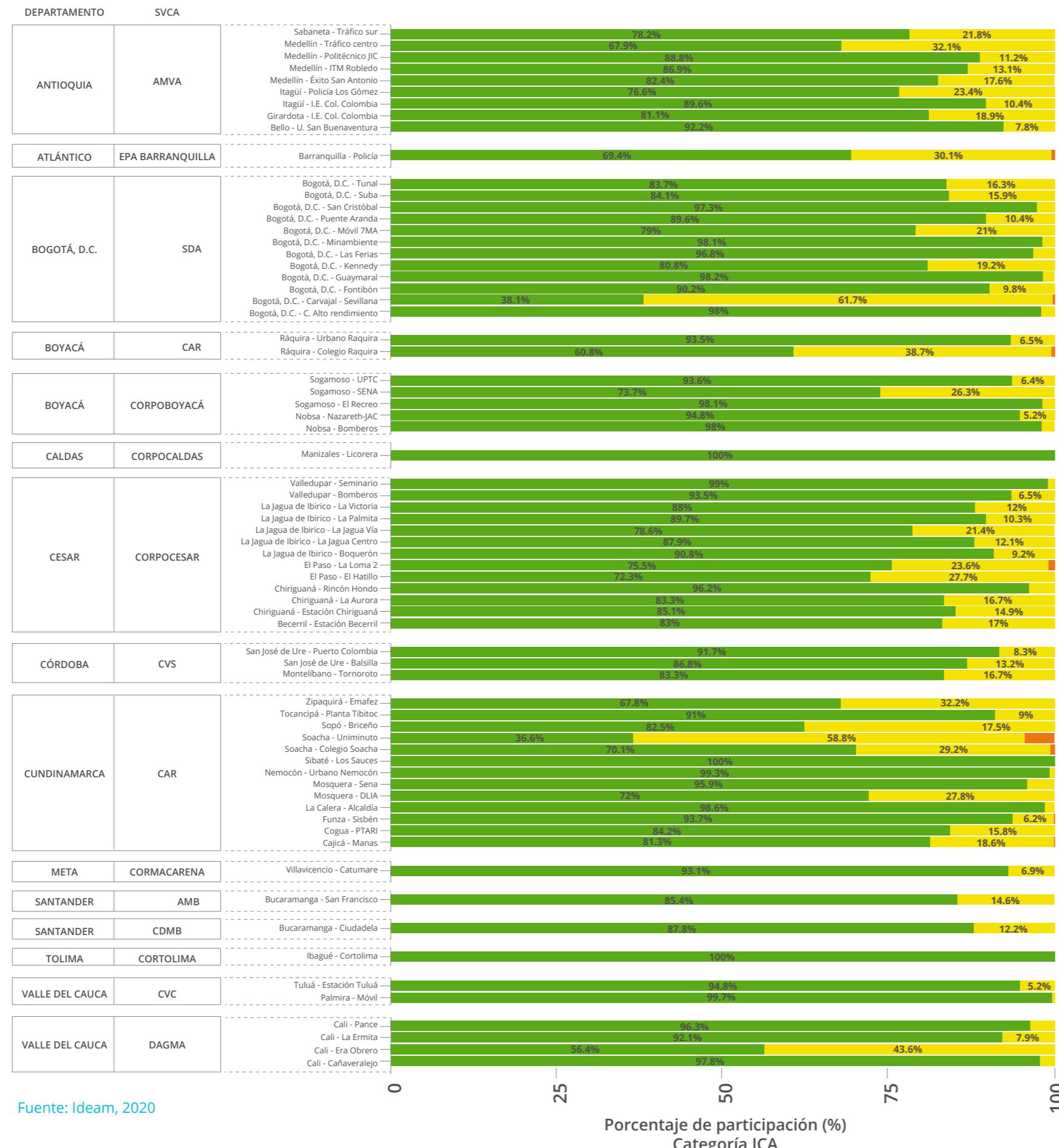
En cuanto a las otras estaciones de monitoreo ubicadas en el territorio nacional, se presentaron excedencias en un rango entre un (1) día hasta veintiún (21) días, lo cual indica que las autoridades ambientales con mayor número de excedencias deben elaborar e implementar un programa de reducción de la contaminación, identificando acciones y medidas que aporten a la reducción de la contaminación dentro de su jurisdicción por debajo del límite máximo permisible diario.





Índice de calidad del aire

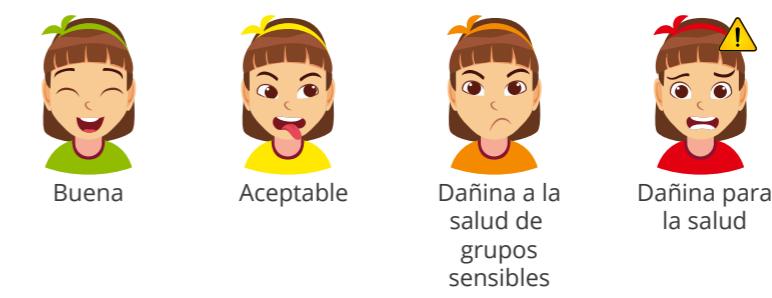
Figura 17. Índice de calidad del aire para Partículas Menores a 10 micras (PM_{10}) para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020



La ponderación del índice de la Calidad del Aire a nivel nacional permite señalar que, para PM_{10} el 97,1% de las estaciones, durante el año 2020 se presentó a mayor razón (en más del 50% del total del tiempo de monitoreo) la categoría del estado de la calidad del aire buena, exceptuando únicamente dos estaciones, ubicadas en la Ciudad de Bogotá (Carvajal -Sevillana) y en el municipio de Soacha, Cundinamarca (Unimuto), donde se reporta mayoritariamente (más del 50%) la categoría aceptable, la cual está asociada a posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles. Dentro de esta misma categoría, también se ubican el 65,7% de las estaciones con porcentajes comprendidos entre el 5% y 40% del total del tiempo de monitoreo en el año 2020.

En cuanto a la categoría dañina a la salud de grupos sensibles (personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, niños, adultos mayores), solamente en una estación de monitoreo se reporta en un porcentaje considerable (cerca del 5% del total del tiempo de monitoreo), esta estación se ubica en el municipio de Soacha - Cundinamarca (Uniminuto). No obstante, cabe anotar en cerca del 13% de las estaciones de monitoreo, aunque se alcanza esta categoría dañina a la salud de grupos sensibles, el porcentaje de ocurrencia es inferior al 1%.

Con respecto a las estaciones de monitoreo que incumplieron el nivel máximo permisible con respecto al promedio anual en 2020, se tiene que el 61,7%, 58,8% y el 43,6% de las mediciones realizadas respectivamente en las estaciones Carvajal – Sevillana (SDA Bogotá), Soacha-UNIMINUTO (CAR Cundinamarca) y ERA Obrero (DAGMA Cali), registraron concentraciones categorizadas como aceptables, lo que genera posibles síntomas respiratorios en grupos poblacionales sensibles. Dentro de esta misma categoría, también se ubica el 65,7% de las estaciones con porcentajes entre 5% y 40% con calidad del aire aceptable.



4.2. Material Particulado PM_{2,5}

Concentraciones promedio anuales



Figura 18. Concentraciones anuales de material particulado menor a 2,5 micras – Consolidado nacional, año 2020



Fuente: Ideam, 2020

En la **Figura 18** se presenta el consolidado nacional de los promedios anuales de material particulado PM_{2,5} registrados por cada una de las estaciones de monitoreo de calidad del aire que señalaron una representatividad temporal superior al 75%, para facilitar la comparación normativa, se ilustra el respectivo nivel máximo permisible establecido por la Resolución 2254 del 2017 para un periodo de exposición anual (representado por la línea continua roja) y el referente normativo proyectado para el año 2030 (línea discontinua azul), el cual se basa en el objetivo intermedio 3 de las Guías de Calidad del Aire de la OMS.

Con respecto al comportamiento anual de este contaminante criterio ilustrado en la **Figura 18** se puede decir que, para el año 2020 el 93,8% de las estaciones de monitoreo reportó concentraciones inferiores al nivel máximo permisible anual (25 µg/m³), lo que indica un aumento del 0,3% de estaciones con respecto al año anterior. El restante 6,2% de estaciones de monitoreo que sobrepasan la norma en mención, equivale a tres estaciones de monitoreo, dos de las cuales se ubican en jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, específicamente en la ciudad de Medellín (Tráfico Centro) y en el municipio de Sabaneta (Tráfico Sur) y una estación ubicada en la ciudad de Bogotá (Carvajal Sevillana), las cuales presentaron concentraciones que superan la norma aplicable en concentraciones comprendidas entre 1,3 µg/m³ y 4 µg/m³. Adicionalmente, se puede decir que el 26,2% de las estaciones cumple con el límite permisible proyectado para el año 2030 (15 µg/m³).

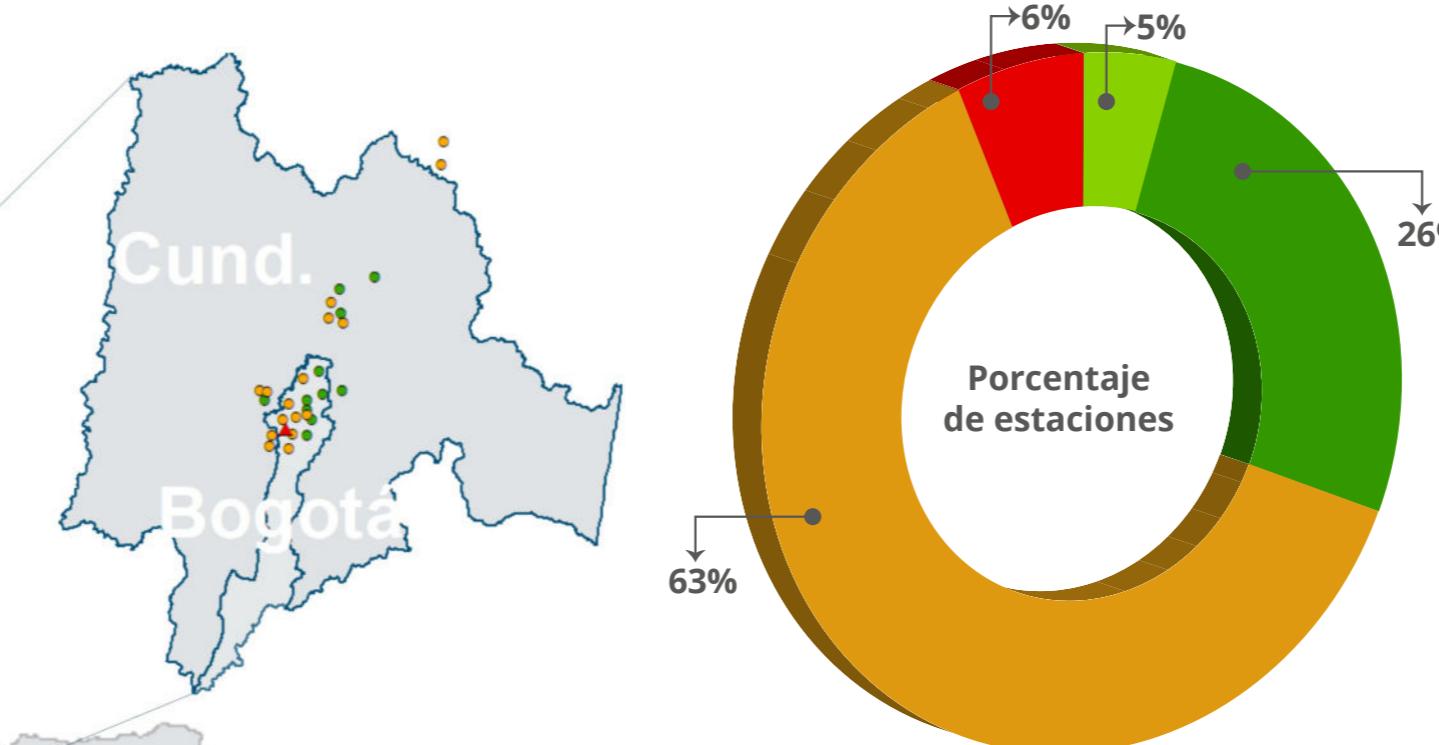
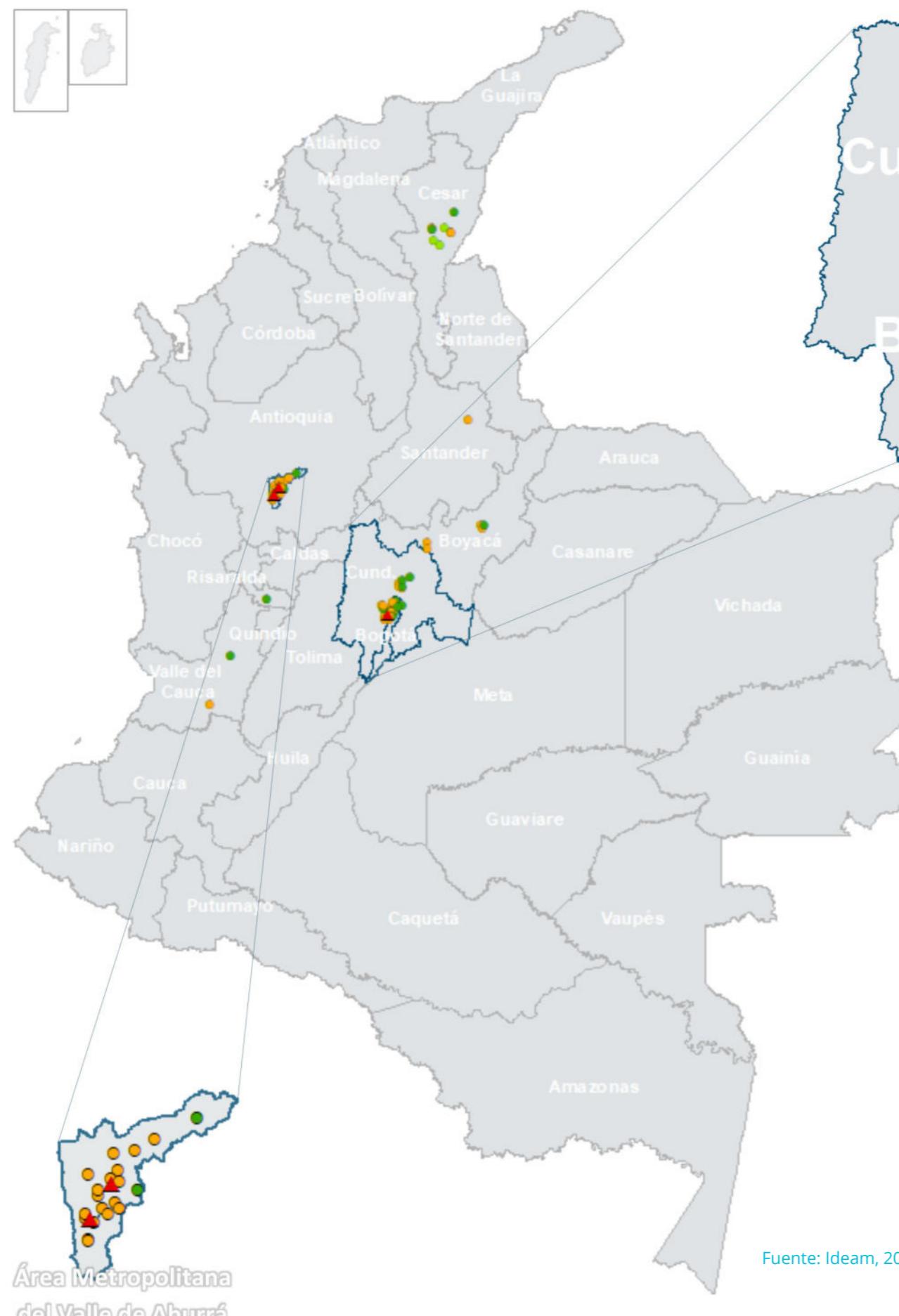
En la **Infografía 13** se espacializan las concentraciones anuales de PM_{2,5} en función de las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud y normativa vigente, de acuerdo con una simbología de

colores que considera los valores guía recomendados por la OMS, los respectivos objetivos intermedios y la normativa nacional, se representan las estaciones de monitoreo que durante el año 2020 midieron este contaminante de manera representativa. Esto con el propósito de asignar una clasificación a cada estación y obtener una perspectiva nacional con respecto al avance de cumplimiento u orientación hacia los valores guías recomendados por la OMS. Se aprecia que, a nivel nacional, la porción mayoritaria (63%) en la distribución de las estaciones con respecto a las recomendaciones de la OMS, se ajustan al objetivo intermedio 2 (cuyo nivel de inmisión coincide con el límite normativo nacional vigente: 25 µg/m³), en seguida, con un 26% en la distribución de las estaciones se encuentran aquellas que se ajustan al objetivo intermedio 3 (cuyo nivel de inmisión corresponde al límite normativo nacional proyectado a 2030: 15 µg/m³); mientras que las porciones minoritarias (menores al 6%) en la distribución hacen referencia a aquellas estaciones que se ajustan al Valor Guía: 10 µg/m³ y a aquellas estaciones que superan el límite normativo nacional vigente (25 µg/m³).





Infografía 13. Concentraciones anuales de Material Particulado menor a 2,5 micras – Clasificación de acuerdo con las recomendaciones de la OMS y normativa vigente – Consolidado nacional, año 2020



Leyenda PM _{2.5} Promedio Anual	
●	≤ 10 µg/m ³ Se ajusta al valor guía de la OMS
●	>10 ≤ 15 µg/m ³ Se ajusta al Objetivo Intermedio 3 de la OMS
●	>15 ≤ 25 µg/m ³ Se ajusta al Objetivo Intermedio 2 de la OMS
▲	> 25 < 30 µg/m ³ No cumple con la Res. 2254/17

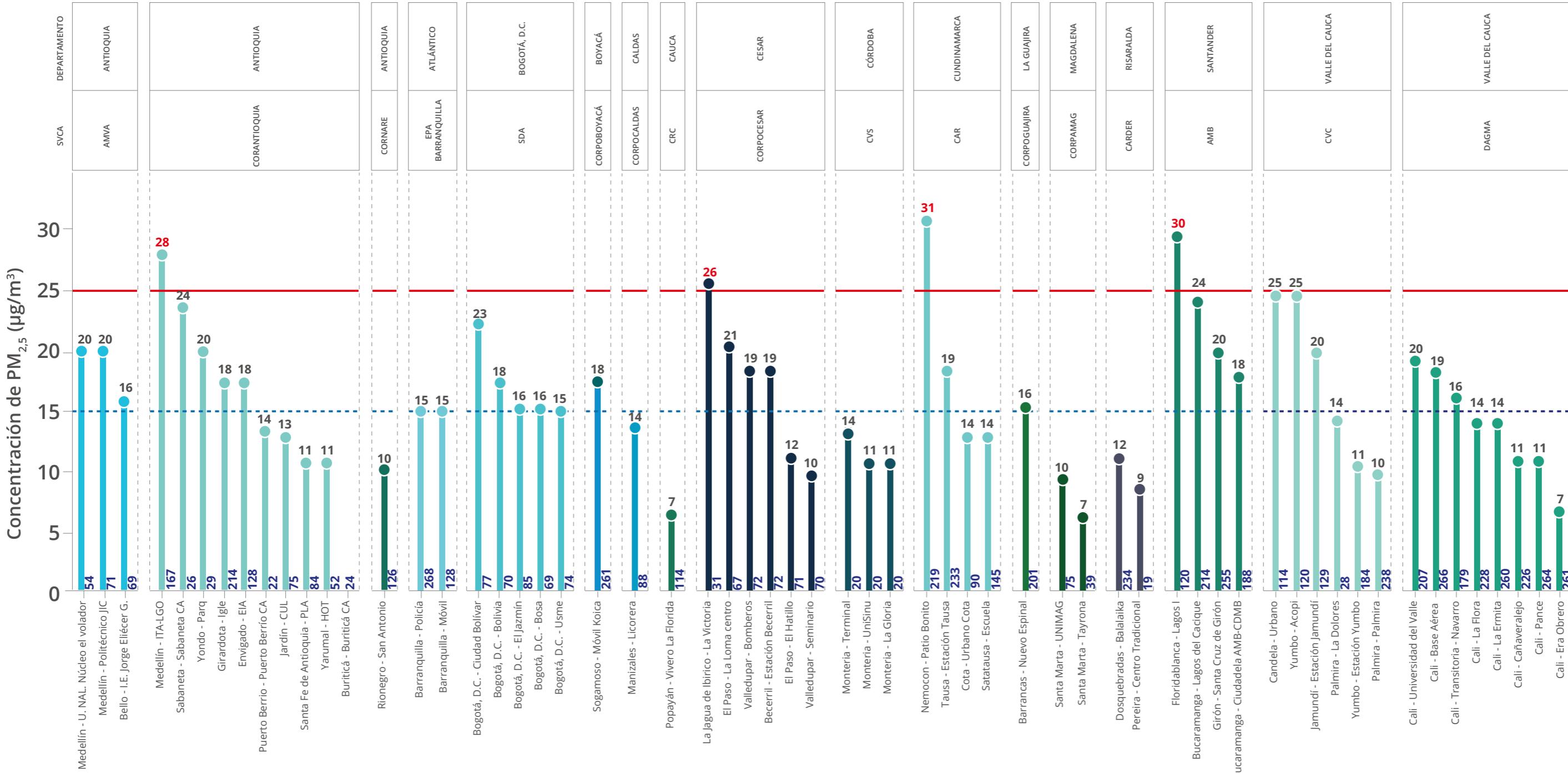
SVCA	Clasificación de acuerdo con las recomendaciones de la OMS y normativa vigente	No. estaciones
Se ajusta al valor guía de la OMS		
CORPOCESAR	Boquerón, La Aurora, Rincón Hondo	3
Se ajusta al Objetivo Intermedio 3 de la OMS		
AMVA	Santa Elena, Torre Social	2
CAR	Planta Tibitoc, Ptar I, Sena	4
CARDER	Carder	1
CORPOBOYACÁ	Nazareth-Jac	1
CORPOCESAR	Casacará, La Loma 2	2
CVC	Estación Tuluá	1
SDA	C. Alto Rendimiento, Guaymaral, Las Ferias, Minambiente, San Cristóbal, Usaquén	6
Se ajusta al Objetivo Intermedio 2 de la OMS		
AMB	San Francisco	1
AMVA	Altavista, Biblioteca Fernando B., Casa Justicia, Ciudadela Educativa, Corporación Lasallista, Escuela Joaquín A., Fiscalía Sector Caribe, Hospital, Hospital Manuel Uribe, I.E. Ciro Mendoza, I.E. Concejo Municipal, I.E. José Félix, I.E. Pedro Justo B., I.E. Rafael J. Mejía, Liceo Fernando Vélez, S.O.S Aburrá Norte, Tanques La Ye, Villahermosa	18
CAR	Briceño, Colegio Ráquira, Colegio Soacha, Dlia, Emafez, Manas, Mochuelo, Sisbén, Uniminuto, Urbano Ráquira	10
CORPOBOYACÁ	Bomberos, El Recreo	2
CORPOCESAR	Costa Hermosa, La Jagua Centro, La Jagua Vía	3
DAGMA	Compartir	1
SDA	Fontibón, Kennedy, Móvil 7Ma, Puente Aranda, Suba, Tunel	6
No cumple con la Res. 2254/17 (vigente)		
AMVA	Tráfico Centro, Tráfico Sur	2
SDA	Carvajal - Sevillana	1



Concentraciones promedio anuales - estaciones que no cumplen con representatividad temporal



Figura 19. Concentraciones anuales de Material Particulado menor a 2,5 micras - Estaciones sin representatividad temporal - Consolidado indicativo nacional, año 2020



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

Res. 2254/2017

Res. 2254/2017 a 2030

Fuente: Ideam, 2020

De manera indicativa, en la **Figura 19** se presenta el consolidado nacional de los promedios anuales de material particulado PM_{2.5} registrados por las estaciones de monitoreo de calidad del aire que no cumplen con representatividad temporal, es decir, aquellas estaciones en las cuales el porcentaje de datos válidos registrados a lo largo del año 2020 es inferior al 75%; para facilitar la comparación normativa, se ilustra el respectivo nivel máximo permisible establecido por la Resolución 2254 del 2017 en un período de exposición anual (representado por la línea continua roja) y el referente normativo proyectado para el año 2030 (línea discontinua azul), el cual se basa en el objetivo intermedio 3 de las Guías de Calidad del Aire de la OMS.

Dicho comparativo permite destacar que cuatro (4) de las sesenta (60) estaciones sobrepasan el referente normativo aplicable, que corresponde a 25 µg/m³, dichas estaciones pertenecen a Sistemas de Vigilancia de la Calidad del aire en jurisdicción de Corantioquia (ITALGO), Corpocesar (La Victoria), CAR Cundinamarca (Patio Bonito) y AMB (Floridablanca-Lagos I); en las cuales se identifican oportunidades de mejora frente al seguimiento, monitoreo y control, debido a que evidencian una posible problemática de la calidad del aire.

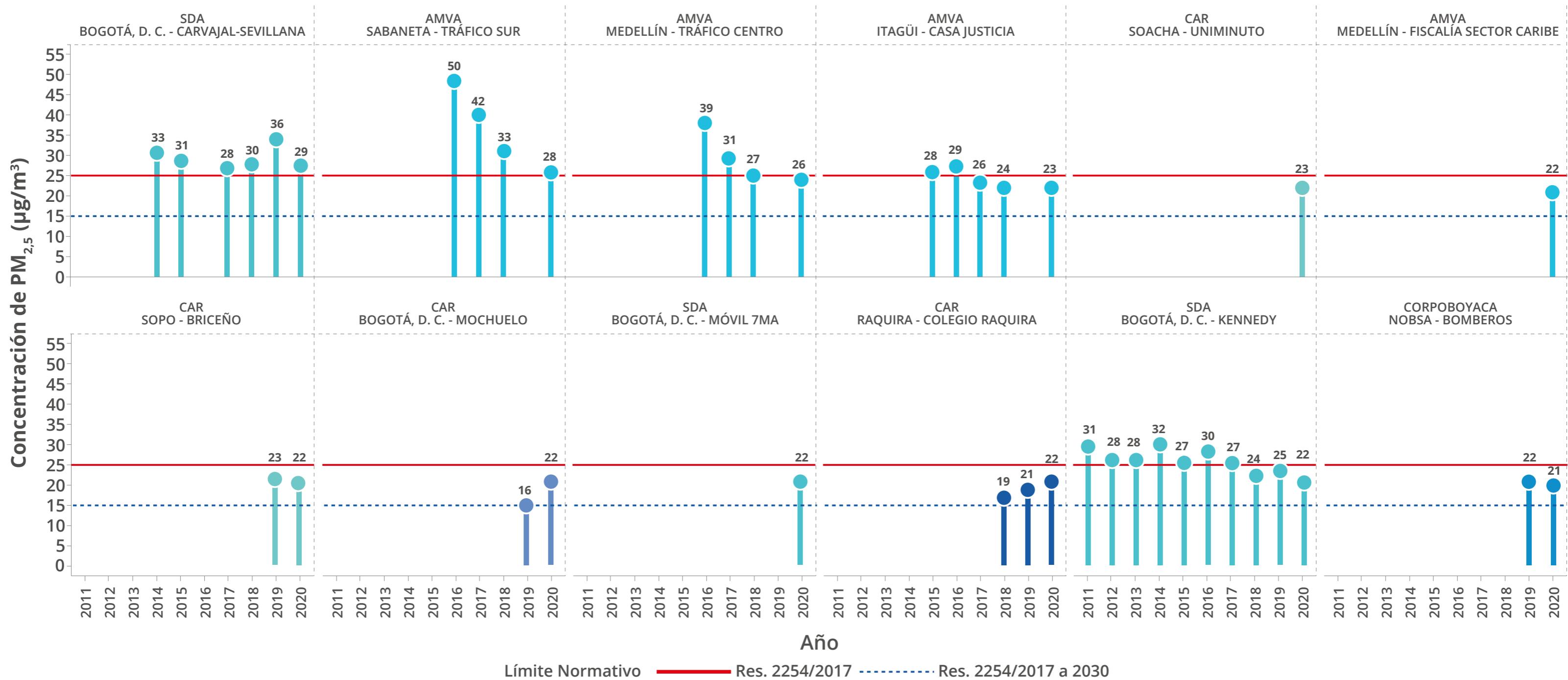




Tendencias anuales 2011-2020



Figura 20. Concentraciones anuales de material particulado menor a 2,5 micras – Evolución multianual, años 2011-2020 - Estaciones con representatividad temporal



Fuente: Ideam, 2020

En la **Figura 20** se presenta el comparativo multianual desde el año 2011 de las concentraciones medias anuales de PM_{2,5} registradas en las estaciones de monitoreo que para el año 2020 reflejaron las máximas concentraciones anuales, estas son comparadas con lo establecido en la Resolución 2254 de 2017 (representado por la línea roja) y el referente normativo proyectado para el año 2030 (línea discontinua azul).

Con base en este comparativo multianual se destaca que las estaciones de monitoreo de mayor interés y de especial atención corresponden a Carvajal/Sevillana (SDA Bogotá), Tráfico Sur y Tráfico Centro (AMVA), ya que, a pesar de mostrar una tendencia a la disminución de las concentraciones, presentan una excedencia al límite máximo permisible anual. Por otro lado, la estación Ráquira Colegio (CAR Cundinamarca) evidencia una tendencia al aumento, en los úl-

timos años. A pesar de que cumple con los límites máximos permisibles, es necesario realizar una gestión integral por parte de la autoridad ambiental competente, orientada a detener el aumento dichas concentraciones. Para el caso de la estación Kennedy (SDA Bogotá) se presenta una tendencia a la reducción en los últimos años, por ello, obtuvo un cumplimiento de la normativa vigente.

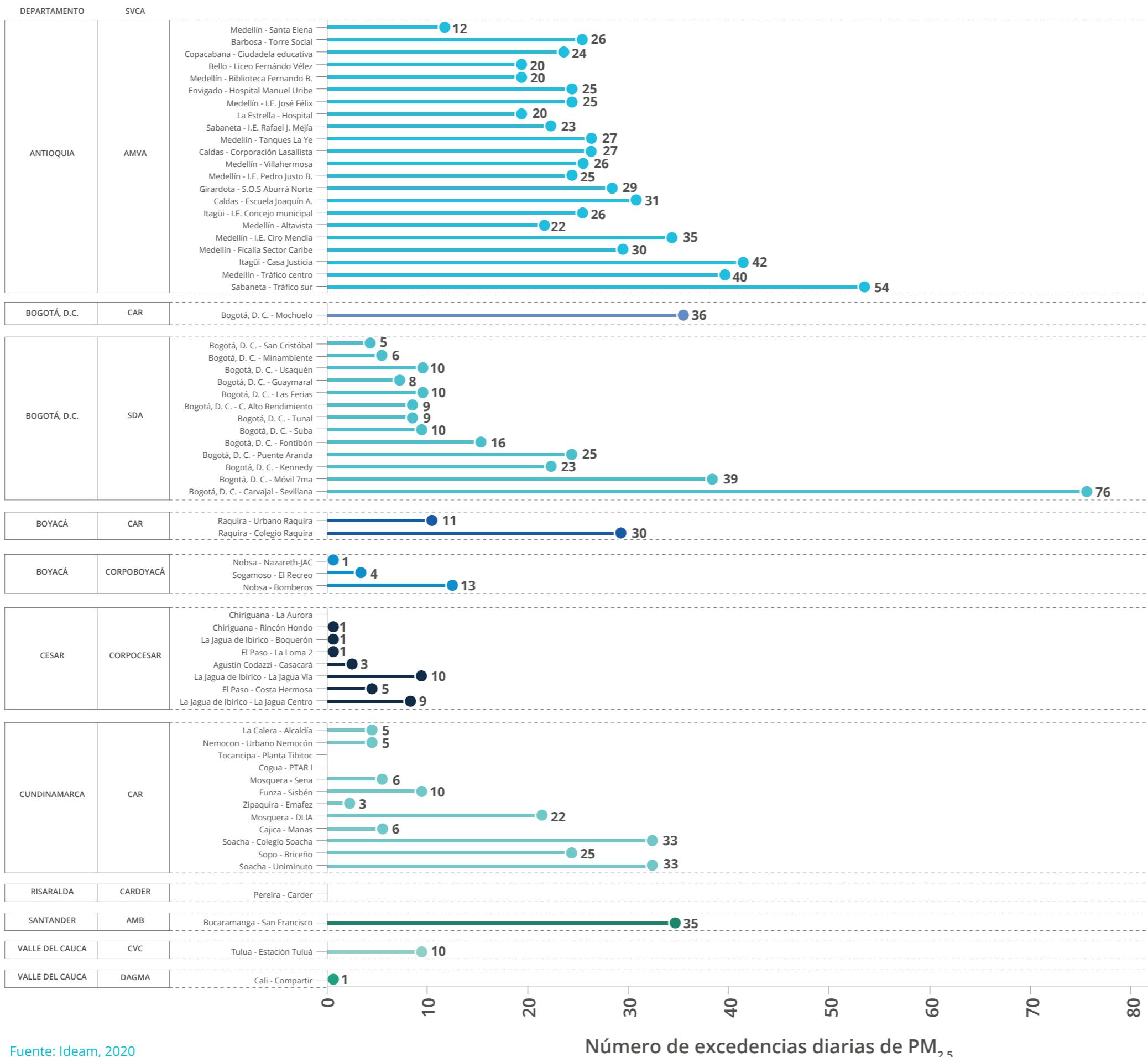




Excedencias concentraciones diarias



Figura 21. Días con excedencias al nivel máximo permisible diario para Partículas Menores a 2,5 micras ($PM_{2,5}$), para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020



Fuente: Ideam, 2020

El Área Metropolitana del Valle de Aburra fue la autoridad ambiental con el mayor número de excedencias diarias para $PM_{2,5}$, las estaciones dentro de su jurisdicción indican excedencias entre doce (12) días en Medellín-Santa Elena hasta cincuenta y cuatro (54) días en Sabaneta-Tráfico Sur. A pesar de que en 2020 se presentó la emergencia sanitaria por Covid-19, que desde finales de marzo resultó en la disminución de emisiones por fuentes industriales y móviles, en los primeros tres (3) meses del año se observó un período de altas concentraciones de material particulado captado por el SVCA y que posiblemente es de origen natural producto de la quema de biomasa.

Por su parte, la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) Bogotá reflejó un máximo nacional de excedencias en la estación de Carvajal-Sevillana, dicho punto de monitoreo ha sido clave en la gestión de la calidad del aire local ya que su dinámica responde principalmente a las emisiones de la industria y el tráfico vehicular que caracterizan el área de influencia. De igual manera, el SVCA de Bogotá registró los aumentos de material particulado en los meses de enero, febrero y marzo, lo que sugiere un posible transporte regional de la contaminación.

En la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) se observaron las máximas excedencias en las estaciones más cercanas a la capital, las cuales presentan entre 25 y 36 días de excedencias. Para una gestión integral de la calidad del aire es necesario que se trabaje sobre el plan estratégico para la gestión integral de la calidad del aire de Bogotá 2030, propuesto por la SDA, el cual involucra tanto a la CAR Cundinamarca como a la SDA Bogotá, con el fin de abordar la problemática ambiental desde ambas jurisdicciones.

En cuanto a las otras estaciones de monitoreo ubicadas en el territorio nacional, se presentaron excedencias en un rango entre un (1) día hasta treinta y cinco (35) días, esto indica que las autoridades ambientales con mayor número de excedencias deben elaborar e implementar un programa de reducción de la contaminación, identificando acciones y medidas que aporten a la reducción de la contaminación por debajo del límite máximo permisible diario dentro de su jurisdicción.



Índice de calidad del aire



Figura 22. Índice de calidad del aire para Partículas Menores a 2,5 micras (PM_{2,5}) para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020



En cuanto al PM_{2,5}, se puede decir que a nivel nacional la mayoría de las estaciones (cerca del 60%) reportan en mayor proporción (más del 50% del total del tiempo de monitoreo) una categoría del ICA aceptable. Estas estaciones por lo general se ubican en las áreas metropolitanas del Valle de Aburrá y Santander, en las ciudades de Bogotá y Cali y en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca. Entre tanto que, el 35,4% de las estaciones de monitoreo señalan en promedio proporciones mayoritarias (superiores al 50%) un estado de la calidad del aire bueno. Estas estaciones por lo general se ubican en los departamentos del Cesar, Risaralda y Valle del Cauca.

Por otra parte, la categoría dañina a la salud de grupos poblacionales sensibles, aunque se reportó en la mayoría de las estaciones, los porcentajes de ocurrencia fueron inferiores al 10%. Las excepciones del caso corresponden a dos estaciones ubicadas en el municipio de Sabaneta – Antioquia y en la ciudad de Bogotá, en las cuales dicha categoría se presentó respectivamente en el 12,9% y 18,2% del total del tiempo de monitoreo durante el 2020.

Con respecto a la categoría dañina a la salud, esta categoría igualmente se presentó en la mayoría de las estaciones, aunque por lo general en porcentajes de ocurrencia inferior al 3%, exceptuando únicamente la estación San Francisco ubicada en el área metropolitana de Bucaramanga – Santander, en la cual en cerca del 6% se registró dicha categoría. La estación San Francisco (AMB Santander) obtuvo el máximo porcentaje en la categoría dañina para la salud. A pesar de que en el 2020 no presentó excedencias a la normativa nacional anual, el ICA refleja que la estación de AMB presenció una serie de episodios de mala calidad del aire que, en total, suman 18 días con impacto a la salud de la población.

Por otro lado, el ICA señala que la estación de monitoreo que reportó un mayor porcentaje de concentraciones dañinas a la salud de grupos sensibles fue Carvajal-Sevillana, ubicada en jurisdicción de SDA Bogotá; con registros que corresponden al 18,2% de la serie de datos.

Es necesario fortalecer el monitoreo del PM_{2,5}, ya que actualmente se tiene un desconocimiento en los niveles del contaminante en gran parte de los municipios que requieren SVCA. Por su parte, considerando que, solo ocho estaciones presentan en gran mayoría condición buena de calidad del aire, es necesario que las autoridades ambientales elaboren un programa de reducción de la contaminación, identificando acciones y medidas que aporten al mejoramiento de la calidad del aire dentro de su jurisdicción.

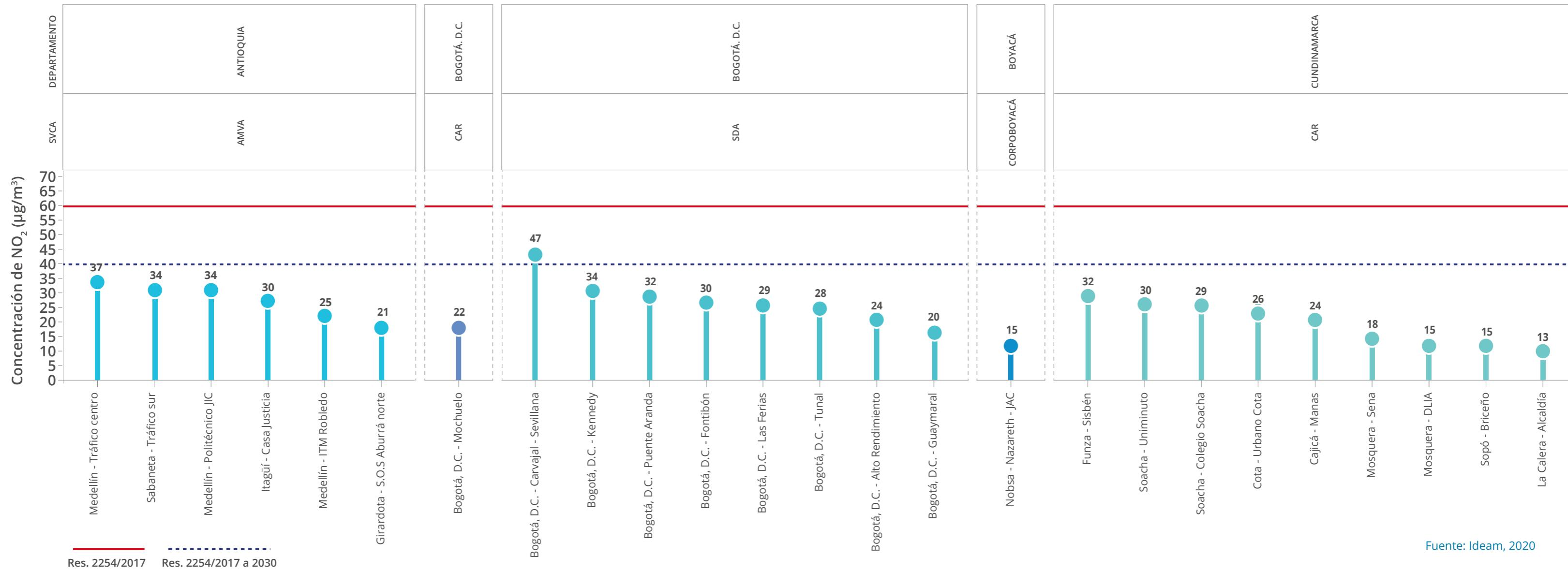


4.3. Dióxido de nitrógeno - NO₂

Concentraciones promedio anuales



Figura 23. Concentraciones anuales de dióxido de nitrógeno- Consolidado nacional, año 2020



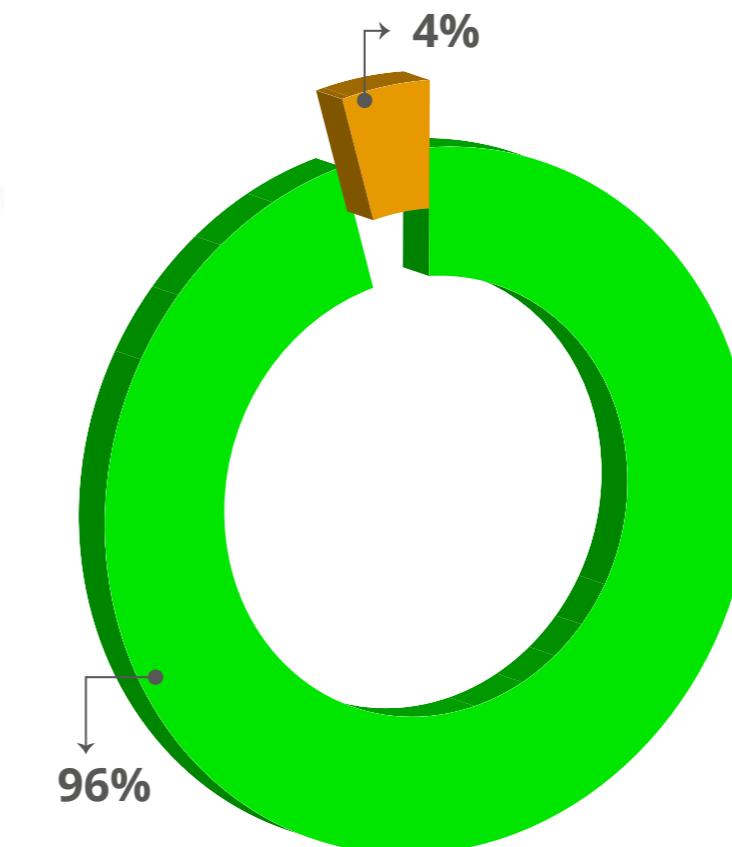
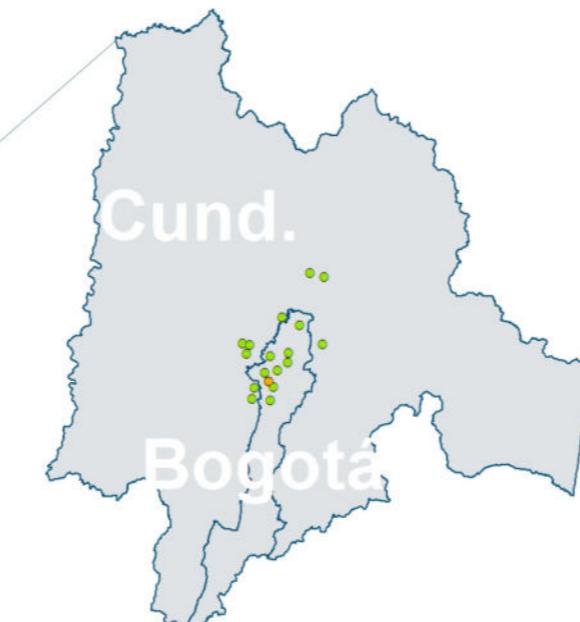
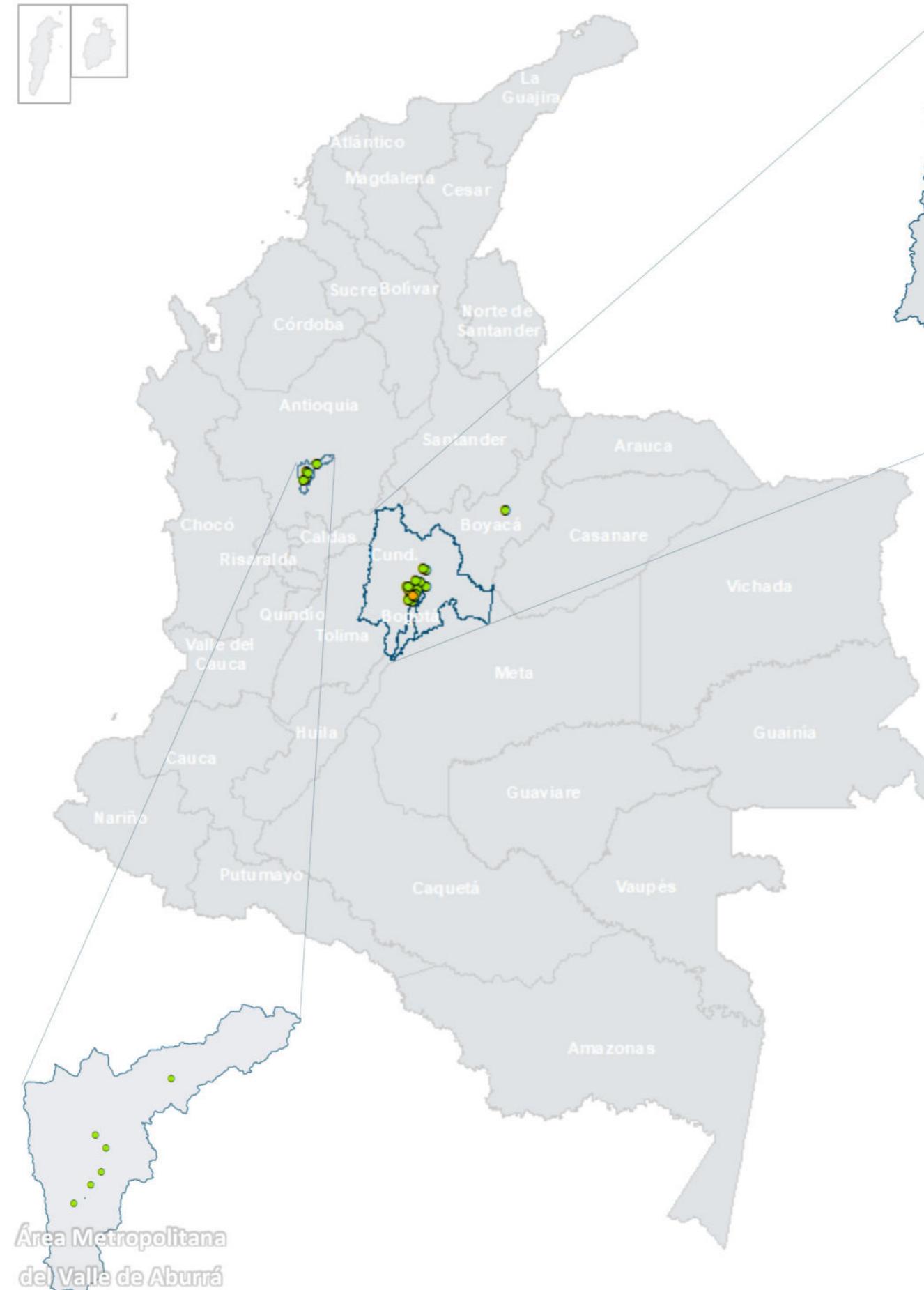
En la **Figura 23** se presenta el consolidado nacional de los promedios anuales de dióxido de nitrógeno (NO₂) registrados por cada una de las estaciones de monitoreo de calidad del aire que señalaron una representatividad temporal superior al 75%, para facilitar la comparación normativa, allí se ilustra el respectivo nivel máximo permisible establecido por la Resolución 2254 del 2017 para un periodo de exposición anual (representado por la línea continua roja) y el referente normativo proyectado para el año 2030 (línea discontinua azul), el cual se basa en el objetivo intermedio 3 de las Guías de Calidad del Aire de la OMS.

Con respecto al comportamiento anual de este contaminante criterio ilustrado en la **Figura 24** es de resaltar que el 100% de las estaciones de monitoreo reporta concentraciones inferiores al nivel máximo permisible anual vigente, que corresponde a 60 µg/m³, lo que indica que se mantiene el mismo porcentaje de cumplimiento con respecto al año anterior. Adicionalmente, a partir de la **Infografía 14** se puede destacar que el 96% de las estaciones presenta concentraciones inferiores a 40 µg/m³, ajustándose tanto a la proyección normativa a 2030, así como al objetivo intermedio 3 de la Organización Mundial de la Salud, supera dicho límite máximo permisible proyectado sólo la estación de Carvajal-Sevillana.





Infografía 14. Concentraciones anuales de Dióxido de nitrógeno – Clasificación de acuerdo con las recomendaciones de la OMS y normativa nacional – Consolidado nacional, año 2020



**Leyenda
NO₂ Promedio Anual**

- < 40 µg/m³
Se ajusta al valor guía de la OMS y cumple con la Res. 2254/17 a 2030
- > 40 < 60 µg/m³
Cumple con la Res. 2254/17 vigente y no cumple con la Res. 2254/17 a 2030

SVCA	Clasificación de acuerdo con las recomendaciones de la OMS y normativa nacional	No. estaciones
Se ajusta al valor guía de la OMS y cumple con la Res. 2254/17 a 2030		
AMVA	Casa Justicia, Itm Robledo, Politécnico Jic, S.O.S Aburrá Norte, Tráfico Centro, Tráfico Sur	6
CAR	Alcaldía, Briceño, Colegio Soacha, Dlia, Manas, Mochuelo, Sena, Sisben, Uniminuto, Urbano Cota	10
CORPOBOYACÁ	Nazareth-Jac	1
SDA	C. Alto Rendimiento, Fontibón, Guaymaral, Kennedy, Las Ferias, Puente Aranda, Tunal	7
Cumple con la Res. 2254/17 vigente y no cumple con la Res. 2254/17 a 2030		
SDA	Carvajal - Sevillana	1

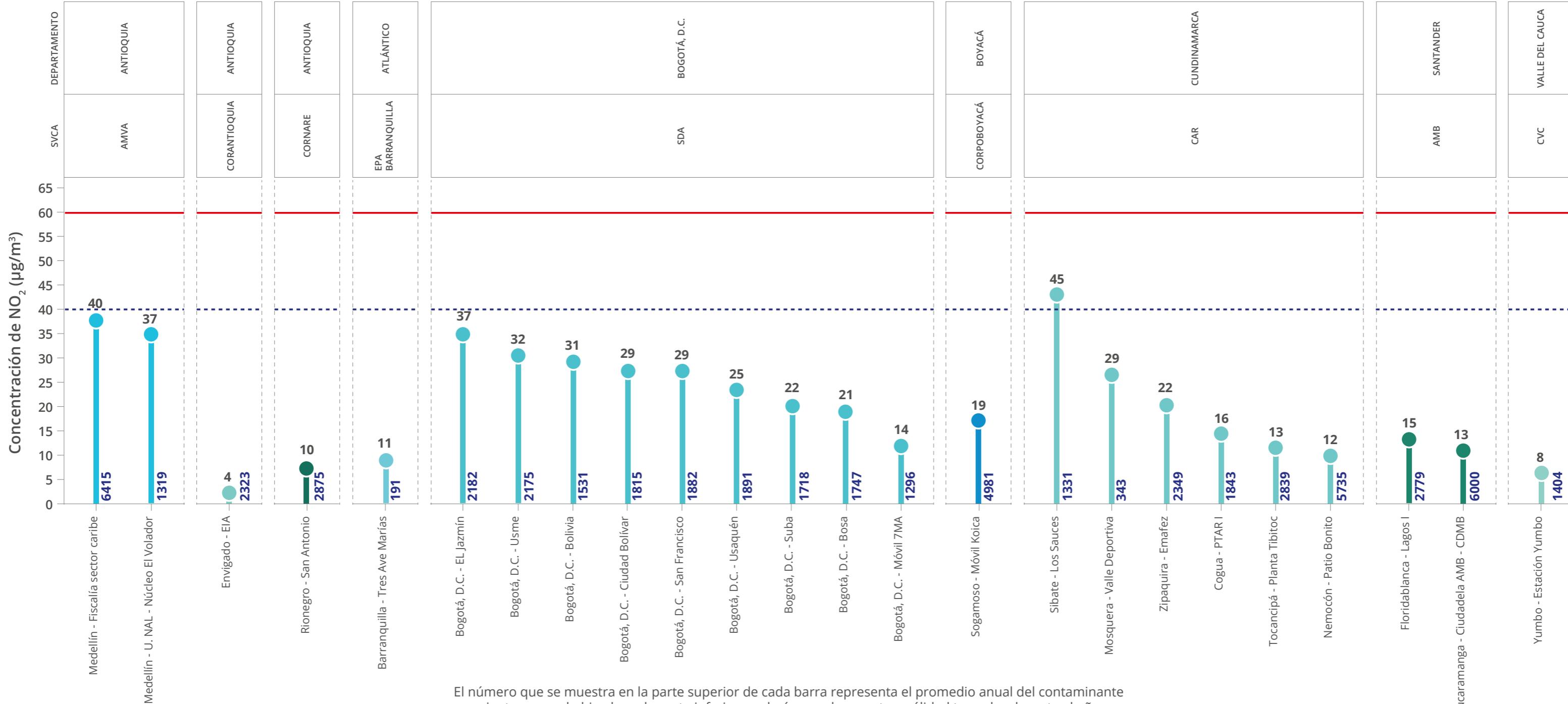
Fuente: Ideam, 2020



Concentraciones promedio anuales - estaciones que no cumplen con representatividad temporal



Figura 24. Concentraciones anuales de dióxido de nitrógeno – Estaciones sin representatividad temporal - Consolidado indicativo nacional, año 2020



Fuente: Ideam, 2020

De manera indicativa, en la **Figura 24** se presenta el consolidado nacional de los promedios anuales de NO₂ registrados por las estaciones de monitoreo de calidad del aire que no cumplen con representatividad temporal, es decir, aquellas estaciones en las cuales el porcentaje de datos válidos registrados a lo largo del año 2020 es inferior al 75%; para facilitar la comparación normativa, se ilustra

el respectivo nivel máximo permisible establecido por la Resolución 2254 del 2017 para un período de exposición anual (representado por la línea continua roja) y el referente normativo proyectado para el año 2030 (línea discontinua azul), el cual se basa en el objetivo intermedio 3 de las Guías de Calidad del Aire de la OMS.

Dicho comparativo permite destacar que ninguna de las estaciones sobrepasa el referente normativo aplicable, que corresponde a 60 µg/m³, sin embargo, se identifica una oportunidad de mejora frente al aumento de representatividad temporal de las estaciones para el seguimiento, monitoreo y control de la calidad del aire.

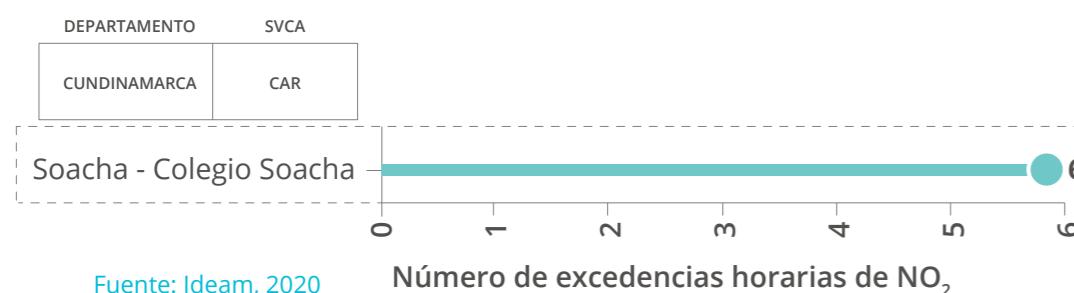




Excedencias concentraciones diarias



Figura 25. Horas con excedencias al nivel máximo permisible horario para dióxido de nitrógeno (NO_2), para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020



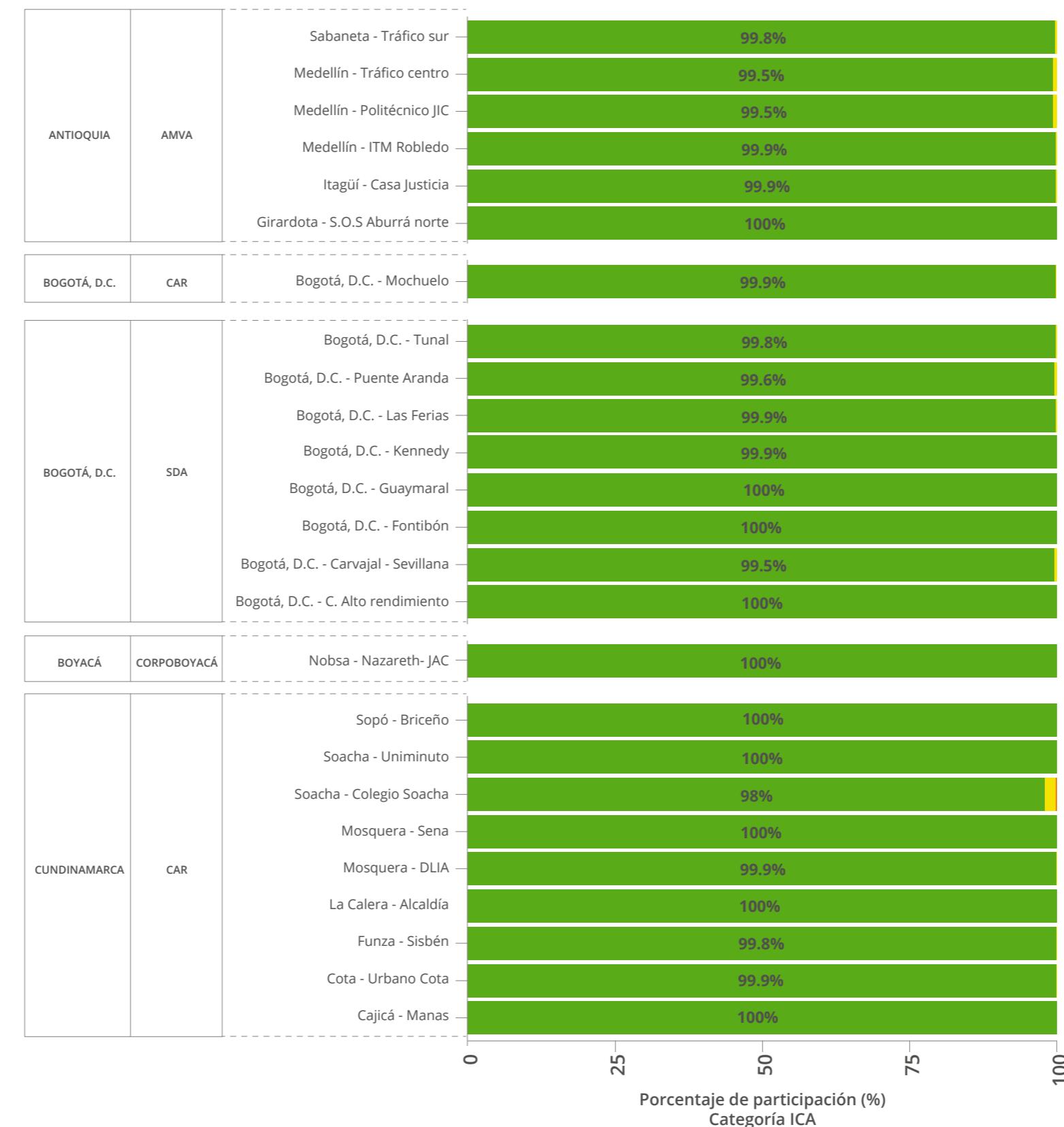
Durante el año 2020, se presentaron excedencias al nivel máximo horario ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) contemplado en la Resolución 2254 de 2017, únicamente en la estación de Colegio Soacha, localizada en el municipio de Soacha, en jurisdicción de la CAR Cundinamarca.

A pesar de que dicha estación no presentó una de las máximas concentraciones promedio anual a nivel nacional, la serie temporal reflejó un aumento de las concentraciones a mediados de noviembre, indicando un corto episodio de contaminación de este gas en las cercanías de la estación.

Índice de calidad del aire



Figura 26. Índice de calidad del aire para dióxido de nitrógeno (NO_2) para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020



Fuente: Ideam, 2020

En general el ICA por dióxido de nitrógeno refleja una buena calidad del aire con porcentajes cercanos al 100% para todas las estaciones, en el caso específico de la estación de Colegio Soacha, se tiene un 2% de calidad aceptable y dañina para la salud de grupos sensibles, lo que se refleja en la figura 26 con las excedencias horarias presentadas en 2020.

Lo anterior permite identificar que este gas reactivo, refleja un efecto mínimo, casi nulo sobre la salud de la población, esto ya que, además, registró cumplimiento de la norma anual en el 100% de las estaciones que midieron este contaminante. Lo que ratifica su bajo potencial de afectación a la salud de la población colombiana.



Buena Aceptable



Dañina a la salud de grupos sensibles Dañina para la salud

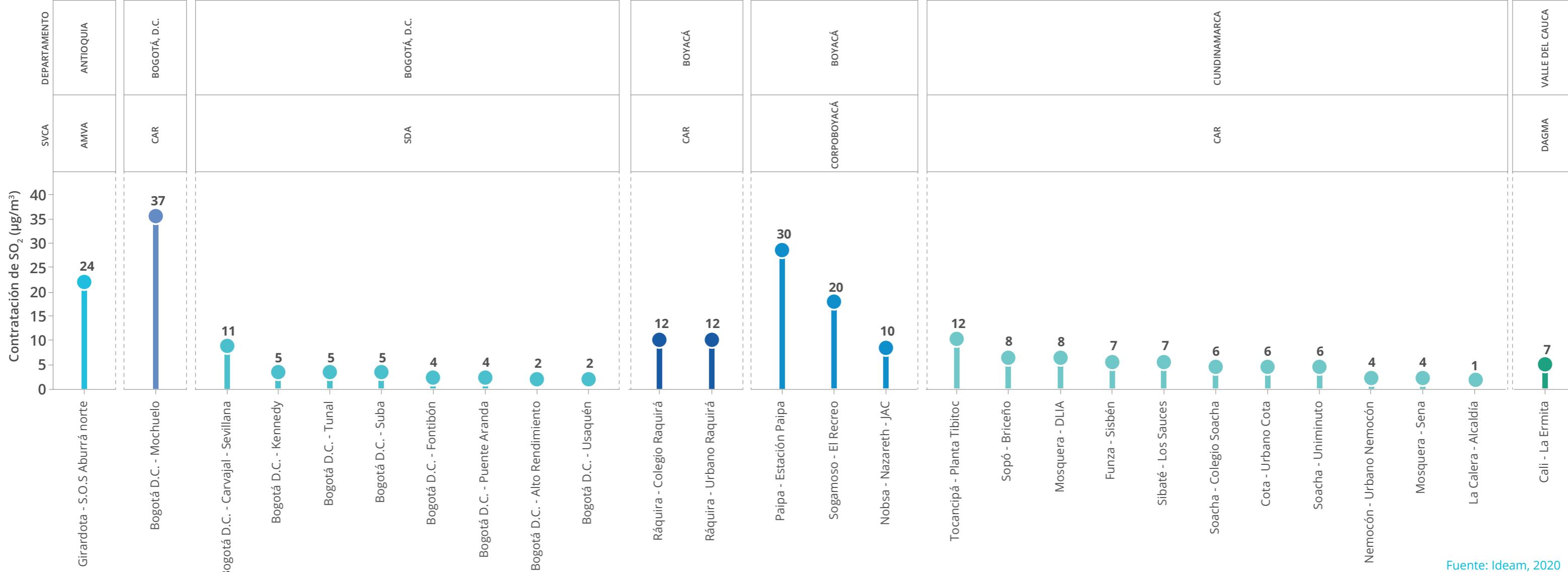


4.4. Dióxido de azufre - SO₂

Concentraciones promedio anuales (indicativas)



Figura 27. Concentraciones anuales de dióxido de azufre- Consolidado indicativo nacional, año 2020



Fuente: Ideam, 2020

En la **Figura 27** se presenta el consolidado nacional de los promedios anuales de SO₂ registrados por cada una de las estaciones de monitoreo de calidad del aire que señalaron una representatividad temporal superior al 75%, para este contaminante no se realiza la comparación normativa anual ya que no hay un nivel máximo permisible en la Resolución 2254 del 2017 para un período de exposición anual.

Con respecto al comportamiento anual de este contaminante criterio, es de resaltar que las estaciones de monitoreo reportaron concentraciones consideradas bajas para el 2020. Las estaciones con mayores niveles de SO₂ promedio anual, se encuentran en jurisdicción de AMVA, CAR Cundinamarca y Corpoboyacá, con concentraciones superiores a los 20 µg/m³, aclarando que no presentan un riesgo para la salud, como se muestra en el ICA.

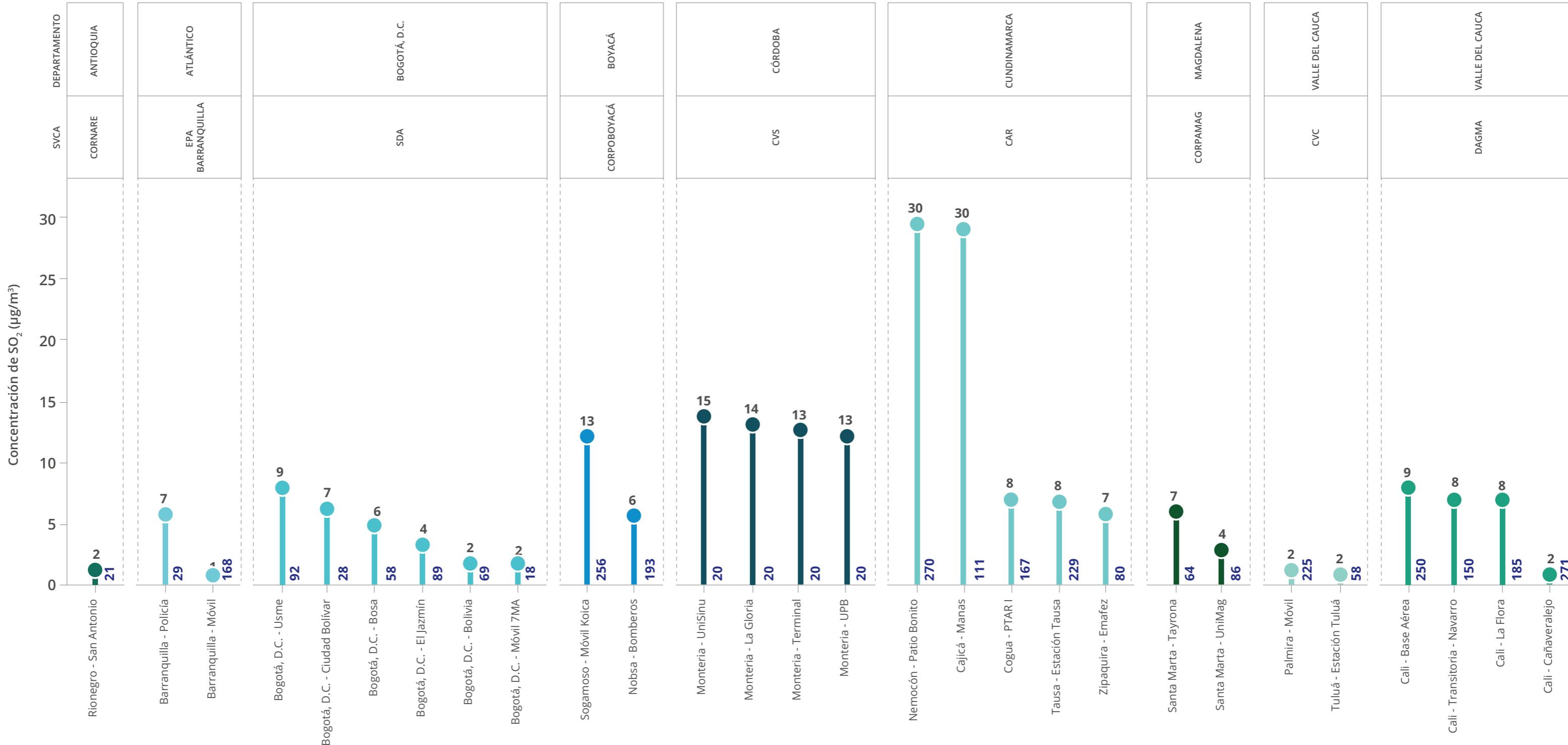
La Resolución 2254 de 2017 define el cumplimiento de niveles máximos permisibles de 50 µg/m³ y 100 µg/m³ para tiempos de exposición diarios y horarios respectivamente. Este contaminante, se encuentra asociado a problemas de asma y bronquitis crónica, por lo cual aumenta la morbilidad y mortalidad en personas mayores y niños. Los asmáticos y las personas con enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC) y con problemas cardíacos son los más sensibles a los efectos del SO₂.



Concentraciones promedio anuales - estaciones que no cumplen con representatividad temporal



Figura 28. Concentraciones anuales dióxido de azufre – Estaciones sin representatividad temporal
- Consolidado indicativo nacional, año 2020



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

Fuente: Ideam, 2020

De manera indicativa, en la **Figura 28** se presenta el consolidado nacional de los promedios anuales de SO_2 registrados por las estaciones de monitoreo de calidad del aire que no cumplen con representatividad temporal, es decir, aquellas estaciones en las cuales el porcentaje de datos válidos registrados a lo largo del año 2020 es inferior al 75%.

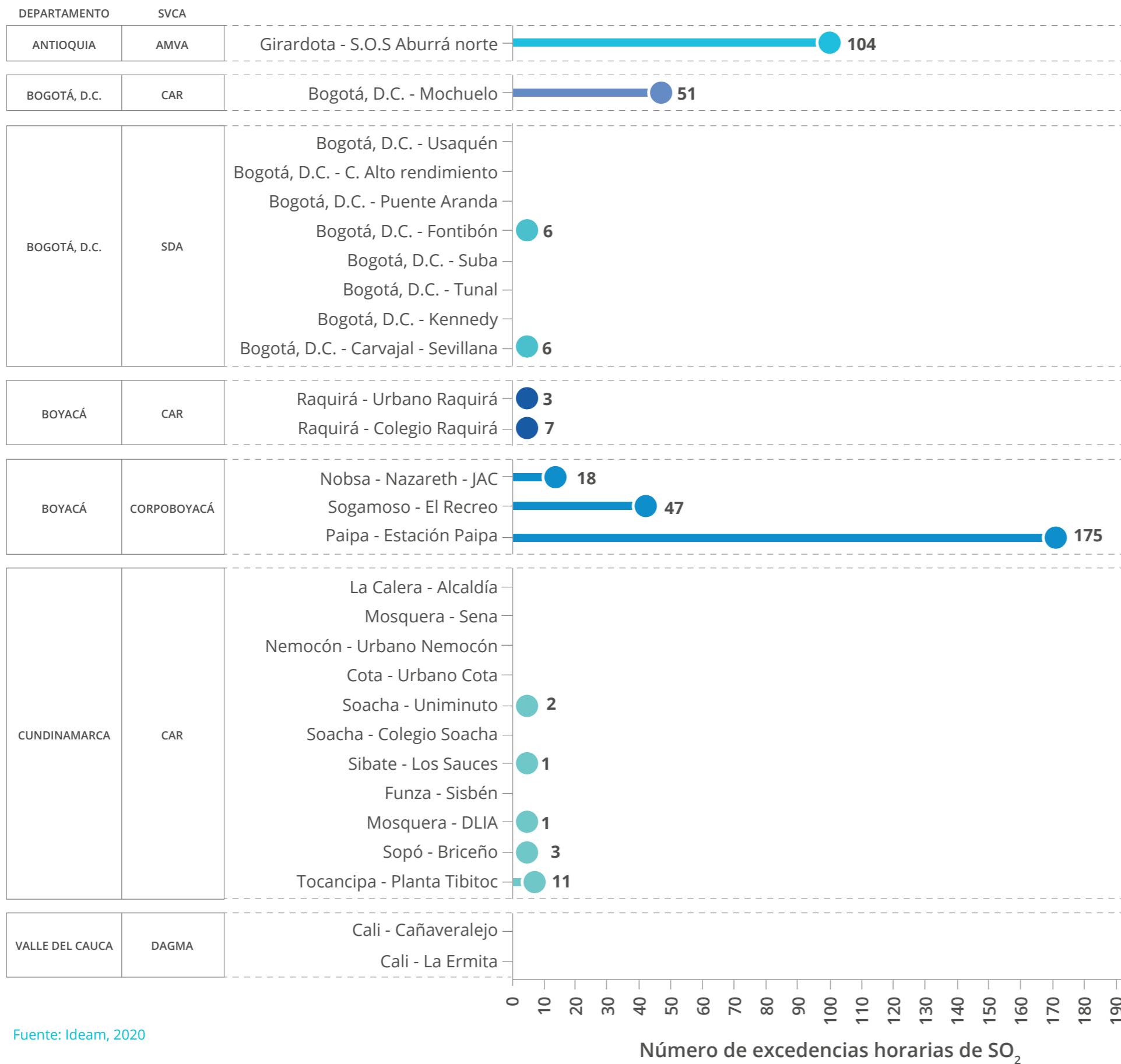
Dicha figura permite destacar que las estaciones de Nemocón-Patio Bonito y Cajicá-Manas presentaron mayores niveles de SO_2 y que ambas pertenecen al Sistemas de Vigilancia de la Calidad del aire en jurisdicción de la CAR Cundinamarca; en las cuales se identifican oportunidades de mejora frente al seguimiento, monitoreo y control, debido a que evidencian una posible afectación de la calidad del aire.



Excedencias concentraciones horarias



Figura 29. Horas con excedencias al nivel máximo permisible horario para Dióxido de Azufre (SO_2) para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020



Fuente: Ideam, 2020

Las estaciones de monitoreo Estación Paipa (175 horas) y S.O.S. Aburrá Norte (103 días), localizadas en jurisdicción de Corpoboyacá y AMVA, son las que, a nivel nacional, presentan la mayor cantidad de horas con excedencias al límite máximo permisible establecido para un tiempo de exposición de una hora.

Por su parte, los registros obtenidos en el SVCA de la CAR Cundinamarca muestran un número significativo de excedencias en la estación de monitoreo de mochuelo (51 horas), la cual reportó la mayor cantidad de registros que superan el nivel máximo horario en la capital.

En general, los registros obtenidos en las estaciones de monitoreo pertenecientes a los SVCA de AMVA, CAR Cundinamarca y SDA Bogotá, reportaron al menos un día con excedencias al promedio horario, por lo que deben reforzarse los controles en las emisiones de los precursores que dan origen a esta sustancia.





Índice de calidad del aire



Figura 30. Índice de calidad del aire para dióxido de azufre (SO_2) para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020



El Índice de calidad del aire obtenido para el dióxido de azufre refleja que la gran mayoría de las concentraciones registradas a lo largo del año 2020 se categoriza en un estado de la calidad del aire bueno, por lo que se descarta cualquier afectación o sintomatología asociada a la presencia de altas concentraciones de este contaminante en la atmósfera.

Lo que ratifica el bajo potencial, casi nulo de afectación a la salud de la población colombiana que tiene este contaminante gaseoso.

Aunque, específicamente para la estación de Paipa, se presentó un corto intervalo de tiempo con la categoría aceptable, reflejando las excedencias horarias (175) que se presentaron durante el año 2020.

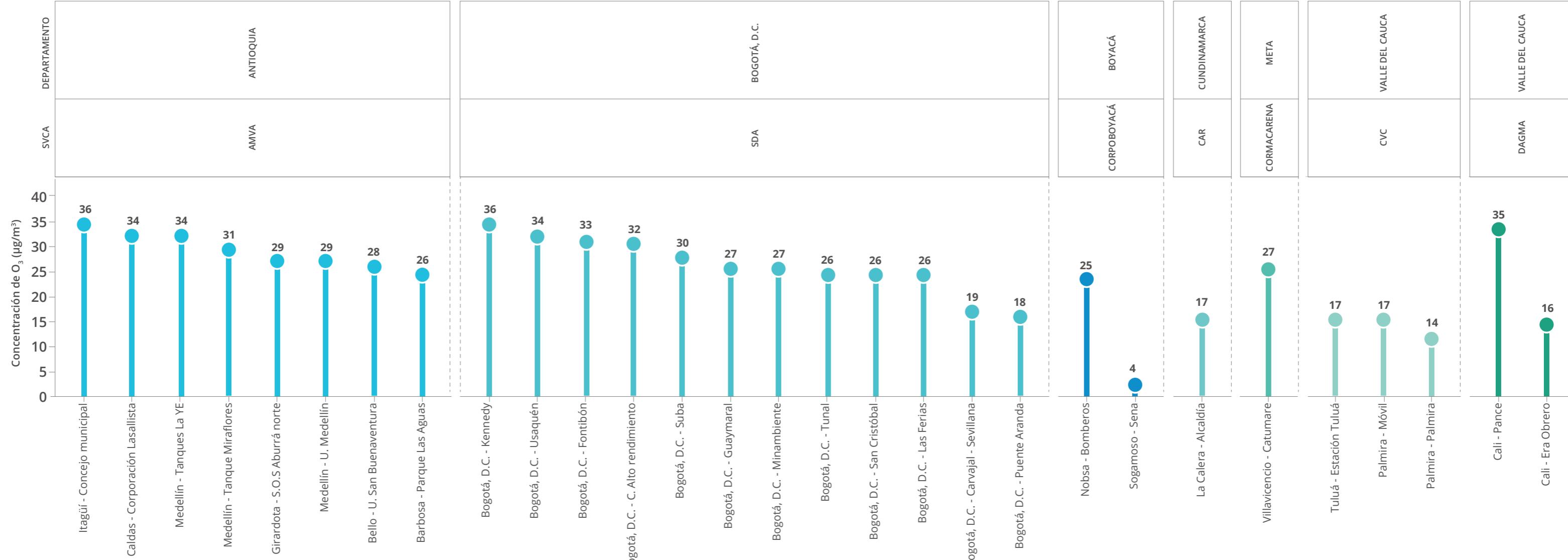


4.5. Ozono troposférico - O₃

Concentraciones promedio anuales (indicativas)



Figura 31. Concentraciones anuales de ozono troposférico- Consolidado nacional, año 2020



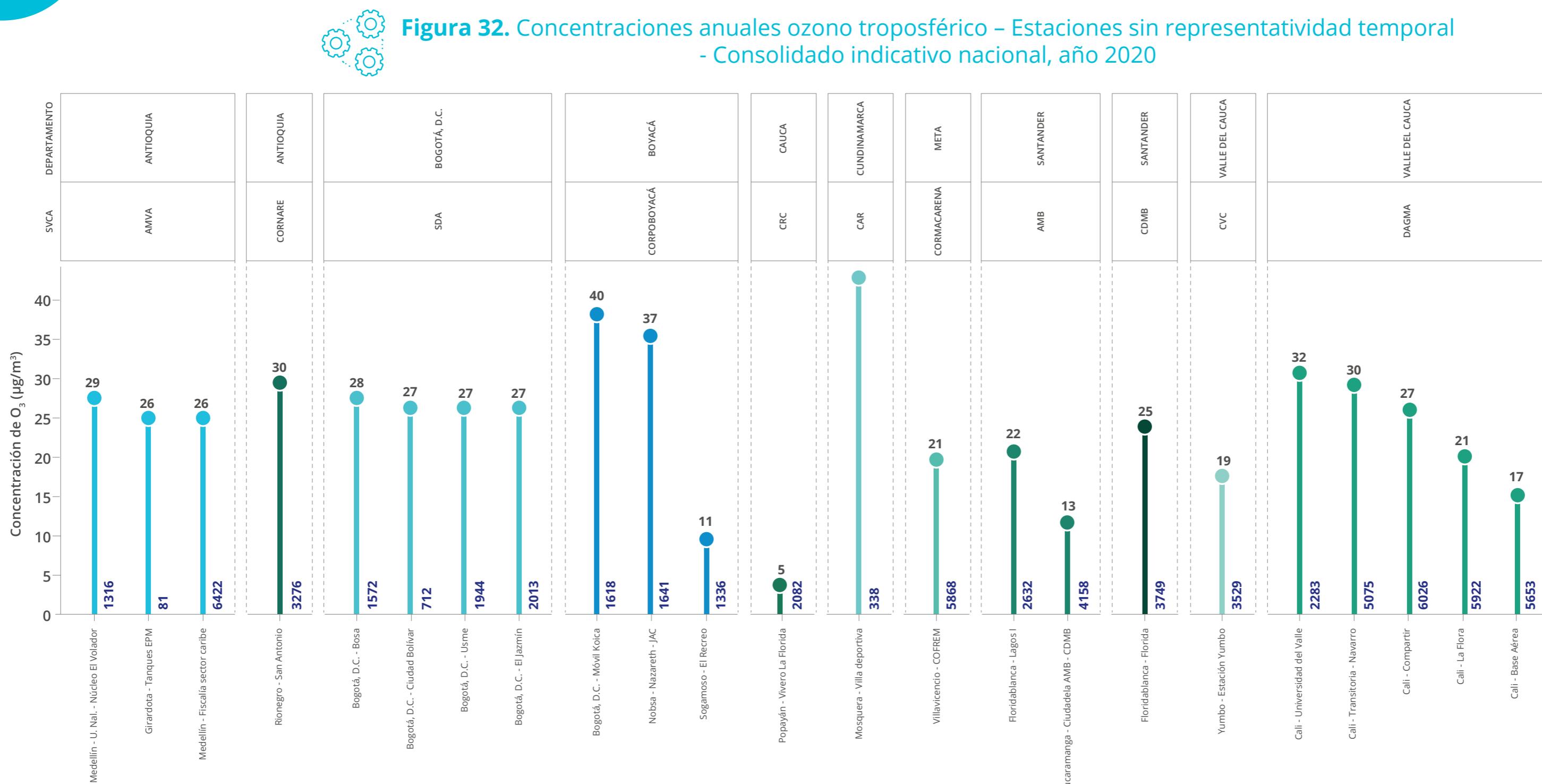
Fuente: Ideam, 2020

En la **Figura 31** se presenta el consolidado nacional de los promedios anuales de ozono O₃ registrados por cada una de las estaciones de monitoreo de calidad del aire que señalaron una representatividad temporal superior al 75%, a pesar de que la Resolución 2254 del 2017 establece límite máximo permisible para un período de exposición octohoraria, el cálculo de los promedios anuales permite identificar las estaciones que, en promedio, presentaron mayores niveles de ozono durante el año 2020.

Con respecto al comportamiento anual de este contaminante criterio es de resaltar que el 74% de las estaciones de monitoreo reportaron concentraciones en un rango entre 25 a 38 µg/m³, lo que indica una baja variabilidad de las concentraciones de ozono en el país. El restante 26% que equivale a ocho estaciones de monitoreo reflejaron concentraciones inferiores a los 19 µg/m³.



Concentraciones promedio anuales (indicativas) estaciones que no cumplen con representatividad temporal



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

Fuente: Ideam, 2020

De manera indicativa, en la **Figura 32** se presenta el consolidado nacional de los promedios anuales de ozono (O_3) registrados por las estaciones de monitoreo de calidad del aire que no cumplen con representatividad temporal, es decir, aquellas estaciones en las cuales el porcentaje de datos válidos registrados a lo largo del año 2020 es inferior al 75%. A pesar de que no se puede realizar una comparación normativa anual, se ilustra el respectivo promedio para un periodo de exposición anual.

La **figura 32** permite destacar que estaciones de la CAR Cundinamarca y Corpoboyacá reflejan altos niveles de ozono en los intervalos de tiempo que captaron información. Para el resto de las estaciones, se observó un comportamiento homogéneo comparado a las estaciones que cumplieron con la representatividad del 75%, en su mayoría reflejan valores entre 25 a 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Es indispensable que las veintitrés (23) estaciones mejoren su porcentaje de captura de datos para aportar en mayor medida al seguimiento, monitoreo y control de la calidad del aire.

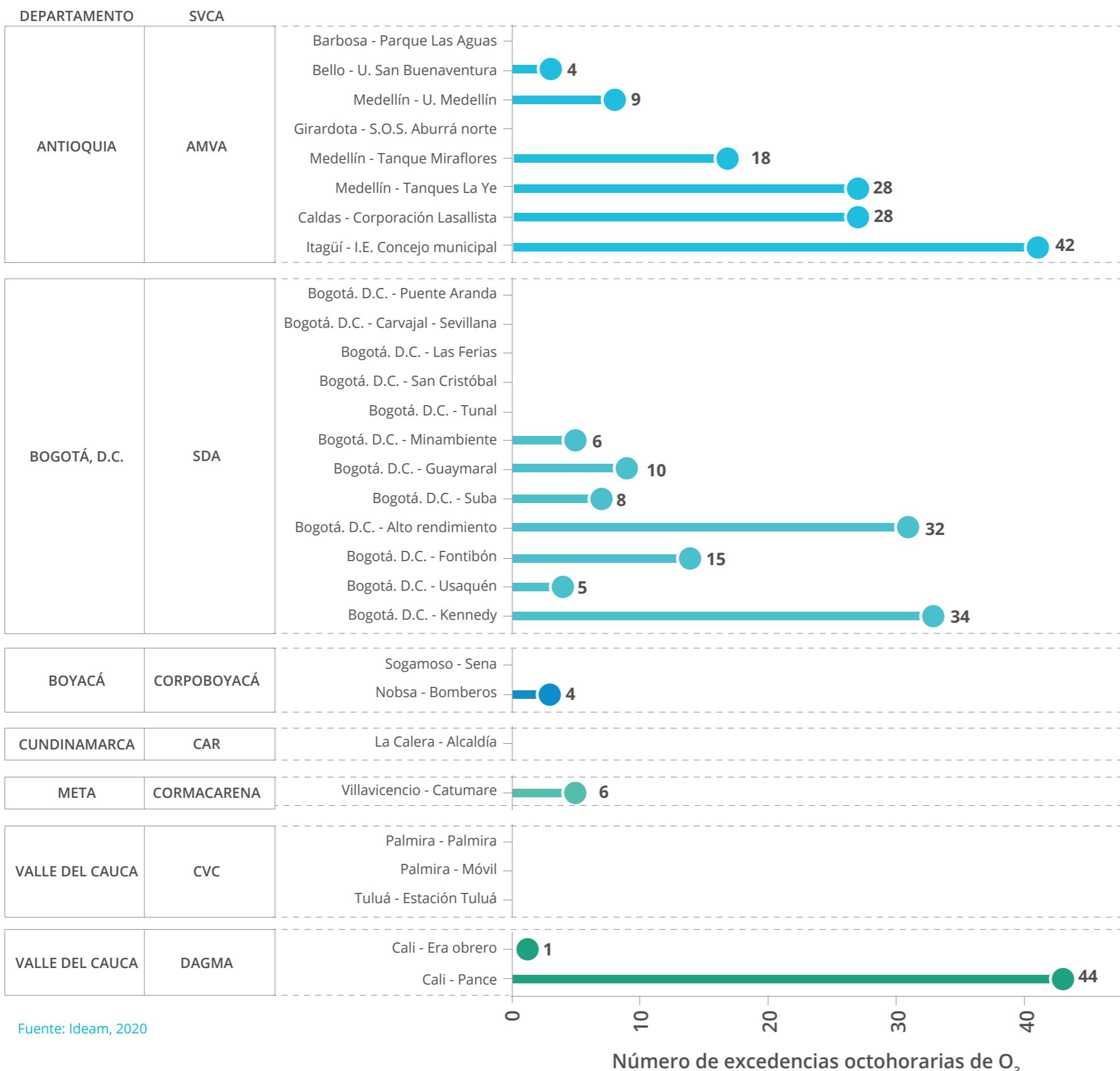




Excedencias concentraciones octohorarias



Figura 33. Excedencias al nivel máximo permisible octohorario para ozono (O_3) para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020



Las estaciones de monitoreo Itagüí-I.E. Concejo Municipal (42), Caldas-Corporación Lasallista (28) y Medellín-Tanques la Ye (28), localizadas en jurisdicción Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) son las que, a nivel nacional, presentan la mayor cantidad de excedencias al límite máximo permisible establecido para un tiempo de exposición de ocho horas, únicamente superadas por la estación de Cali-Pance en Jurisdicción de DAGMA con 44 excedencias en el año 2020.

Por otra parte, los registros obtenidos en el SVCA de la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) de Bogotá, muestran un número significativo de excedencias en varias estaciones de monitoreo, siendo Kennedy (34) y Centro de alto rendimiento (32), las que reportaron la mayor cantidad de registros que superan el nivel máximo octohorario en la capital.

Por último, los registros obtenidos en las estaciones de monitoreo pertenecientes a los SVCA de Corpoboyacá y Cormacarena, reportaron al menos una excedencia al límite octohorario, por lo que deben reforzarse los controles en las emisiones de los precursores que dan origen a esta sustancia.

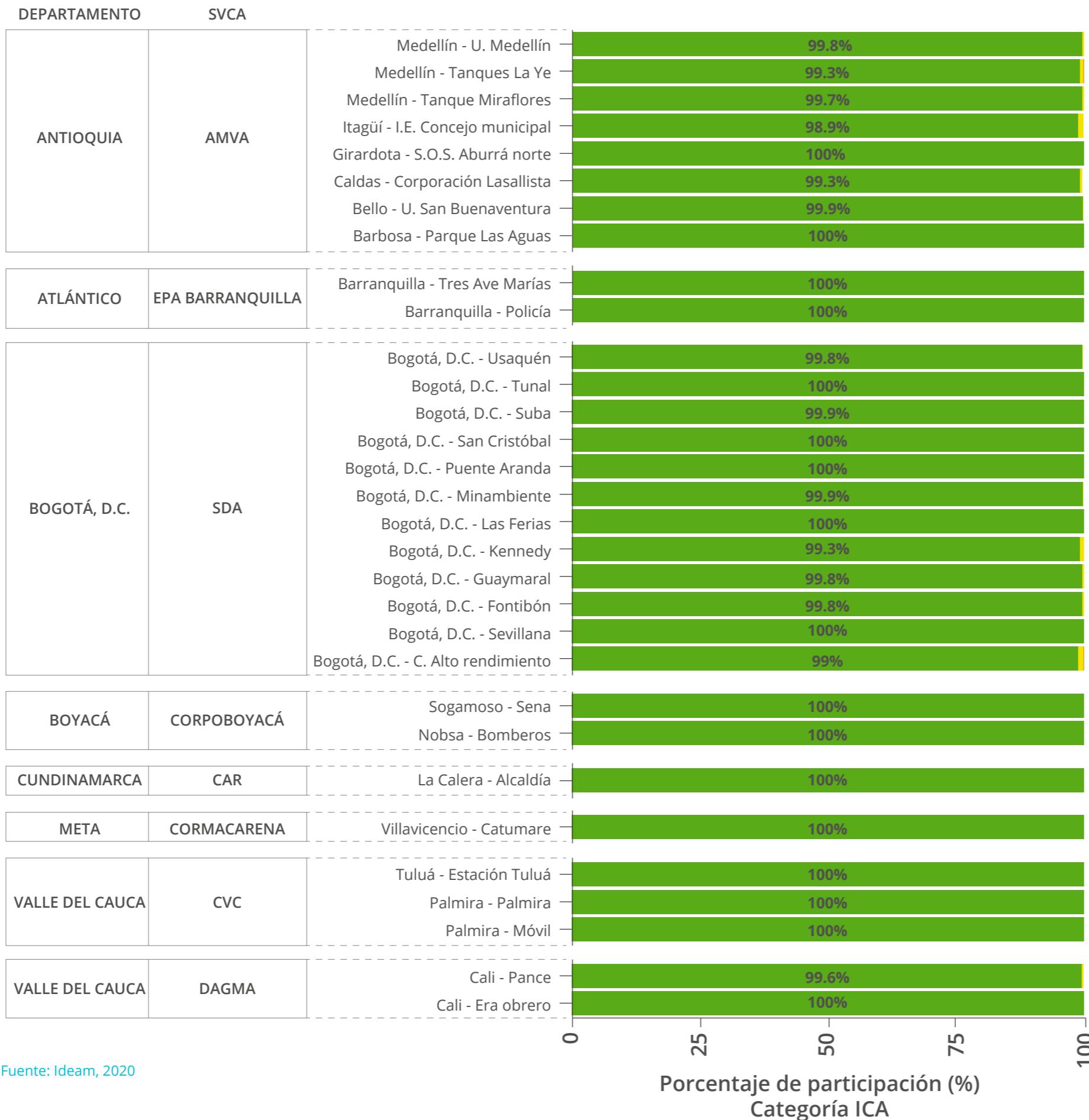




Índice de calidad del aire



Figura 34. Índice de calidad del aire para ozono (O_3) para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020



Fuente: Ideam, 2020

El Índice de calidad del aire obtenido para Ozono refleja para la gran mayoría de las concentraciones registradas a lo largo del año 2020 se ubicaron en la categoría buena.

A pesar de que se presenta hasta un 1% de calidad del aire aceptable, se descarta cualquier afectación o sintomatología en la población, asociada a la presencia de altas concentraciones de este contaminante de origen secundario en la atmósfera.

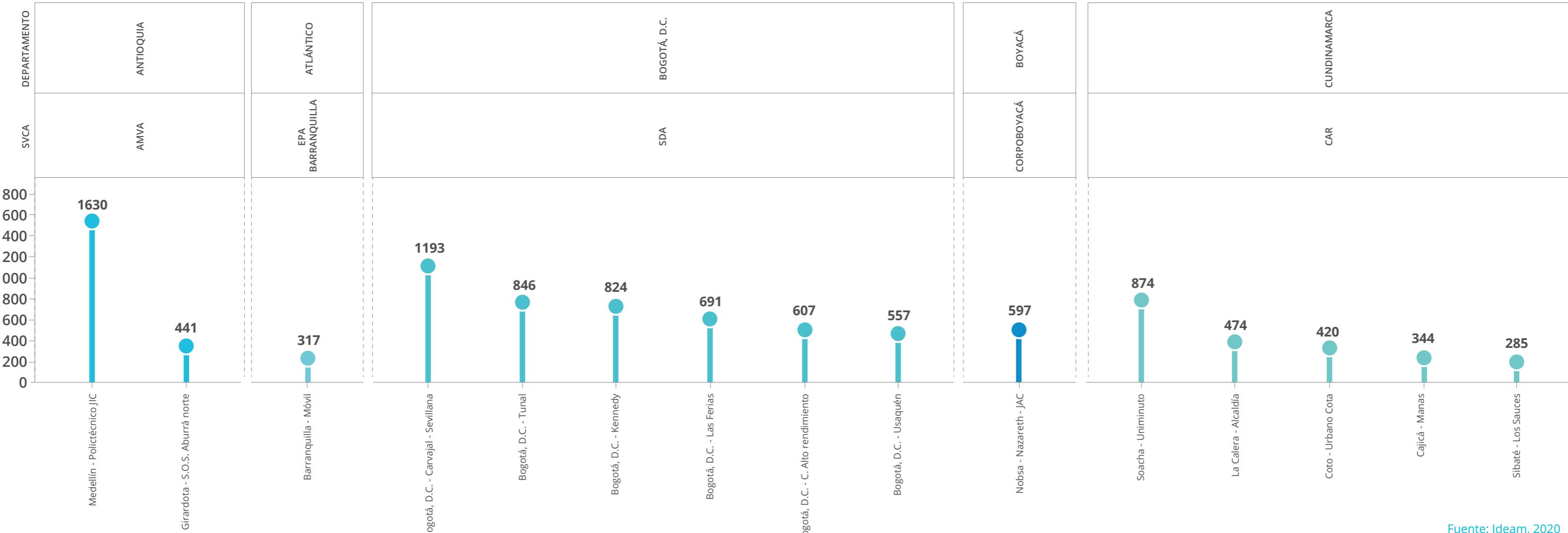


4.6. Monóxido de carbono - CO

Concentraciones promedio anuales (indicativas)



Figura 35. Concentraciones anuales de monóxido de carbono- Consolidado nacional, año 2020



Fuente: Ideam, 2020

En la **Figura 35** se presenta el consolidado nacional de los promedios anuales de monóxido de carbono (CO) registrados por cada una de las estaciones de monitoreo de calidad del aire que señalaron una representatividad temporal superior al 75%.

A pesar de que la Resolución 2254 del 2017 establece límite máximos permisibles para un periodo de exposición horario y octohoraria, el cálculo de los promedios anuales permite identificar las estaciones que, en promedio, presentaron mayores niveles de monóxido de carbono durante el año 2020.

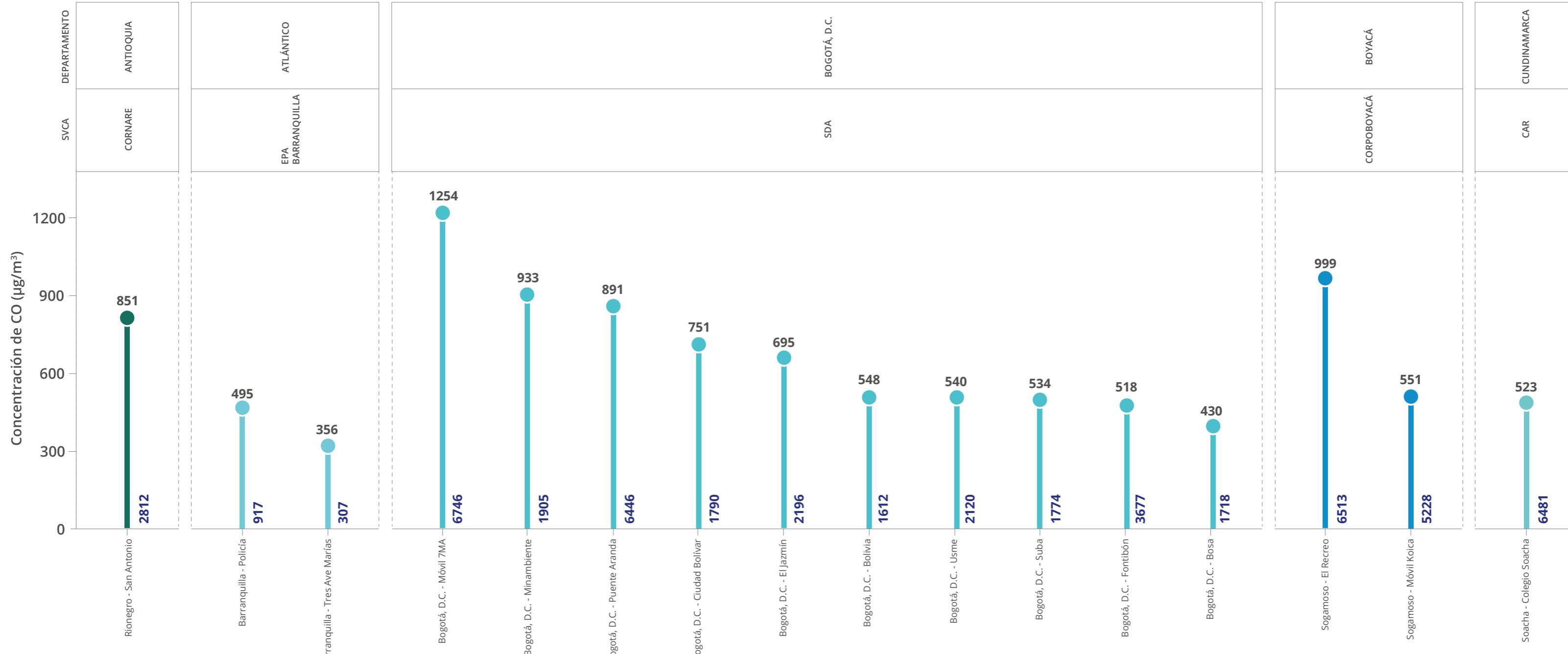
Con respecto al comportamiento anual de este contaminante criterio es de resaltar que las estaciones de monitoreo que reportaron mayores concentraciones se encuentran en jurisdicción de AMVA (Medellín-Politecnico JJC), SDA Bogotá (Carvajal-Sevillana) y CAR Cundinamarca (Soacha Uniminuto), estaciones caracterizadas por tener una alta presencia de fuentes fijas y móviles que aportan a la generación de monóxido de carbono en el ambiente.



Concentraciones promedio anuales (indicativas) estaciones que no cumplen con representatividad temporal



Figura 36. Concentraciones promedio anuales monóxido de carbono – Consolidado indicativo nacional, año 2020



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

Fuente: Ideam, 2020

De manera indicativa, en la **Figura 36** se presenta el consolidado nacional de los promedios anuales de monóxido de carbono (CO) registrados por las estaciones de monitoreo de calidad del aire que no cumplen con representatividad temporal, es decir, aquellas estaciones en las cuales el porcentaje de datos válidos registrados a lo largo del año 2020 es inferior al 75%; A pesar de que no se puede realizar una comparación normativa anual, se ilustra el respectivo promedio para un período de exposición anual.

La figura permite destacar que la estación Móvil 7ma, en jurisdicción de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, refleja los máximos niveles de monóxido de carbono, superando los promedios captados por las demás autoridades ambientales como Cornare, EPA Barranquilla, Corpoboyacá y CAR Cundinamarca. Es indispensable que las quince (15) estaciones mejoren su porcentaje de captura de datos para aportar en mayor medida al seguimiento, monitoreo y control de la calidad del aire.





Excedencias concentraciones octohorarias

Figura 37. Número de excedencias al nivel máximo permisible octohorario para monóxido de carbono (CO) para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020



Fuente: Ideam, 2020

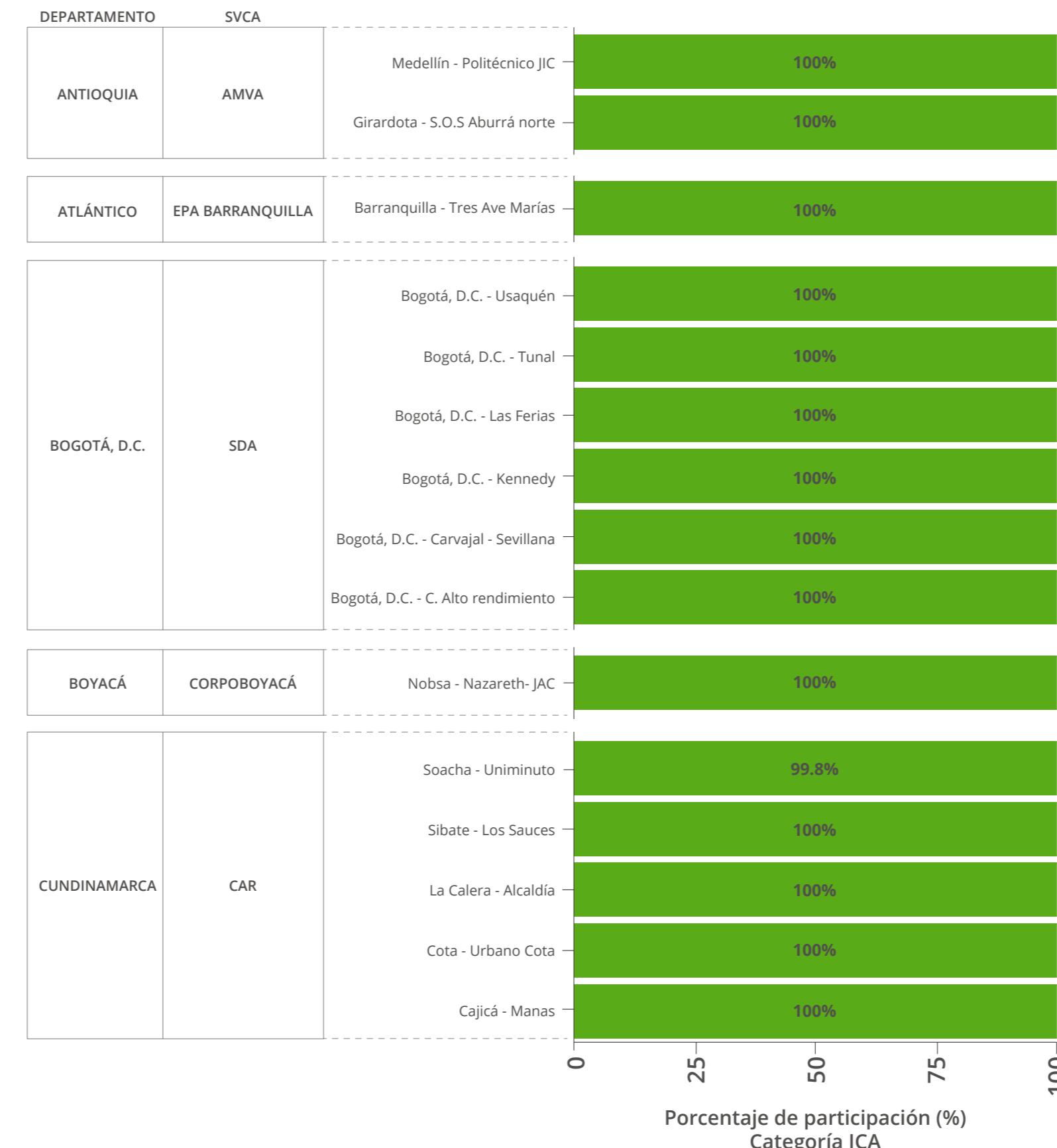
Durante el año 2020, se presentaron excedencias al nivel máximo octohorario ($5.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) contemplado en la Resolución 2254 de 2017 en la estación de Soacha Uniminuto, localizada en el municipio de Soacha, en jurisdicción de la CAR Cundinamarca.

A pesar de que dicha estación presentó solo dos (2) excedencias y fue la única a nivel nacional, es necesario que la autoridad ambiental competente identifique el origen de las excedencias para realizar un seguimiento y la correcta gestión de la calidad del aire en la zona de interés.

No obstante, cabe anotar que, la serie temporal horaria de monóxido de carbono no refleja ninguna excedencia en comparación con el nivel máximo horario ($35.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) establecido en la Resolución 2254 de 2017.

Índice de calidad del aire

Figura 38. Índice de calidad del aire para monóxido de carbono (CO) para las estaciones de los SVCA de Colombia que presentaron una representatividad temporal igual o superior a 75%, año 2020



El Índice de calidad del aire obtenido para este contaminante revela que todas las concentraciones registradas a lo largo del año 2020 se categorizan en un estado de la calidad del aire bueno, por lo que se descarta cualquier afectación o sintomatología en la población expuesta, asociada a la presencia de altas concentraciones de monóxido de carbono en el aire ambiente.



Buena



Aceptable



Dañina a la salud de grupos sensibles



Dañina para la salud



Fuente: Ideam, 2020

Capítulo 5

Estado de calidad del aire Regional

Fotografía: Adobe Stock



A continuación, se presenta un análisis regional de los contaminantes criterio: partículas menores a 10 micras, partículas menores a 2,5 micras, Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno, Monóxido de Carbono y Ozono, evaluados por los SVCA que operaron en el año 2020 y cuyas series de datos reportadas al SISAIRE cumplieron con una representatividad igual o superior al 75%, exhibiendo:



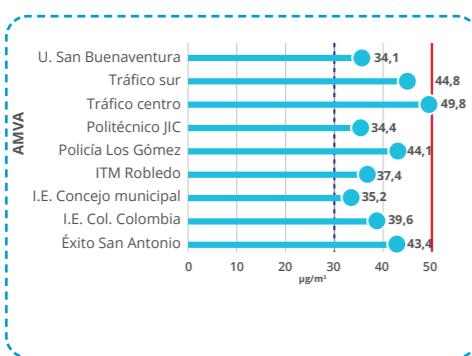
Datos relevantes de los SVCA, estaciones de monitoreo y cobertura espacial

- ➡ SVCA por departamento, número y tipo de estaciones de monitoreo
- ➡ Municipios con estaciones de monitoreo
- ➡ Se ilustra la ubicación de las respectivas estaciones



Cifras relevantes del comportamiento de los contaminantes

- ➡ Número de estaciones que midieron cada contaminante
- ➡ Porcentajes de estaciones cumpliendo la normativa vigente y respectiva proyección al año 2030



➡ Concentraciones promedio y comparación normativa

Para cada contaminante se presentan gráficamente las concentraciones promedio anual, para el caso de los contaminantes que tienen comparación normativa anual se ilustra el límite permisible vigente (línea azul discontinua) y la proyección normativa a 2030 (línea roja discontinua)

Para la presentación del contenido mencionado se ha efectuado la disagregación nacional en trece departamentos que corresponden a: Antioquia, Atlántico, Bogotá D.C., Boyacá, Caldas, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Meta; Risaralda, Santander, Tolima y Valle del Cauca.

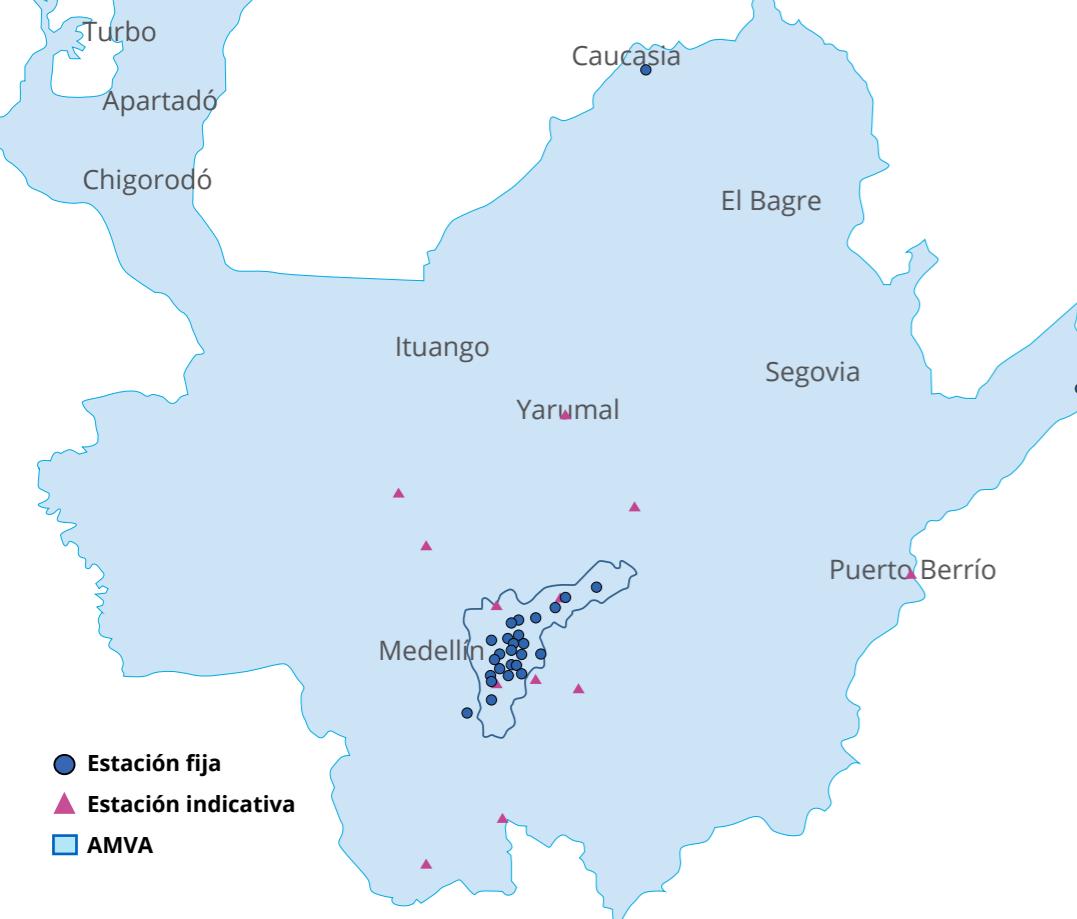
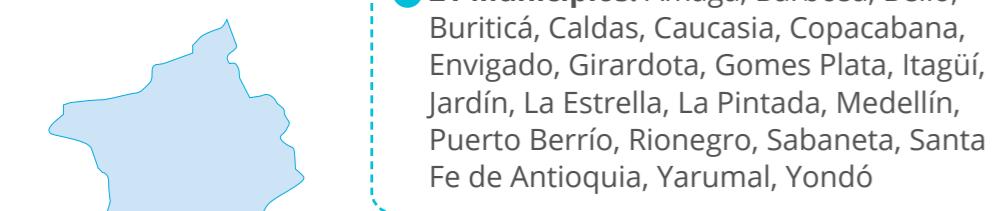
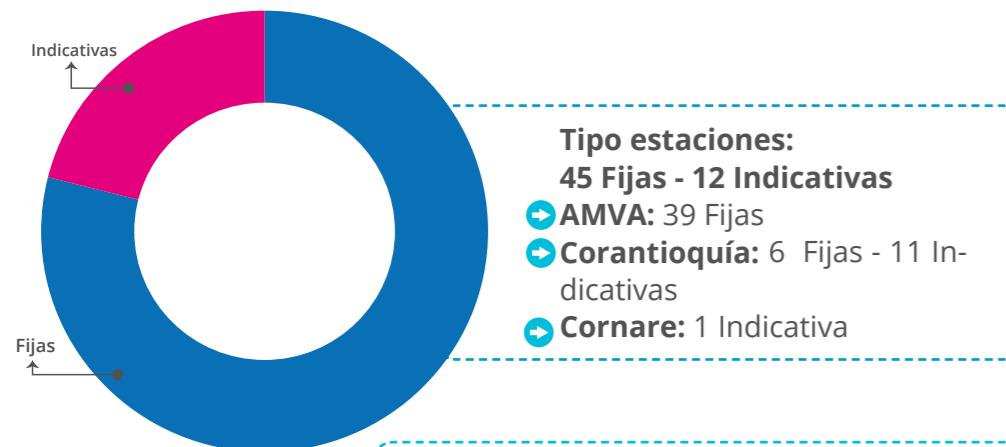
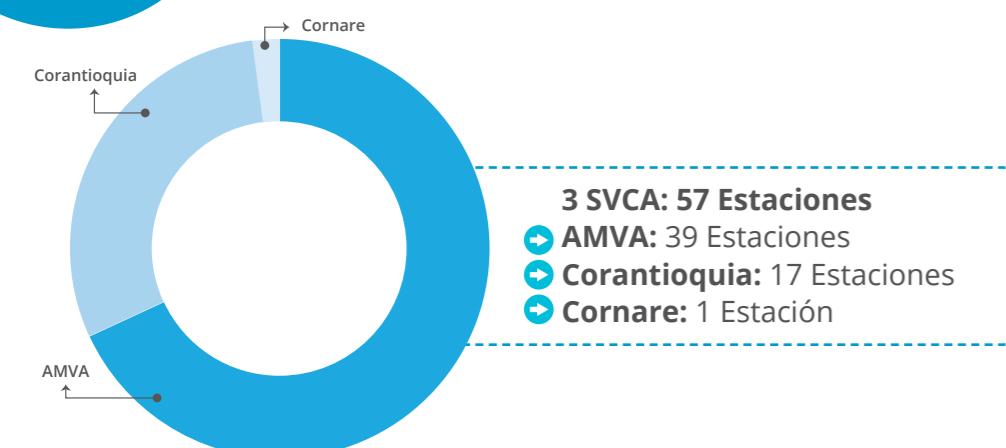


Infografía 15. Departamentos evaluados en conformidad con la jurisdicción territorial de las autoridades ambientales



5.1. Departamento de Antioquia

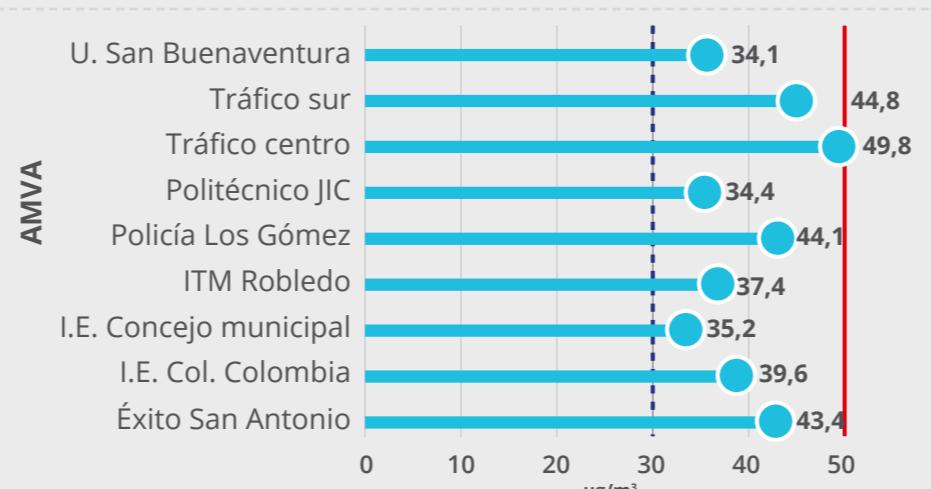
Infografía 16. Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento de Antioquia



Material Particulado Menor a 10 micras (PM_{10})

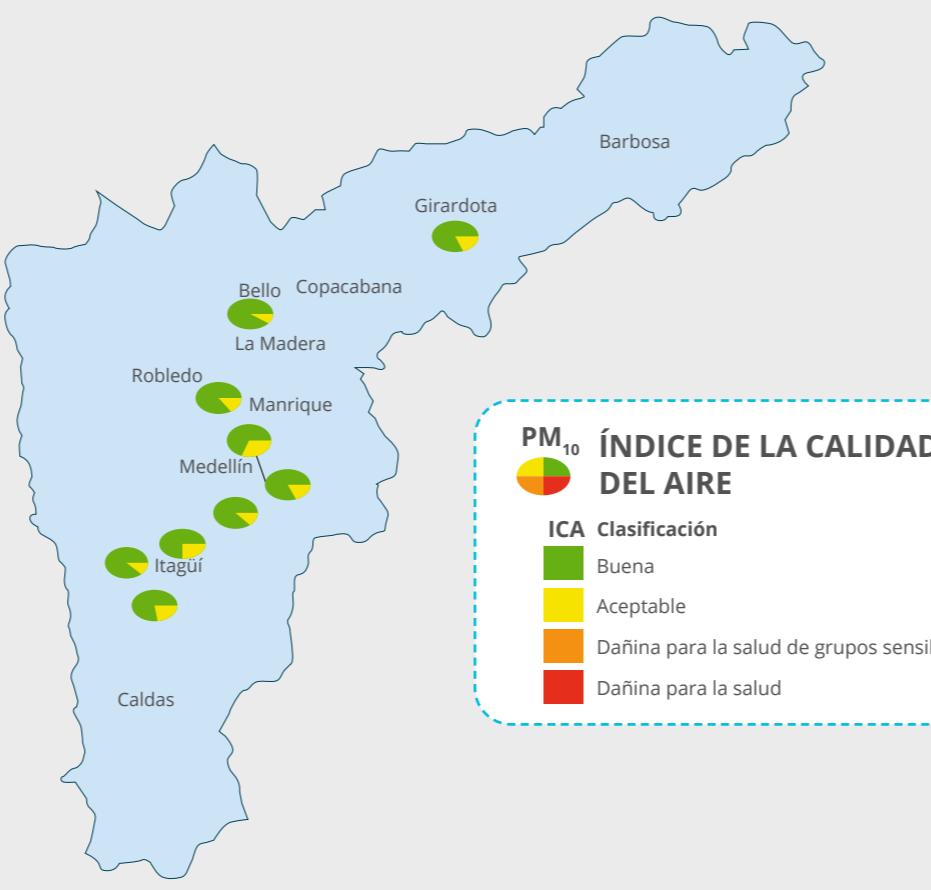
Concentraciones promedio anual

9 estaciones monitorearon el PM_{10} cumpliendo con el criterio representatividad temporal. El 100% de estas estaciones cumplió con el límite normativo anual vigente ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ninguna estación cumplió con el límite normativo anual proyectado a 2030 ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



Índice de la Calidad del Aire - ICA

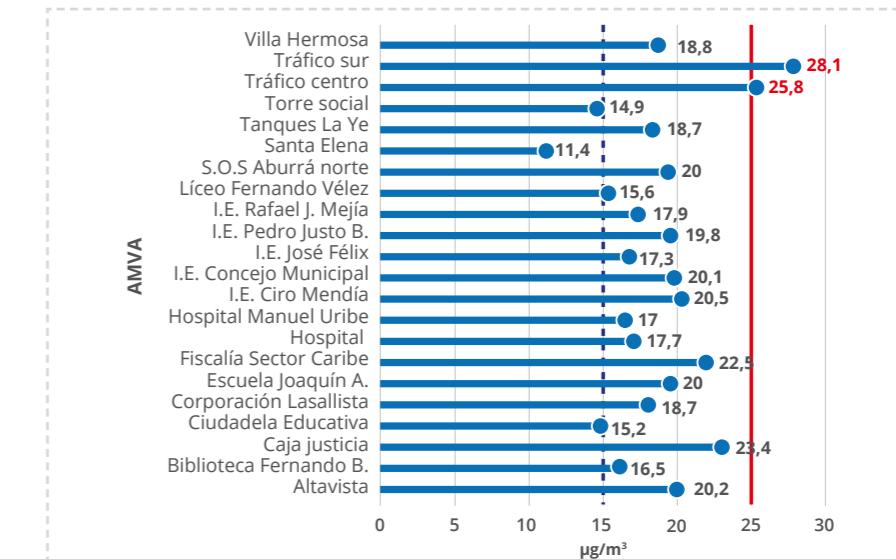
En proporciones mayoritarias el Índice de la Calidad del Aire presentó una categoría buena, en bajas proporciones una categoría aceptable.



Material Particulado Menor a 2,5 micras ($PM_{2,5}$)

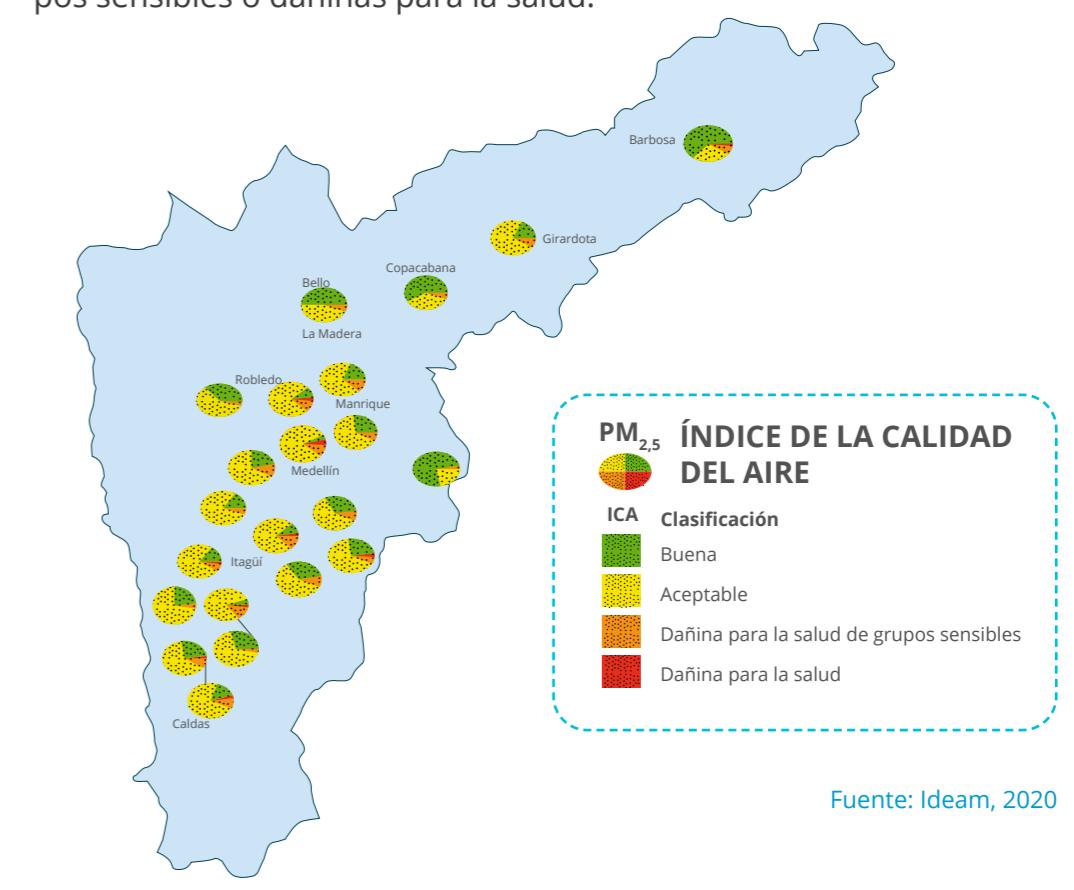
Concentraciones promedio anual

22 estaciones monitorearon el $PM_{2,5}$ cumpliendo con el criterio representatividad temporal. El 91% de las estaciones cumplió con el límite normativo anual (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). El 9% las estaciones cumplió con el límite normativo anual proyectado a 2030 (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Índice de la Calidad del Aire - ICA

En la mayoría de las estaciones en mayor proporción el ICA presentó una categoría aceptable, en segunda instancia una categoría buena y en porcentajes muy bajos categorías dañinas para la salud de grupos sensibles o dañinas para la salud.



Fuente: Ideam, 2020

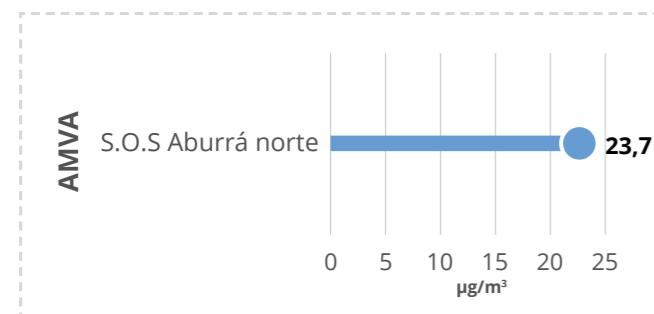




Dióxido de Azufre (SO_2)

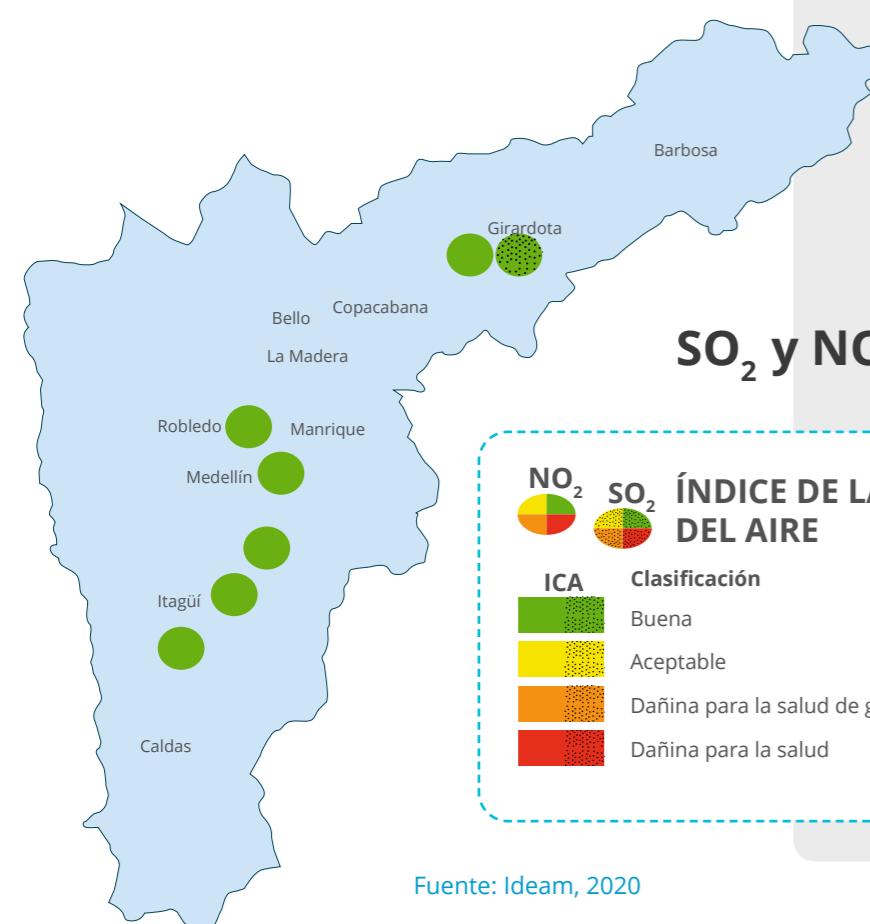
Concentraciones promedio anual

1 estación monitoreó el SO_2 cumpliendo con el criterio representatividad temporal. La estación presentó 8 días de excedencia al límite máximo permisible 24 horas ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) -Esta variable no tiene referente normativo anual-.



Índice de la Calidad del Aire - ICA

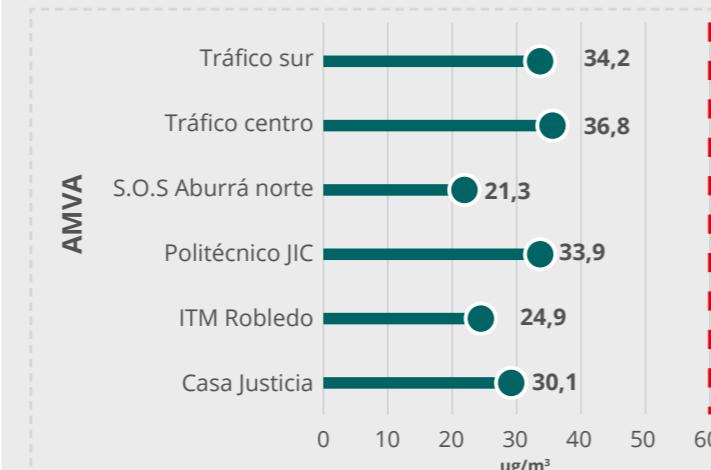
El 97% del tiempo de medición, la estación reportó una categoría del estado de la calidad del aire buena, en una muy baja proporción se reportaron calificativos aceptable y dañino para la salud de grupos sensibles.



Dióxido de Nitrógeno (NO_2)

Concentraciones promedio anual

6 estaciones monitorearon el NO_2 cumpliendo con el criterio de representatividad temporal. El 100% de estas estaciones cumplió con el límite normativo anual vigente ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$). -Esta variable no tiene referente normativo anual-



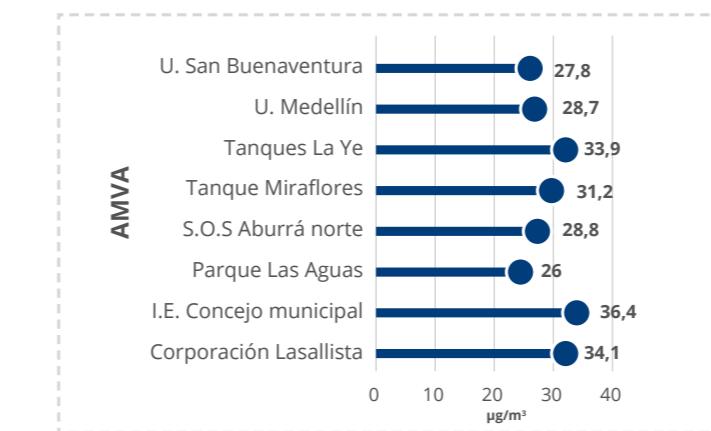
Índice de la Calidad del Aire - ICA

En la totalidad de las estaciones, en porcentajes cercanos al 100%, el Índice de la Calidad del Aire presentó una categoría buena, y en proporciones poco significativas (< 0,5%) se alcanzó una categoría aceptable.

Ozono (O_3)

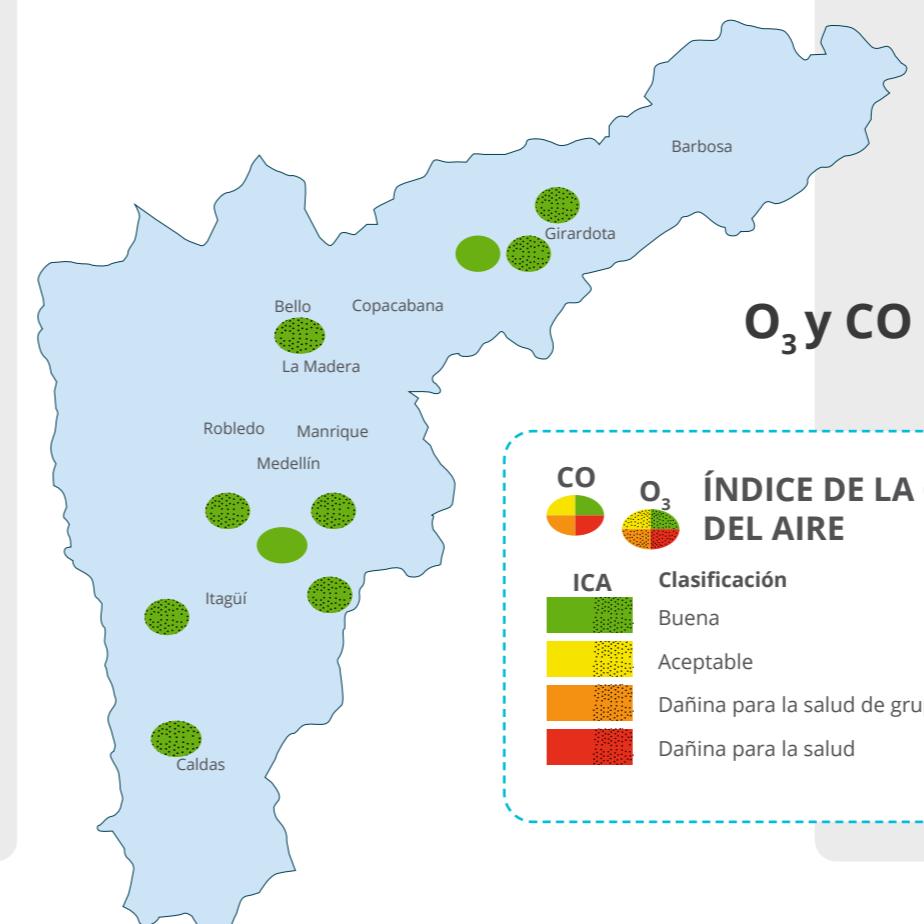
Concentraciones promedio anual

8 estaciones monitorearon el O_3 cumpliendo con el criterio representatividad temporal. El 75% de estas estaciones señaló excedencias normativas con respecto al límite máximo permisible 8 horas ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) -Esta variable no tiene referente normativo anual-



Índice de la Calidad del Aire - ICA

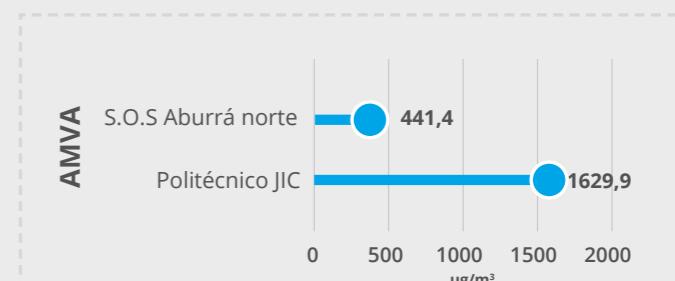
En porcentajes muy cercanos al 100% del tiempo de monitoreo se presentaron estados de la calidad del aire buenos; en porcentajes poco significativos se registraron categorías aceptable y dañina para la salud de grupos sensibles.



Monóxido de Carbono (CO)

Concentraciones promedio anual

2 estaciones monitorearon el CO cumpliendo con el criterio representatividad temporal. El 100% de estas estaciones cumplió con respecto al límite máximo permisible 8 horas ($5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) -Esta variable no tiene referente normativo anual-



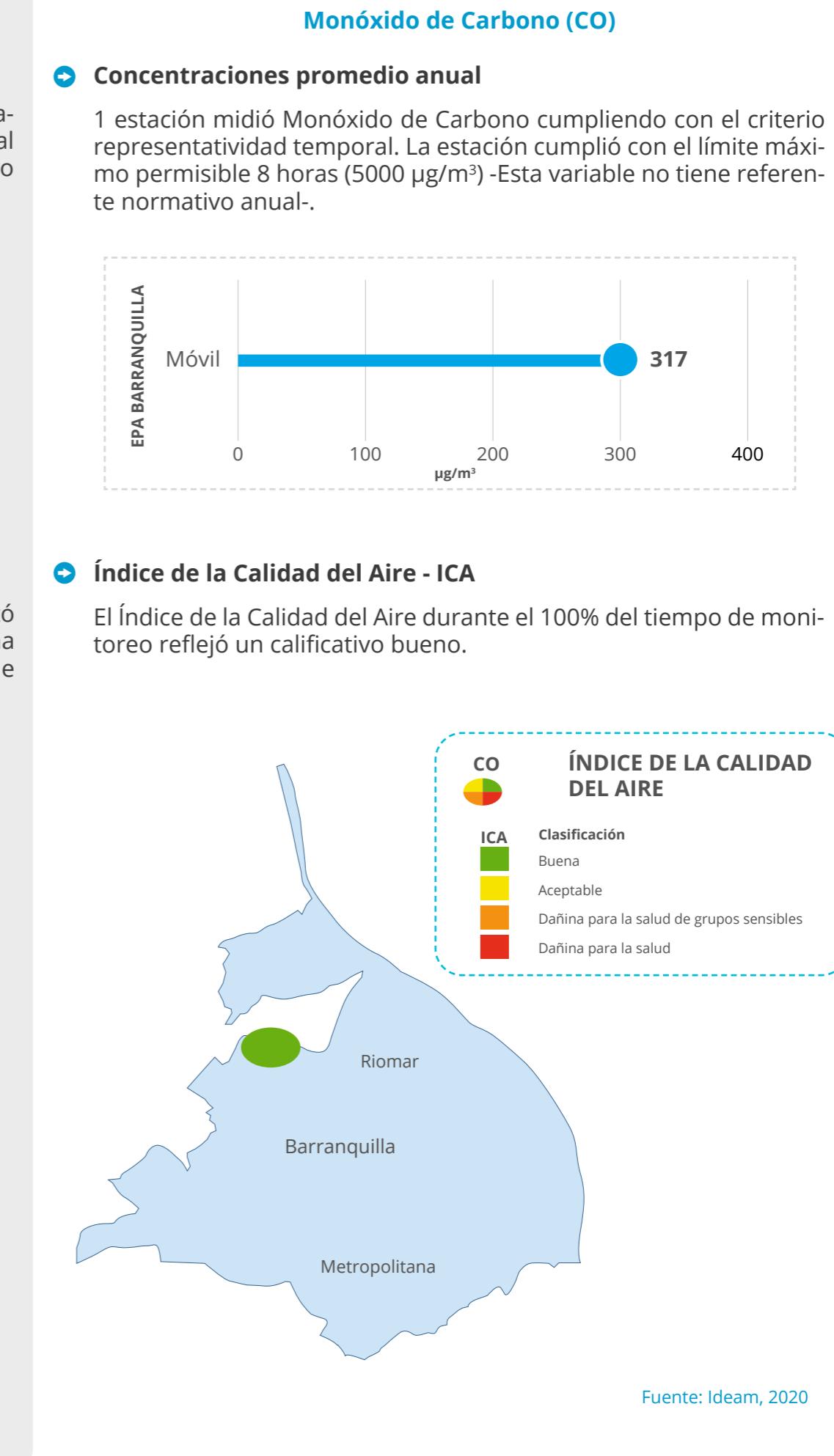
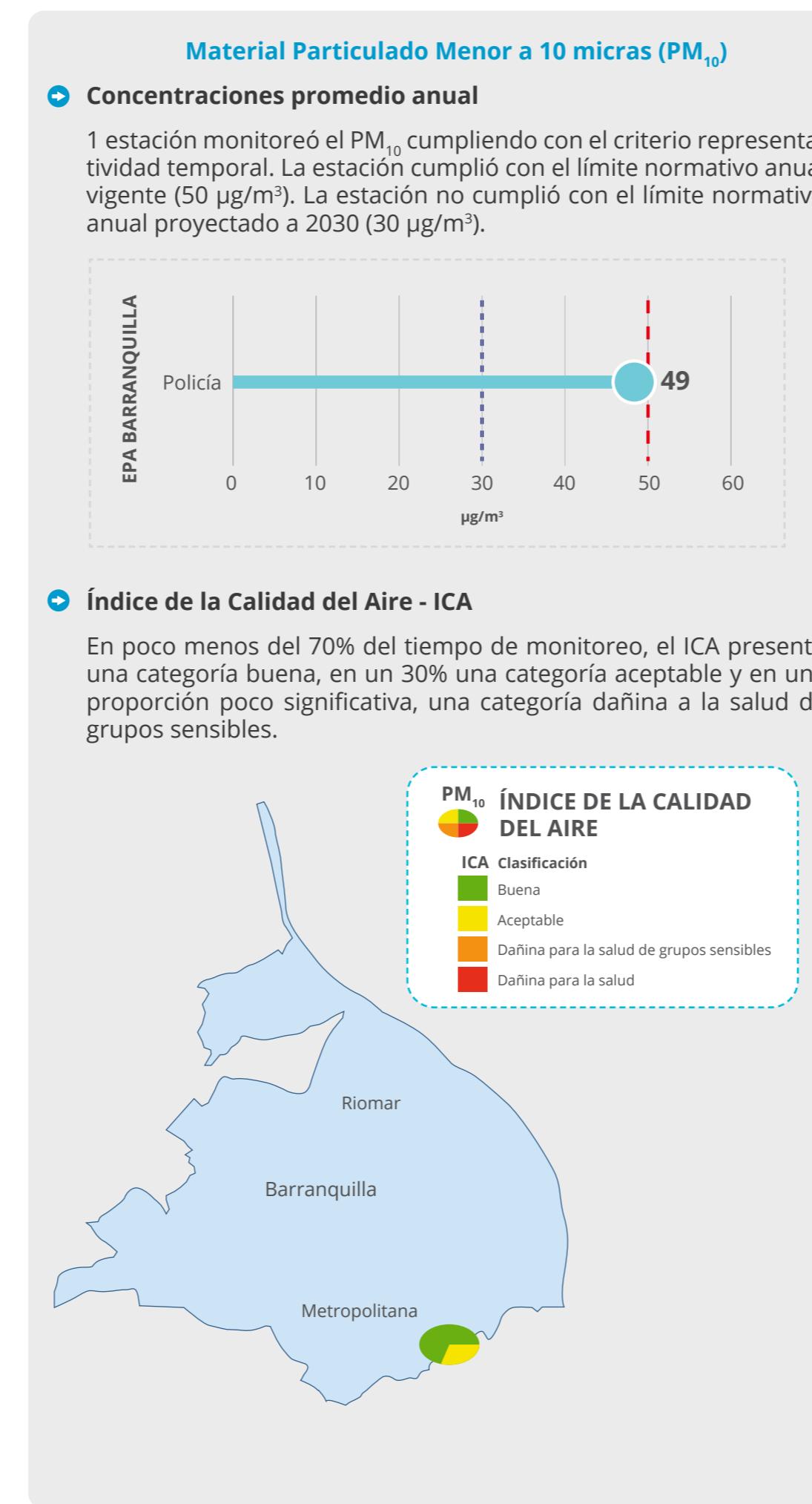
Índice de la Calidad del Aire - ICA

En la totalidad de las estaciones el ICA durante el 100% del tiempo de monitoreo reflejó un calificativo bueno.



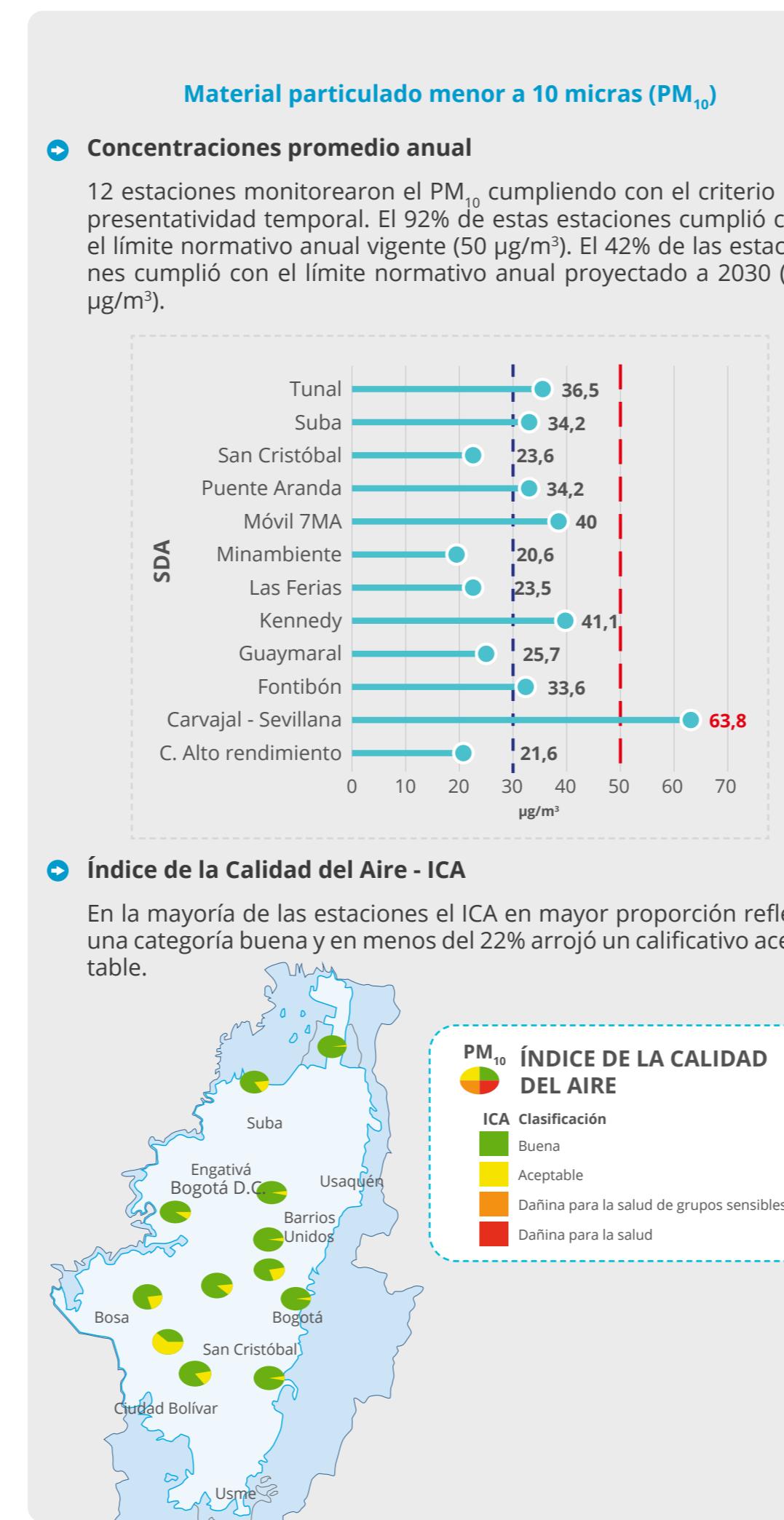
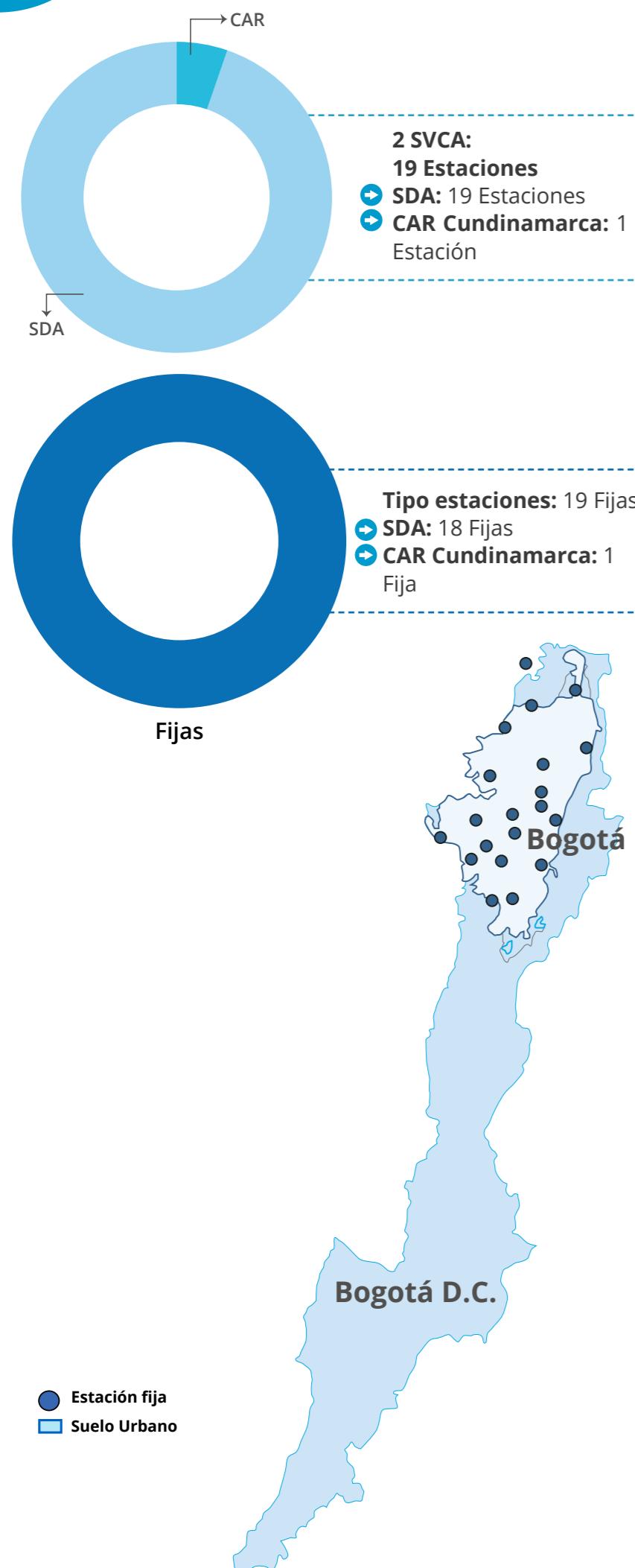
5.2. Departamento del Atlántico

Infografía 17. Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento del Atlántico

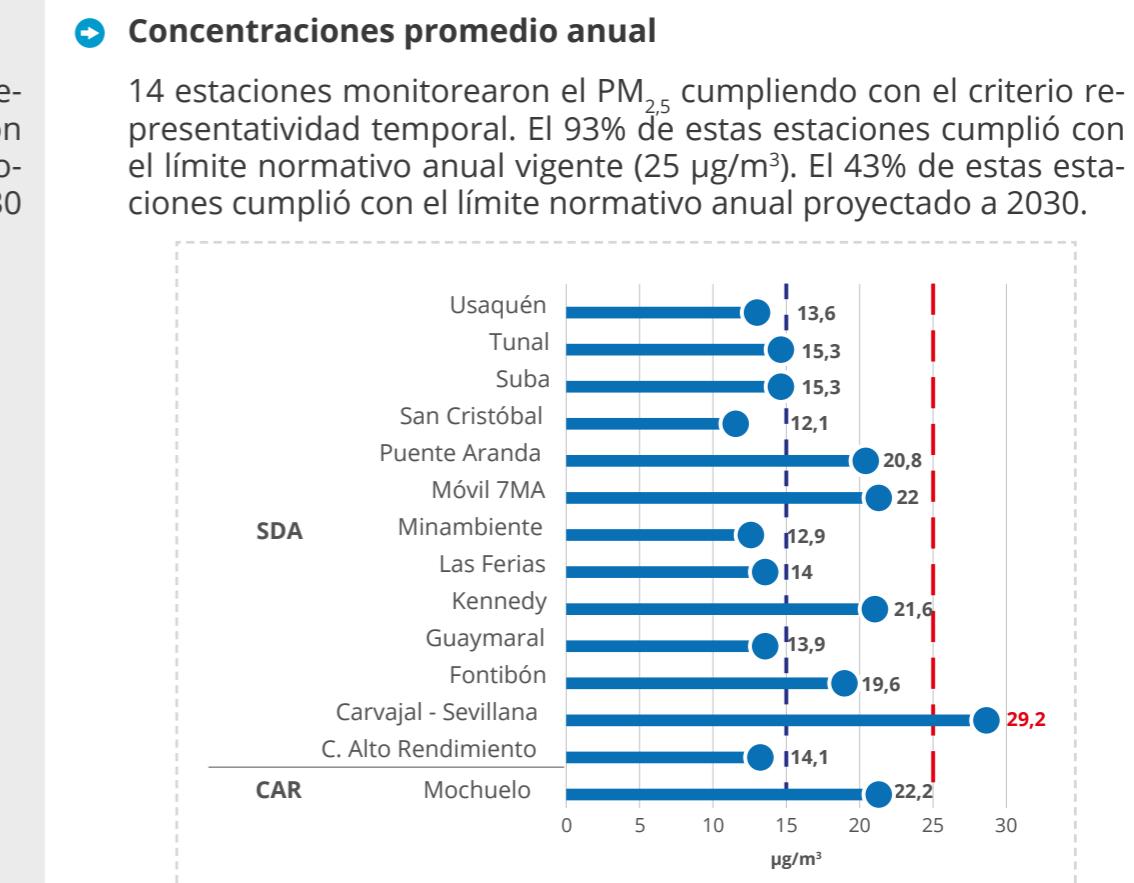


5.3. Ciudad de Bogotá D.C.

Infografía 18. Estado de la Calidad del Aire Regional – Ciudad de Bogotá D.C.

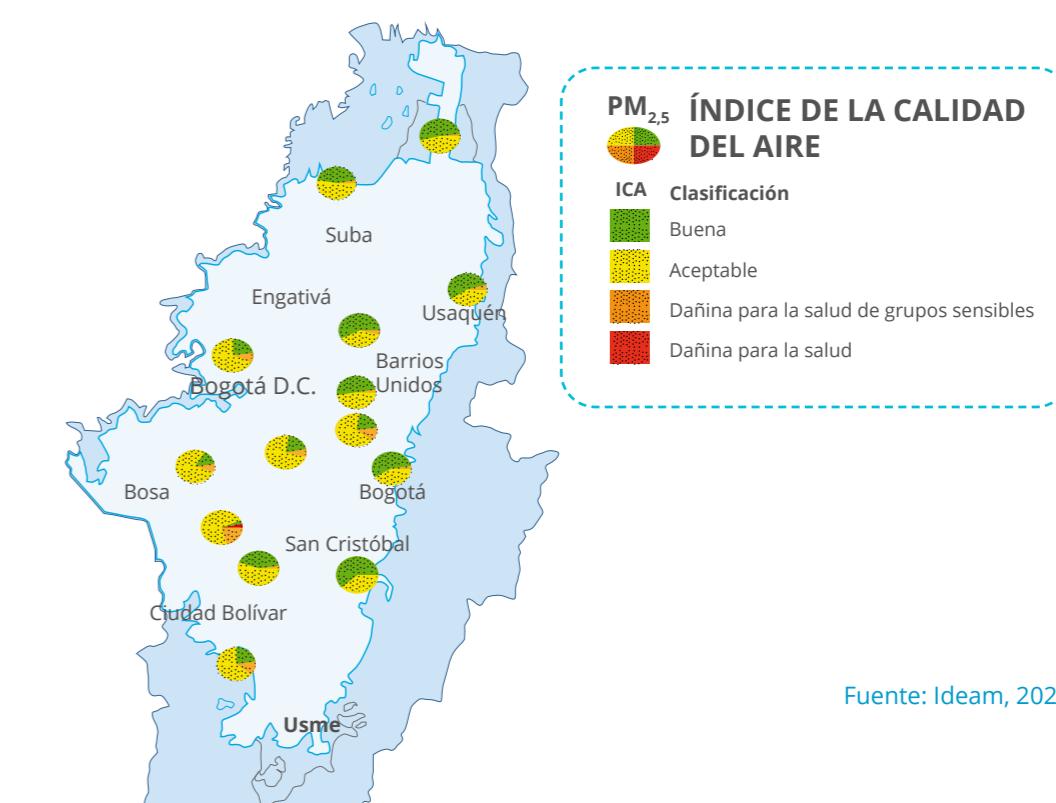


Material Particulado Menor a 2,5 micras ($PM_{2,5}$)



Índice de la Calidad del Aire - ICA

El 43% de las estaciones reportó un ICA mayoritariamente aceptable; las restantes estaciones reportaron un ICA mayoritario en la categoría buena; aunque la totalidad de las estaciones en porcentajes bajos alcanzaron categorías dañinas a la salud de grupos sensibles o dañinas a la salud.

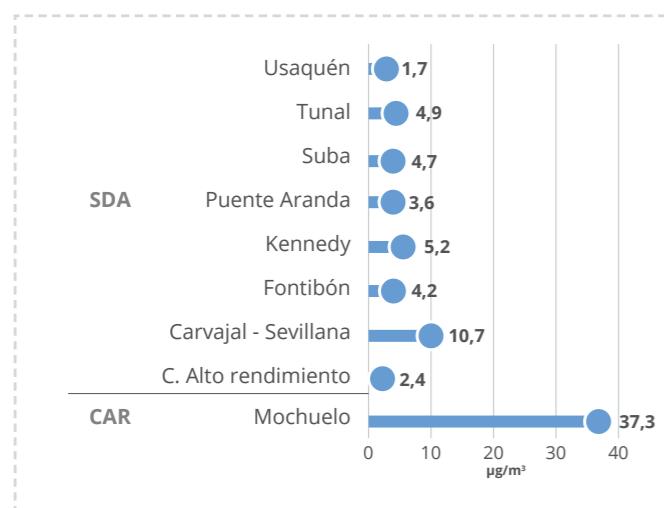




Dióxido de Azufre (SO_2)

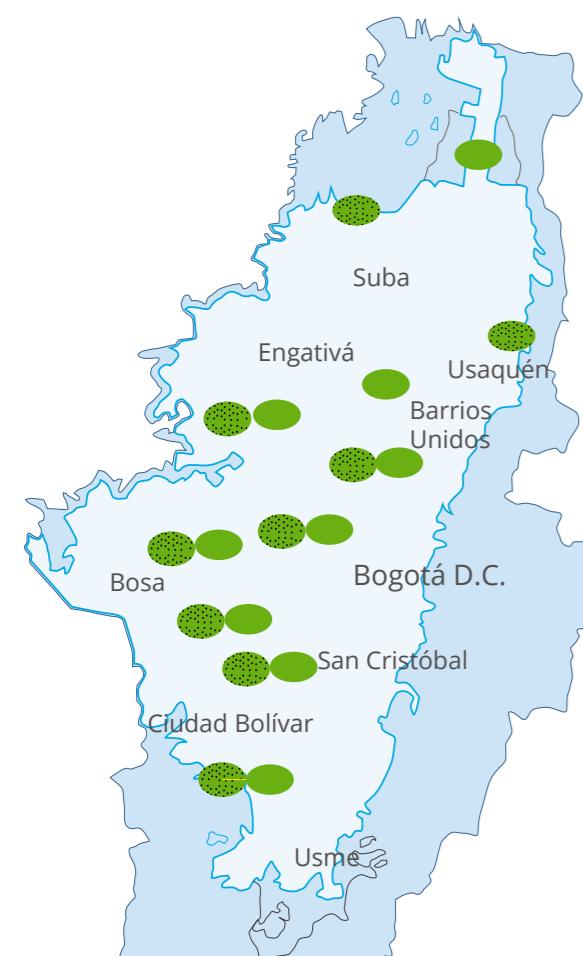
Concentraciones promedio anual

9 estaciones monitorearon el SO_2 cumpliendo con el criterio representatividad temporal. El 89% de las estaciones cumplió con el límite máximo permisible 24 horas ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y el 78% cumplió con respecto al límite normativo 1 hora ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) -Esta variable no tiene referente normativo anual-



Índice de la Calidad del Aire - ICA

El 89% de las estaciones durante el 100% del tiempo de monitoreo señaló un calificativo bueno del estado de la calidad del aire.



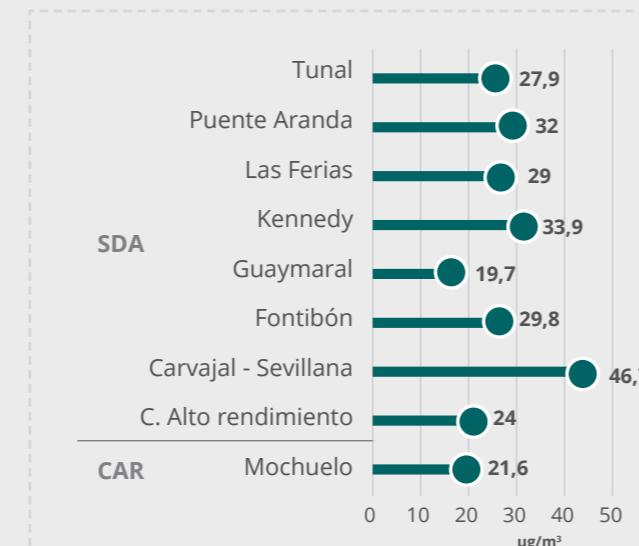
SO_2 y NO_2



Dióxido de Nitrógeno (NO_2)

Concentraciones promedio anual

9 estaciones monitorearon el NO_2 cumpliendo con el criterio de representatividad temporal. El 100% de estas estaciones cumplió con el límite normativo anual vigente ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



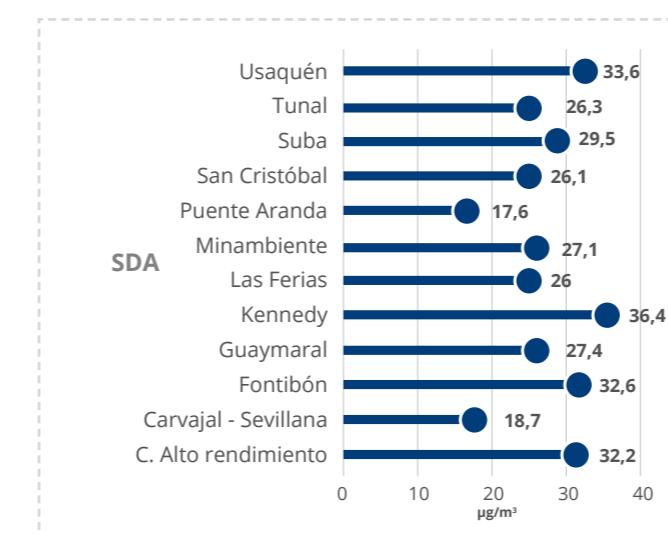
Índice de la Calidad del Aire - ICA

En la totalidad de las estaciones, en porcentajes cercanos al 100%, el Índice de la Calidad del Aire presentó una categoría buena, y en proporciones poco significativas (< 0,5%) una categoría aceptable.

Ozono (O_3)

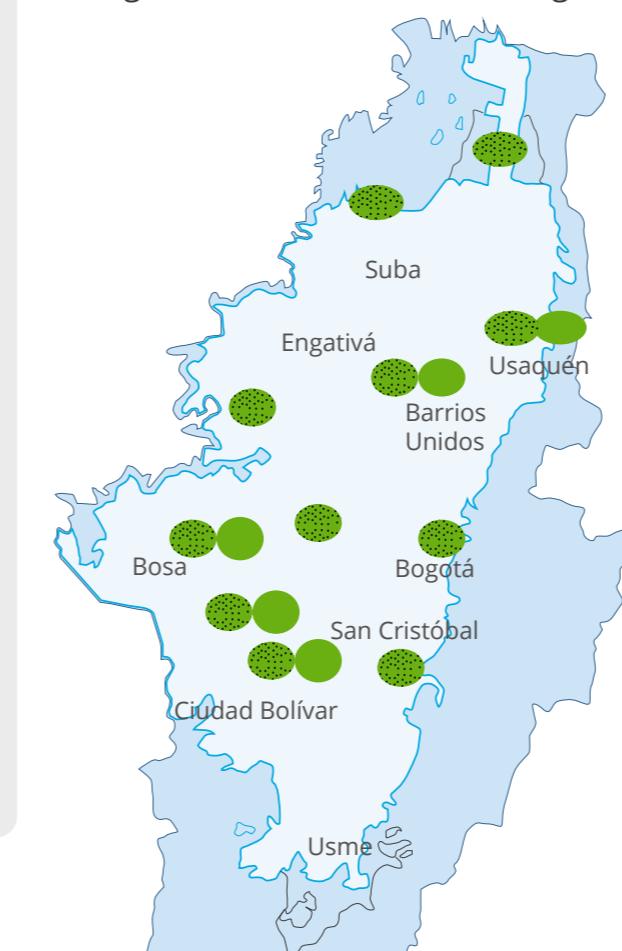
Concentraciones promedio anual

8 estaciones monitorearon el O_3 cumpliendo con el criterio representatividad temporal. El 58% de estas estaciones señaló excedencias normativas con respecto al límite máximo permisible 8 horas ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) -Esta variable no tiene referente normativo anual-



Índice de la Calidad del Aire - ICA

En porcentajes muy cercanos al 100% del tiempo de monitoreo se presentaron estados de la calidad del aire buenos; en porcentajes poco significativos se alcanzó la categoría aceptable.



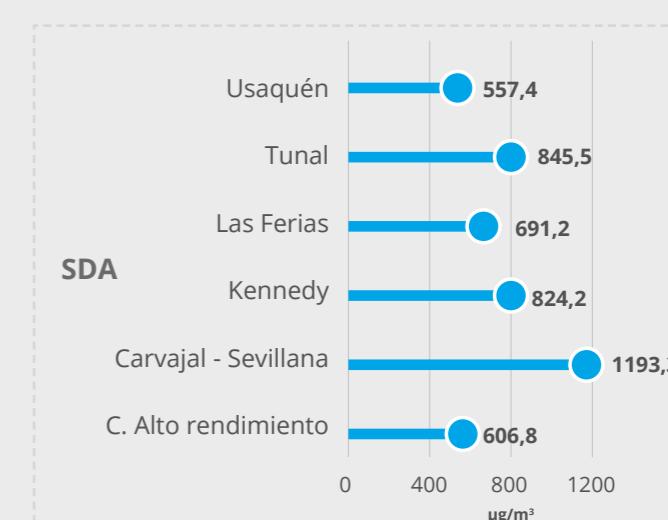
O_3 y CO



Monóxido de Carbono (CO)

Concentraciones promedio anual

6 estaciones monitorearon el CO cumpliendo con el criterio representatividad temporal. El 100% de estas estaciones cumplió con respecto al límite máximo permisible 8 horas ($5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) -Esta variable no tiene referente normativo anual-



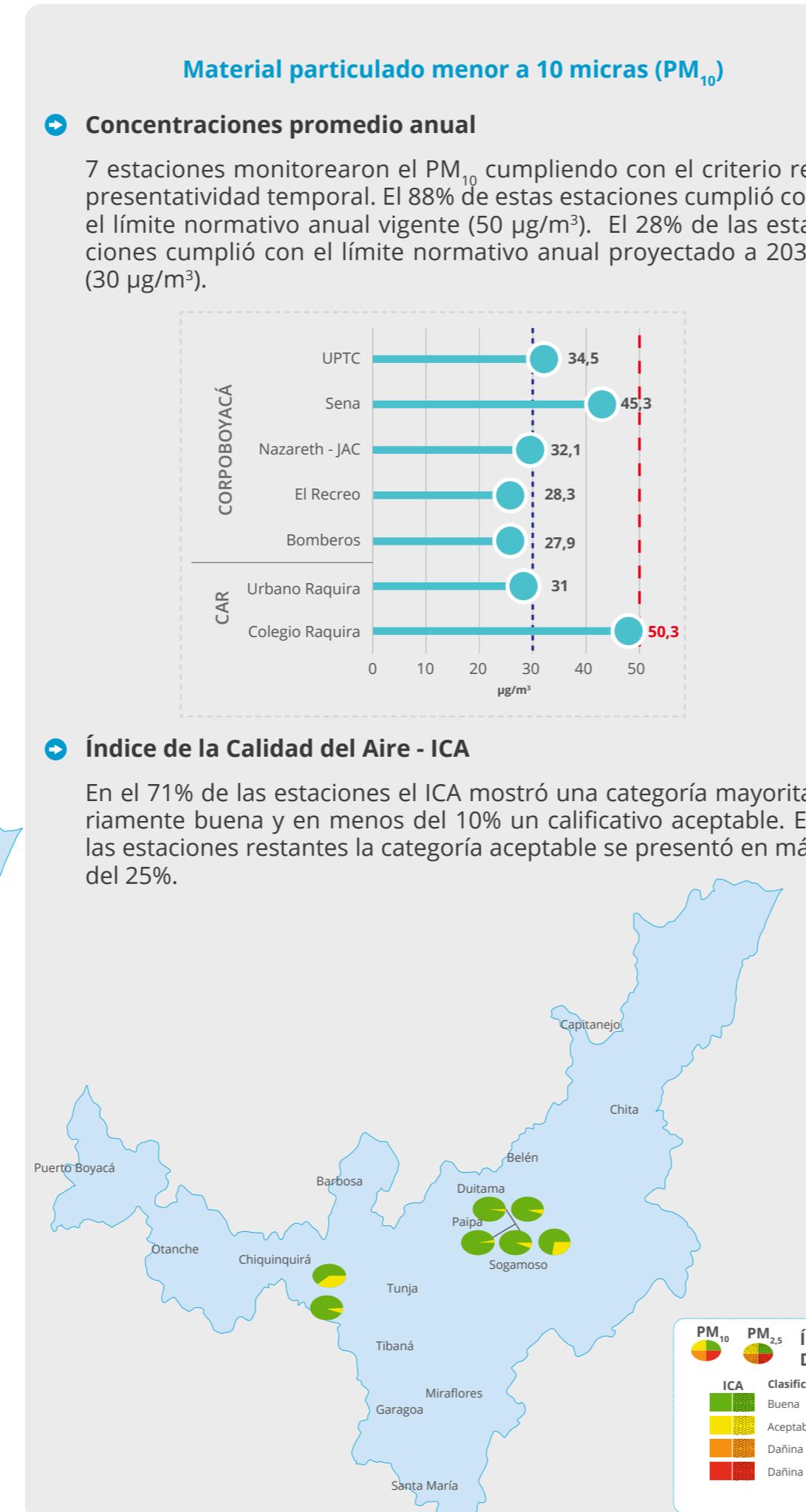
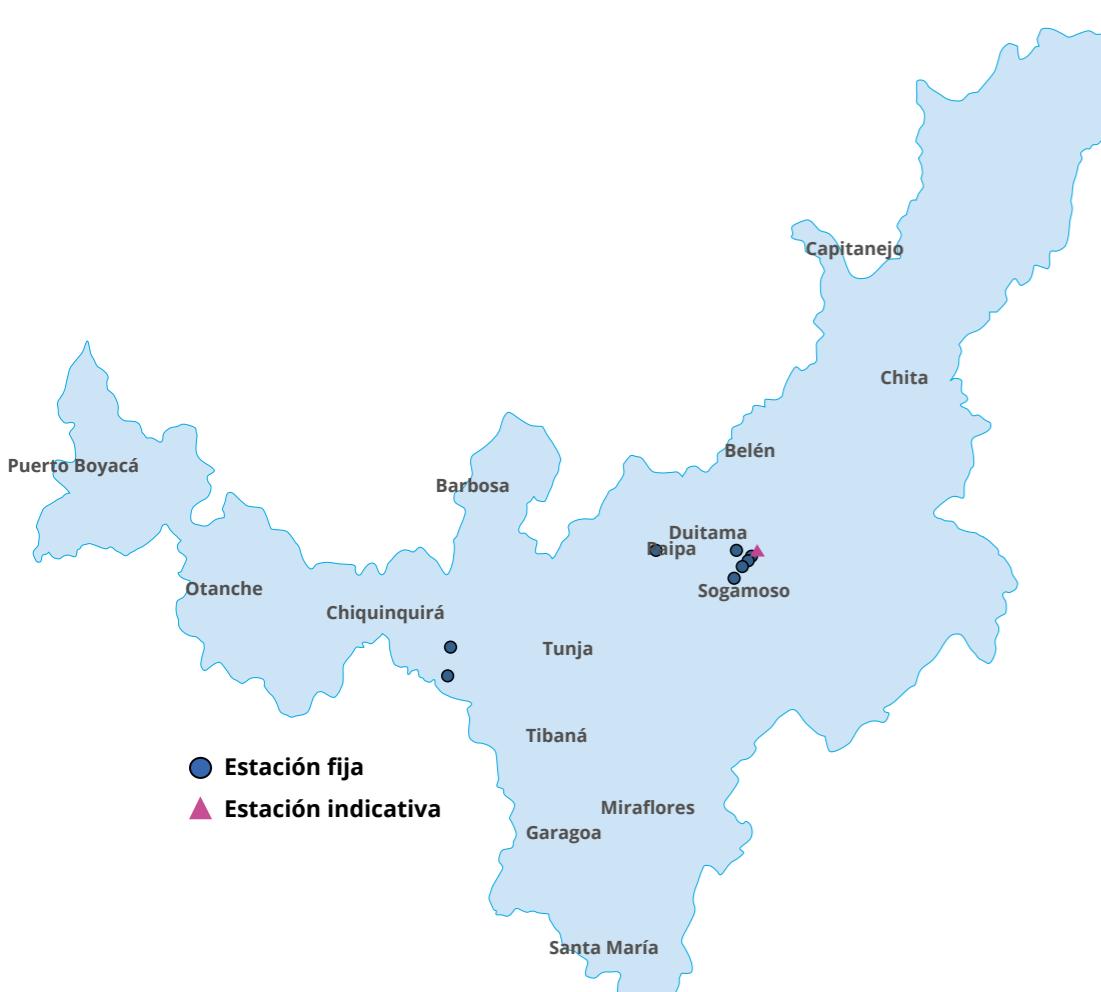
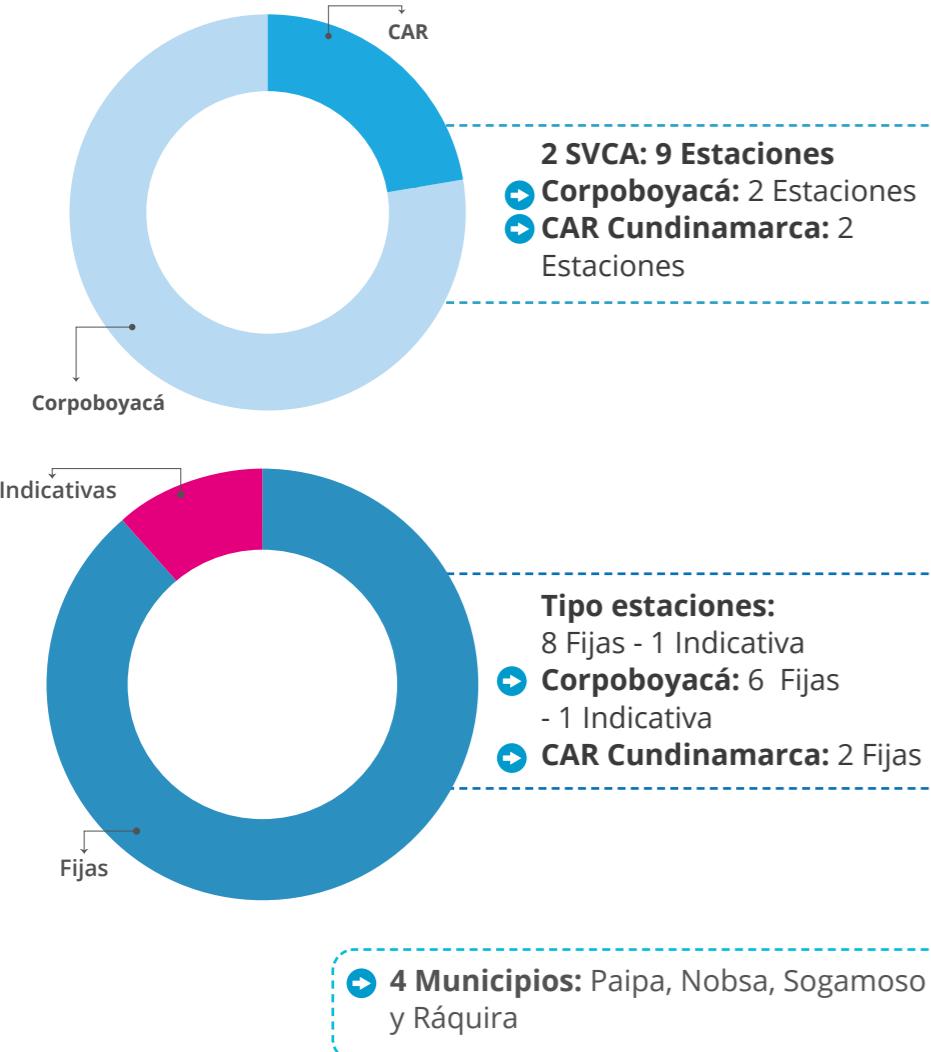
Índice de la Calidad del Aire - ICA

En la totalidad de las estaciones el ICA durante el 100% del tiempo de monitoreo reflejó un calificativo bueno.

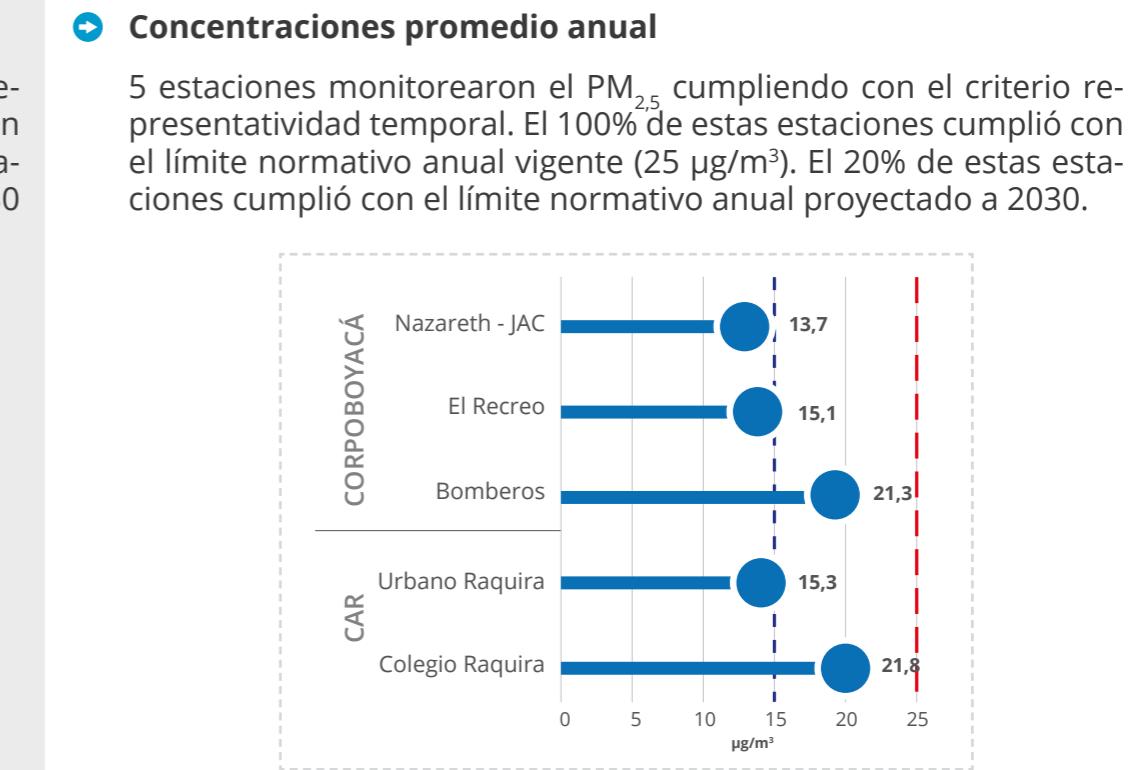


5.4. Departamento de Boyacá

Infografía 19. Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento de Boyacá

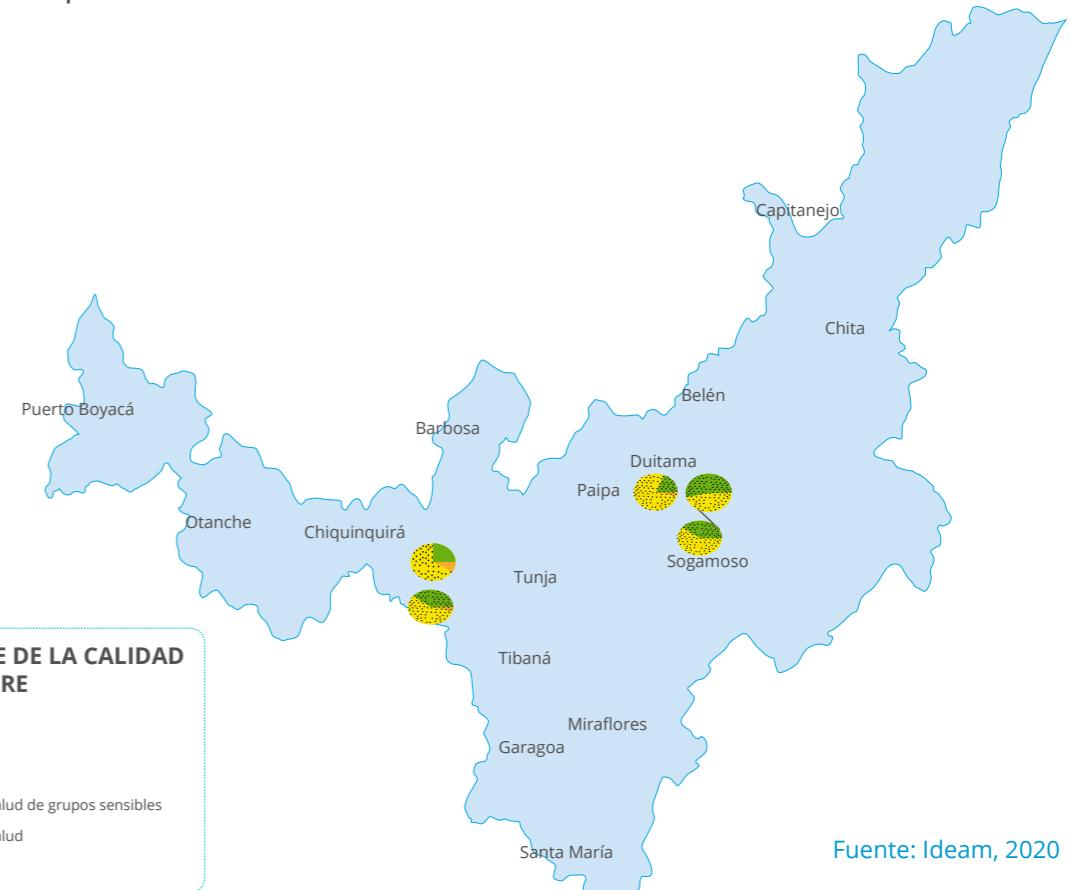


Material Particulado Menor a 2,5 micras ($PM_{2,5}$)



Índice de la Calidad del Aire - ICA

En la totalidad de las estaciones el ICA arrojó mayoritariamente una categoría aceptable, en porcentajes inferiores al 50% una categoría buena y en porcentajes bajos, categorías dañinas a la salud de grupos sensibles o dañinas a la salud.

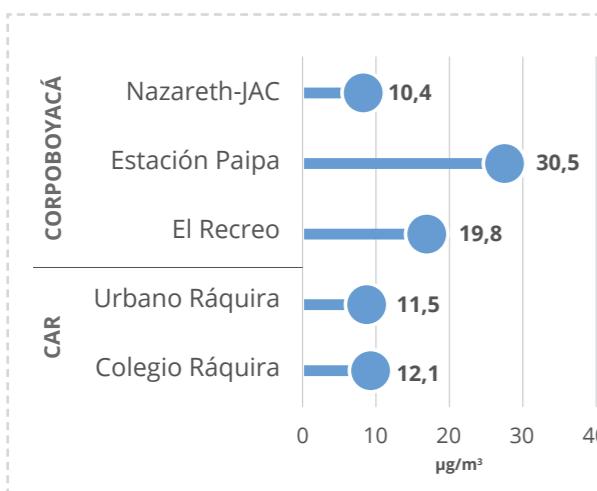




Dióxido de Azufre (SO_2)

Concentraciones promedio anual

5 estaciones monitorearon el SO_2 cumpliendo con el criterio representatividad temporal. El 100% de las estaciones cumplió con el límite máximo permisible 24 horas ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$); ninguna mantuvo el límite normativo 1 hora ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). -Esta variable no tiene referente normativo anual-.



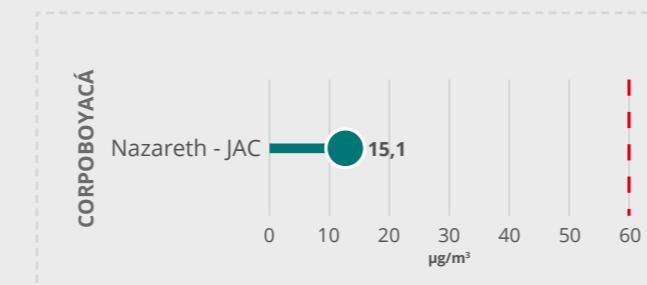
Índice de la Calidad del Aire - ICA

El 80% de las estaciones durante más del 98% del tiempo de monitoreo señaló un calificativo bueno del estado de la calidad del aire.

Dióxido de Nitrógeno (NO_2)

Concentraciones promedio anual

1 estación monitoreó el NO_2 cumpliendo con el criterio de representatividad temporal. Esta estación cumplió con el límite normativo anual vigente ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



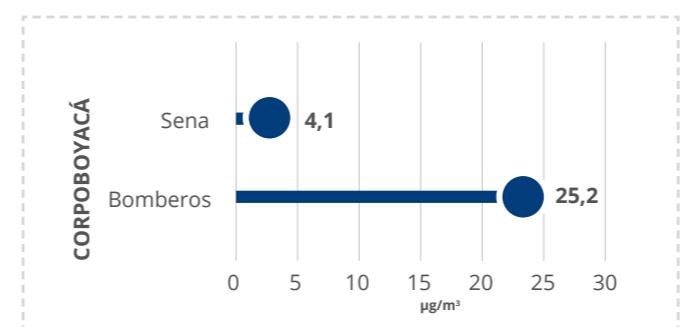
Índice de la Calidad del Aire - ICA

Durante el 100% del tiempo de monitoreo, el Índice de la Calidad del Aire presentó una categoría buena.

Ozono (O_3)

Concentraciones promedio anual

2 estaciones monitorearon el O_3 cumpliendo con el criterio representatividad temporal. 1 estación señaló excedencias normativas con respecto al límite máximo permisible 8 horas ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). -Esta variable no tiene referente normativo anual-.



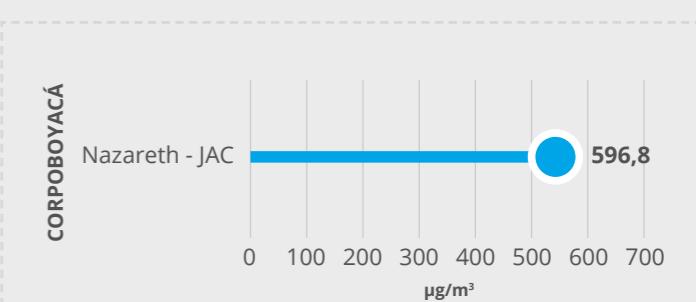
Índice de la Calidad del Aire - ICA

Las 2 estaciones durante el 100% del tiempo de monitoreo presentaron un estado de la calidad del aire bueno.

Monóxido de Carbono (CO)

Concentraciones promedio anual

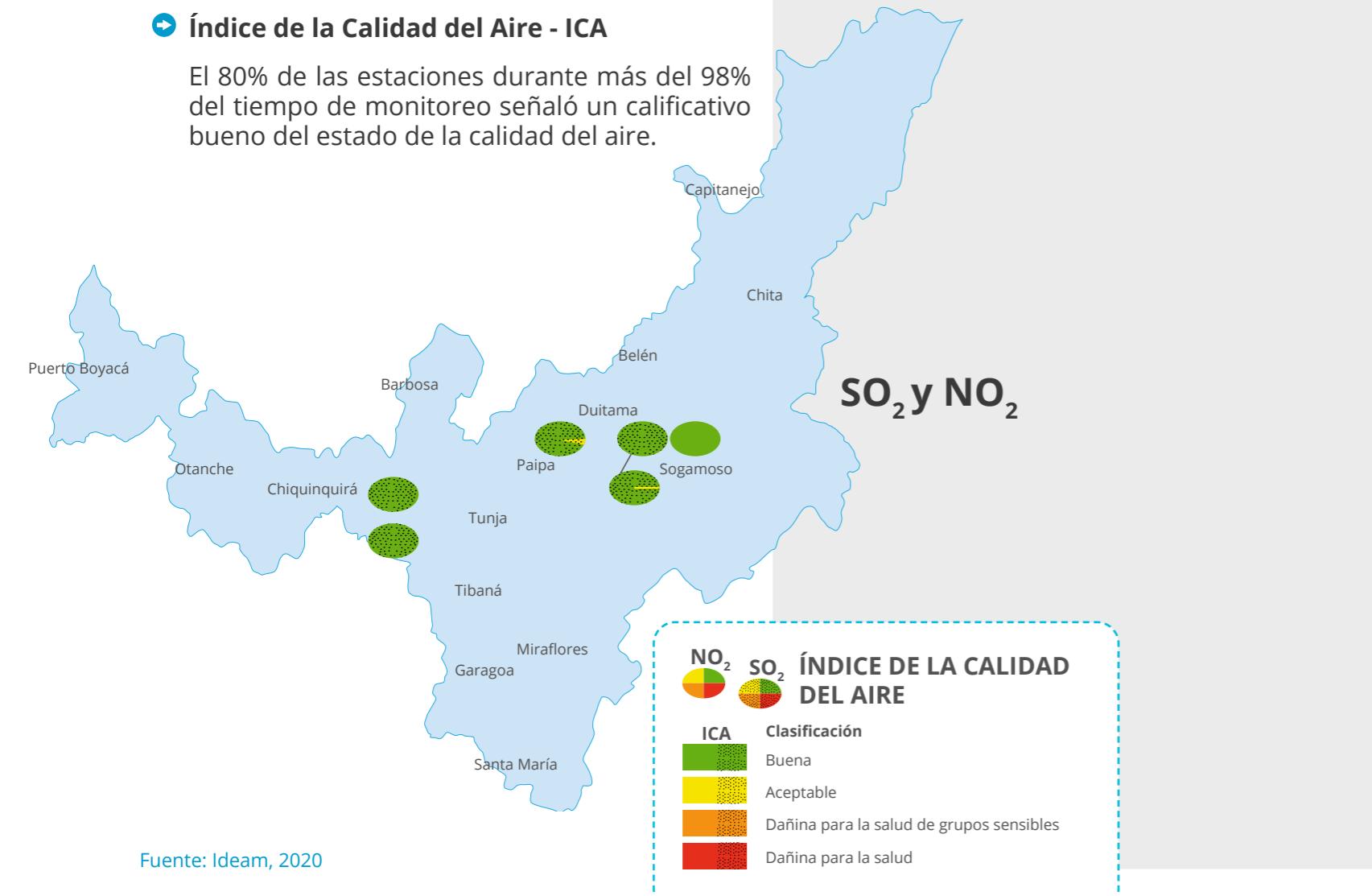
1 estación monitoreó el CO cumpliendo con el criterio representatividad temporal. Esta estación cumplió con respecto al límite máximo permisible 8 horas ($5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$). -Esta variable no tiene referente normativo anual-



Índice de la Calidad del Aire - ICA

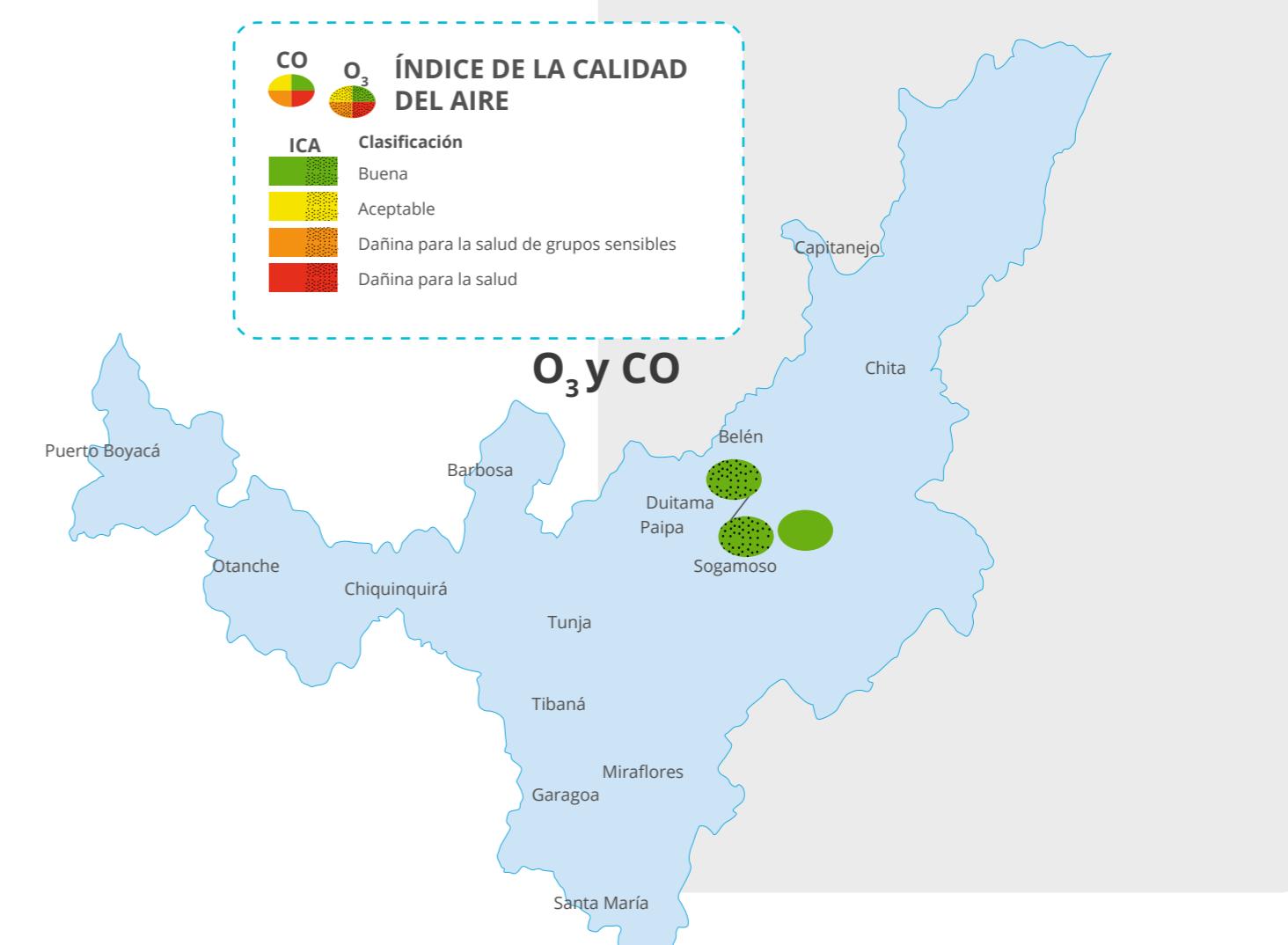
Durante el 100% del tiempo de monitoreo reflejó un calificativo bueno.

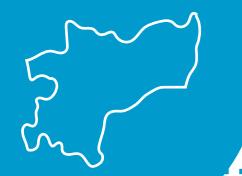
SO_2 y NO_2



Fuente: Ideam, 2020

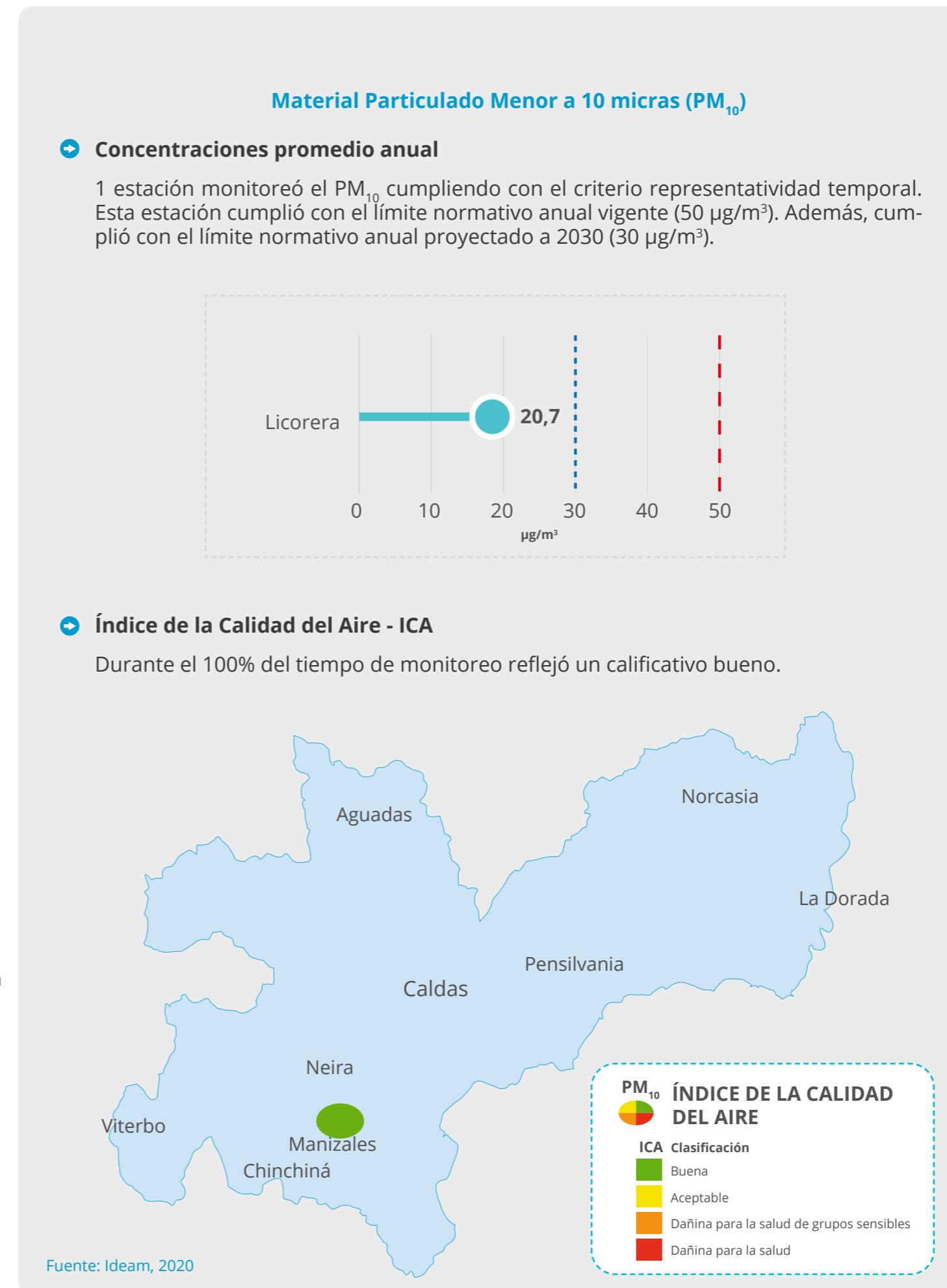
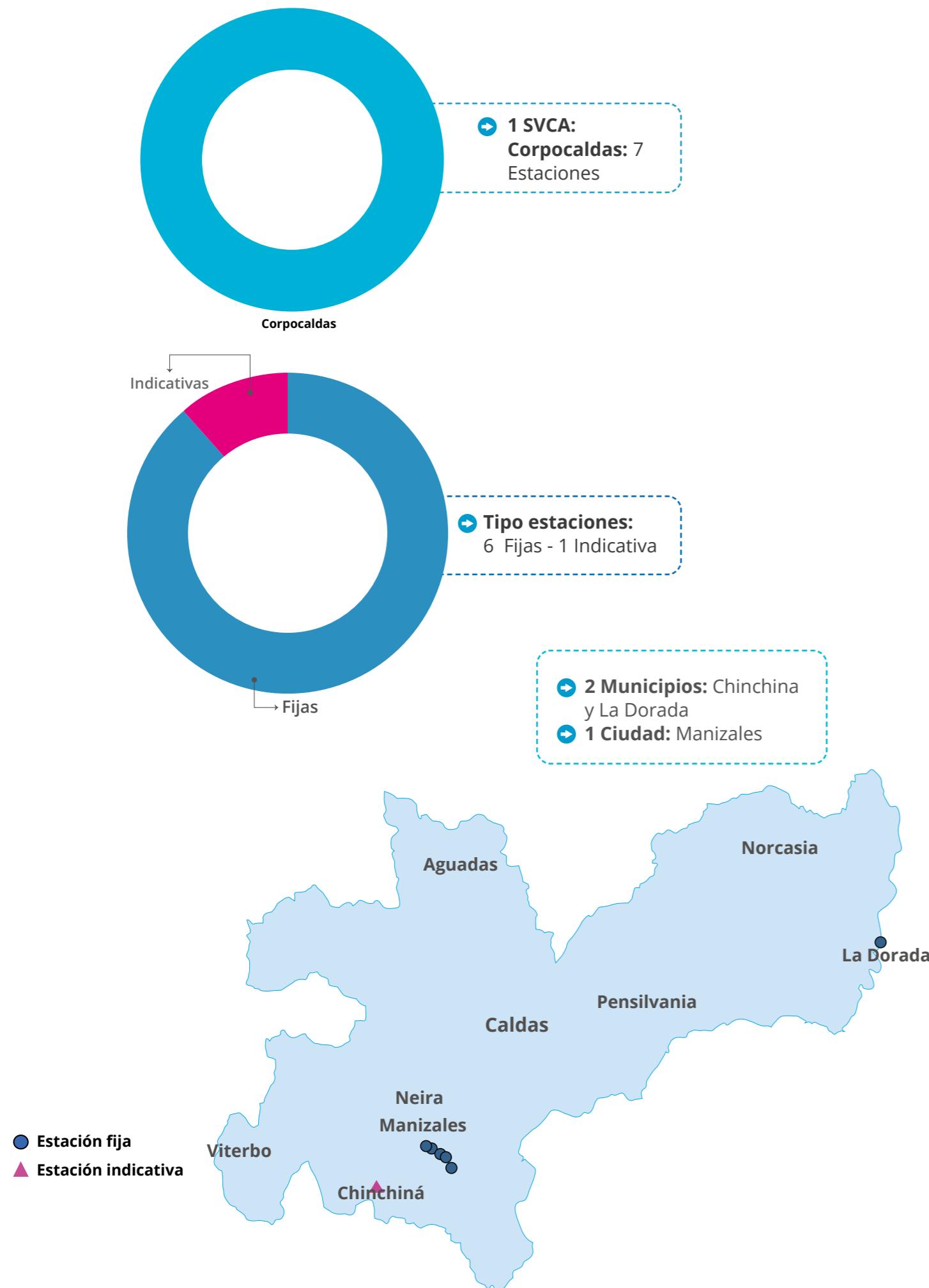
O_3 y CO





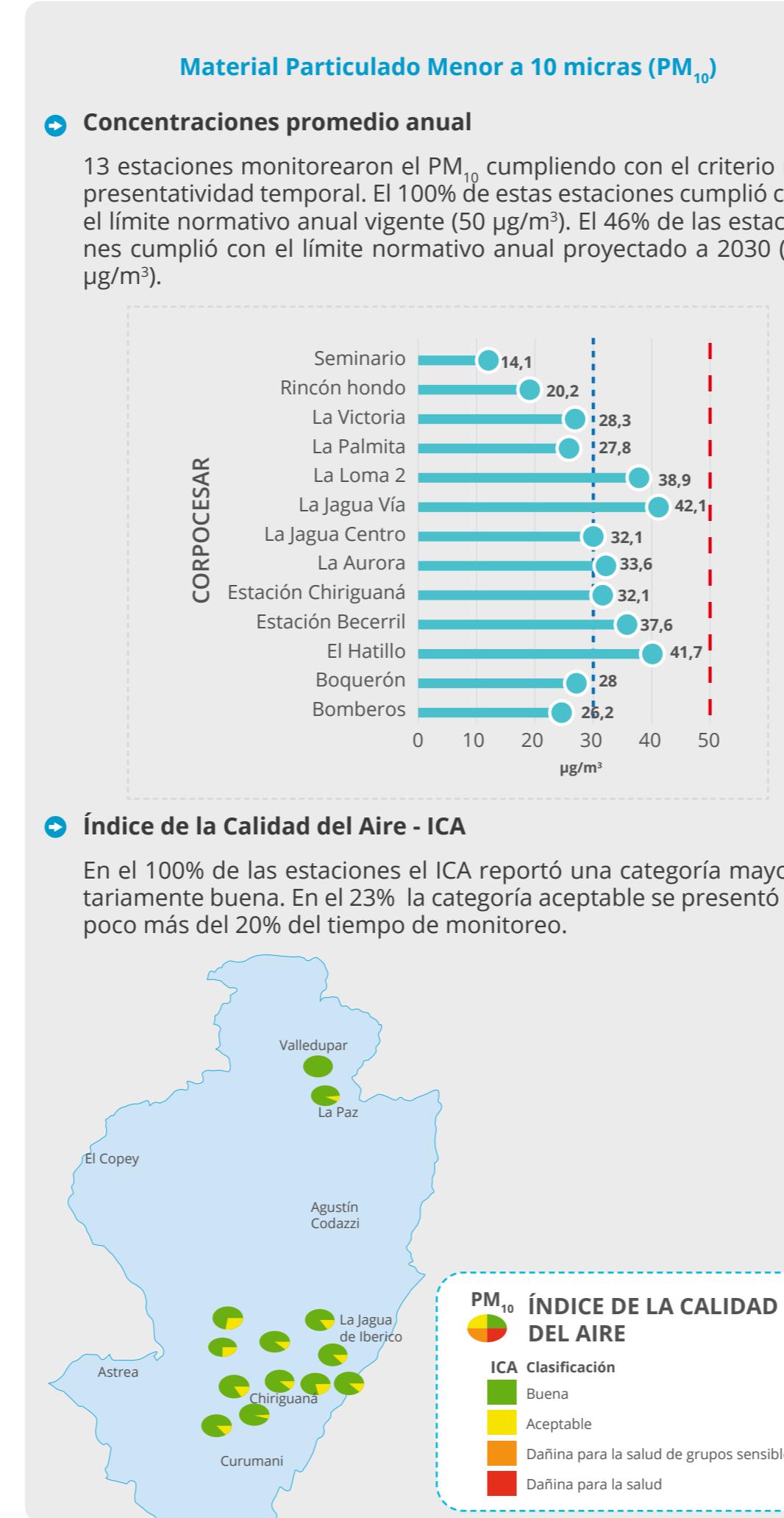
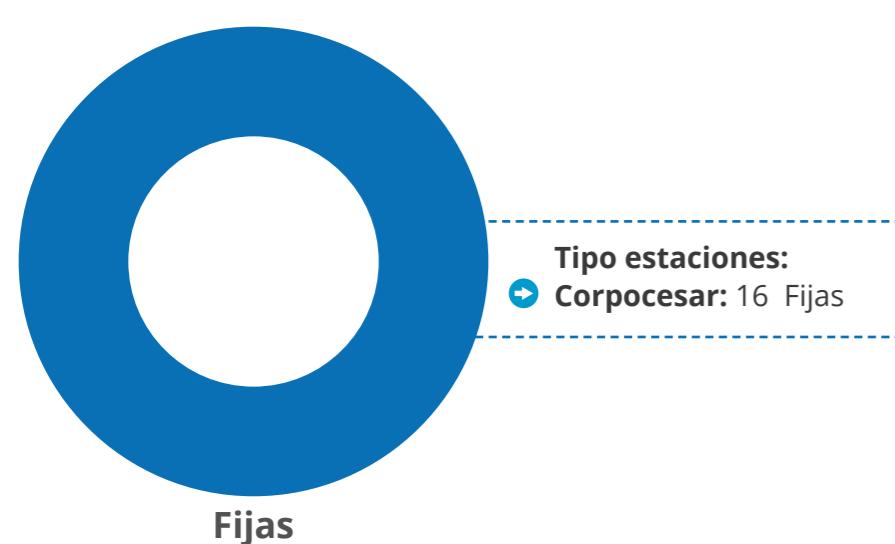
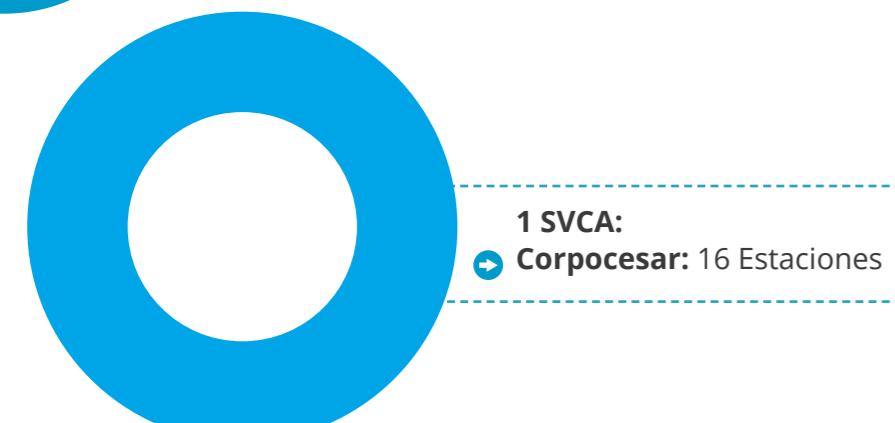
5.5. Departamento de Caldas

Infografía 20. Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento de Caldas



5.6. Departamento del Cesar

Infografía 21. Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento del Cesar



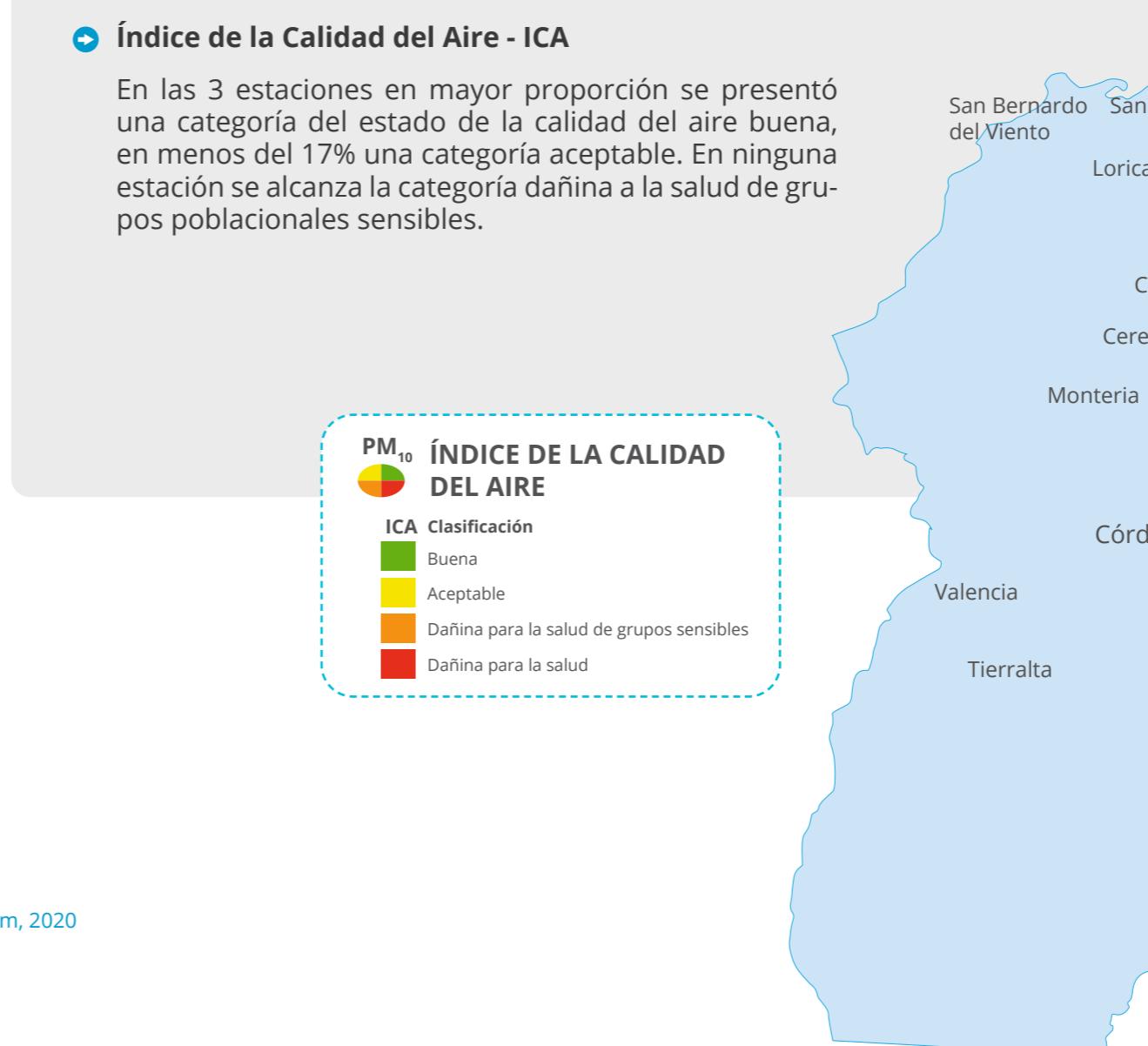
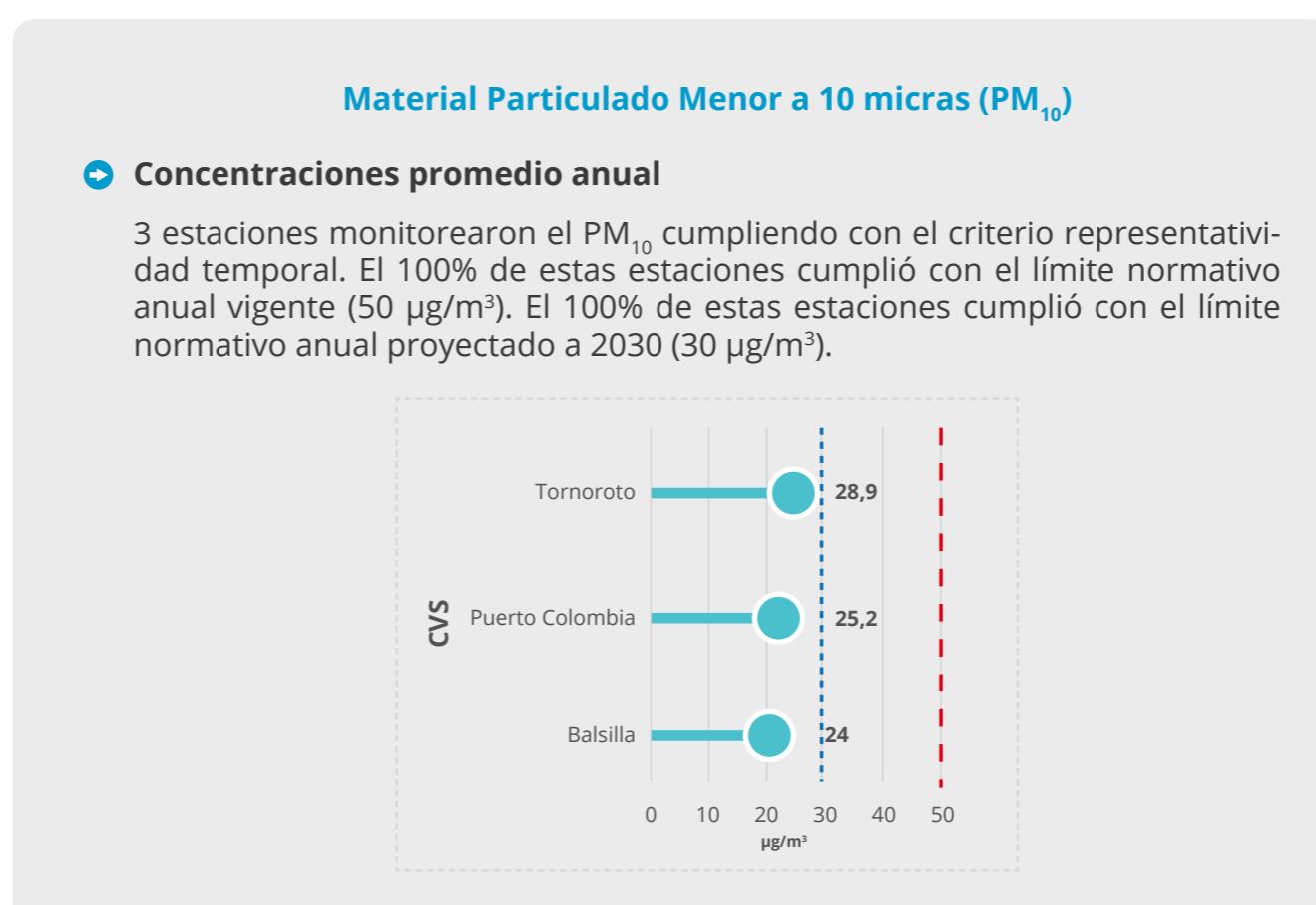
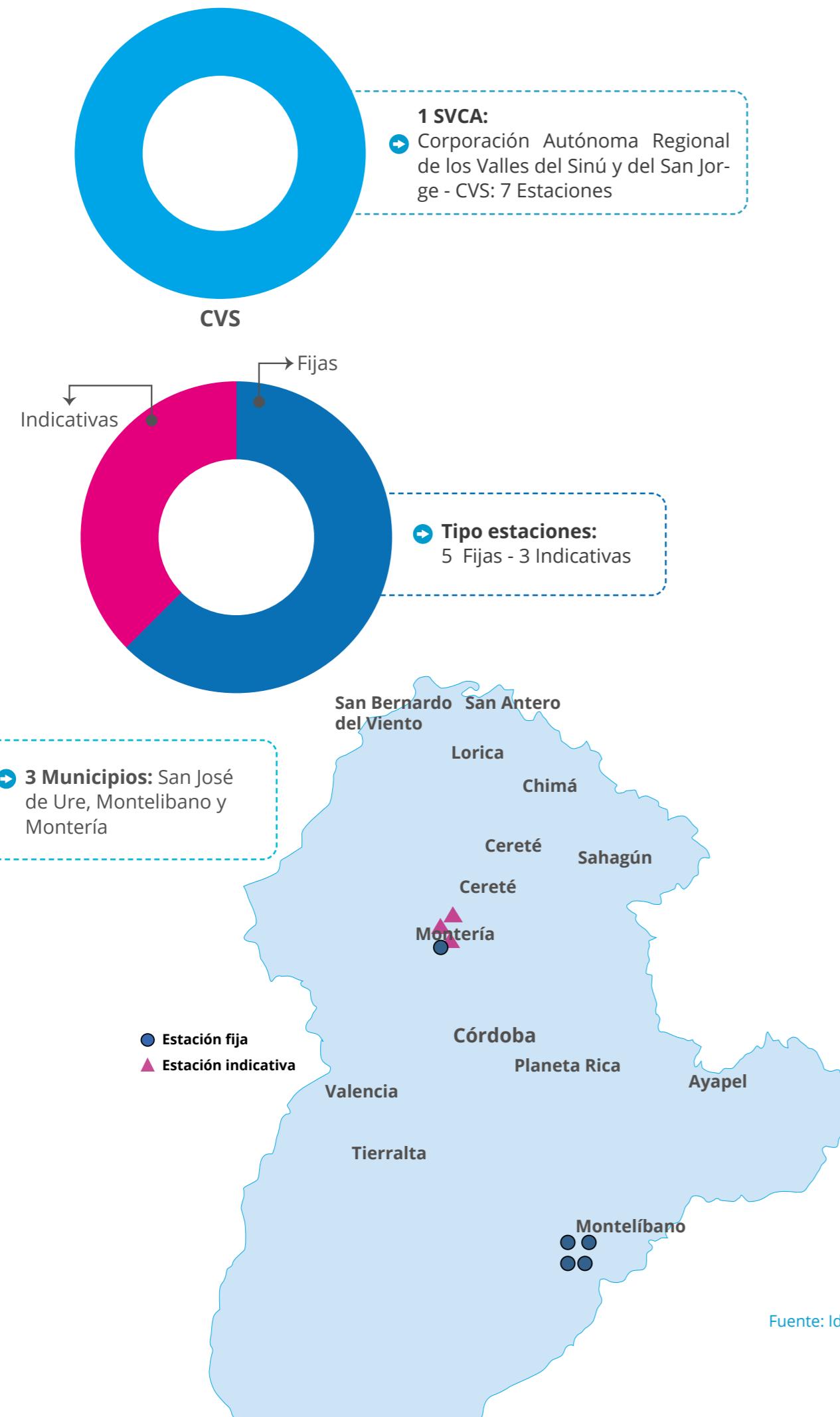
Material Particulado Menor a 2,5 micras ($PM_{2,5}$)

Concentraciones promedio anual



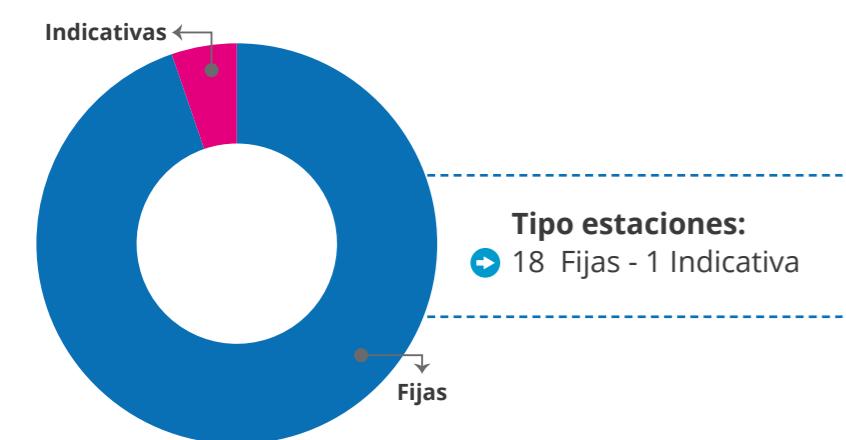
5.7. Departamento de Córdoba

Infografía 22. Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento de Córdoba



5.8. Departamento de Cundinamarca

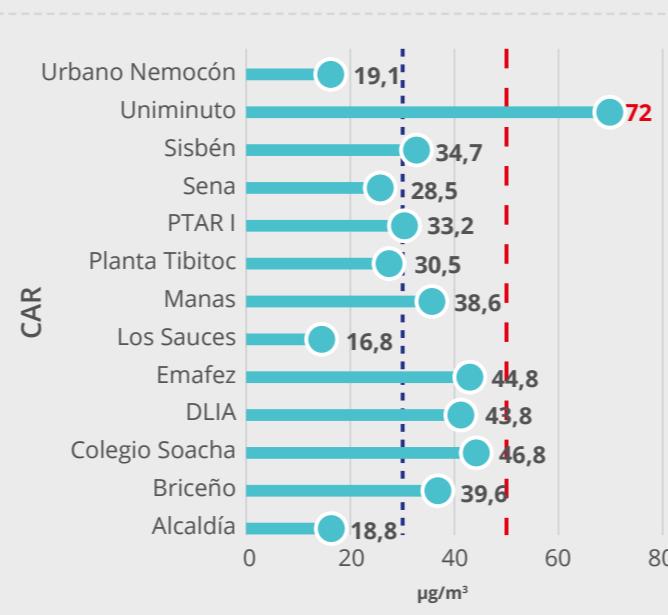
Infografía 23. Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento de Cundinamarca



Material Particulado Menor a 10 micras (PM_{10})

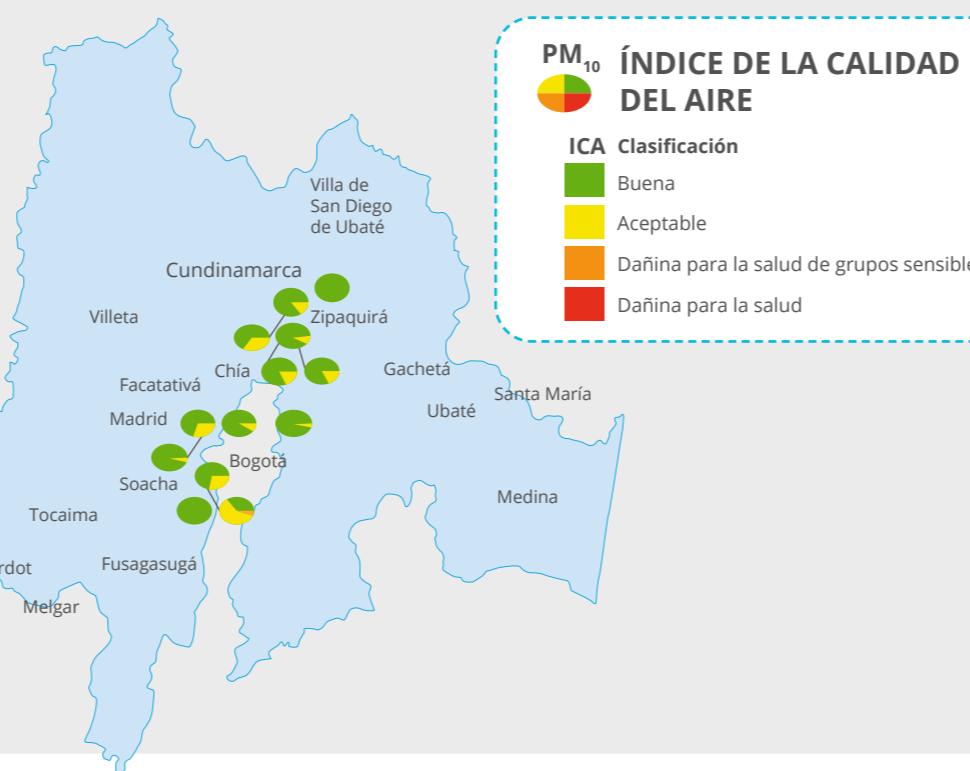
Concentraciones promedio anual

Para el año 2020, se contó con 13 estaciones de monitoreo que midieron PM_{10} cumpliendo con el criterio representatividad temporal ($\geq 75\%$), todas ubicadas en jurisdicción de la CAR - Cundinamarca. El 92,3% de estas estaciones cumplió con el límite normativo anual ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y el 30,7% con el referente normativo proyectado para el 2030.



Índice de la Calidad del Aire - ICA

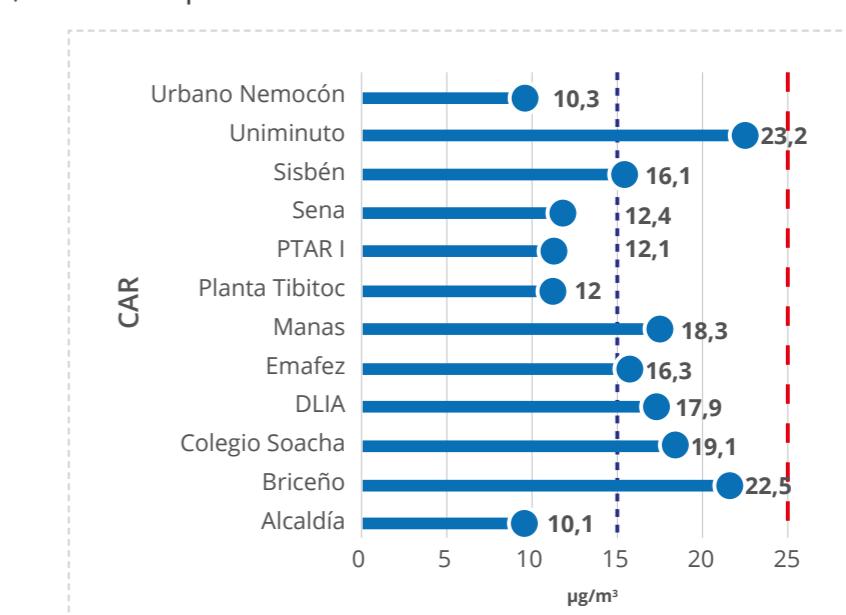
El Índice de la Calidad del Aire presentó una categoría buena en la mayor parte del tiempo de las estaciones, a excepción de la estación de Uniminuto que registró cerca de 60% en calidad del aire aceptable.



Material Particulado Menor a 2,5 micras ($PM_{2,5}$)

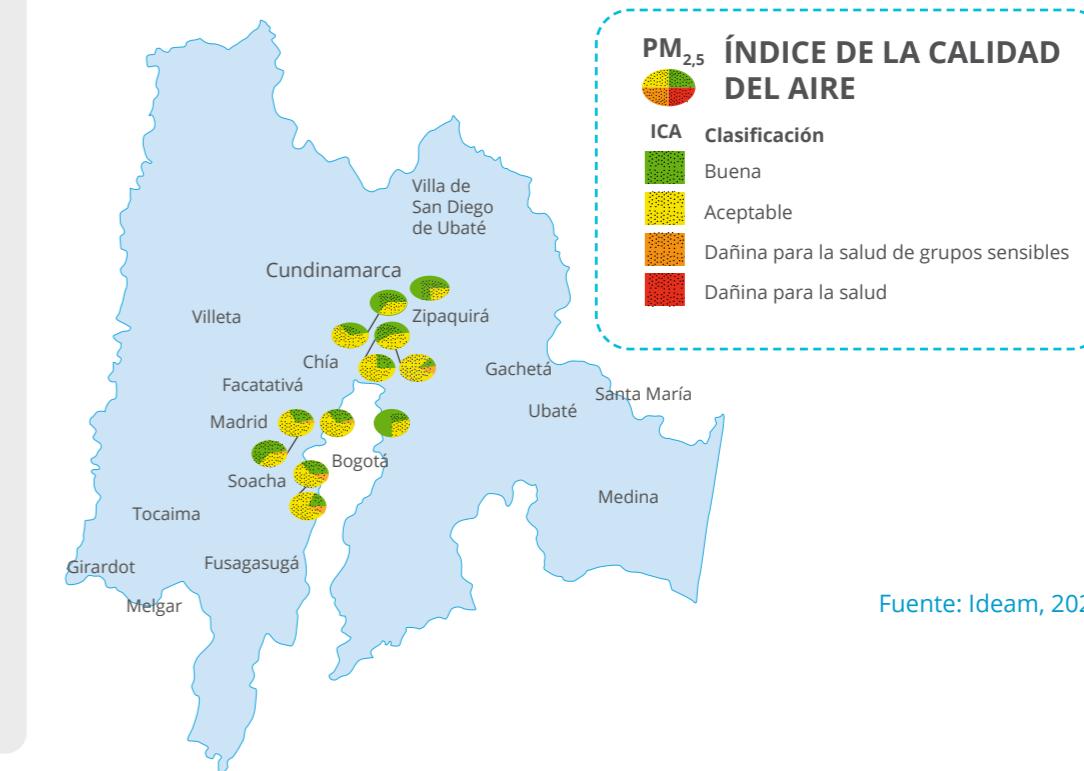
Concentraciones promedio anual

Durante el año 2020, operaron 12 estaciones de monitoreo de $PM_{2,5}$ cumpliendo con el criterio representatividad temporal ($\geq 75\%$), todas ubicadas en jurisdicción de la CAR – Cundinamarca. El 100% las estaciones cumplió con el límite normativo anual ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y por parte del referente normativo proyectado al 2030, se tiene un 38,4% de cumplimiento.



Índice de la Calidad del Aire - ICA

En ocho (8) de las trece (13) estaciones el Índice de la Calidad del Aire presentó una categoría aceptable en la mayoría del tiempo. Uniminuto el Colegio-Soacha alcanzaron categorías dañinas para la salud de grupos sensibles en porcentajes cercanos al 10%.



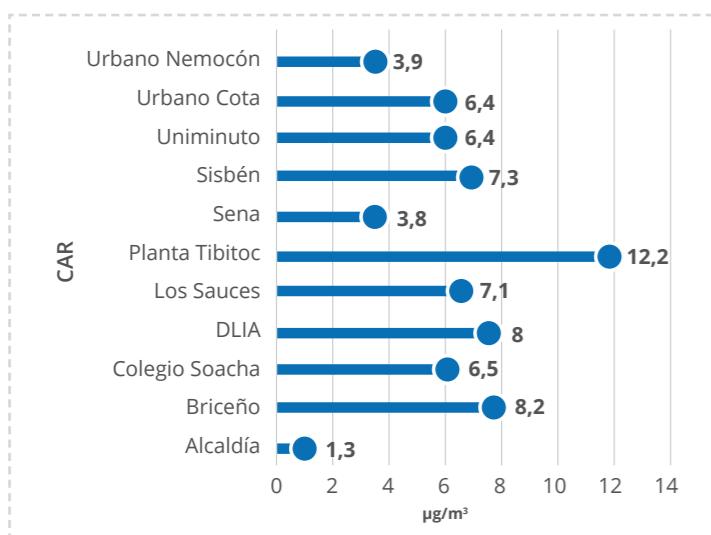
Fuente: Ideam, 2020



Dióxido de Azufre (SO_2)

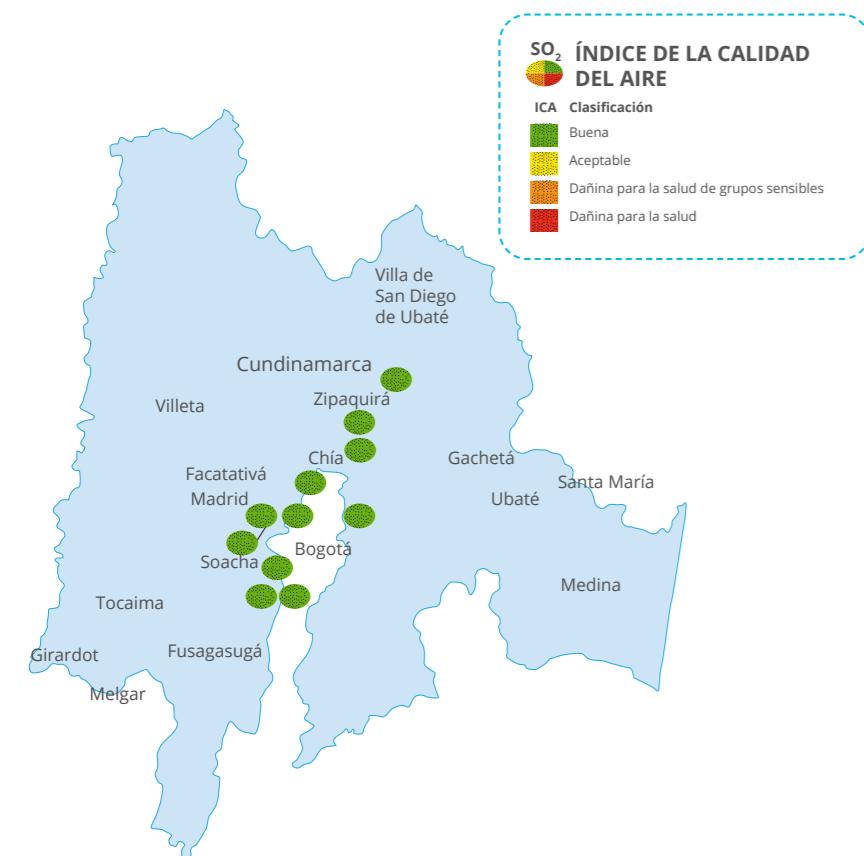
Concentraciones promedio anual

En 2020, se contó con 12 estaciones de monitoreo de SO_2 cumpliendo con el criterio representatividad temporal ($\geq 75\%$), ubicadas en jurisdicción de la CAR Cundinamarca. La estación de Mochuelo presentó 70 días de excedencia al límite máximo permisible 24 horas ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) -Esta variable no tiene referente normativo anual-.



Índice de la Calidad del Aire - ICA

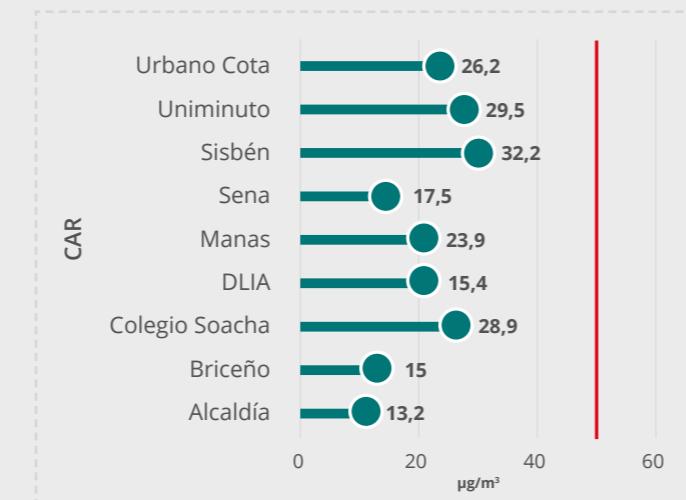
El Índice de la Calidad del Aire mostró una categoría buena en valores superiores al 98%.



Dióxido de Nitrógeno (NO_2)

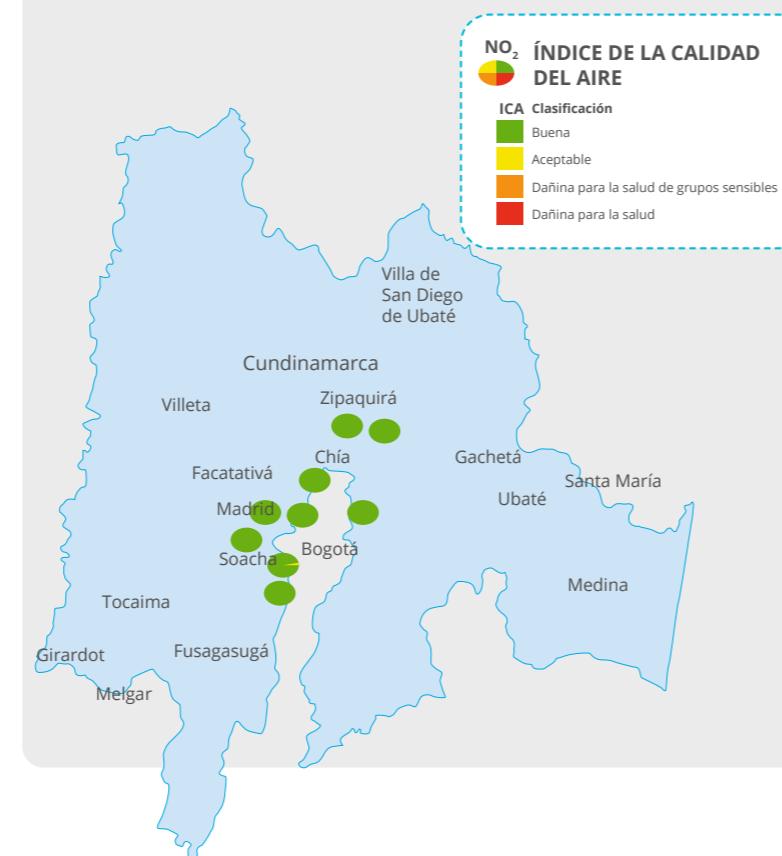
Concentraciones promedio anual

Durante el año 2020, operaron 10 estaciones de monitoreo de NO_2 cumpliendo con el criterio representatividad temporal ($\geq 75\%$), ubicadas en jurisdicción de la CAR Cundinamarca. El 100% de estas estaciones cumplió con el límite normativo anual ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



Índice de la Calidad del Aire - ICA

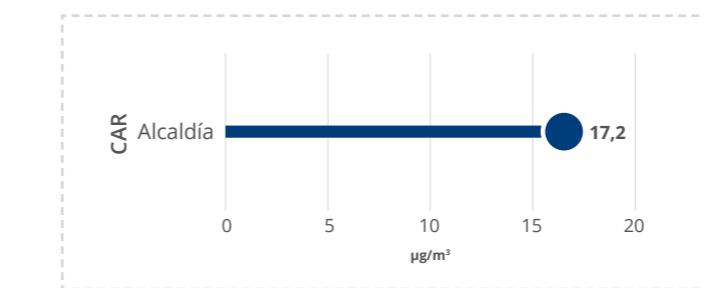
Todas las estaciones presentaron un Índice de la Calidad del Aire con categoría buena en valores cercanos al 100%, y en bajas proporciones, una categoría aceptable en la estación Colegio Soacha.



Ozono (O_3)

Concentraciones promedio anual

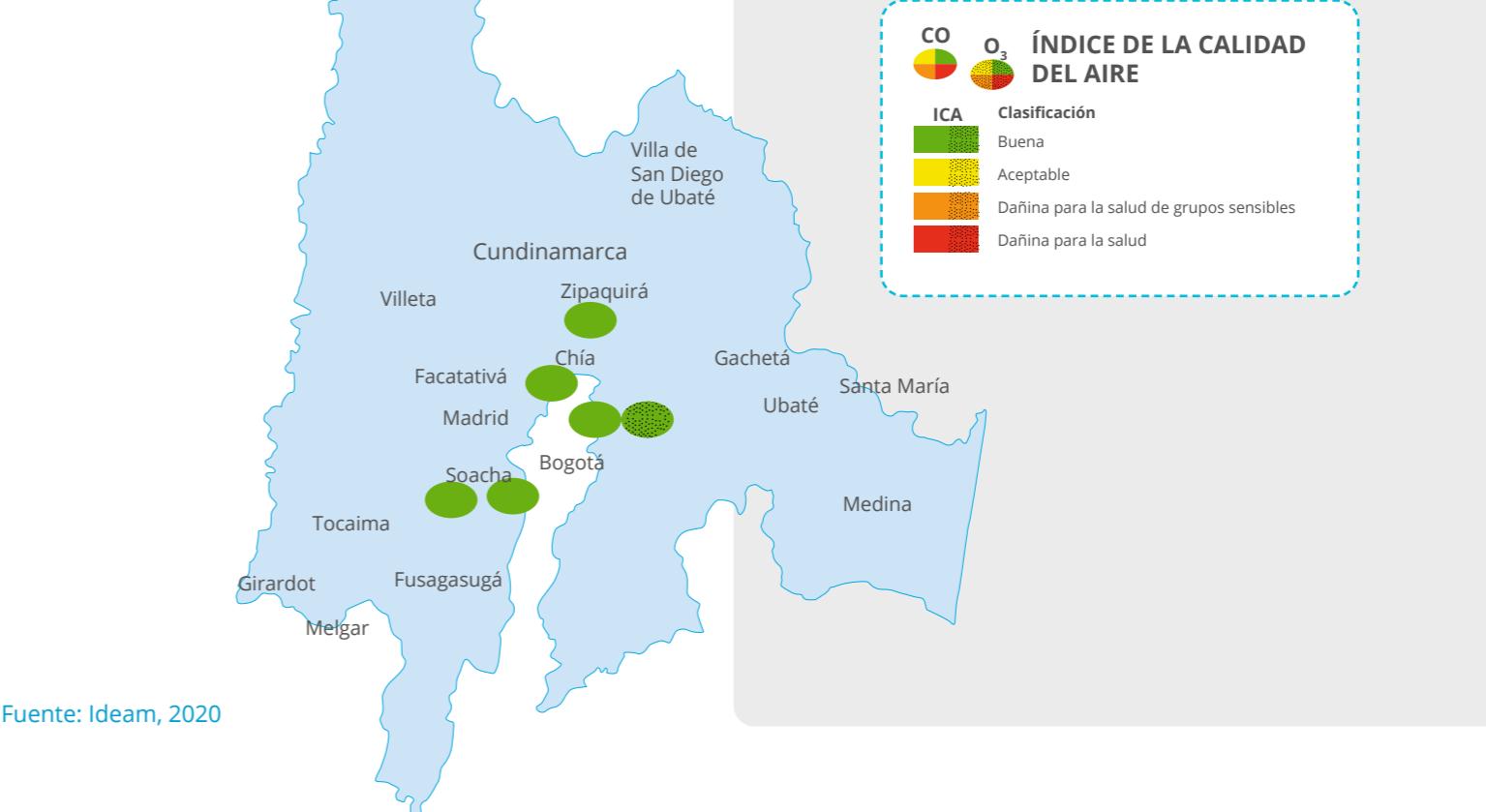
La única estación que realizó el seguimiento de las concentraciones de ozono durante el año 2020 cumpliendo con el criterio representatividad temporal ($\geq 75\%$) fue Alcaldía, ubicada en el municipio de la Calera. La estación de Alcaldía no presentó ningún día con excedencias al límite máximo permisible octohorario ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) -Esta variable no tiene referente normativo anual-.



Índice de la Calidad del Aire - ICA

Debido a que las concentraciones de ozono fueron bajas, el Índice de la Calidad del Aire reflejó un estado bueno durante 2020.

O_3 y CO

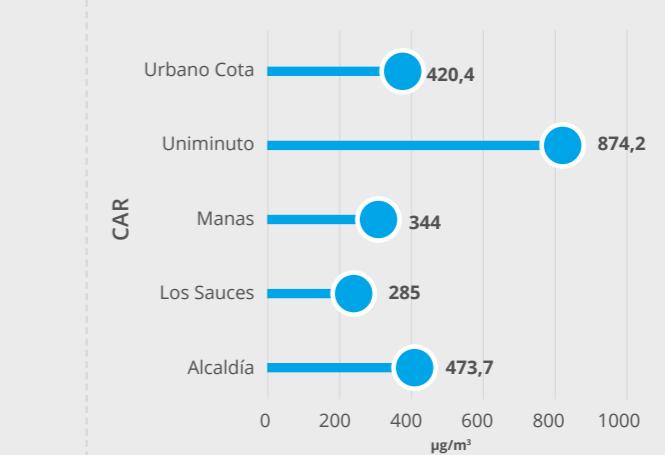


Fuente: Ideam, 2020

Monóxido de Carbono (CO)

Concentraciones promedio anual

En 2020, operaron 5 estaciones de monitoreo de CO cumpliendo con el criterio representatividad temporal ($\geq 75\%$), ubicadas en jurisdicción del CAR Cundinamarca. La estación Uniminuto reportó 2 días de excedencia al límite máximo permisible octohorario ($5.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) -Esta variable no tiene referente normativo anual-.



Índice de la Calidad del Aire - ICA

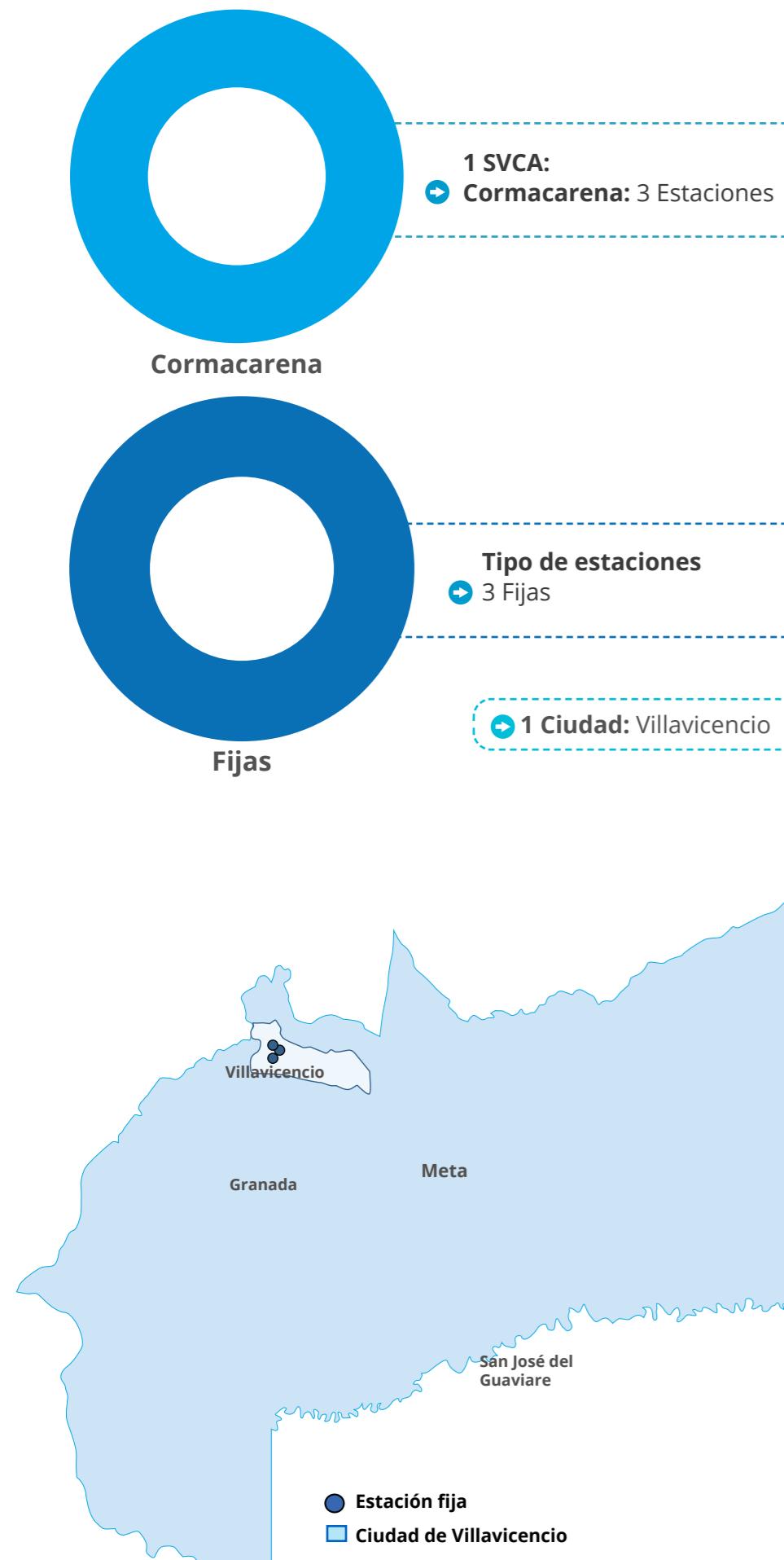
El Índice de la Calidad del Aire reflejó un estado bueno durante 2020 para todas las estaciones.



5.9. Departamento del Meta

Infografía 24. Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento del Meta

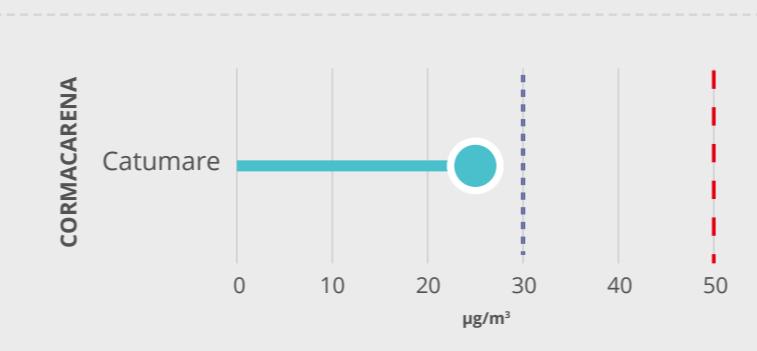
Cormacarena
Somos vida, somos Meta



Material Particulado Menor a 10 micras (PM_{10})

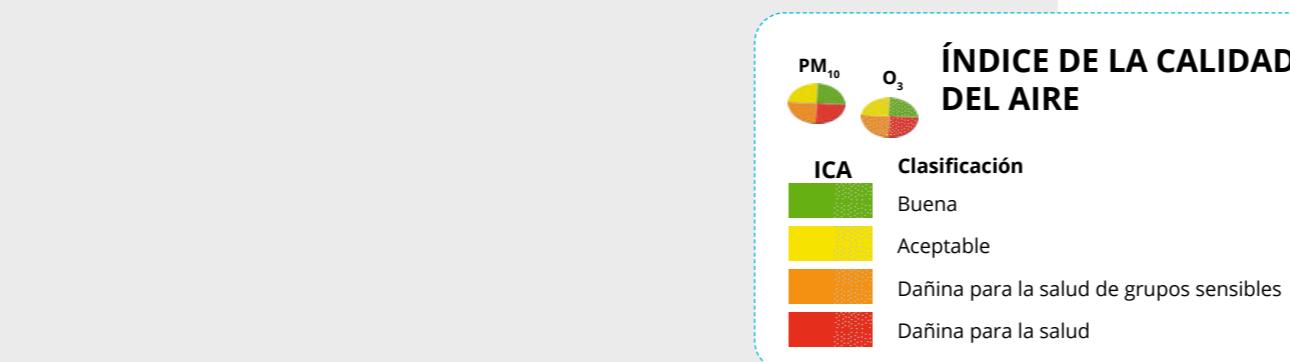
Concentraciones promedio anual

1 estación monitoreó el PM_{10} cumpliendo con el criterio representatividad temporal. La estación cumplió con el límite normativo anual vigente ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La estación cumplió con el límite normativo anual proyectado a 2030 ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



Índice de la Calidad del Aire - ICA

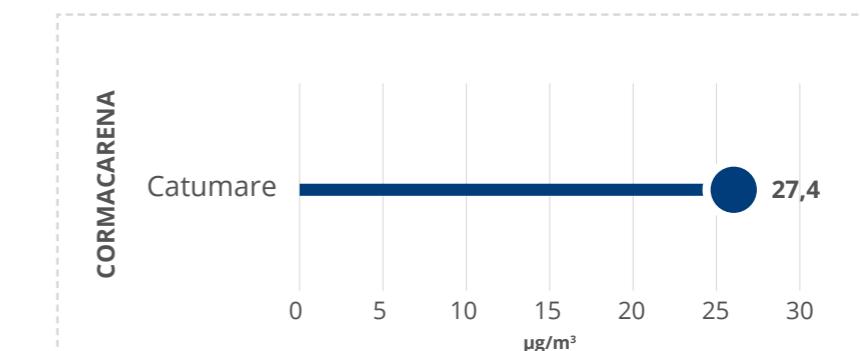
En el 93% del tiempo de monitoreo, el ICA representó una categoría buena, y en el tiempo restante, aceptable.



Ozono (O_3)

Concentraciones promedio anual

1 estación midió Ozono cumpliendo con el criterio representatividad temporal. La estación presentó 6 excedencias con respecto al límite máximo permisible 8 horas ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) -Esta variable no tiene referente normativo anual-



Índice de la Calidad del Aire - ICA

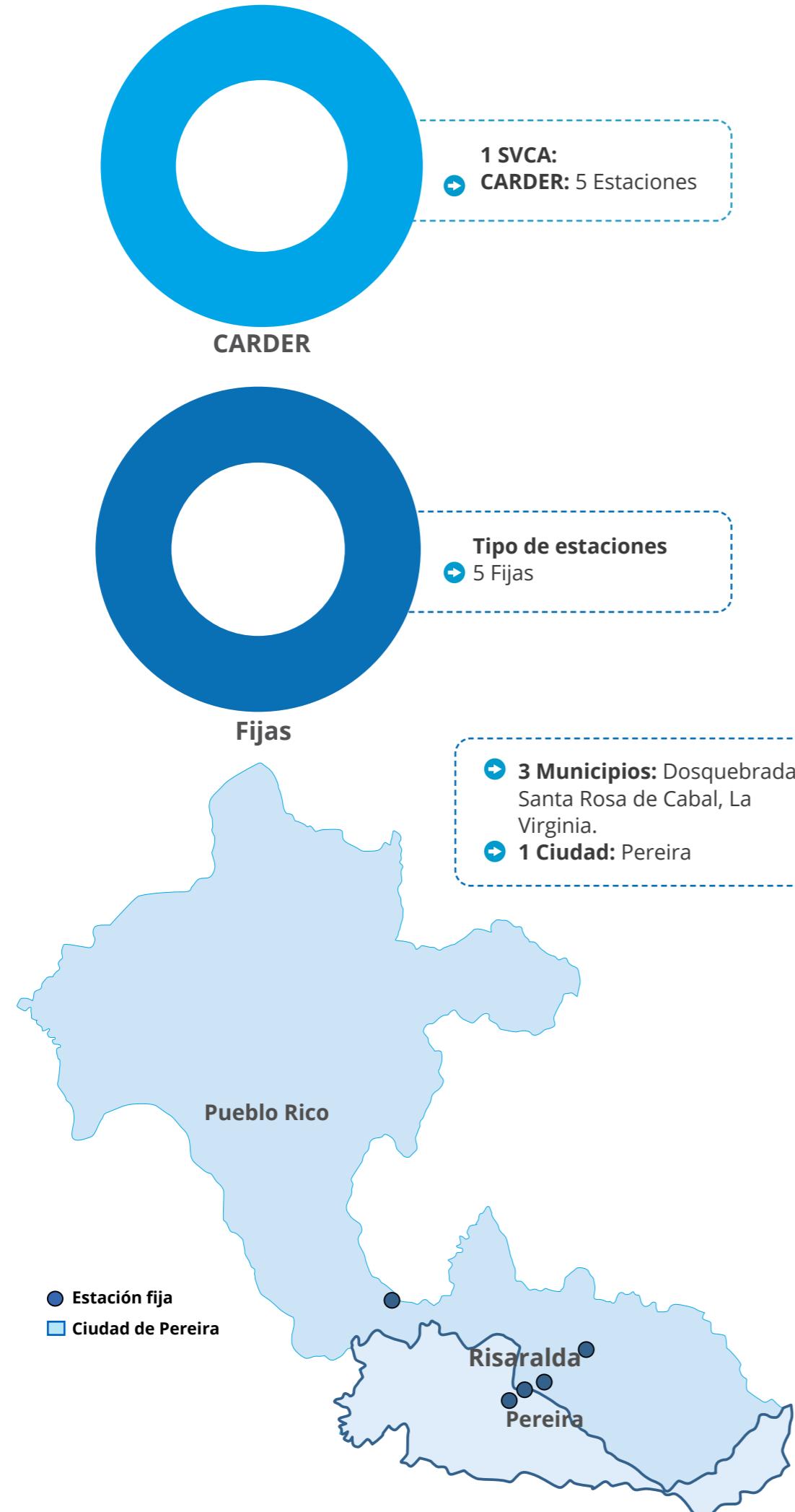
El Índice de la Calidad del Aire durante el 100% del tiempo de monitoreo reflejó un calificativo bueno.





5.10. Departamento de Risaralda

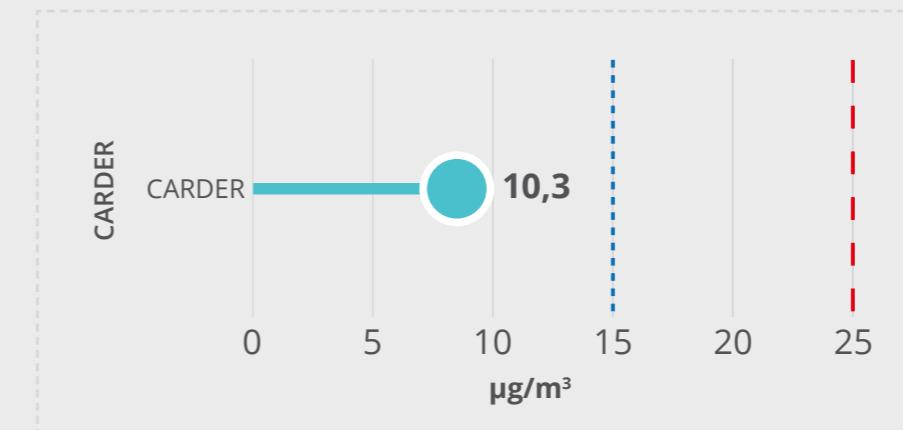
Infografía 25. Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento de Risaralda



Material Particulado Menor a 2,5 micras (PM_{2,5})

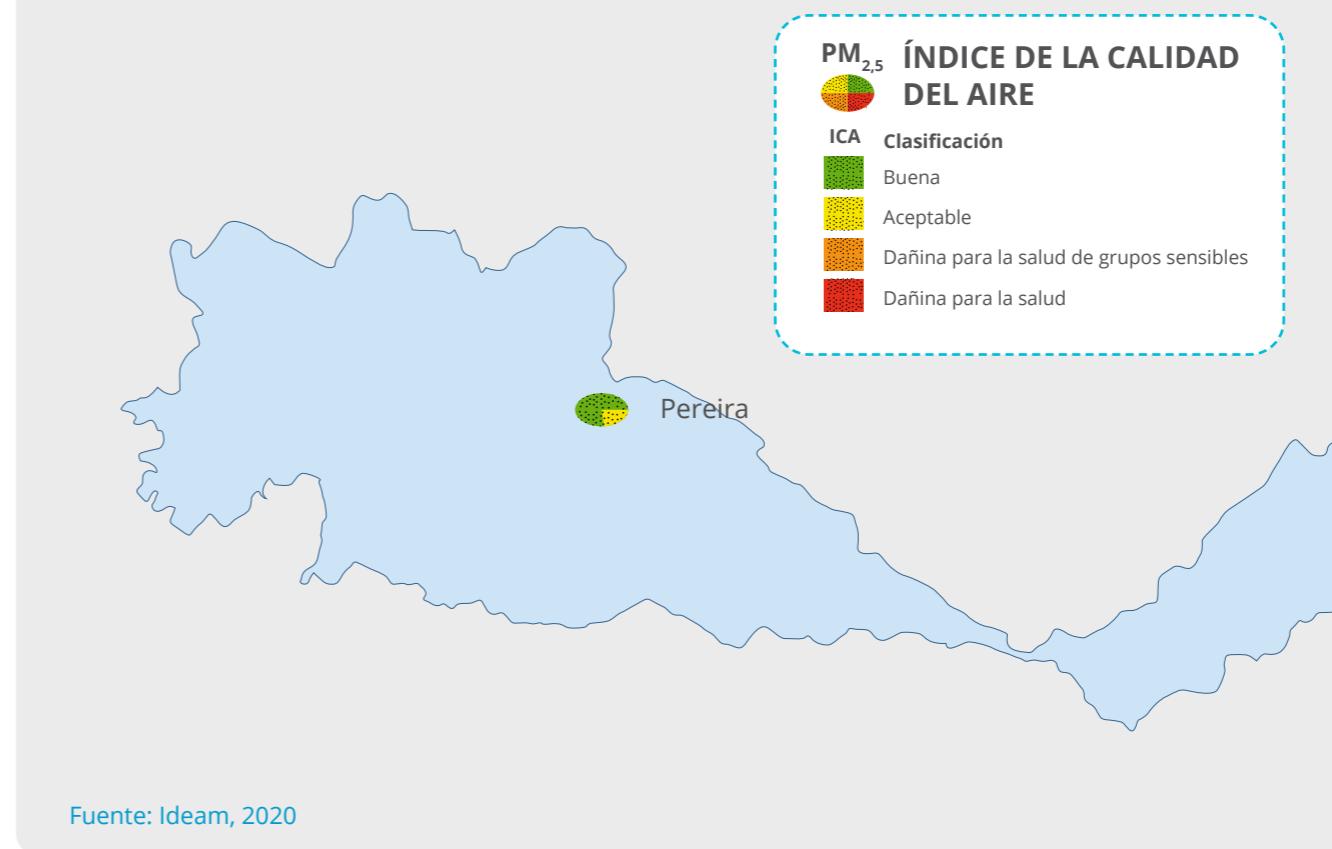
Concentraciones promedio anual

1 estación monitoreó el PM_{2,5} cumpliendo con el criterio representatividad temporal. La única estación cumplió con el límite normativo anual vigente (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y cumple con el referente normativo proyectado para el año 2030.



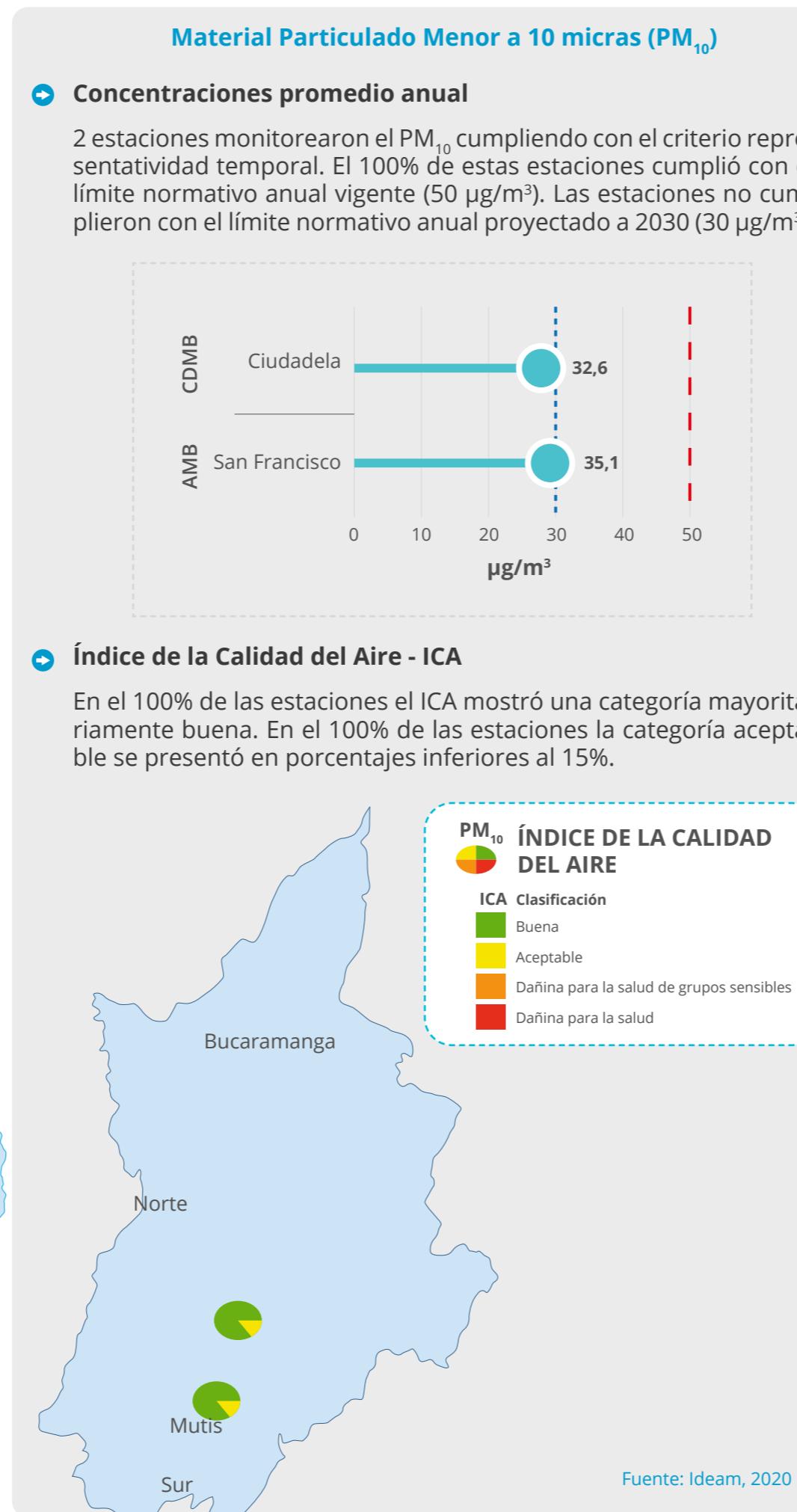
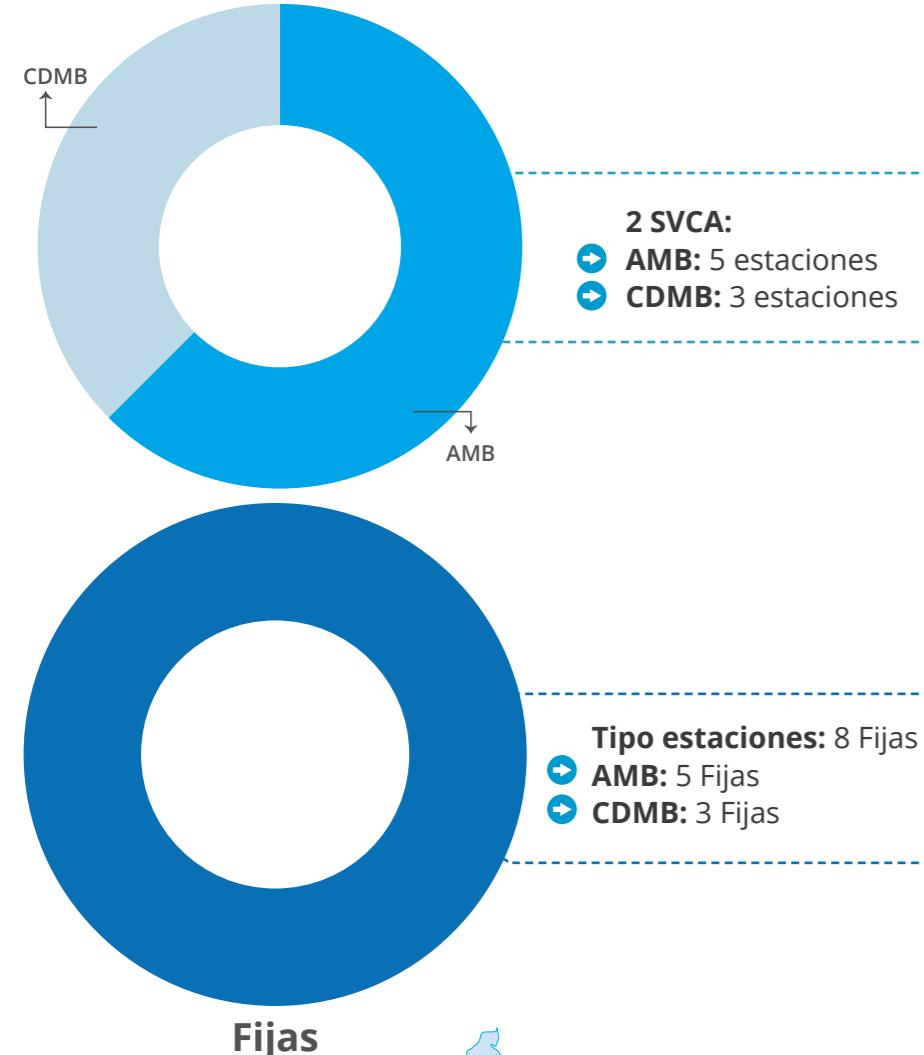
Índice de la Calidad del Aire - ICA

El 79% del tiempo se reflejó un ICA de categoría buena y el otro 21%, aceptable.

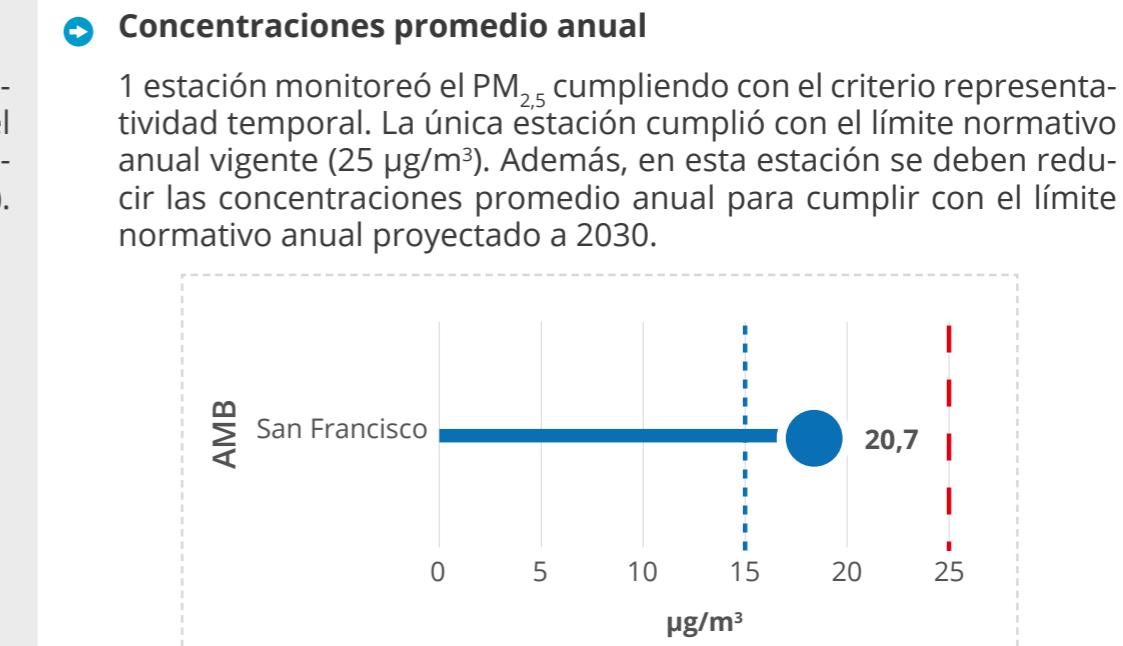


5.11. Departamento de Santander

Infografía 26. Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento de Santander

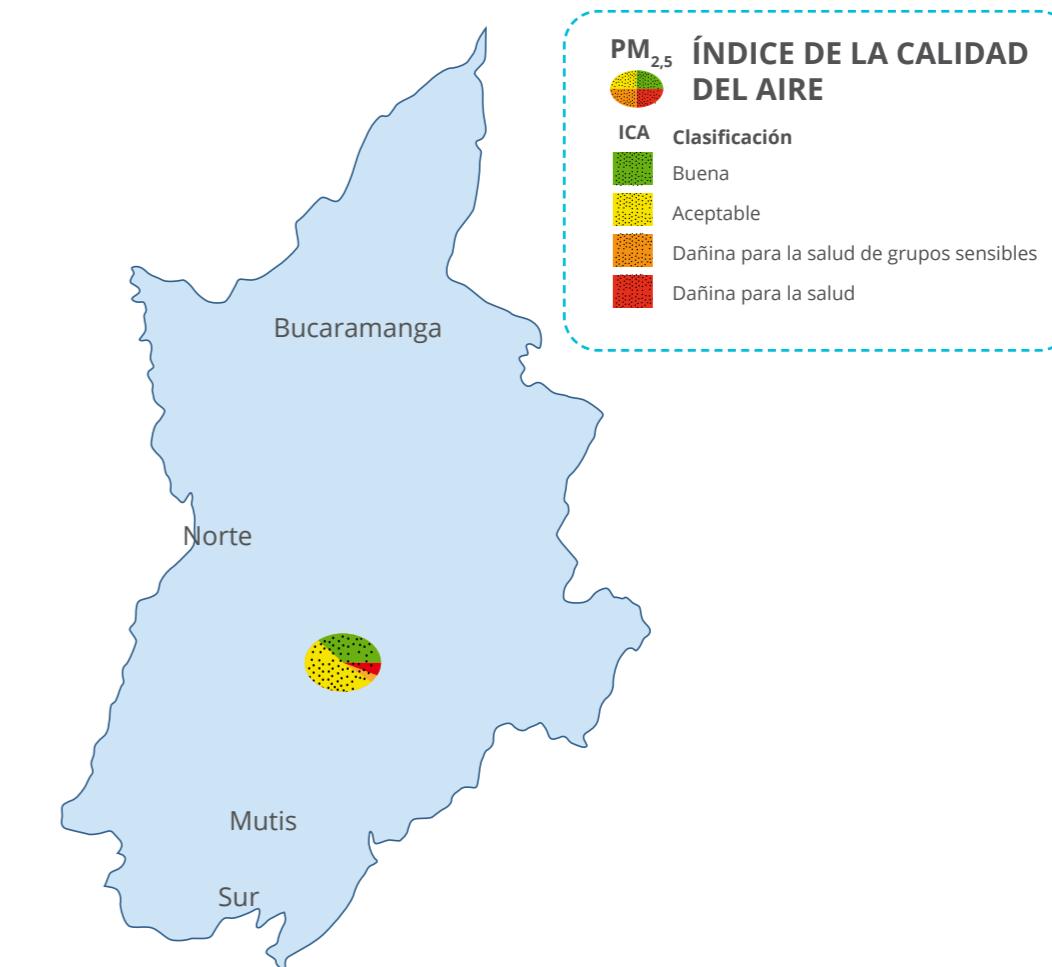


Material Particulado Menor a 2,5 micras ($PM_{2,5}$)



Índice de la Calidad del Aire - ICA

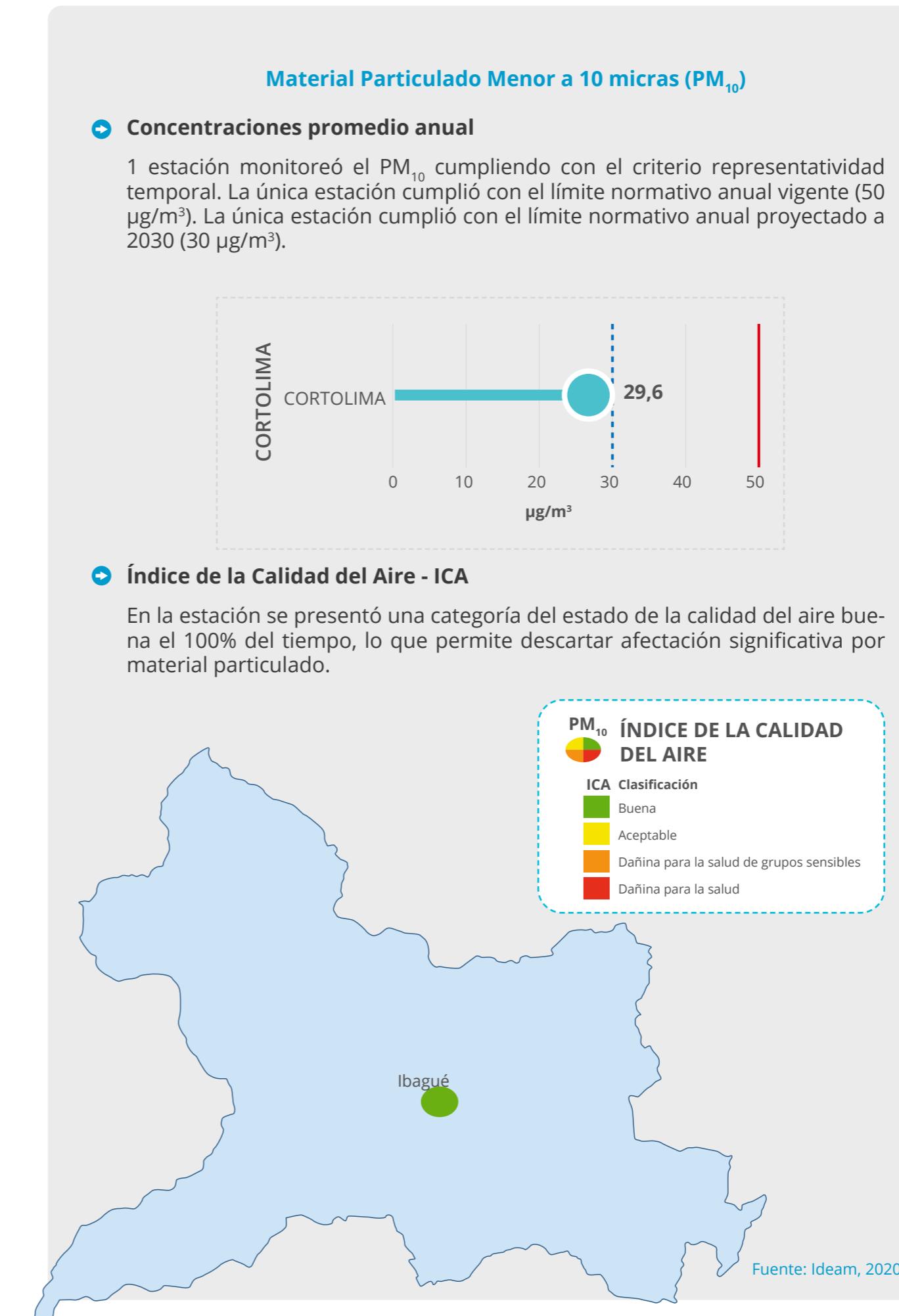
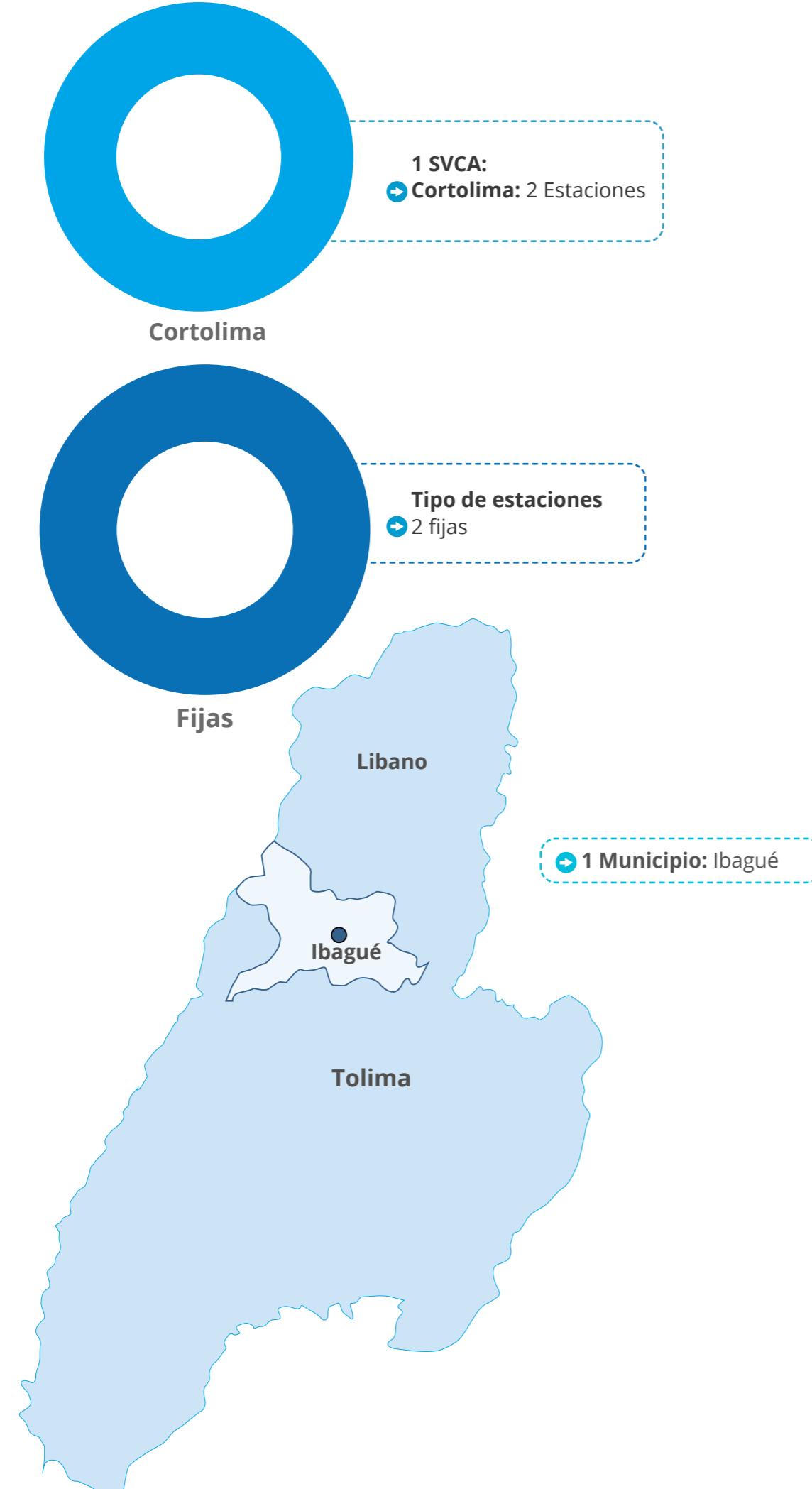
El 38% del tiempo presentó un ICA en categoría buena, con un mayor porcentaje se reflejó la categoría aceptable alcanzando aproximadamente un 51% y en porcentaje bajo, categorías dañinas a la salud de grupos sensibles o dañinas a la salud.





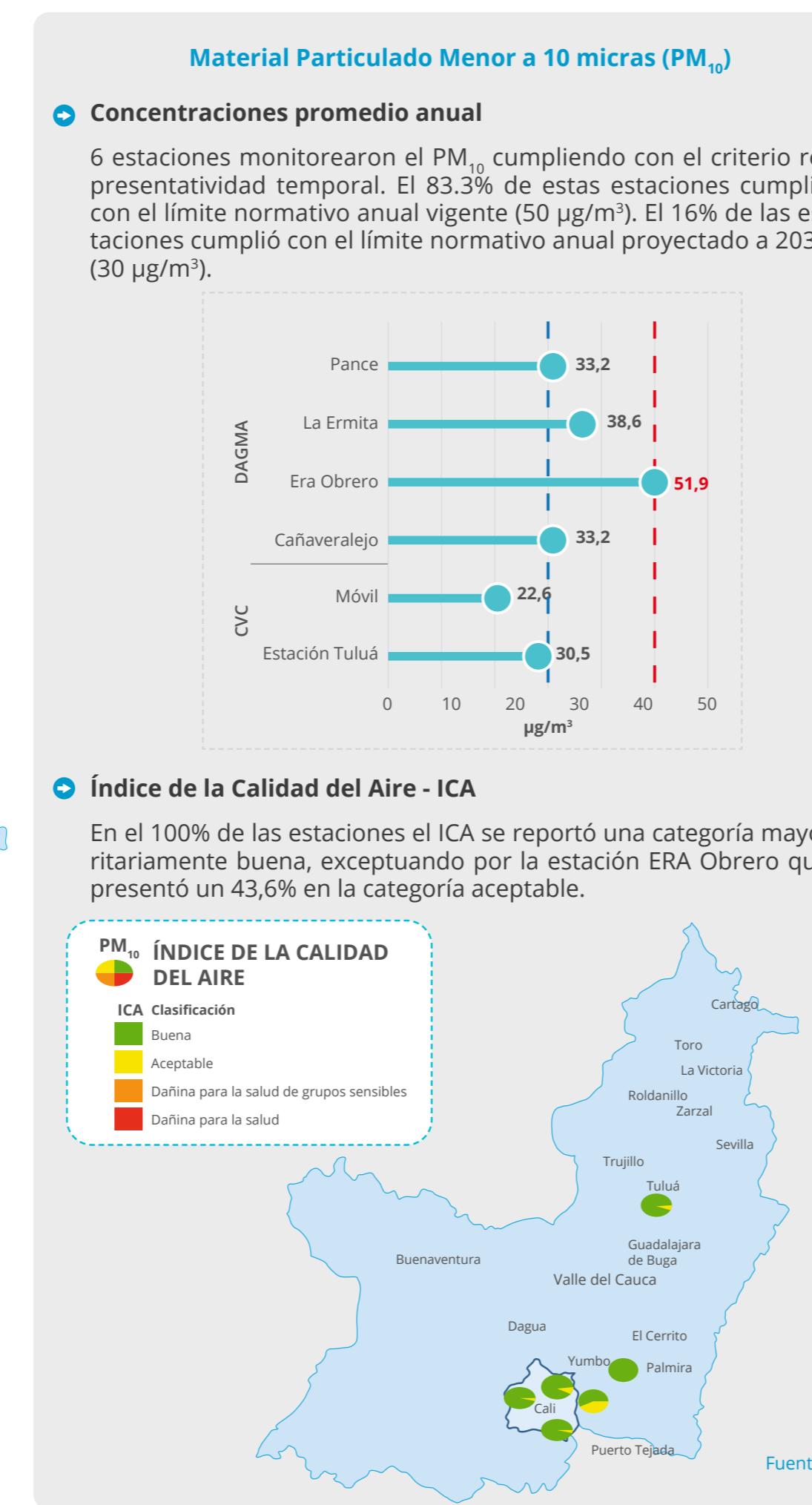
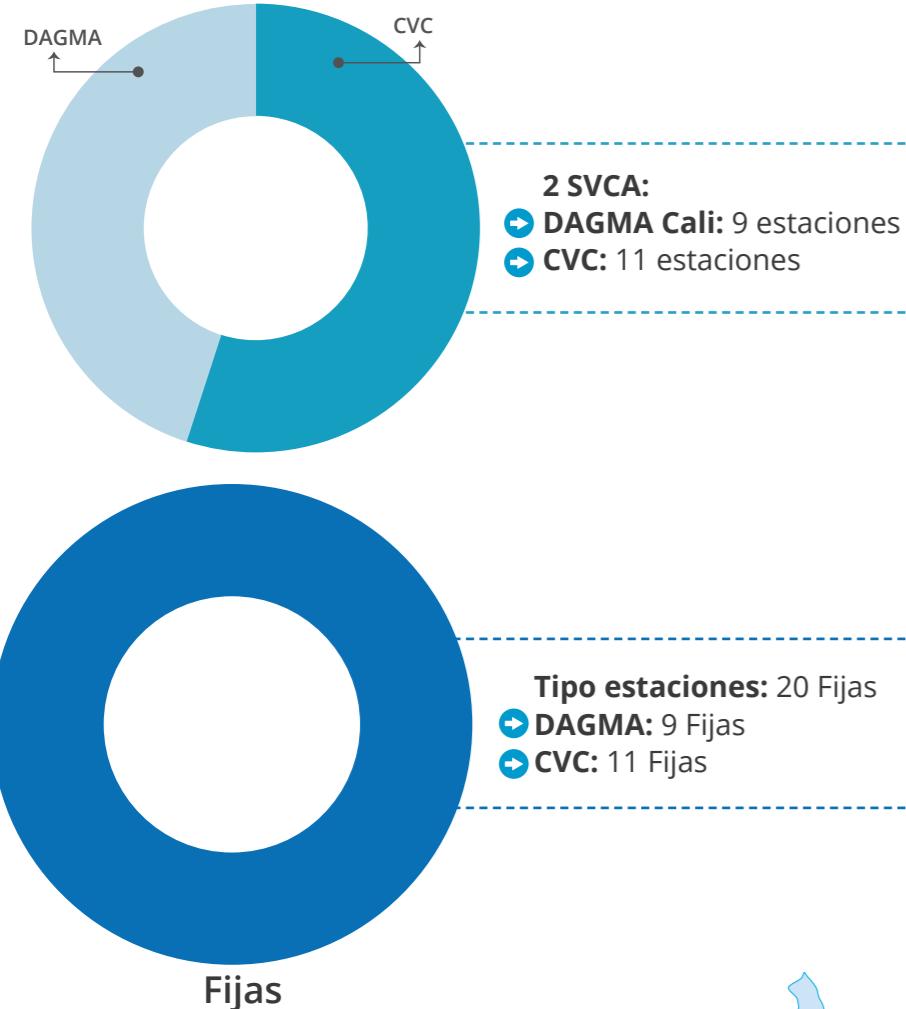
5.12. Departamento del Tolima

Infografía 27. Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento del Tolima



5.13. Departamento del Valle del Cauca

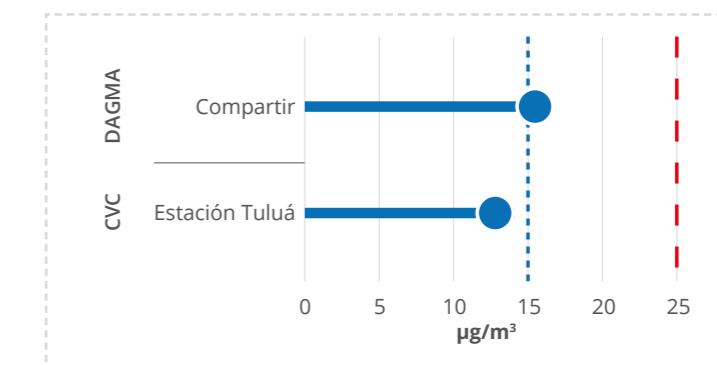
Infografía 26. Estado de la Calidad del Aire Regional – Departamento del Valle del Cauca



Material Particulado Menor a 2,5 micras ($PM_{2,5}$)

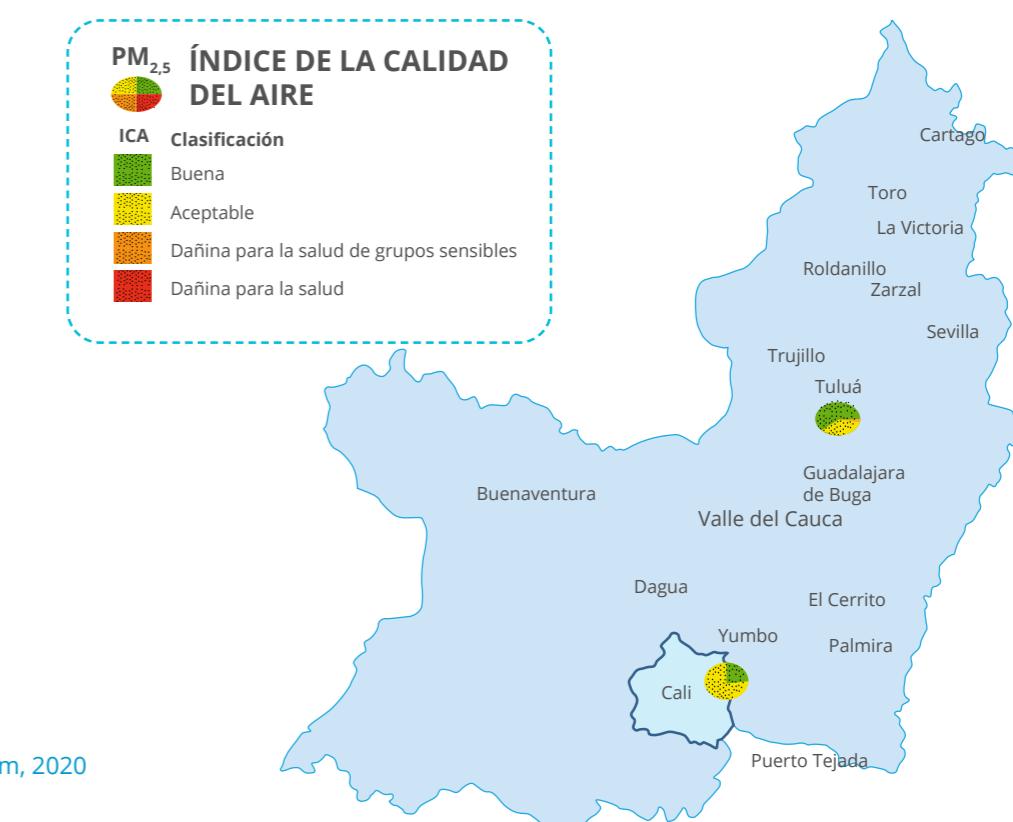
Concentraciones promedio anual

2 estaciones monitorearon el $PM_{2,5}$ cumpliendo con el criterio representatividad temporal. El 100% de estas estaciones cumplió con el límite normativo anual vigente ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). El 50% de estas estaciones cumplió con el límite normativo anual proyectado a 2030.



Índice de la Calidad del Aire - ICA

Los porcentajes de ICA con la categoría aceptable superan el 35%, específicamente en la estación de Compartir se alcanza un valor cercano al 75% y en bajo porcentaje, se alcanzan categorías dañinas a la salud de grupos sensibles o dañinas a la salud.



Capítulo 6

Impacto de las restricciones asociadas a la pandemia por Covid 19 en la Calidad del aire

Fotografía: Adobe Stock





Capítulo de colaboración elaborado por:

María Paula Castillo¹; Edwin Ricardo Sanchez¹; Nathalia Celis²⁻³; Yuri Gonzalez¹⁻¹; Alejandro Casallas¹⁻²⁻⁴; Luis Carlos Belalcazar¹⁻¹

En diciembre del año 2019 se presentaron los primeros contagios por el virus SARS-CoV-2 (Covid-19), en Wuhan, China. El virus se expandió y llegó a Colombia en marzo del 2020, el mismo mes en el cual la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró un estado de pandemia global (2020). A causa de esta alarma y el continuo incremento de los casos de Covid-19, Colombia declaró Estado de Emergencia, decretando aislamiento preventivo obligatorio para todo el país en marzo del mismo año. Los aislamientos y cuarentenas incluyeron el cese de muchas actividades económicas en todo el mundo. Este cese de actividades redujo las emisiones atmosféricas y produjo cambios importantes en la calidad del aire. Por tanto, el año 2020 representa un escenario ideal a nivel mundial para llevar a cabo múltiples estudios en este campo.

Sokhi et al. (2021) realizaron un estudio global para analizar el cambio en la concentración de algunos contaminantes criterio entre los períodos de cuarentena en diferentes países. Los autores encontraron diferentes resultados para el PM_{2,5}. En la mayoría de los países estudiados, la concentración de este contaminante disminuyó (e.g. India, China, Canadá), pero en otros (e.g. Colombia, España) presentó un aumento en las primeras semanas de la cuarentena. Entre las causas se encontró el transporte de partículas hacia el interior de las ciudades, proveniente, por ejemplo, de incendios forestales. En el caso del O₃ se identificaron incrementos significativos en Suramérica (especialmente en Colombia 70%), China y Europa, mientras que se registraron reducciones poco significativas (4%) en Australia y Norteamérica. El comportamiento del ozono se relacionó con una disminución en las emisiones de NO_x, contaminante emitido principalmente por los vehículos.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por CEPAL (2020), que investigó el comportamiento de las concentraciones de PM_{2,5}, NO₂ y SO₂, respecto al año 2019 en las principales ciudades capitales de

Latinoamérica y el Caribe. Los autores encontraron que en la mayoría de las ciudades el NO₂ y SO₂ disminuyeron sobre todo en el inicio de las cuarentenas, mientras que el PM_{2,5} tuvo variaciones tanto positivas como negativas, antes y durante las restricciones. Para el caso de Colombia, Méndez-Espinosa et al. (2020) analizaron el comportamiento de PM₁₀, PM_{2,5} y NO₂ en las ciudades de Bogotá y Medellín, en el primer semestre del 2020. Se halló una disminución de 60% de NO₂, mientras que, para material particulado, la disminución del contaminante se observó unas semanas después de iniciada la cuarentena estricta. Los autores asocian este último efecto con la temporada de incendios forestales presentados frecuentemente en Colombia y Venezuela entre enero y abril. Lo anterior coincide con Rodríguez-Urrego y Rodríguez-Urrego (2020), quienes también reportaron concentraciones de PM_{2,5} significativamente altas en Bogotá en el inicio de la cuarentena, las cuales se relacionaron con los incendios forestales de forma directa.

Si bien se han realizado estudios donde se evalúa el efecto de las cuarentenas en la calidad del aire en algunas regiones de Colombia, son pocos los que se han enfocado en un análisis en todo el país y no solo en sus ciudades principales, incluyendo además otros contaminantes como el O₃. Por tal motivo, en este capítulo se presenta una evaluación del impacto de las restricciones a la movilidad asociadas a la pandemia en la calidad del aire de Colombia en 2020. En esta evaluación se usa información medida en superficie por las estaciones de calidad del aire reportadas al Subsistema de Información sobre la Calidad del Aire (SISAIRE). Con el fin de analizar los cambios de la calidad del aire en todo el país, se utilizó también información satelital y del Servicio de Monitoreo Atmosférico Copernicus - CAMS (Inness et al., 2019). El análisis se enfocó en los contaminantes PM_{2,5} y O₃.

Con el fin de evaluar el impacto de las cuarentenas en la calidad del aire en Colombia, se usaron datos diarios de mediciones en superficie de PM_{2,5} y O₃ entre 2015 y 2020, descargados a través del SISAIRE (ideam, 2018). Adicionalmente, se obtuvieron datos para dos estaciones de fondo de Bogotá (i.e. Kennedy y Centro de Alto Rendimiento), las cuales son representativas de la ciudad. Estos datos fueron obtenidos a través de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB (SDA, 2020). Por otro lado, se descargaron los datos diarios del reanálisis de CAMS (Inness et al., 2019) con una resolución espacial de 0.125°X0.125° de todo Colombia (Lat: 14° a -6°, Lon: -82° a -64°) en el periodo de 2015-2020. CAMS reporta las concentraciones de diversos contaminantes, además de datos meteorológicos (e.g., temperatura, velocidad del viento, punto de rocío), los cuales son generados por medio del acoplamiento entre modelos numéricos (iniciados con datos en superficie), y forzados con mediciones satelitales y mediciones in-situ (Inness et al., 2019).

Tabla 5. Fases y fechas de la cuarentena en Colombia

Fases cuarentena	Fecha
Antes de la Cuarentena	01/01/2020 - 24/03/2020 Periodo antes de la cuarentena
Cuarentena Estricta	25/03/2020 - 10/05/2020 Decreto Nacional 457 de 2020: aislamiento preventivo obligatorio
Cuarentena Parcial	11/05/2020 - 31/08/2020 Reapertura sector industrial y reactivación económica parcial. Se mantiene el aislamiento social
Aislamiento Selectivo	01/09/2020 - 31/12/2020 Inicia la fase de Aislamiento Selectivo y Distanciamiento Individual responsable en todo el país



¹ Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

² Escuela de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, Colombia

³ Università degli Studi di Padova. Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, Padova, Italia

⁴ Earth System Physics, Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy





Los datos de superficie fueron tratados estadísticamente por medio del criterio de Chauvenet (Lishu et al., 2015), aplicado a cada una de las estaciones de monitoreo, y seleccionando aquellas con una representatividad diaria y anual de más del 75%, tanto para el período entre 2015-2019 como para el 2020 (Ideam, 2019). Después de validar los datos para cada estación, se realizó un análisis de compuestos (e.g., Casallas et al. 2021b), calculando el promedio diario (2020) y el promedio diario multianual (2015-2019), con el fin de compararlos y determinar los cambios en la concentración de los contaminantes en los diferentes períodos de cuarentena (**Tabla 5**). Para los datos de reanálisis, se calculó el promedio de cada fase de cuarentena en los dos periodos (i.e., 2020 y 2015-2019). Sin embargo, a causa de la resolución de los datos de CAMS, y que pocos estudios han validado esta información para Colombia (Vargas-González, 2020; Herrera-Torres, 2020), fue necesario evaluarla.

Esta evaluación se realizó comparando los datos del año 2020 de todas las estaciones válidas disponibles a nivel nacional (90 para PM_{2,5} en 31 ciudades y 29 para O₃ en 14 ciudades), con los valores de CAMS para la misma zona geográfica. Para ello, se toman los 4 píxeles más cercanos a la coordenada geográfica de cada estación

y se ponderaron de acuerdo con la distancia que existe entre ellos y la estación. Luego de la ponderación, los datos son interpolados por medio de la Interpolación Ponderada Inversa (IDW), que ha sido previamente validada por otros autores para calidad del aire con el fin de mejorar su resolución (e.g. Mogollon-Sotelo et al., 2020; Vargas-González, 2020; Herrera-Torres, 2020; Casallas et al., 2021a). El resultado del IDW es promediado y comparado con las observaciones de la estación por medio del coeficiente de correlación de Pearson (R) y el Mean Bias (MB), siguiendo a otros autores (e.g., Kumar et al. 2016; González et al. 2018; Casallas et al. 2020; Guevara-Luna et al. 2020; Ballesteros-González et al., 2020; Chaparro y Bustos, 2021).

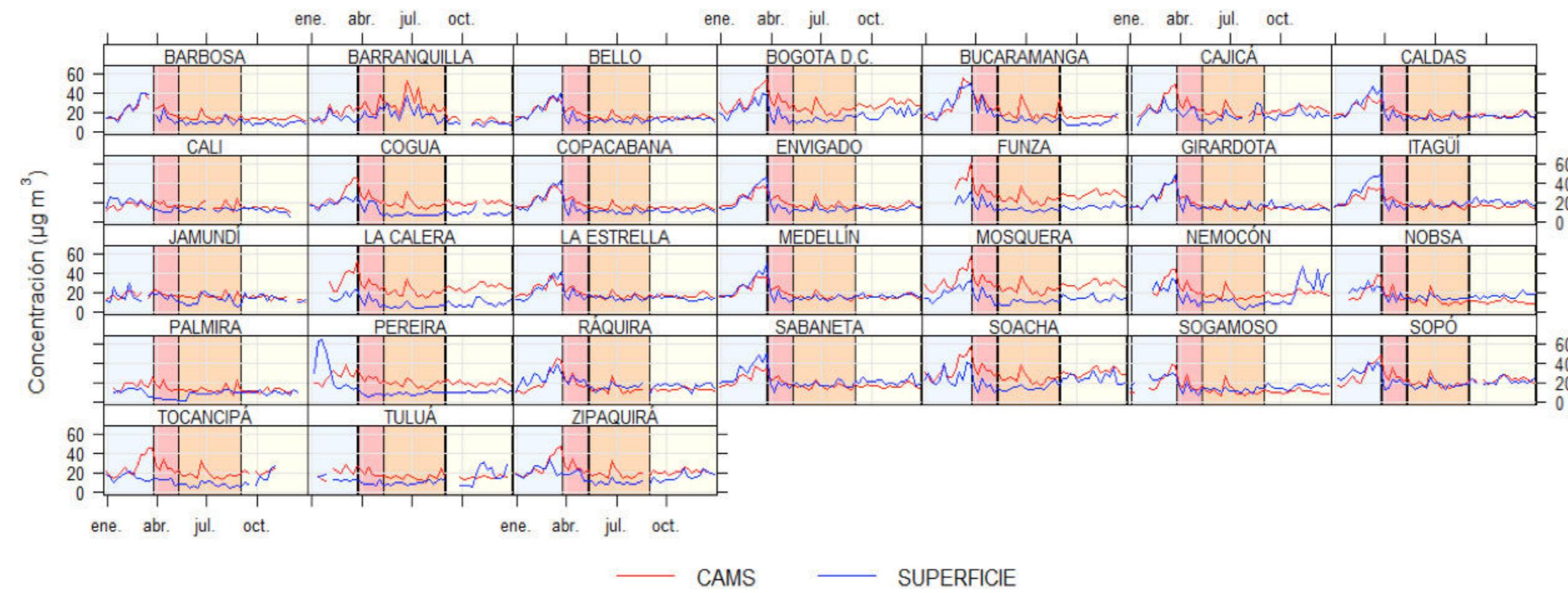
Estudios recientes encontraron que las altas concentraciones de PM_{2,5} están asociadas a las quemas e incendios forestales que ocurren en los primeros meses del año en Colombia (e.g., Méndez-Espinosa et al., 2020). Por lo tanto, con el fin de evaluar si los incrementos previos a las cuarentenas se relacionan con incendios forestales (e.g., Méndez-Espinosa et al., 2020; Sokhi et al., 2021), se usaron los datos del satélite MODIS a través de la plataforma Fire Information for Resource Management System - FIRMS de la NASA que reporta incendios activos y otras anomalías térmicas (NASA, 2021). Los da-

tos fueron descargados para Colombia en el período de 2015-2020 y procesados teniendo en cuenta un mínimo de confiabilidad del 80% (Escobar y Castiblanco, 2021). Después, se calculó el acumulado mensual de incendios forestales en todo el país, con el fin de determinar si en relación con los años anteriores, el año 2020 presentó un mayor número de incendios forestales.

A manera de análisis, se presenta la comparación de concentraciones promedio semanales de PM_{2,5} y O₃, respectivamente, medidas en superficie por las estaciones de calidad del aire disponibles en Colombia en 2020, con los datos del reanálisis de CAMS. El PM_{2,5} presenta un coeficiente de correlación promedio de 0,52±0,20, donde 19 de 31 ciudades presentan un Rho superior a 0,50. El MB promedio fue de 6,3±5,2, indicando que, en la mayoría de ciudades, CAMS sobreestima ligeramente las concentraciones de material particulado. El O₃ presenta un Rho promedio de 0,69±0,20, donde 12 de las 14 ciudades presentan valores superiores a 0,50. En este caso, el MB promedio fue 2,03±6,6, indicando que los datos de reanálisis tienden a sobreestimar las concentraciones de O₃. Estos resultados indican que CAMS reproduce bien las tendencias y los órdenes de magnitud de las mediciones en superficie.



Figura 39. Promedio semanal de PM_{2,5} para el año 2020. Se usan los datos de las ciudades validadas y disponibles (azul) y los datos de reanálisis de CAMS (rojo) para cada fase de la cuarentena





A partir de la información histórica disponible, se seleccionaron dos estaciones de Bogotá (Centro de Alto Rendimiento - CAR y Kennedy), para cada una de las fases de la cuarentena en el año 2020, con respecto al promedio diario multianual (2015-2019) en los mismos períodos. Para PM_{2,5}, el año 2020 presentó concentraciones más bajas a las reportadas en el período de 2015-2019, con excepción de algunos picos registrados en algunos ciclos. En marzo y abril se presentaron concentraciones por encima de los 40 µg/m³, estas altas concentraciones están asociadas a quemas e incendios forestales (e.g., Mendez-Espinosa et al., 2020; Sokhi et al., 2021), como se observa en la figura 39, en marzo y abril de 2020 se presentó un acumulado de puntos calientes que está por encima de los registrados en los 5 años anteriores.

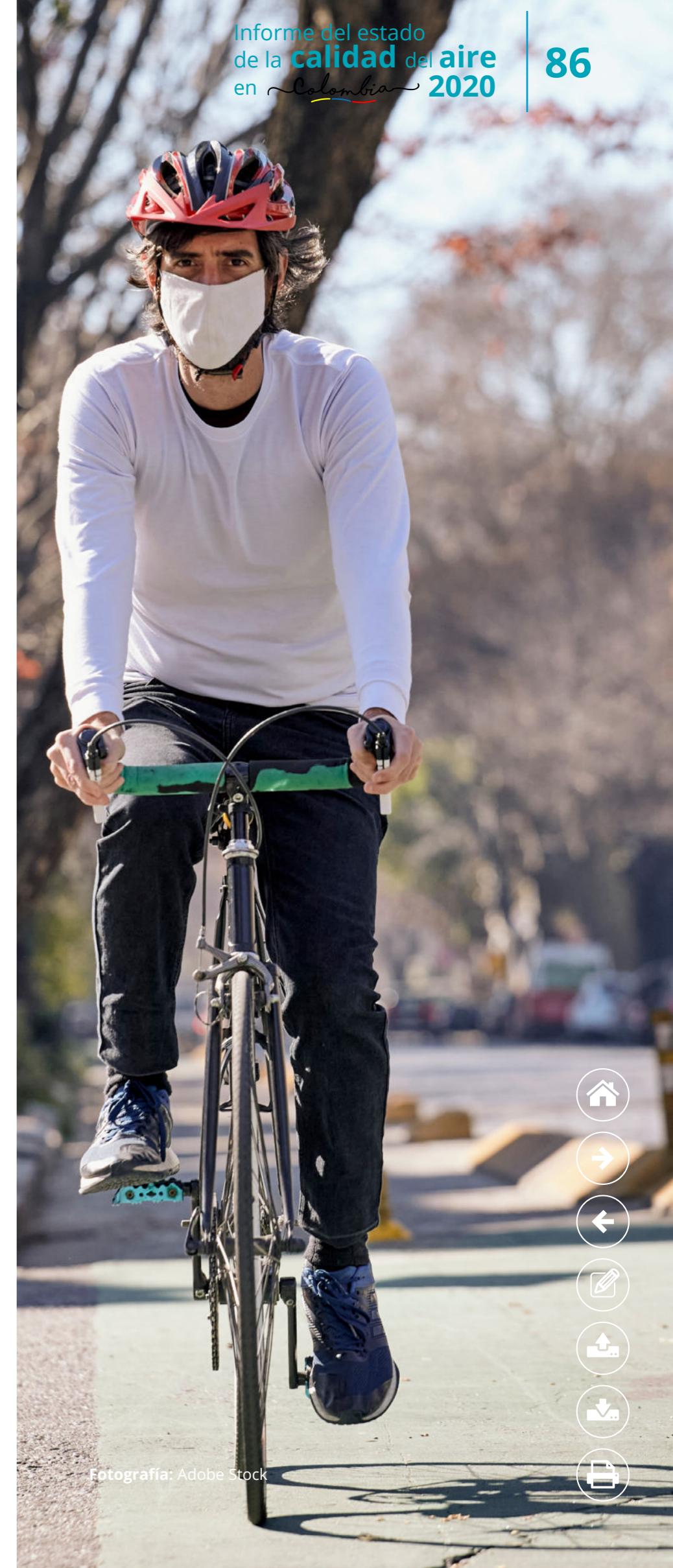
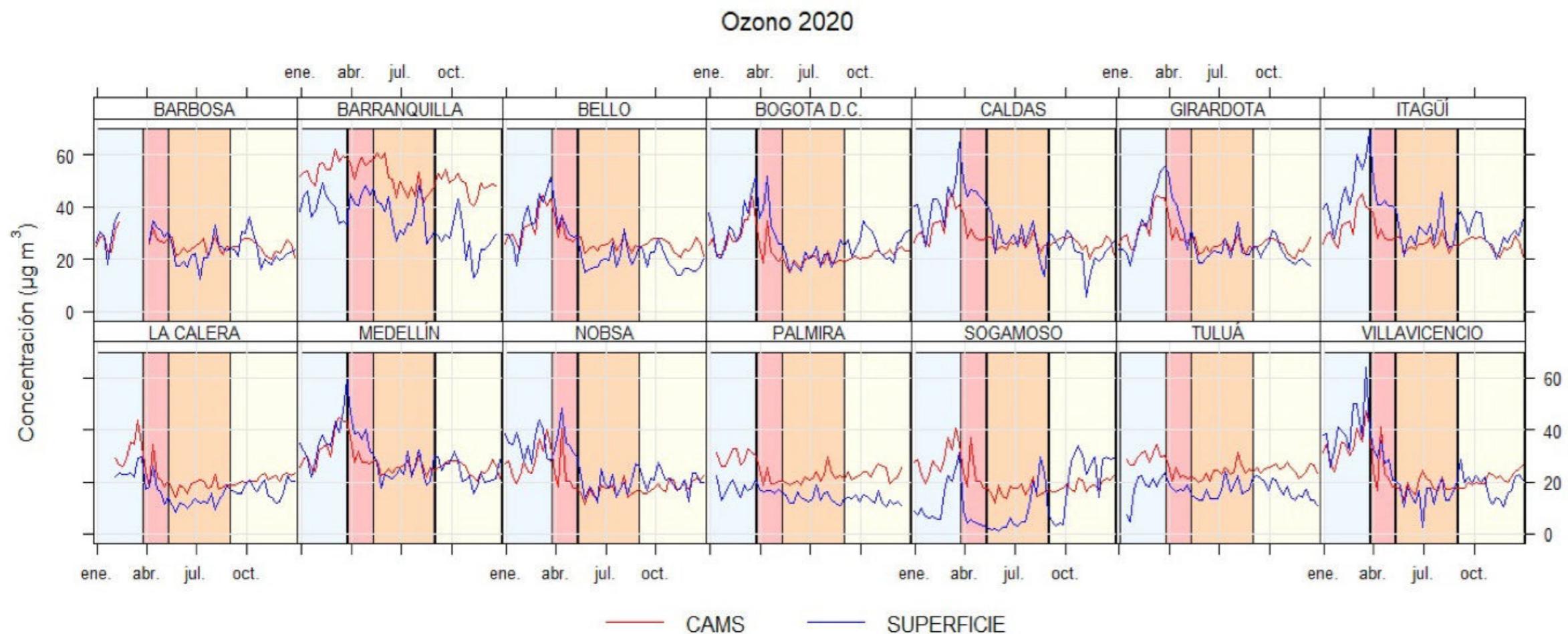
Esta mayor actividad en la quema de biomasa durante estos meses explica las concentraciones más altas de PM_{2,5} registradas en este período. En junio se identificó un pico de concentración de más de 30µg/m³, asociado al transporte de polvo del Sahara y su advección a causa de los vientos Alisios (e.g., Ramírez-Romero et al.,

2021). Antes de la cuarentena, la concentración media de material particulado fue un 6% más baja que la media de los últimos años. Una vez declarada la cuarentena estricta, las concentraciones disminuyeron hasta inicios de junio, alcanzando valores un 30% más bajos que en el mismo período de los años anteriores. En junio de 2020, luego de la cuarentena estricta, las concentraciones de PM_{2,5} en CAR fueron similares a las de los años anteriores. Sin embargo, en Kennedy las concentraciones fueron más bajas que el promedio histórico.

A partir de septiembre de 2020, las concentraciones de PM_{2,5} fueron más bajas que las registradas en los años anteriores, aunque esta diferencia es más notoria en la estación Kennedy, debido posiblemente al menor número de vehículos de transporte público y privado, que son la principal fuente de emisión del contaminante (e.g. Castillo-Camacho et al., 2020). El comportamiento que presentó el PM_{2,5} en estas dos estaciones es similar al observado en otras estaciones de la RMCA.



Figura 40. Promedio semanal de O₃ para el año 2020. Se usan los datos de las ciudades validadas y disponibles (azul) y los datos de reanálisis de CAMS (rojo) para cada fase de la cuarentena



Fotografía: Adobe Stock



En el 2020 se registraron concentraciones más altas de O_3 a las reportadas en el periodo 2015-2019, especialmente entre los meses de febrero y junio (**Figura 41**). En el tiempo previo a la cuarentena, se observan incrementos considerables (52%) posiblemente a causa del aumento de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) en la atmósfera generado por los incendios forestales (**Figura 42**) (e.g., Jiang, 2004; Evtyugina et al., 2013; Cooper et al., 2014). Durante la cuarentena estricta, los niveles de ozono fueron incluso más altos (91%) en las dos estaciones evaluadas. Esto se debe principalmente a la reducción de las emisiones de NO_x asociadas a las restricciones a la movilidad (Deroubaix et al., 2021).

Lo cual genera un exceso de ozono que no reacciona en el proceso de descomposición de los óxidos de nitrógeno en la atmósfera (Sun et al., 2014; Lee et al., 2021). Durante la cuarentena parcial, los niveles de ozono se mantienen elevados (39%) en la estación de Kennedy, mientras que para la estación de CAR las concentraciones de O_3 son similares al promedio de los años anteriores. En el periodo de aislamiento preventivo se presenta un incremento (42%) en los niveles de ozono, comparados con el periodo 2015-2019, lo cual puede deberse al régimen de COVs en la ciudad de Bogotá (Evtyugina et al., 2013).

Figura 41. Promedio diario anual (rojo) y multianual (azul) para la estación de Centro de Alto Rendimiento (izquierda) y Kennedy (derecha) para (a) $PM_{2.5}$ y (b) O_3 en cada fase de la cuarentena

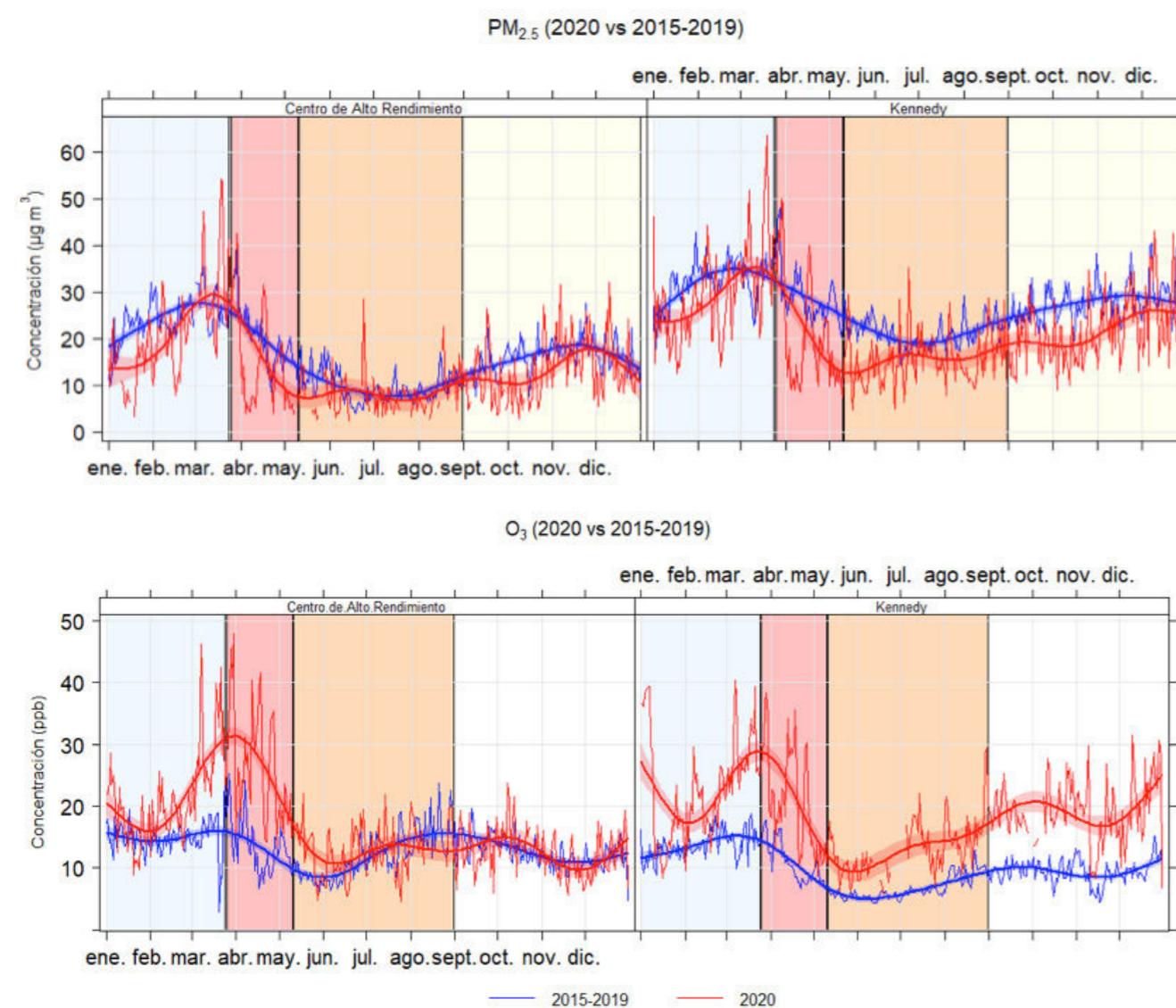
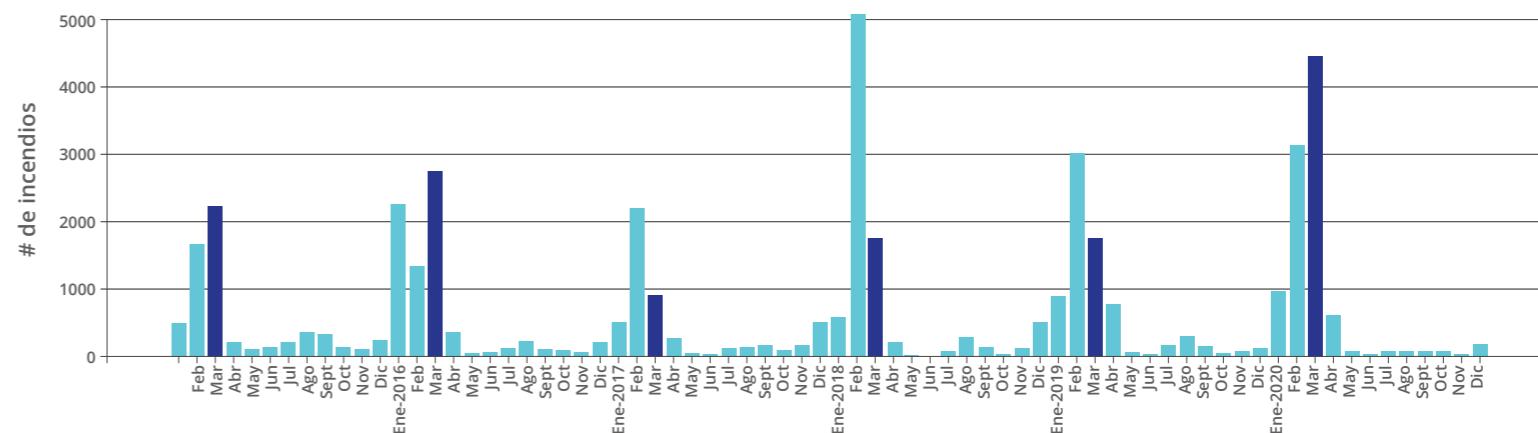


Figura 42. Número de puntos calientes acumulados mensuales en Colombia de 2015 a 2020. (MODIS)



Las **Figuras 43 y 44** muestran los datos de reanálisis de CAMS en todo el país en los diferentes periodos de cuarentena, para el $PM_{2.5}$ y el O_3 , respectivamente. En cuanto al material particulado, durante el 2020, antes de la cuarentena (**Figura 43 B**) el contaminante presentó valores más altos ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en comparación con 2015-2019 (**Figura 43 A**), especialmente en la zona norte, sur y suroccidental del país, lugares que además coinciden con aquellos en donde se produce el mayor número de incendios (e.g., Armenteras et al. 2005, Armenteras et al., 2009, Córdoba y Sánchez, 2020). En la cuarentena estricta, los valores de $PM_{2.5}$ (**Figura 43 C-D**) fueron mayores en la zona norte y centro del país ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Por ejemplo, Bogotá, muestra un alto incremento de material particulado, que coincide con la **Figura 41**. Como se mencionó, este incremento está asociado al alto número de incendios forestales a lo largo del país producidos en marzo de 2020 (**Figura 42**), que también es reportado por otros autores (e.g., Méndez-Espinosa et al. 2020; Sokhi et al. 2021).

En la cuarentena parcial (**Figura 43 E-F**), las concentraciones son menores ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) durante el 2020 en contraste 2015-2019 a lo largo del país. En este periodo la zona norte (i.e., Guajira, San Andrés y Providencia) presentó un aumento considerable ($27 \mu\text{g}/\text{m}^3$), posiblemente a causa del arrastre de partículas provenientes del Sahara, las cuales llegaron a Colombia en junio, afectando principalmente la zona norte del país (Ideam, 2020). En el último periodo (**Figura 43 G-H**), en todo el país no se evidencia un cambio significativo entre los dos periodos (disminución de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

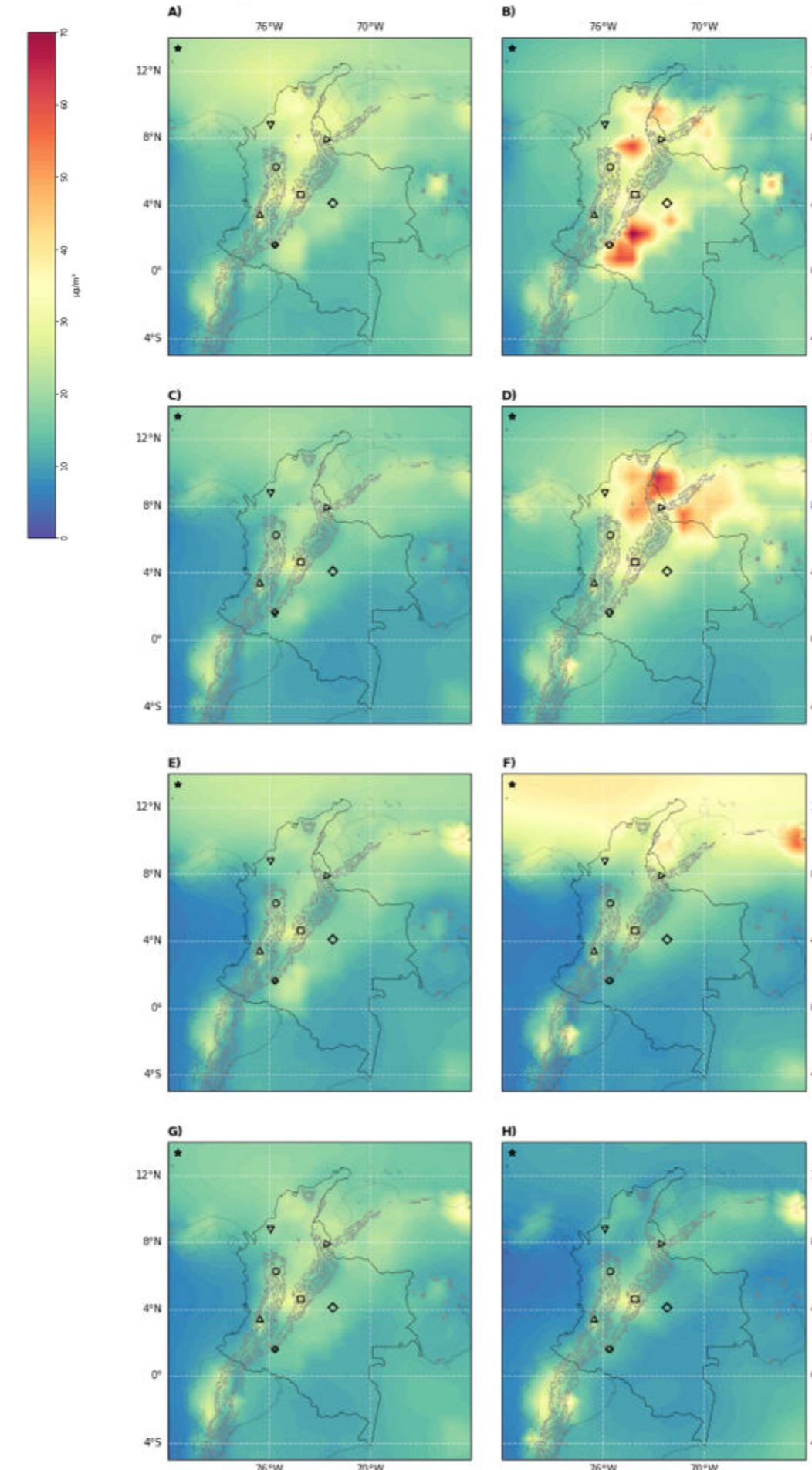
En cuanto al O_3 (**Figura 44**), 2020 presenta valores más altos que el promedio reportado en 2015-2019 en la zona norte del país antes y durante la cuarentena estricta. Montería y el Caribe colombiano, antes de la cuarentena (**Figura 44 B**) presentaron concentraciones más altas ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Durante la cuarentena estricta (**Figura 44-D**), en 2020 se observa el aumento de O_3 en la zona norte, al igual que en el oriente (i.e. Puerto López) y en Bogotá, posiblemente debido a la disminución de NO_x y a anomalías positivas de radiación UV (Fountoulakis, 2019; Sokhi et al. 2021). Por su parte, en los dos últimos periodos (Cuarentena parcial y Aislamiento Selectivo; **Figura 44 E-F** y **G-H**, respectivamente) el comportamiento del ozono es similar al promedio 2015-2019, sugiriendo que las medidas adoptadas en estos periodos no tienen una influencia significativa en el comportamiento del ozono.





Fotografía: Adobe Stock

Figura 43. Concentraciones de PM_{2,5} tomadas del reanálisis de CAMS. Promedios de 2015 a 2019 (izquierda) y promedios de 2020 (derecha). Antes de cuarentena (A-B), cuarentena estricta (C-D), cuarentena parcial (E-F) y aislamiento selectivo (G-H). Los marcadores representan los centros poblados de mayor contaminación en Colombia



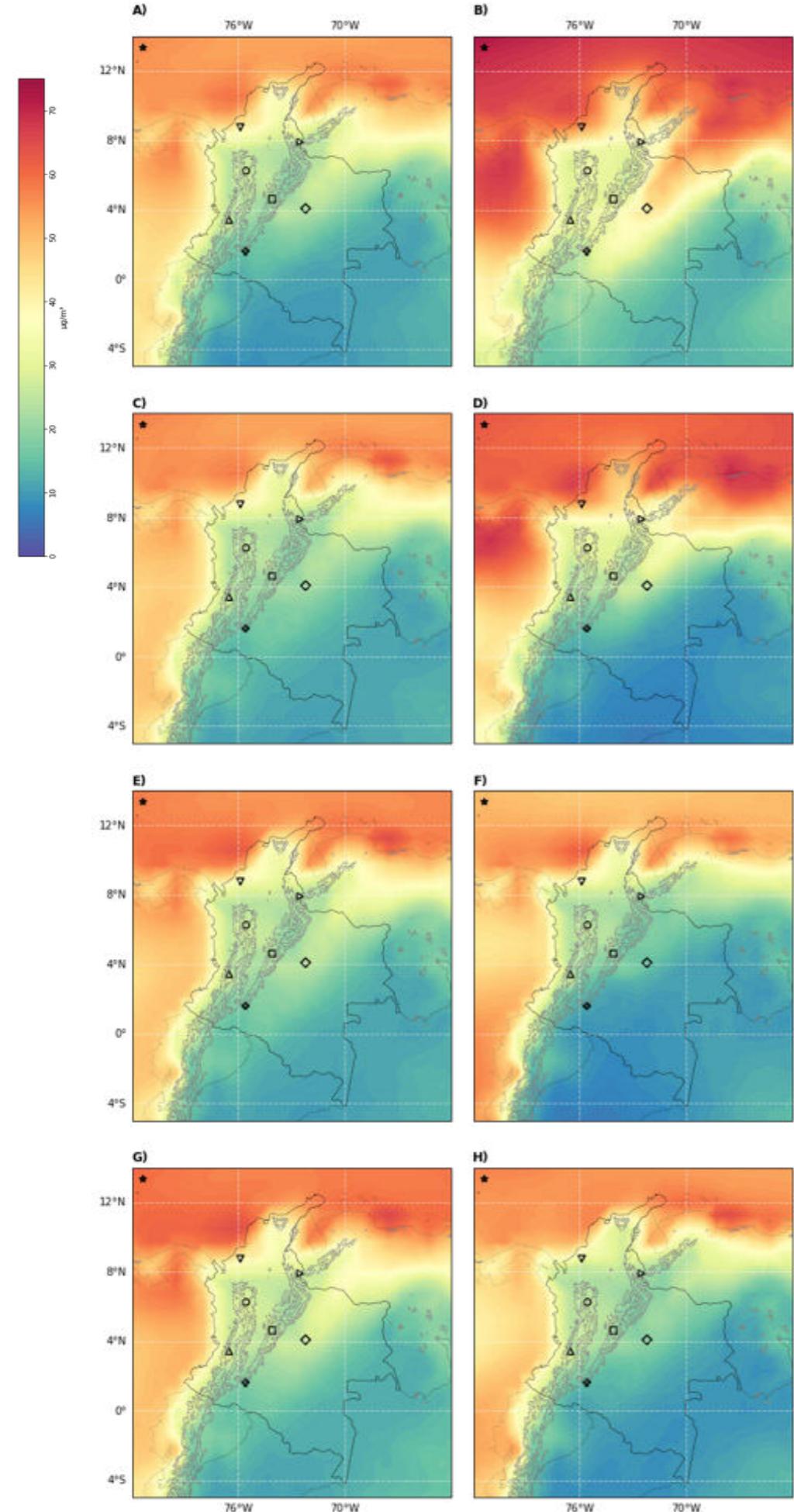
El año 2020 presentó un escenario ideal a nivel mundial para llevar a cabo múltiples estudios de calidad del aire, pues la mayoría de las fuentes generadoras de contaminantes atmosféricos redujeron sus emisiones. A partir del análisis histórico, se encontró que, en enero y febrero en algunas regiones como La Guajira y San Andrés, el PM_{2,5} presentaron concentraciones menores que los años anteriores. Sin embargo, en febrero y en especial a finales de marzo, cuando la cuarentena estricta fue establecida, las concentraciones de este contaminante aumentaron, el análisis indica que es causado por una temporada más intensa de quemas e incendios forestales.

Al final de la cuarentena estricta se registró un descenso de las concentraciones de PM_{2,5}, que coincide con la reducción del número de incendios forestales en el país, llegando a valores por debajo del promedio de los últimos años. Este comportamiento se mantuvo durante el resto del año, con algunas excepciones. A finales de junio se presentó un pico de concentración que está asociado a una intrusión de polvo del Sahara en el territorio colombiano. Por otro lado, en 2020 se observó un incremento significativo de las concentraciones de O₃. Este crecimiento es más notorio a principio de año posiblemente debido a incrementos de las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), a anomalías positivas en la radiación UV y a reducciones significativas de las emisiones de NO₂ (Jiang, 2004; Evtugina et al., 2013; Cooper et al., 2014; Fountoulakis, 2019).

□	Bogotá	▲	Cali	▼	Montería	►	Cúcuta
○	Medellín	★	San Andrés	◆	Florencia	▷	P. López



Figura 44. Concentraciones de O_3 tomadas del reanálisis de CAMS. Promedios de 2015 a 2019 (izquierda) y promedios de 2020 (derecha). Antes de cuarentena (A-B), cuarentena estricta (C-D), cuarentena parcial (E-F) y aislamiento selectivo (G-H). Los marcadores representan los centros poblados de mayor contaminación en Colombia



El comportamiento de los contaminantes en un escenario de bajas emisiones antropogénicas demuestra que las emisiones de fuentes fijas y móviles no son las únicas que impactan directamente en los niveles de contaminación. Hay otras fuentes que generan contaminantes y que bajo ciertas condiciones meteorológicas y en algunas épocas del año, pueden deteriorar la calidad del aire de Colombia. El transporte de contaminantes desde regiones apartadas hacia las ciudades es también un factor importante a tener en cuenta. Estos resultados indican que los estudios de calidad del aire y políticas gubernamentales deben incluir planes y programas de prevención de incendios forestales.

En relación con el acceso a los datos de monitoreo en superficie de los contaminantes atmosféricos, a pesar de que Colombia cuenta con el SVCA en diferentes regiones del país, hay zonas que no cuentan con ningún sistema de vigilancia o que no miden todos los contaminantes criterio. Cabe resaltar que el servicio de monitoreo CAMS reproduce bien las tendencias y los órdenes de magnitud de las concentraciones de $PM_{2.5}$ y O_3 registradas por las estaciones de monitoreo en superficie. Por tal motivo, se concluye que CAMS puede ser usado como fuente de información en regiones donde no se cuenta con monitoreos en superficie de estos dos contaminantes.



□	Bogotá	△	Cali	▽	Montería	▷	Cúcuta
○	Medellín	*	San Andrés	◆	Florencia	◊	P. López



Capítulo 7

Evaluación de los indicadores de seguimiento y cumplimiento

Fotografía: Adobe Stock





Los resultados del monitoreo y seguimiento de los contaminantes criterio permiten evaluar la calidad del aire y verificar el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente (Resolución 2254 del 1º de noviembre de 2017). Por su parte, los indicadores de seguimiento y cumplimiento orientan hacia la definición y evaluación de programas regionales de prevención y control de la contaminación atmosférica, así como la toma de decisiones en materia de calidad del aire y la formulación de las diferentes estrategias y políticas nacionales.

En Colombia, para tal fin se tienen establecidos tres indicadores: el de seguimiento a la Política de prevención y control de la contaminación del aire, el de cumplimiento de la meta del Plan Nacional de Desarrollo (PND) y el de cumplimiento de las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).



Figura 45. Indicadores de seguimiento y cumplimiento nacionales



Indicador de seguimiento

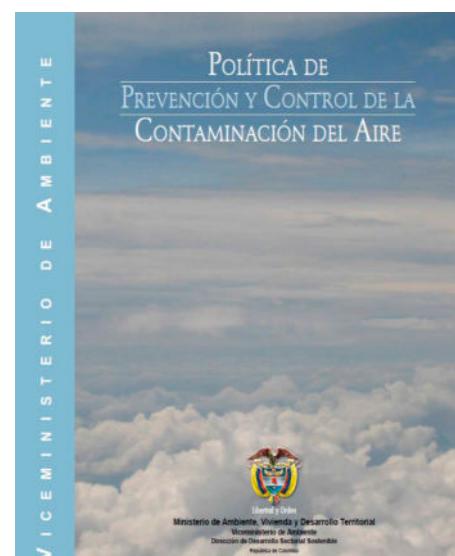
Porcentaje de estaciones que refieren cumplimiento de la norma

Indicador de cumplimiento

Meta del PM₁₀ al año 2022

Indicador de cumplimiento

Meta ODS 3.9 y 11.6 de PM₁₀ y PM_{2,5} al año 2030



El indicador de seguimiento a la Política de Prevención y Control de la Contaminación del aire está determinado por el porcentaje de estaciones de monitoreo que indican conformidad normativa para todos los contaminantes que miden.



El indicador de cumplimiento del Plan Nacional de Desarrollo se elaboró con respecto al indicador de cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), fijando una meta para el período de vigencia del plan (2018-2022) y considerando únicamente el material particulado menor a 10 micras -PM₁₀, este indicador se evalúa anualmente, y considera el estado de cumplimiento de la meta de PM₁₀ al año 2022, que corresponde al 35% de las estaciones reportando concentraciones inferiores a 30 µg/m³ (Objetivo Intermedio 3 de la Organización Mundial de la Salud) y que cumplan con una representatividad igual o mayor al 75%.



El indicador de cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 3.9 y 11.6 evalúan el grado de cumplimiento de las metas de PM₁₀ y PM_{2,5} proyectadas al año 2030. Estos dos últimos indicadores están orientados al cumplimiento del Objetivo Intermedio 3 de las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud.



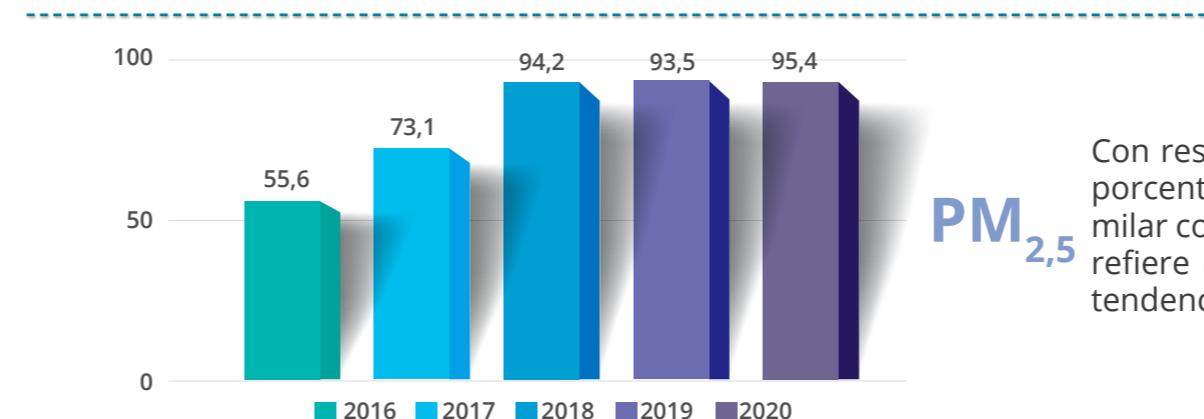
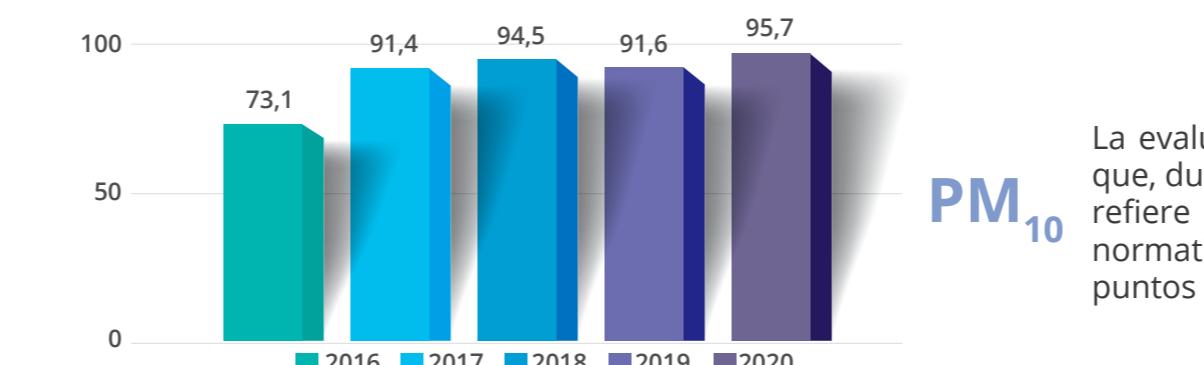
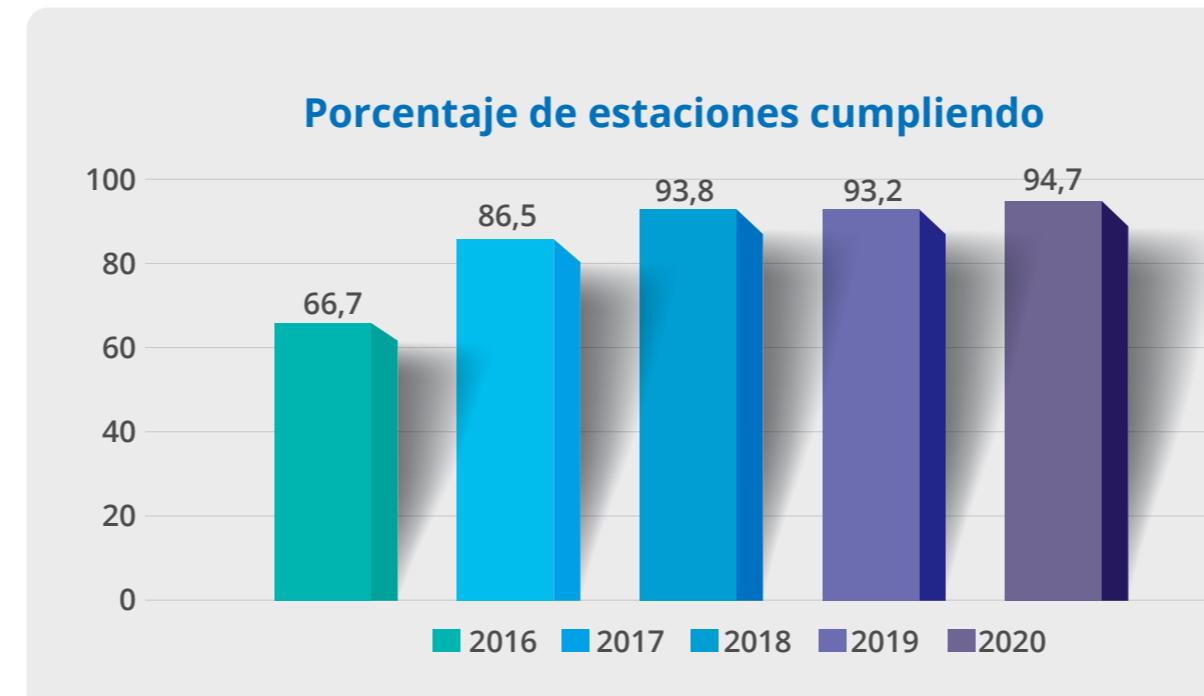
Infografía 29. Evolución del indicador de seguimiento a la política de prevención y control de la contaminación del aire, años 2016 – 2020

7.1. Indicador de seguimiento a la política de prevención y control de la contaminación del aire

En el año 2010, el Consejo Nacional Ambiental adoptó 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 del 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 incumplía la norma en alguno de los parámetros evaluados, dicha estación no entra en el conteo.

Este indicador de seguimiento a la Política de prevención y control de la contaminación del aire mide el porcentaje de estaciones de los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire operados por las autoridades ambientales regionales y urbanas del país que cumplen con:

- ✓ El criterio de representatividad temporal de los datos ($\geq 75\%$).
- ✓ La norma anual de calidad del aire para los parámetros que monitorean.



Teniendo en cuenta el comportamiento general de los contaminantes criterio evaluados durante el año 2020, este indicador de seguimiento permite destacar que el 94,7% de las estaciones de monitoreo de los SVCA, para cada uno de los parámetros que monitorean, reportan cumplimiento de los respectivos niveles máximos permisibles anuales regulados por la Resolución 2254 de 2017.

En comparación con el año inmediatamente anterior, el porcentaje de estaciones que reporta conformidad normativa aumentó considerablemente, pasando de un 93,2% a un 94,7%. Lo que permite valorar el crecimiento de la capacidad técnica de las autoridades ambientales del país, frente a la gestión de la calidad del aire, específicamente en temas relacionados con el control de la contaminación atmosférica y control de emisiones.

La evaluación de este indicador a escala nacional permite señalar que, durante el año 2020, el material particulado menor a 10 micras refiere un porcentaje de estaciones en situación de conformidad normativa correspondiente al 95,7%, reflejando un aumento de 4 puntos porcentuales con respecto al año inmediatamente anterior.

Con respecto al particulado menor a 2,5 micras, durante el 2020 el porcentaje de estaciones que reporta satisfacción normativa es similar con respecto al de PM_{10} , esto ya que el 95,4% de las estaciones refiere esta condición. Adicionalmente, se destaca nuevamente la tendencia al aumento con respecto al año 2019.

El comportamiento de esta variable en el país es bastante estable, ya que en la mayoría de años en consideración (exceptuando únicamente 2017), las estaciones evaluadas reportan cumplimiento normativo.



7.2. Indicador de cumplimiento de la meta del Plan Nacional de Desarrollo

El indicador del PND mide el porcentaje de estaciones de los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire operados por las autoridades ambientales regionales y urbanas del país que cumplen con: 1) El criterio de representatividad temporal de los datos ($\geq 75\%$), 2) El objetivo intermedio 3 de las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en material particulado inferior a 10 micras ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La meta al año 2022 es pasar de 22% a 35% de estaciones cumpliendo; en este sentido, se observa que durante el periodo 2018-2020 se presentó un aumento del 3,7% de estaciones que cumplen dicha meta, alcanzándose para el año 2020 un porcentaje de 34,8%, que se encuentra bastante próximo al 35% proyectado para 2022 (ver Figura 46).



Figura 46. Indicador de Plan Nacional de Desarrollo

PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2018 - 2022

OBJETIVO 1
Actividades productivas comprometidas con la sostenibilidad y la mitigación del cambio climático

OBJETIVO 2
Mejoramiento de la calidad del aire, del agua y del suelo

Pacto por Colombia pacto por la equidad

OBJETIVO 3
Acelerar la economía circular como base para la reducción, reutilización y reciclaje de residuos

OBJETIVO 4
Desarrollar nuevos instrumentos financieros, económicos y de mercado

META 2022

Para PM₁₀ pasar de 22% al 35% de las estaciones cumpliendo con el objetivo intermedio 3 de las Guías de Calidad del Aire de la OMS



El criterio de representatividad temporal de los datos ($\geq 75\%$).



El objetivo intermedio 3 de las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en material particulado inferior a 10 micras ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



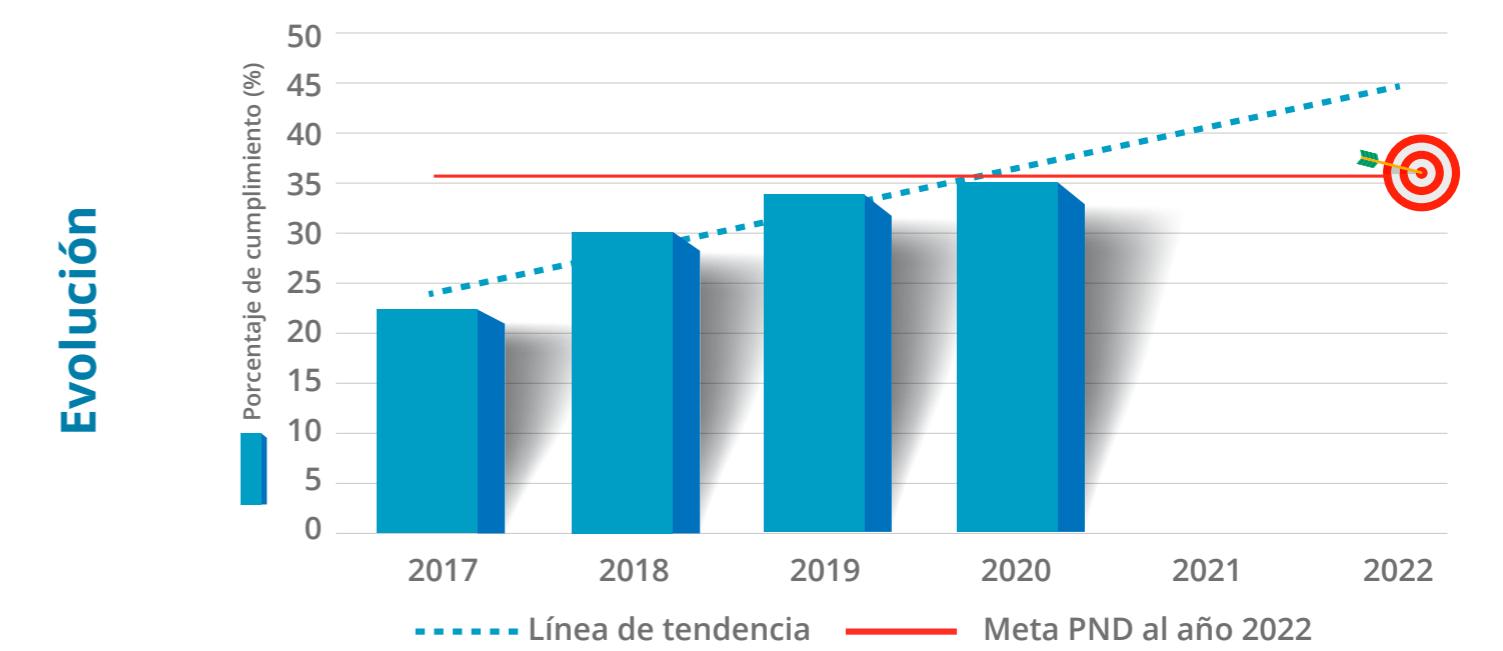
La meta al año 2022 es alcanzar el 35% de estaciones

Fuente: Ideam, 2020



Tabla 6. Evolución del indicador del Plan Nacional de Desarrollo - PM₁₀, años 2017-2020

Año / Parámetro	Porcentaje de cumplimiento	Número de estaciones	Meta PND al año 2022
2017	22	18	
2018	30,1	22	
2019	33,7	28	
2020	34,8	24	35%



Fuente: Ideam, 2020

En la **Tabla 6** se puede observar la evolución del indicador del Plan Nacional de Desarrollo, el cual inició su seguimiento en el 2017 con un 22% de estaciones cumpliendo con el objetivo intermedio 3 de la OMS, evidenciándose que a través de los años se presenta un comportamiento ascendente gradual, es así que, para el año 2020 se obtuvo un incremento consistente con la tendencia de los años anteriores, alcanzando un 34,8% de estaciones que aportan al indicador nacional, lo que refleja un porcentaje mínimo faltante para dar cumplimiento a la meta del Plan Nacional de Desarrollo enfocada al mejoramiento de la calidad del aire.

De seguir la tendencia observada durante estos 4 años, en el 2022, se espera lograr hasta un 45% de estaciones que cumplan con esta meta, y de esta manera superar por 15 puntos porcentuales de la meta fijada.





7.3. Indicador de cumplimiento de la meta de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son el producto de un consenso general en torno a un marco medible para alcanzar niveles mínimos que garanticen la prosperidad, el bienestar de las personas y la conservación del ambiente. Por ello, el Gobierno nacional a través del CONPES 3918 de 2018, estableció las metas y estrategias para el cumplimiento los ODS para el año 2030. Los ODS 3.9 (Salud y Bienestar) y 11.6 (Ciudades y Comunidades Sostenibles), hacen especial referencia a la temática de calidad del aire (ver Figura 47).

En la **Tabla 7** se puede observar la evolución del indicador de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, el cual inició su seguimiento en el 2017 para material particulado menor a el 2,5 micras con un 23,1% de estaciones cumpliendo con el objetivo intermedio 3 de la OMS y para material particulado menor a 10 micras con un 22% de estaciones cumpliendo tal referente. Como se puede observar en la tabla en mención, el PM₁₀ presenta un comportamiento ascendente a lo largo de los cuatro años evaluados (2017-2020), reportando para el año 2020 un incremento cercano al 1% de las estaciones, denotándose un ajuste gradual a la meta del 70% proyectada al año 2030.

Por su parte, el PM_{2,5} durante los primeros tres años evaluados (2017-2019) reflejó igualmente un comportamiento gradualmente creciente, mientras que, durante el año 2020, con respecto al año 2019 se presenta una disminución en el porcentaje de cumplimiento de casi 7 puntos porcentuales. En este sentido, es importante aclarar que para el año 2020 este contaminante presentó un aumento significativo en número total de estaciones por lo que en términos porcentuales este indicador evidencia un valor inferior con respecto a los demás años. No obstante, si se compara con respecto al número de estaciones, en el año 2020 se ve reflejado un comportamiento ascendente, alcanzándose para este año el mayor número de estaciones cumpliendo. Por último, cabe resaltar que la línea de tendencia para estos dos contaminantes particulados sugiere un cumplimiento anticipado de la meta fijada a 2030, por lo que se espera su cumplimiento en el año 2028.



Figura 47. Indicador de los objetivos de desarrollo sostenible

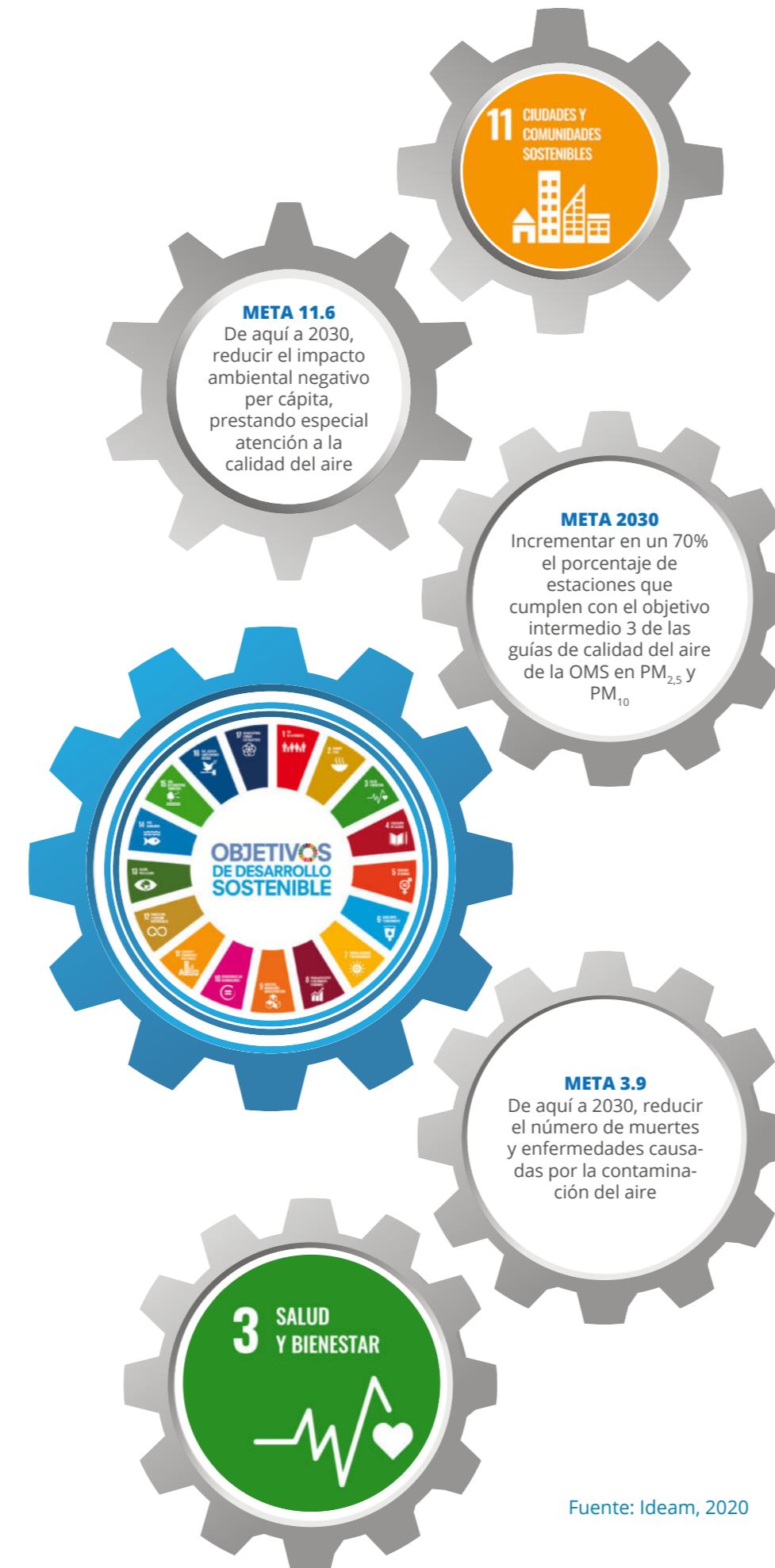


Tabla 7. Evolución del indicador de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, PM₁₀ y PM_{2,5}, Años 2017-2020

Año / Parámetro	Porcentaje de cumplimiento	Número de estaciones	Meta ODS al año 2030
PM ₁₀	22	18	70%
	30,1	22	
	33,7	28	
	34,8	24	
PM _{2,5}	23,1	6	70%
	35,3	18	
	39,1	18	
	32,3	21	

Evolución

Fuente: Ideam, 2020

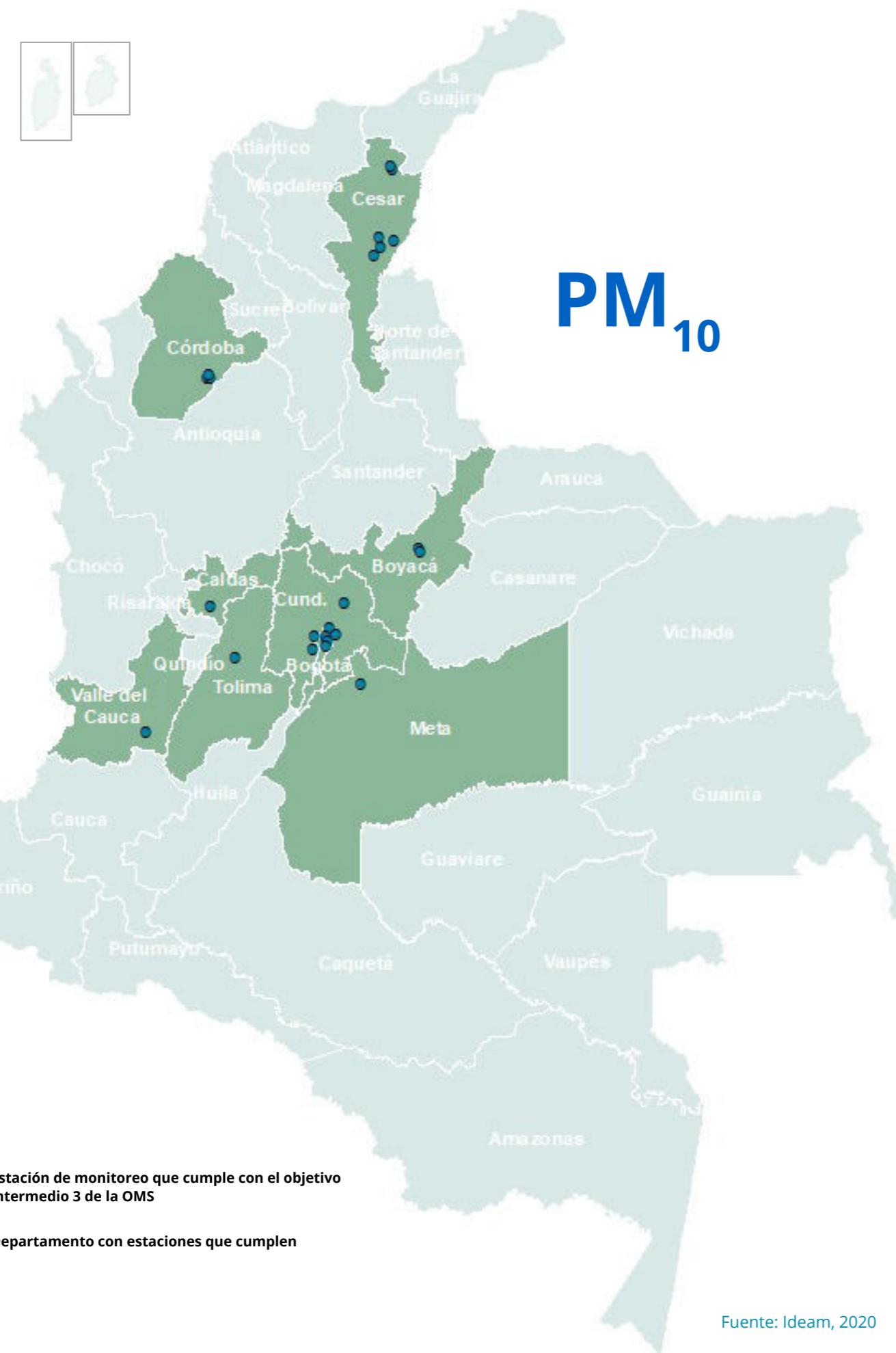
Este indicador de seguimiento a la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire mide el porcentaje de estaciones de los Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire operados por las autoridades ambientales regionales y urbanas del país que cumplen con:

- El criterio de representatividad temporal de los datos ($\geq 75\%$).
- El objetivo intermedio 3 de las Guías de Calidad del Aire de la OMS en PM₁₀ ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y PM_{2,5} ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- La meta al año 2030 es alcanzar el 70% de estaciones cumpliendo.



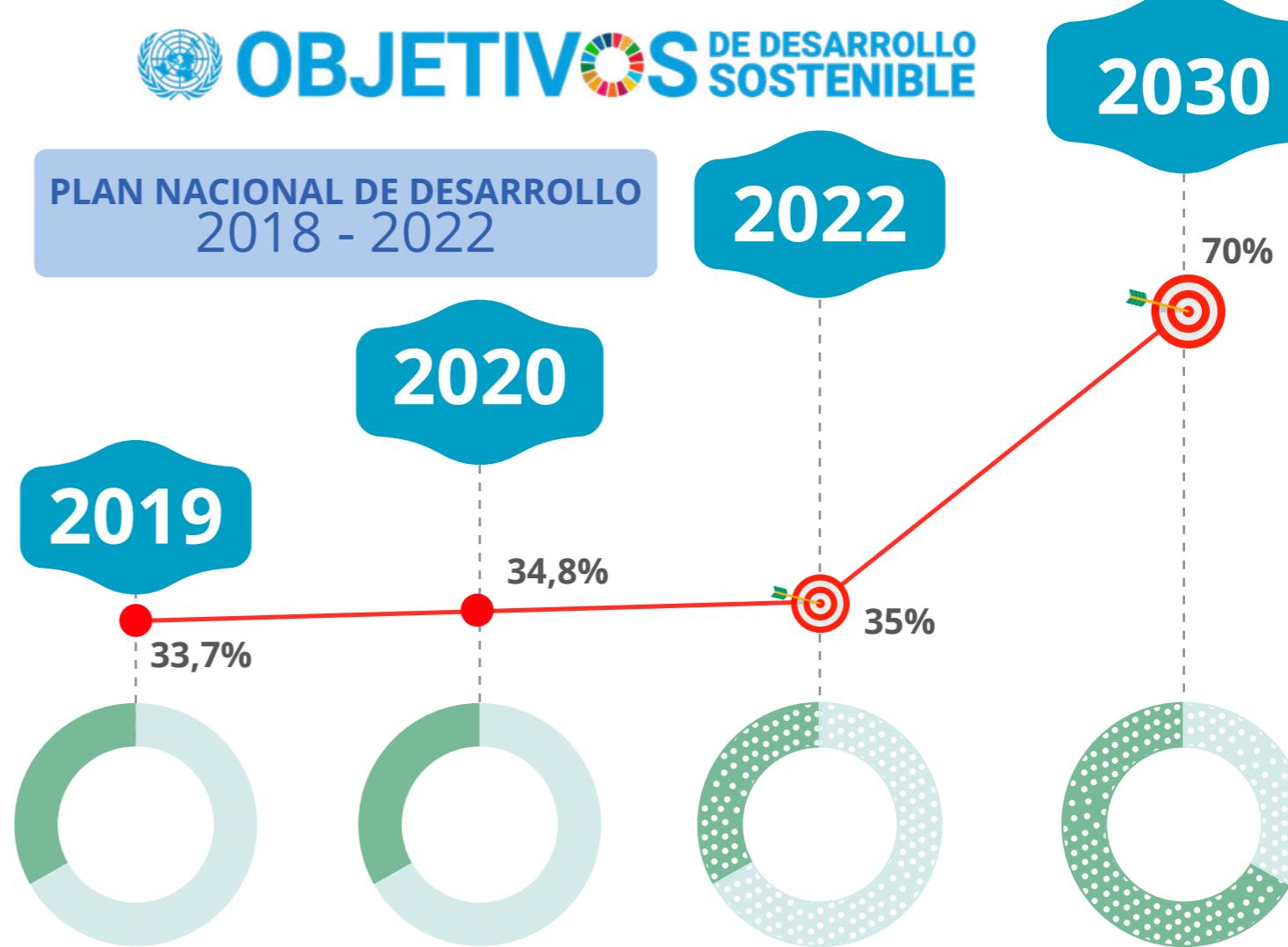


Infografía 30. Estaciones de monitoreo de PM₁₀ que cumplen con el objetivo intermedio 3 de las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud, año 2020



OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

PLAN NACIONAL DE DESARROLLO
2018 - 2022

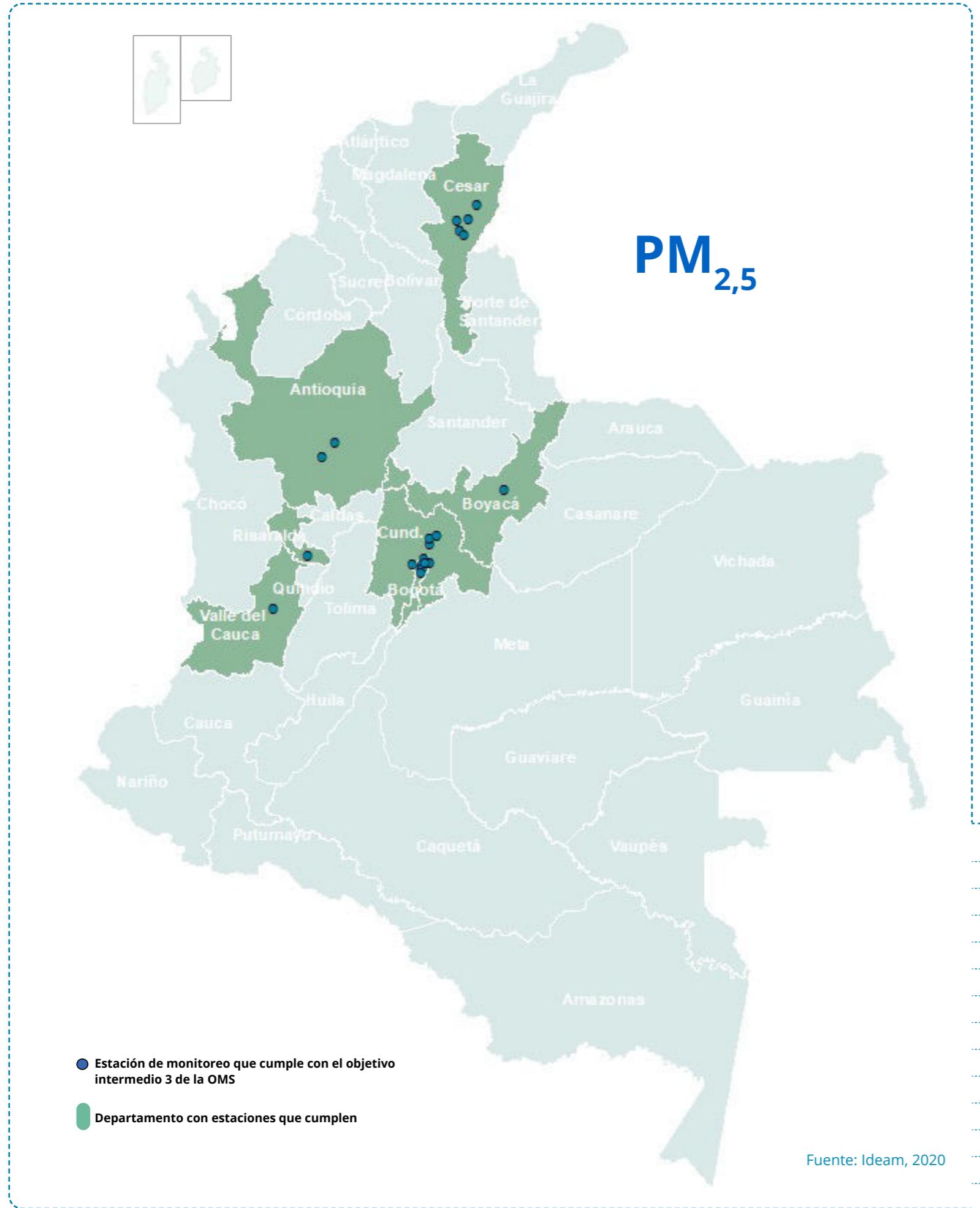


SVCA	Estaciones que cumplen con el objetivo intermedio 3 de la OMS, año 2020	No. Estaciones
SDA	C. Alto Rendimiento, Guaymaral, Las Ferias, Minambiente, San Cristóbal	5
BOGOTÁ, D.C.		
CORPOBOYACÁ	Bomberos, El Recreo	2
CALDAS	Licorera	1
CESAR		
CORPOCESAR	Corpocesar, Bomberos, Boquerón, La Palmita, La Victoria, Rincón Hondo, Seminario	6
CÓRDOBA		
CVS	Balsilla, Puerto Colombia, Tornoroto	3
CUNDINAMARCA		
CAR	Car, Alcaldía, Los Sauces, Sena, Urbano Nemocón	4
META		
CORMACARENA	Catumare	1
TOLIMA		
CORTOLIMA	Cortolima	1
VALLE DEL CAUCA		
CVC	Móvil	1

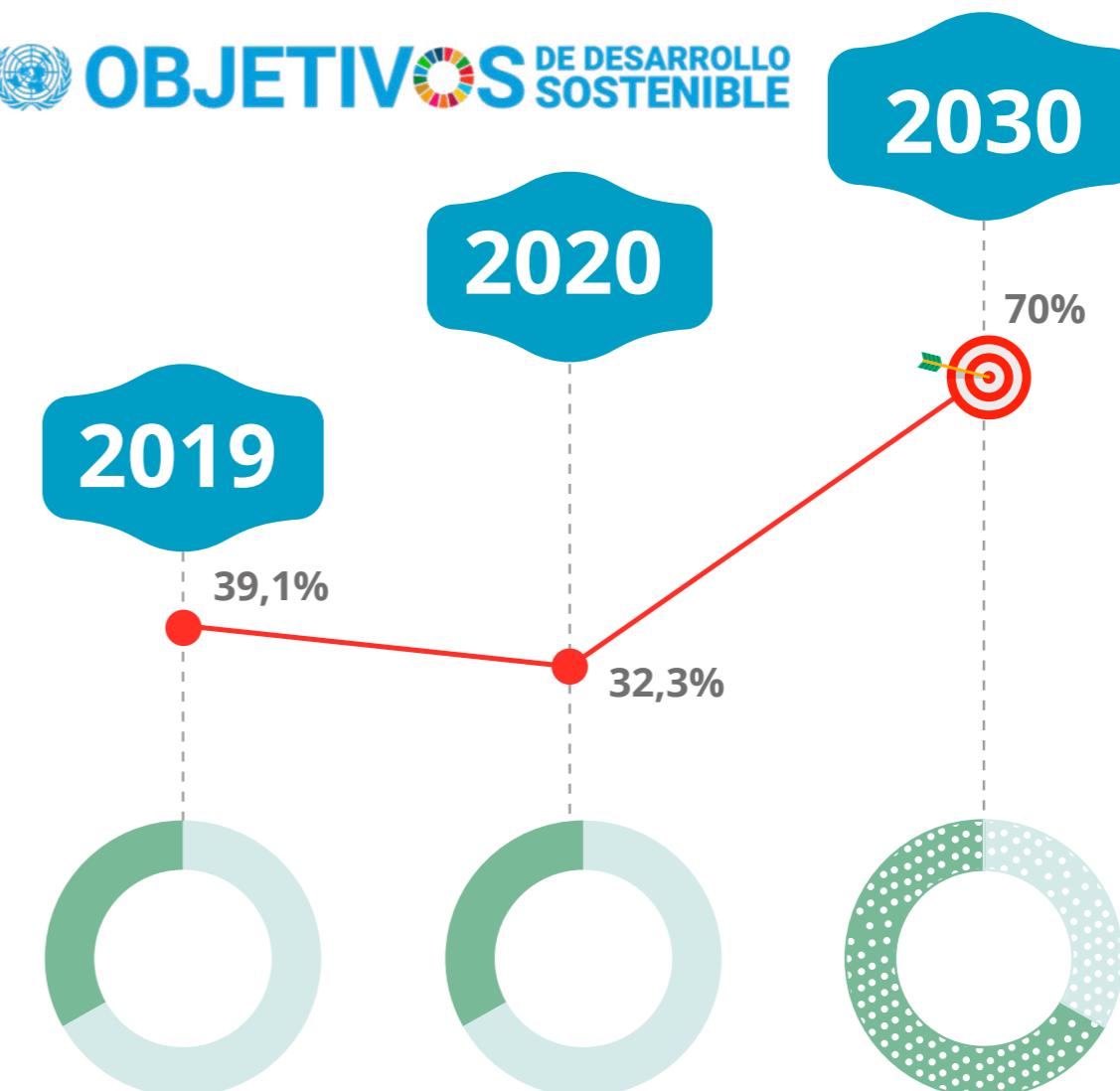




Infografía 31. Estaciones de monitoreo de PM_{2,5} que cumplen con el objetivo intermedio 3 de las Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud, año 2020



OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



SVCA	Estaciones que cumplen con el objetivo intermedio 3 de la OMS, año 2020	No. Estaciones
AMVA	ANTIOQUIA	
	Santa Elena, Torre Social	
SDA	BOGOTÁ, D.C.	2
	C. Alto Rendimiento, Guaymaral, Las Ferias, Minambiente, San Cristóbal, Usaquén	6
CORPOBOYACÁ	BOYACÁ	
	Nazareth-Jac	
CORPOCESAR	CESAR	
	Boquerón, Casacará, La Aurora, La Loma 2, Rincón Hondo	
CAR	CUNDINAMARCA	
	Alcaldía, Planta Tibitoc, Ptar I, Sena, Urbano Nemocon	
CARDER	RISARALDA	
	Carder	
CVC	VALLE DEL CAUCA	
	Estación Tuluá	
		1



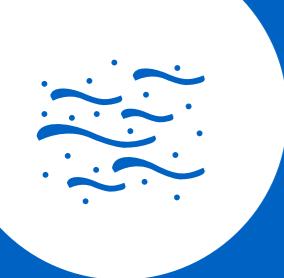
Capítulo 8

Influencia de la meteorología en la calidad del aire



Fotografía: www.neoteo.com Earth: Mapa global de los vientos en tiempo real





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. 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, donde para los análisis específicos se utilizó el paquete openair (Carslaw & Ropkins, 2012; Carslaw D. C., 2015) el cual proporciona herramientas para análisis especializados en calidad del aire, incluyendo análisis con meteorología. Los resultados obtenidos permiten establecer el origen, variabilidad e influencia de los contaminantes atmosféricos en la zona circundante de cada una de las estaciones analizadas.

A partir de la disponibilidad de información, y a la representatividad de sus series, el presente análisis se centra en la generación de diagramas polares o rosas de polución, los cuales consisten en una base de datos gráfica que consolida variables como: Contaminante, velocidad y dirección de viento, permitiendo identificar la dirección de los focos de emisión que influyen sobre una estación determinada. Los gráficos se muestran como una superficie continua calculada a partir de una interpolación, utilizando técnicas de suavizado para identificar características en una parcela polar con características similares que permitan reproducir las concentraciones promedio para una velocidad y dirección determinada (Carslaw D. C., 2015).

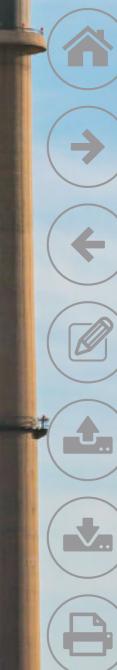
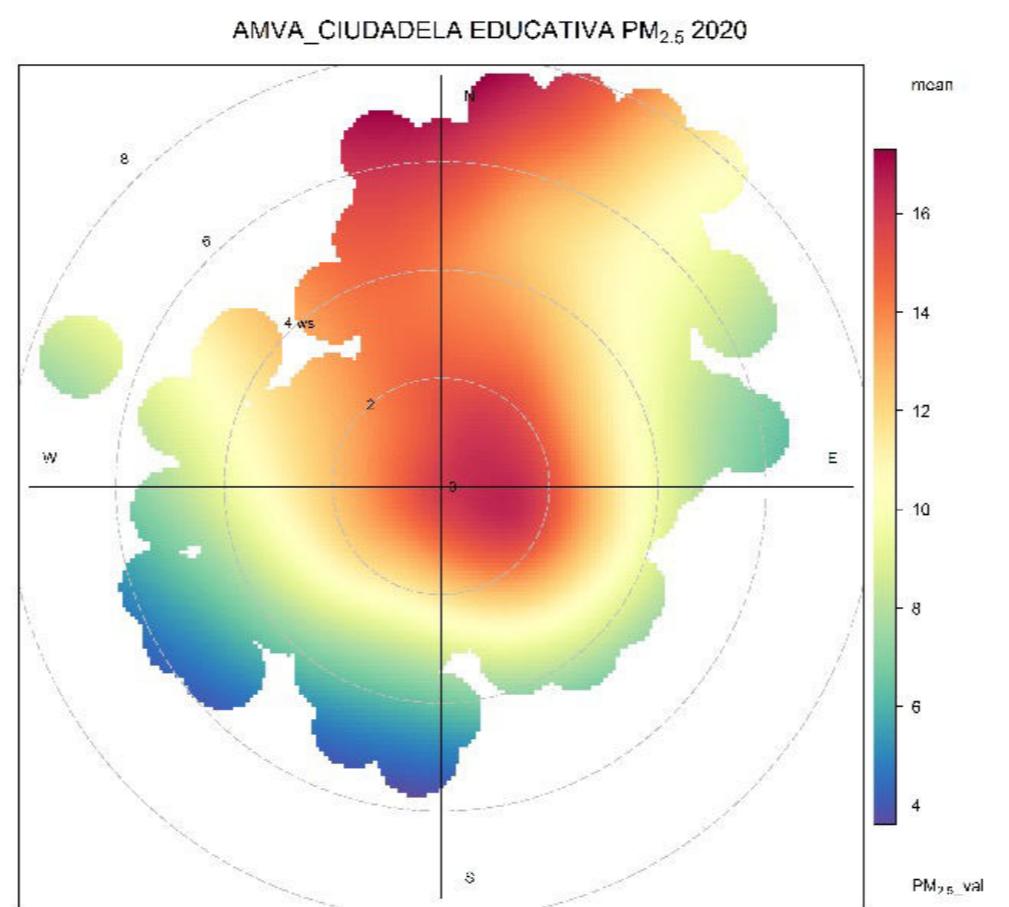
En general se puede decir que, para velocidades bajas con altas concentraciones la principal fuente de emisión es local y que proviene directamente de la zona de influencia de la estación. Para el caso contrario, las altas concentraciones con altas velocidades de viento, sugiere un impacto externo a la zona y se producen por el transporte advectivo de las

emisiones, obedeciendo a la dinámica atmosférica del período de interés.

A continuación, se presentan gráficos generados para las autoridades ambientales que presentaron tanto información de los contaminantes como información de velocidad y dirección de viento con una representatividad mínima del 75% para el año 2020. Los sistemas de vigilancia de calidad del aire operados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), Corantioquia, Establecimiento Público Ambiental de Barranquilla (EPA Barranquilla Verde), la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá), Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) y el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) cargaron información suficiente a SISAIRE para analizar la influencia entre parámetros.



Figura 48. Ejemplo de diagrama polar para la estación de AMVA- Ciudadela Educativa que evaluó PM_{2,5} en 2020



8.1. Departamento de Antioquia – Área Metropolitana del Valle de Aburrá

► Material Particulado PM₁₀

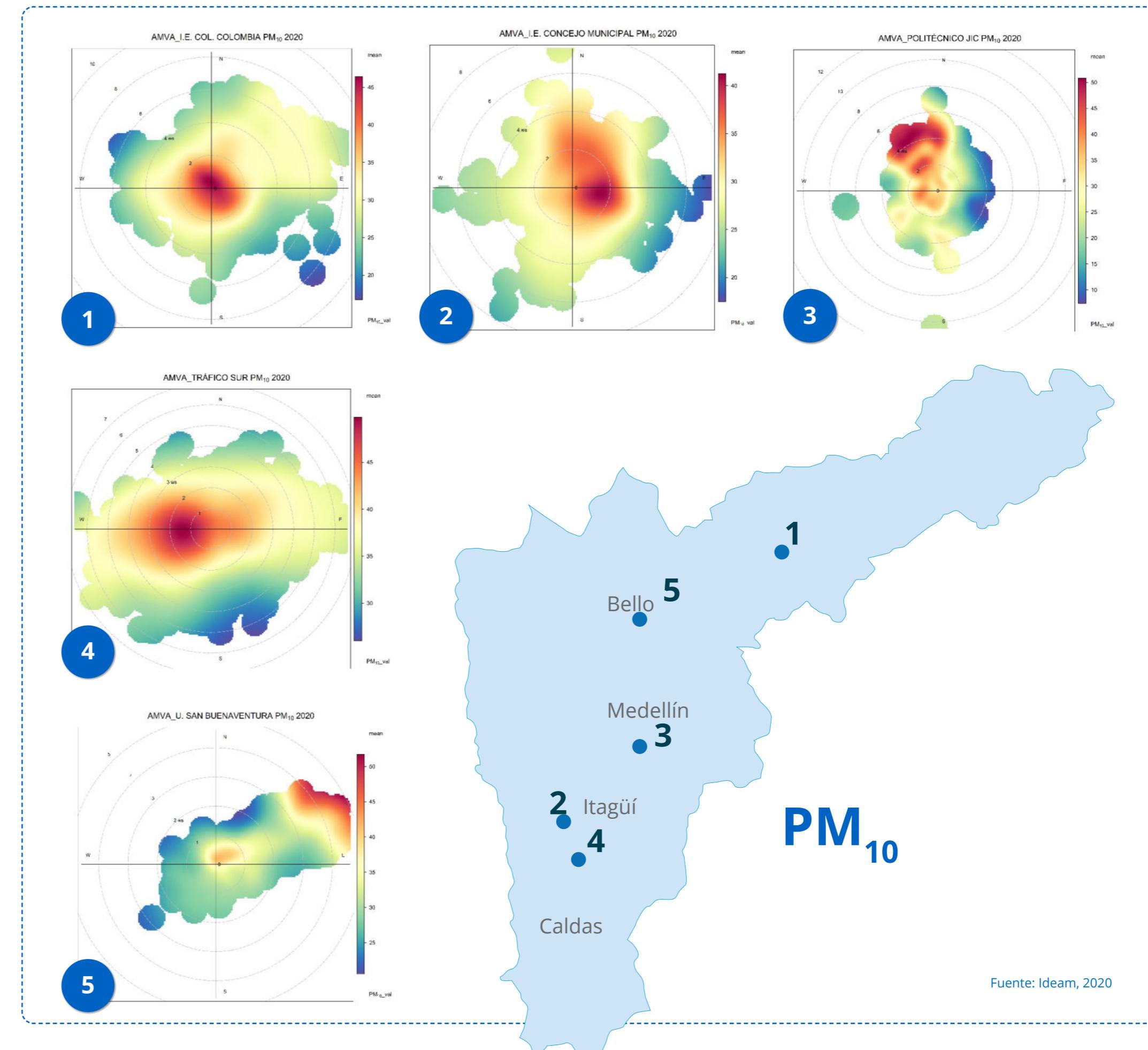
Las estaciones I.E. Col. Colombia, Concejo municipal y Tráfico Sur presentaron las máximas concentraciones de PM₁₀, cuando las velocidades de viento fueron menores a los 3 m/s, lo que indica que la mayor parte del tiempo la contaminación proviene de fenómenos locales y de fuentes de emisión localizadas en el área de influencia directa.

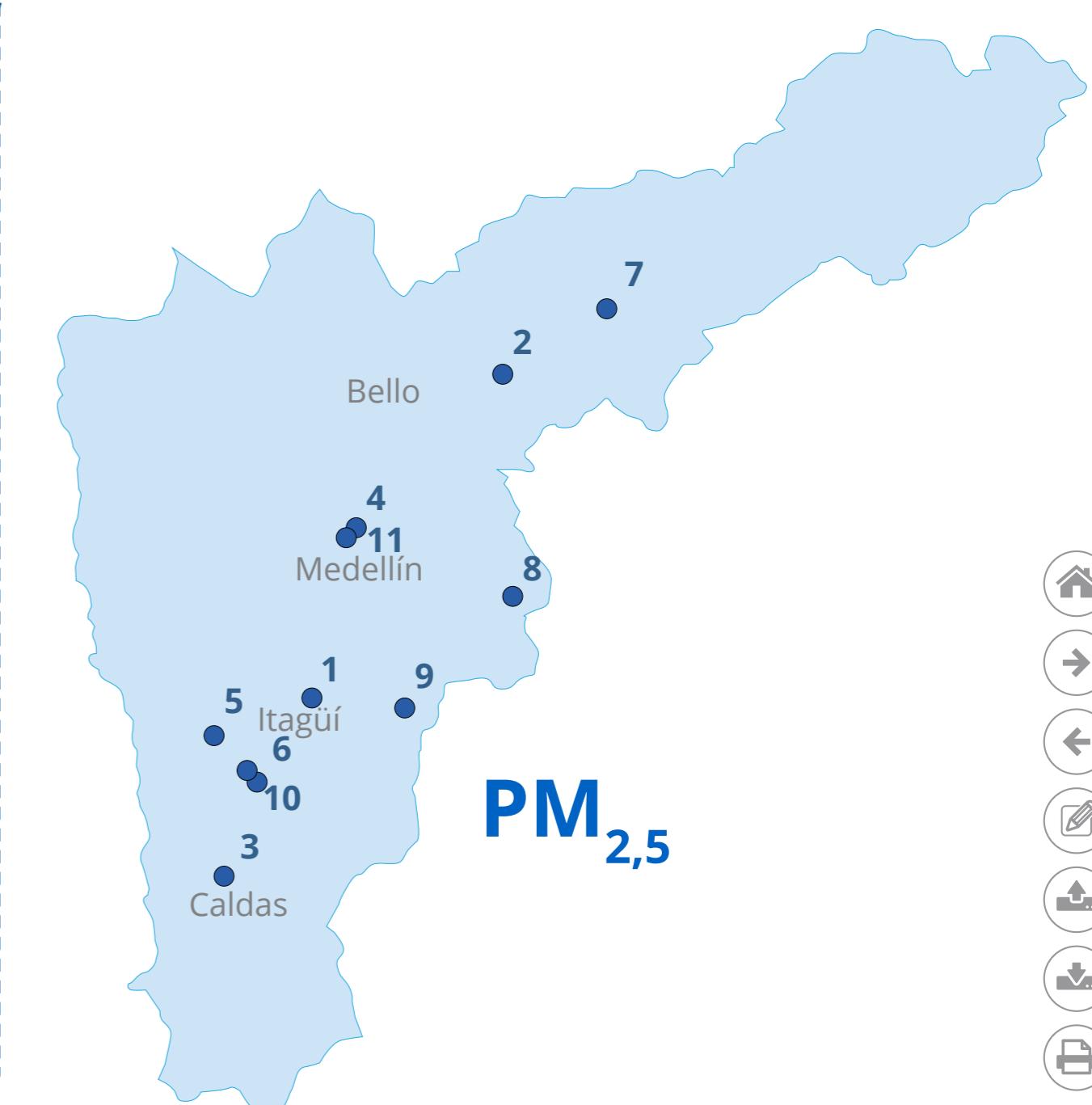
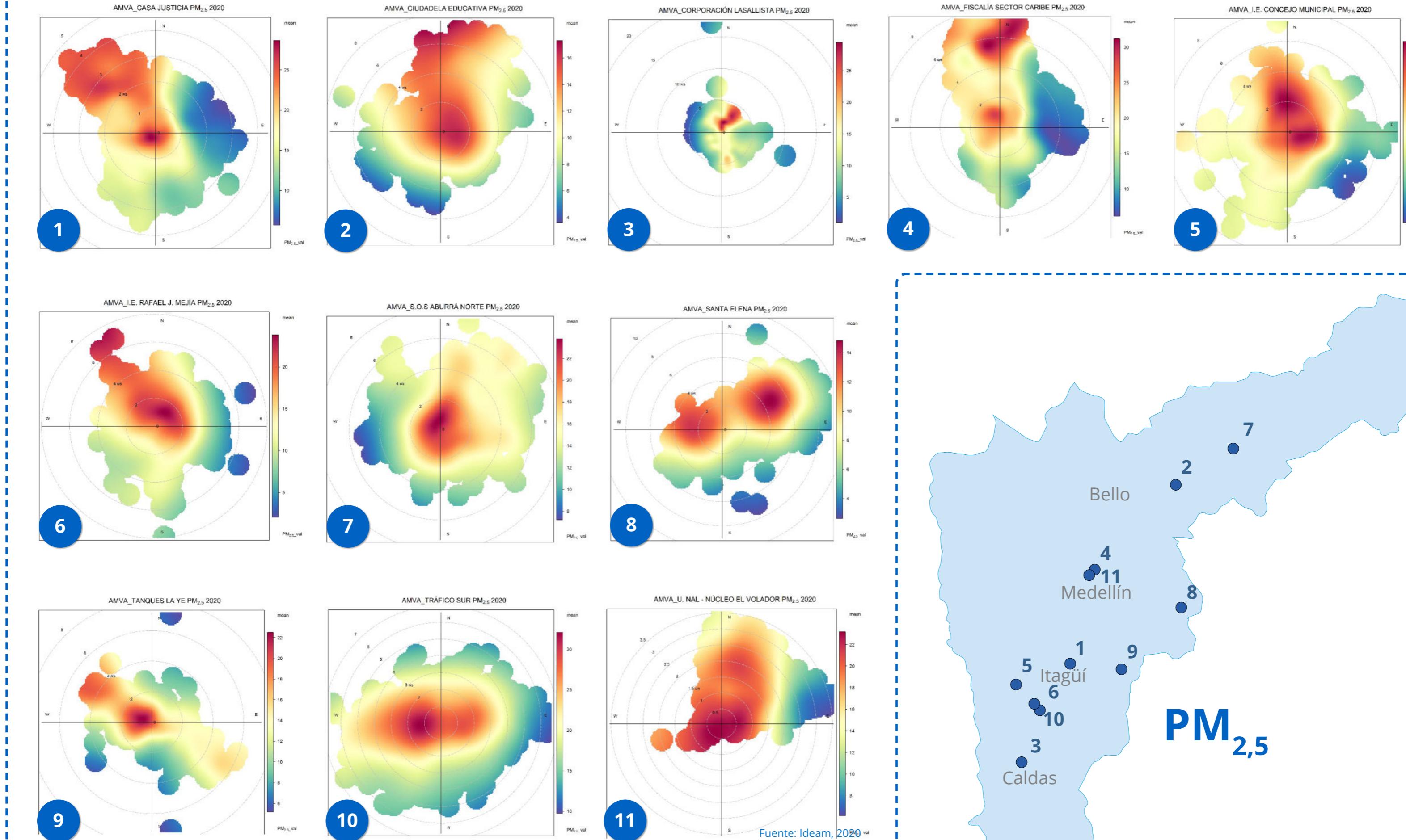
Por otro lado, las estaciones de Politécnico y San Buenaventura, se caracterizaron por reflejar las máximas concentraciones de material particulado mayor a 10 micras en los períodos con velocidades mayores a 4m/s, indicando que la ubicación de dichas estaciones está posiblemente bajo la influencia de fuentes de emisiones fuera de la zona de influencia.

► Material Particulado PM_{2,5}

En el año 2020, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá contó con 11 estaciones de monitoreo de PM_{2,5}, así como con el registro simultáneo de dirección y velocidad de viento. Las estaciones que presentaron las máximas concentraciones de PM_{2,5} en presencia de bajas velocidades de viento son: Corporación Lasallista, S.O.S. Aburrá Norte y Tráfico Sur, probablemente con fuentes cercanas a la zona de medición.

Para el caso de las demás estaciones, se observó una combinación entre emisiones locales y externas, ya que el diagrama polar identifica dos posibles orígenes de la contaminación reflejadas en la estación, como por ejemplo la estación Fiscalía Sector Caribe, la cual registra un origen local y una fuente al norte con altas velocidades de viento, o la estación de Santa Ana con fuentes en dirección occidente y nororiental a velocidades entre 3 y 5 m/s.





8.2. Departamento de Antioquia – Corantioquia

► Material Particulado PM₁₀

Para las otras estaciones de monitoreo de PM₁₀ en Antioquia, bajo la jurisdicción de Corantioquia, se reportaron tres (3) estaciones con monitoreo simultáneo de dirección y velocidad de viento. Las estaciones de Altavista y Gómez Plata reflejan un aumento de las concentraciones del contaminante cuando el viento viene del occidente, y uno significativo cuando las velocidades son superiores a los 6 m/s y en dirección suroeste. Para los vientos provenientes del oriente se observaron bajas concentraciones y estas disminuyen en presencia de altas velocidades de viento, posiblemente aportando al transporte y dispersión de los contaminantes.

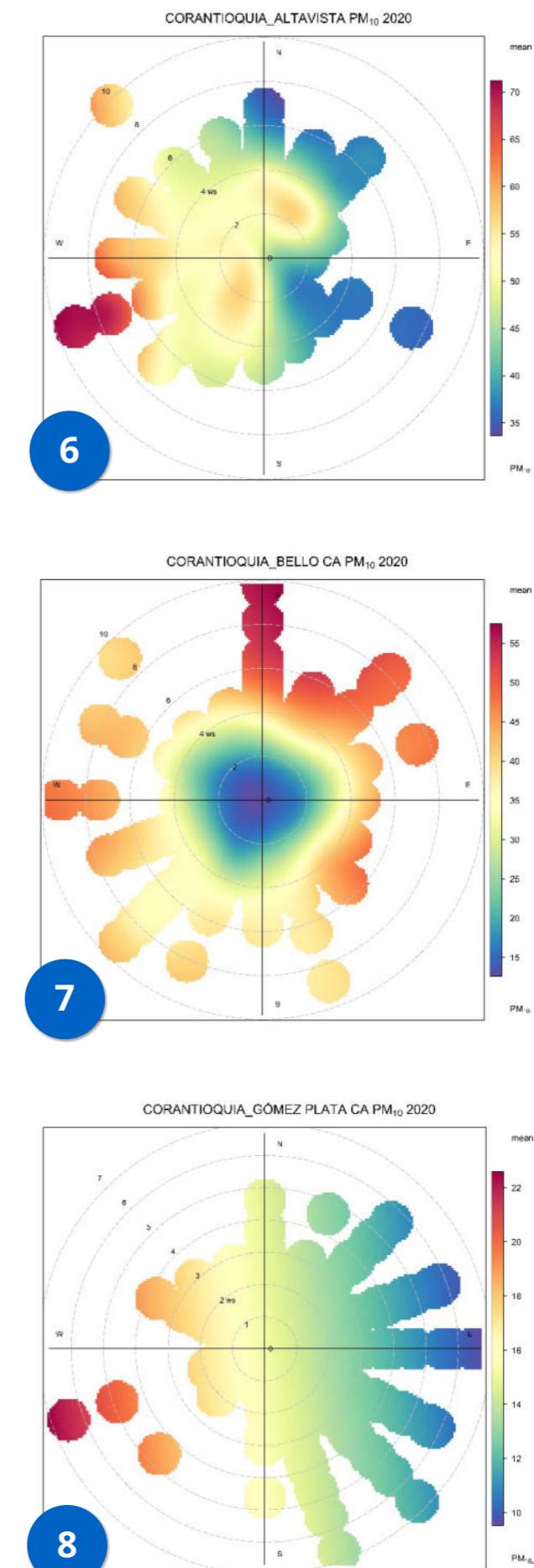
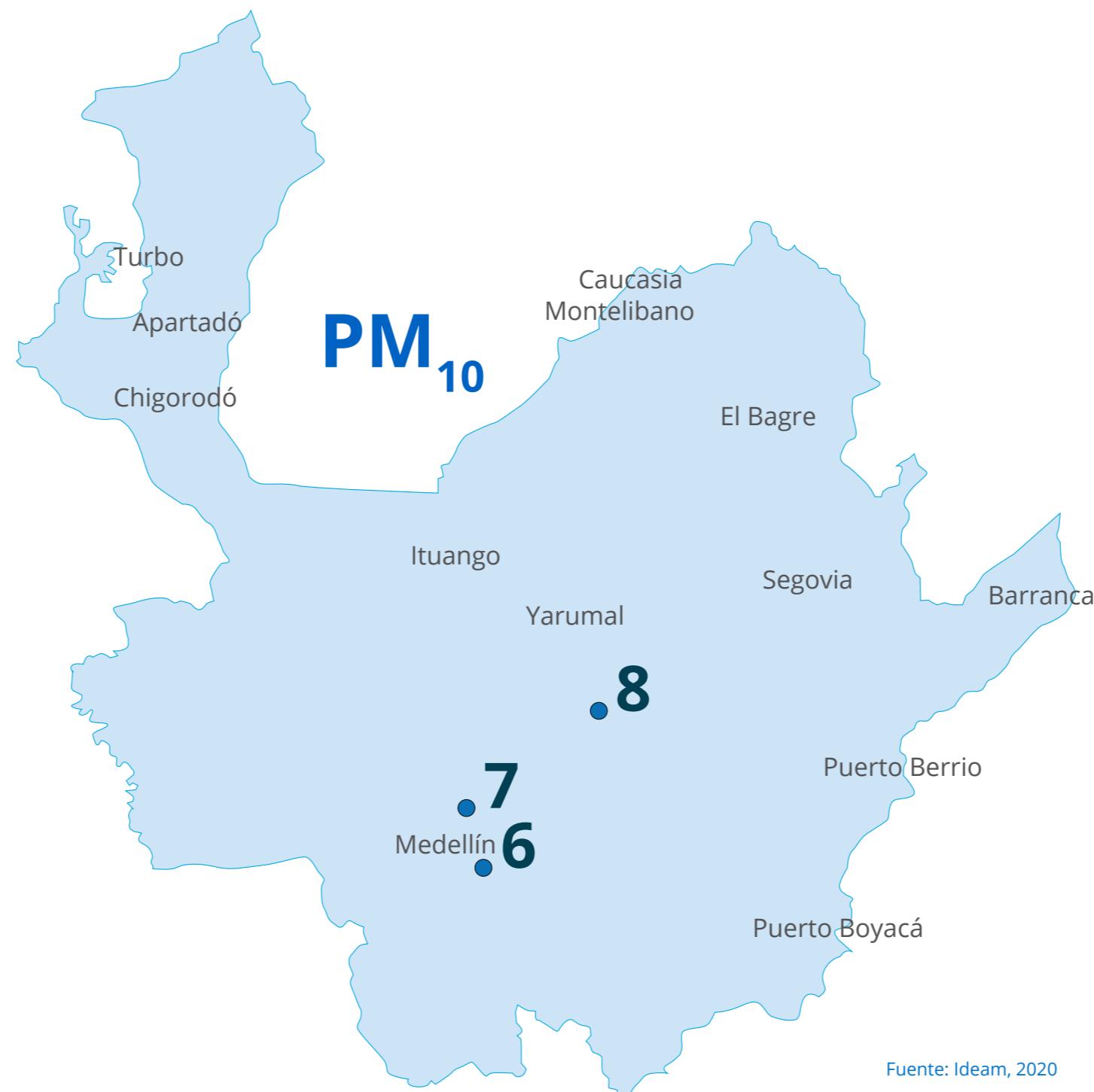
En la estación de Bello, se observó que las mínimas concentraciones se obtuvieron cuando la velocidad del viento fue menor a 2 m/s sin importar la dirección, lo que indica que, cerca de la zona de medición no se encuentra ninguna fuente aportante de material particulado, sin embargo, las concentraciones aumentan cuando la velocidad del viento supera los 4 m/s y se identificó un mayor aporte en dirección norte mayor a los 50 µg/m³.

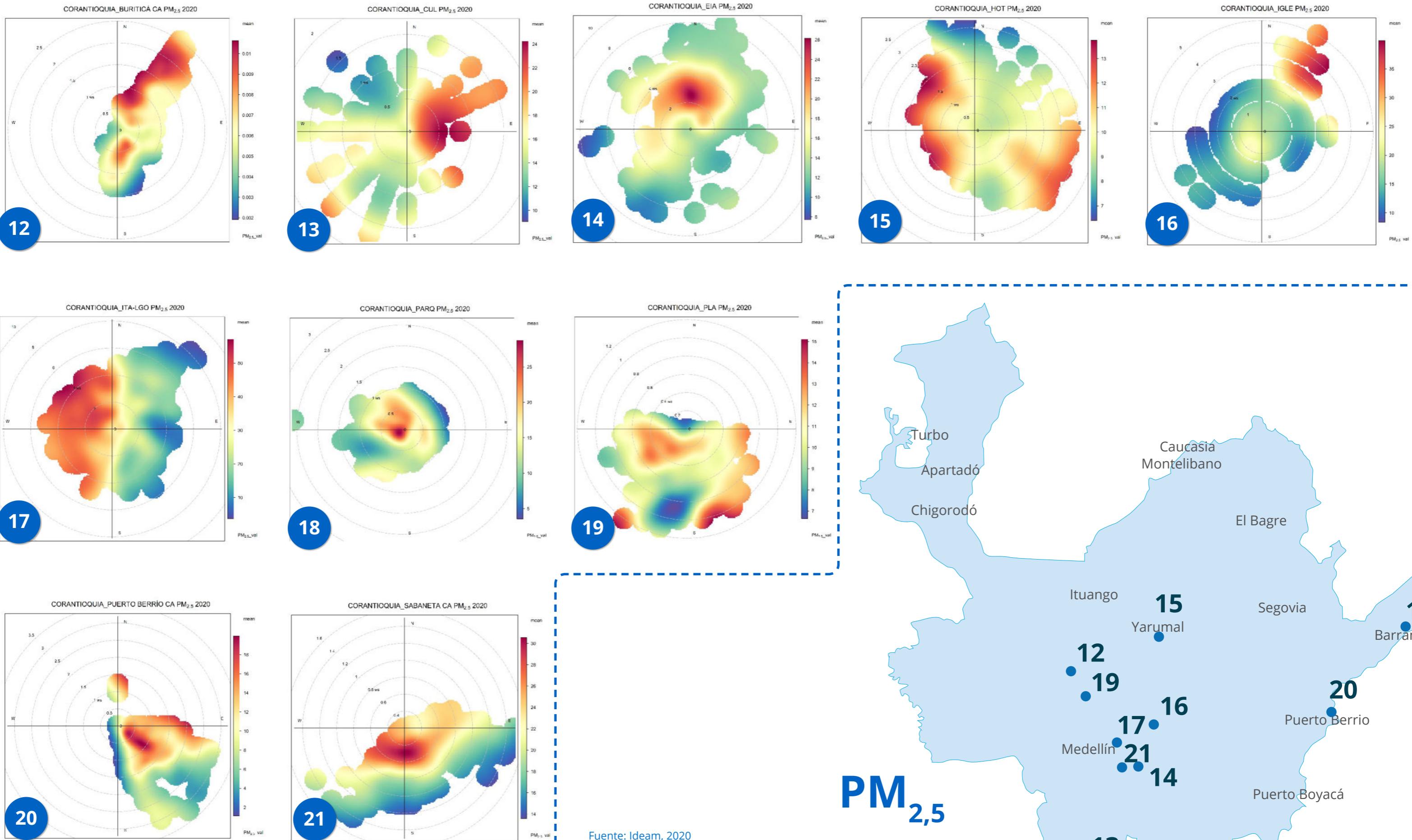
► Material Particulado PM_{2,5}

Corantioquia reportó diez (10) estaciones con monitoreo de material particulado menor a 2,5 micras ubicadas en diferentes municipios de Antioquia, aportando al conocimiento de la distribución espacial de este contaminante en el departamento. Las estaciones Parque, Sabaneta, CUL, Puerto Berrio y E.I.A. presentaron máximas concentraciones con velocidades de viento bajas, sugiriendo un impacto de fuentes locales a las zonas de influencia de las estaciones.

La estación de ITA LGO mostró una condición particular, donde se reflejaron las concentraciones más altas cuando el viento provenía del occidente, desde 180 a 360 grados, independientemente de la velocidad del viento.

Las cuatro estaciones restantes registraron influencias externas de PM_{2,5} en los registros del año 2020, reflejando altas concentraciones del contaminante en mayores velocidades de viento.





8.3. Departamento del Atlántico – EPA Barranquilla Verde

► Material Particulado PM₁₀

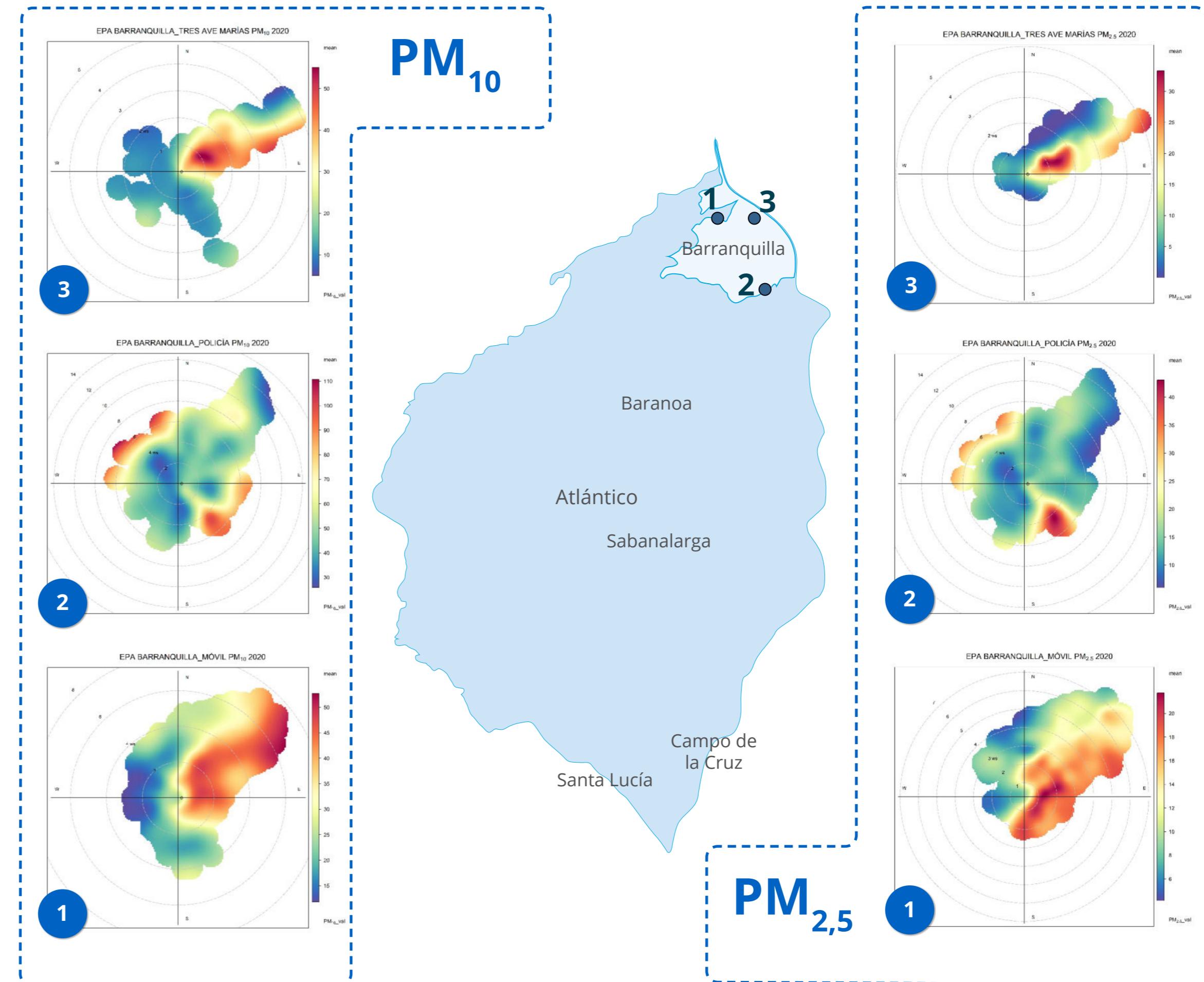
La estación Móvil reflejó un aumento en las concentraciones de PM₁₀ en períodos donde el viento provenía del oriente entre los 45 y 135 grados, su mayor impacto se registró con velocidades entre los 6 y 8 m/s. Por su parte, la estación Policía tuvo una influencia externa de fuentes ubicadas en dirección suroriental y noroccidente, cuando las velocidades de viento eran cercanas a los 6 m/s.

Por último, la estación Tres Avemarías presentó una influencia importante en dirección oriente, con mayor impacto a velocidades de viento entre 1 y 2 m/s, lo que sugiere la presencia de distintas fuentes de emisión en esa dirección.

► Material Particulado PM_{2,5}

El comportamiento del material particulado PM_{2,5} es muy similar al PM₁₀, sin embargo, se pueden identificar algunas diferencias en los patrones del diagrama polar. Por ejemplo, para la estación Móvil se observó una incidencia de la contaminación con mayor predominancia desde el sur, posiblemente por la presencia de fuentes de material particulado fino.

Por parte de la estación Policía, se intensificó la influencia del PM_{2,5} en el suroriental de la estación comparada con la observada en el noroccidente, reflejando una mayor presencia de material fino desde esa dirección. De igual manera, la estación Tres Avemarías presentó un clúster de altas concentraciones al nororiente de la estación entre velocidades de viento de 1 y 2 m/s, reflejando la presencia de emisores de partículas finas en áreas cercanas a la estación.



8.4. Departamento de Boyacá – Corpoboyacá

► Material Particulado PM₁₀

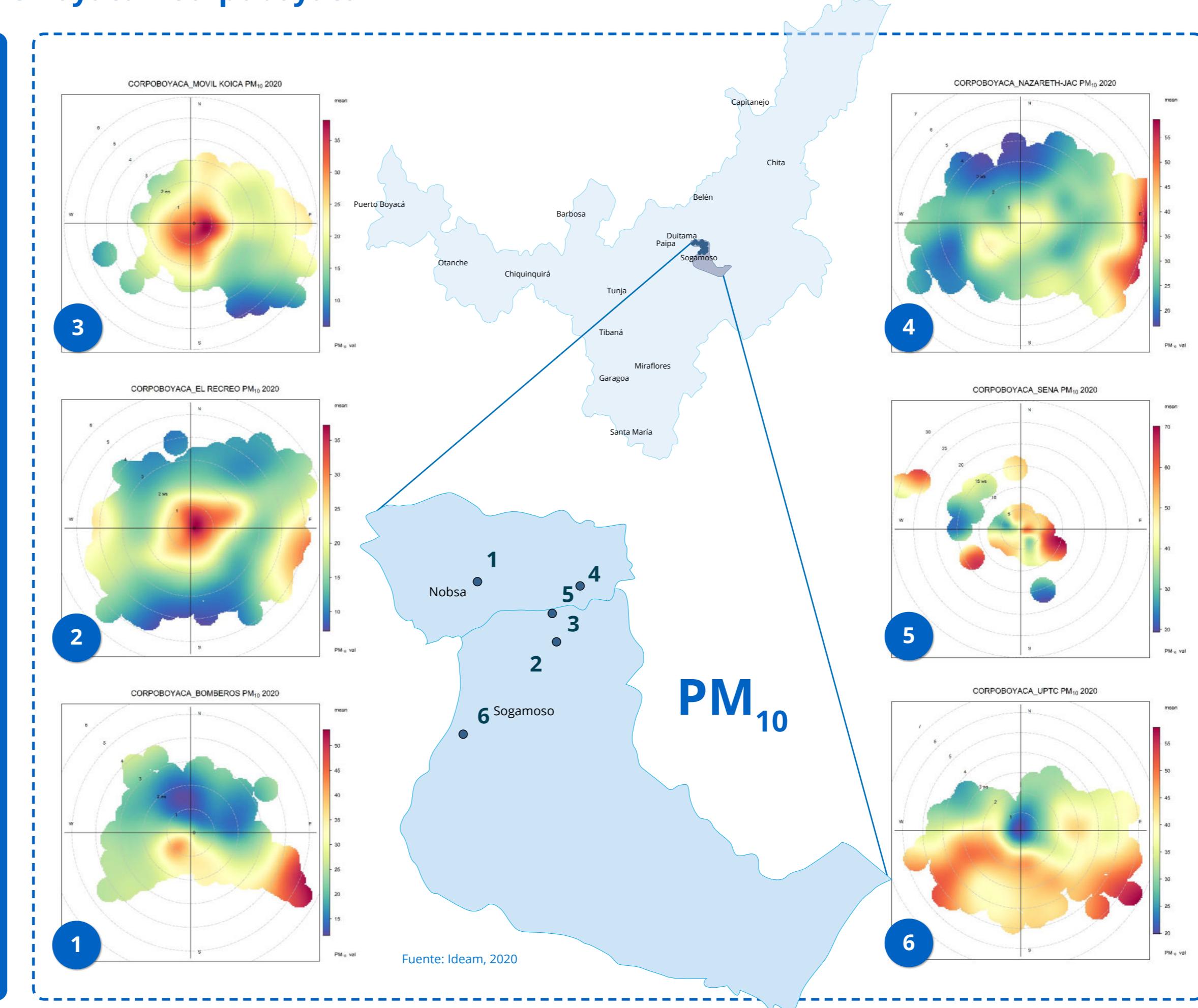
En Boyacá se reportaron seis (6) estaciones con medición de PM₁₀ y con registros de dirección y velocidad viento, la mayoría de ellas se ubica en el valle del Sogamoso, caracterizado por tener una alta influencia industrial en la zona. Las estaciones que presentan una influencia externa son Bomberos, Nazareth JAC y en parte UPTC, consideradas por captar las máximas concentraciones en condiciones de velocidades de viento superiores a los 4 m/s.

Las estaciones Móvil Koica y El Recreo reflejaron una influencia mayoritariamente local, presentando las máximas concentraciones para velocidades de viento cercanas a 1 m/s. Por último, la estación de SENA presentó influencias tanto locales como externas, presentando máximas concentraciones con proveniencia del viento oriental en bajas velocidades y occidental con vendavales fuertes.

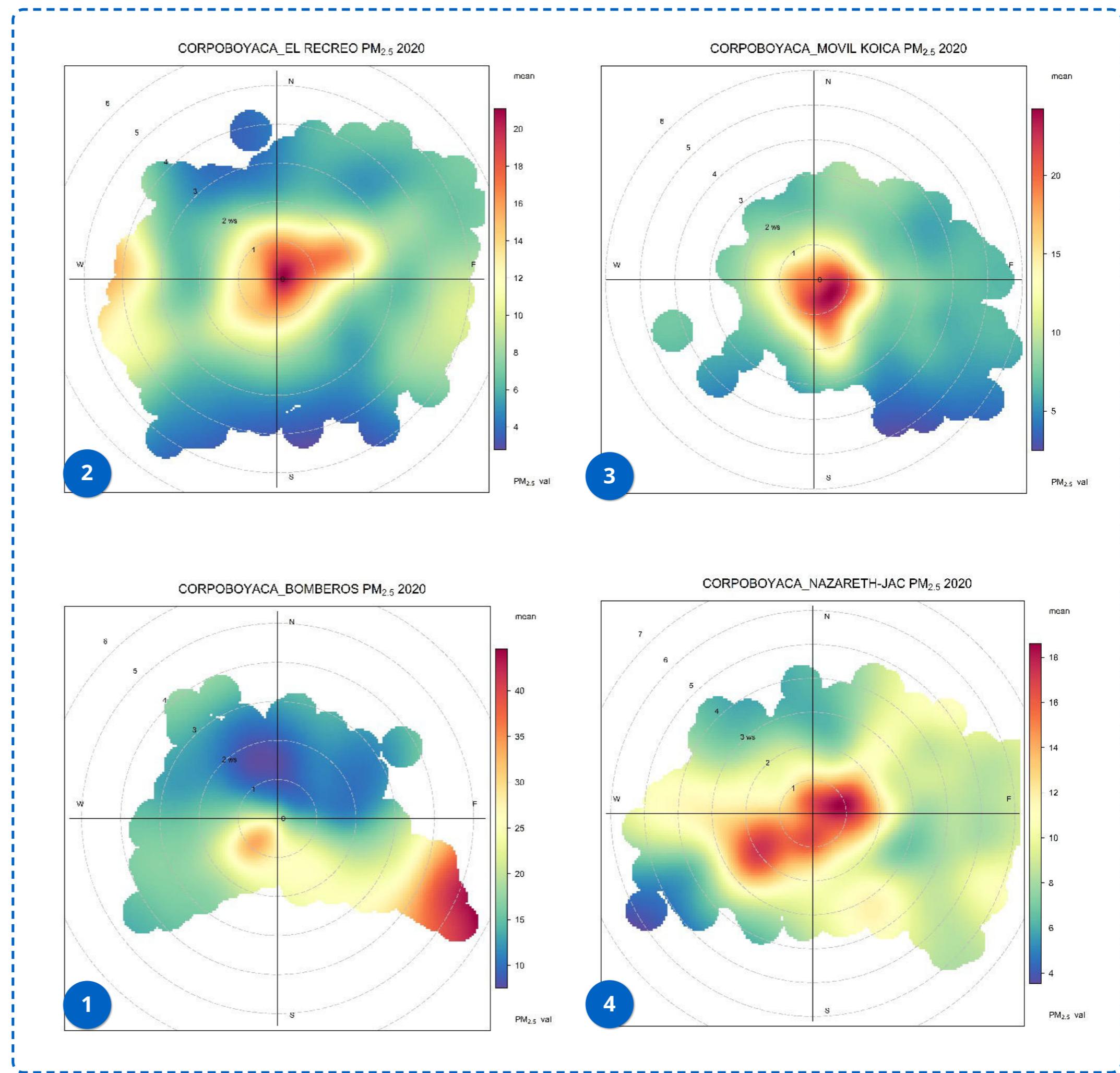
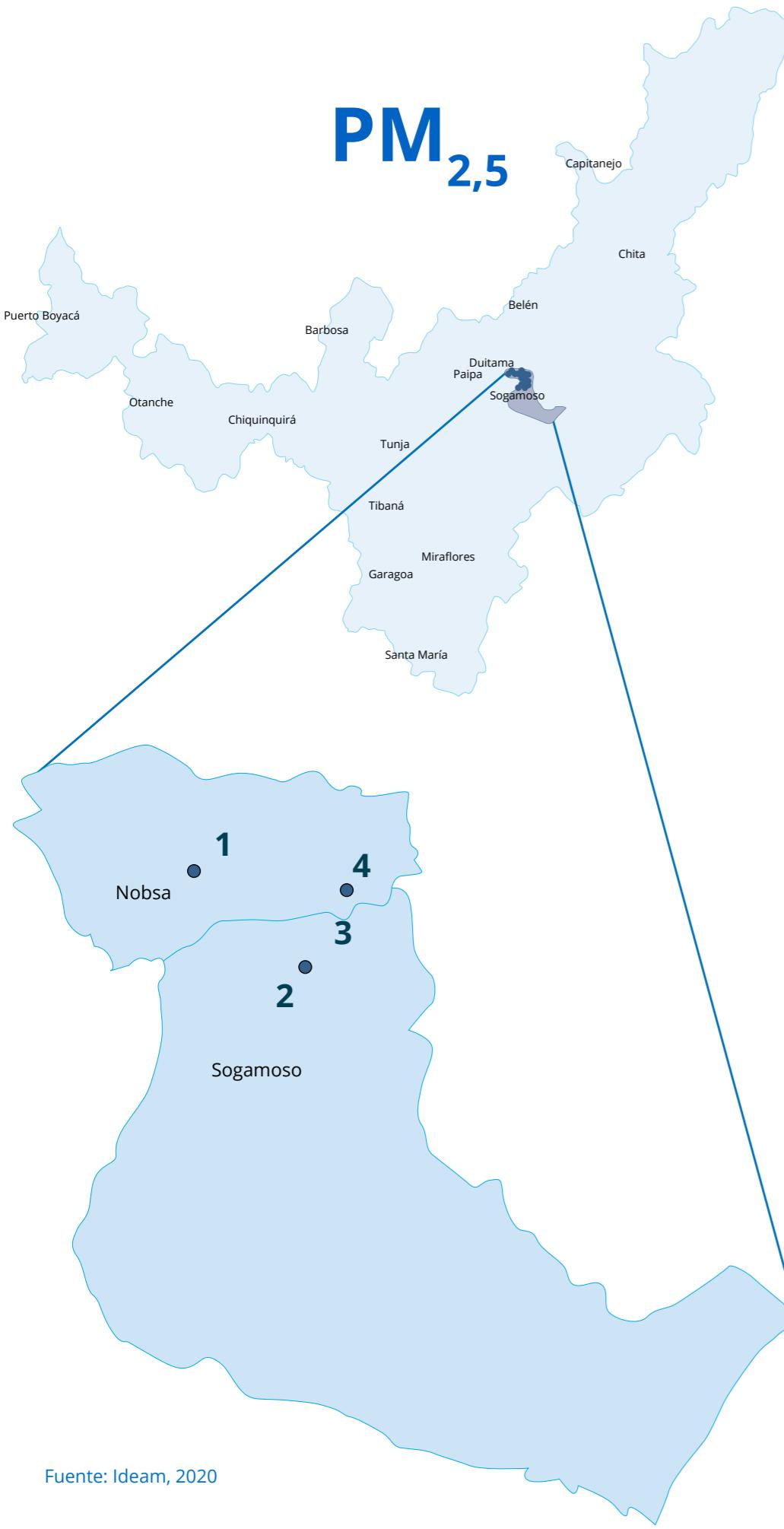
► Material Particulado PM_{2,5}

Para el material particulado menor a 2,5 micras, se observó un comportamiento similar entre las estaciones El Recreo, Móvil Koica y Nazareth, presentando las más altas concentraciones a menores velocidades de viento, posiblemente por la influencia directa de las industrias del valle del Sogamoso y su generación de material particulado por combustión.

Por otro lado, la estación de Bomberos, ubicada en el municipio de Nobsa, presentó una influencia de material particulado desde el suroriente de la estación con predominancia de vientos con velocidades mayores a 4 m/s, sugiriendo un posible impacto del valle del Sogamoso a los municipios aledaños.



PM_{2.5}



8.5. Departamento de Santander –AMB–CDMB

► Material Particulado PM₁₀

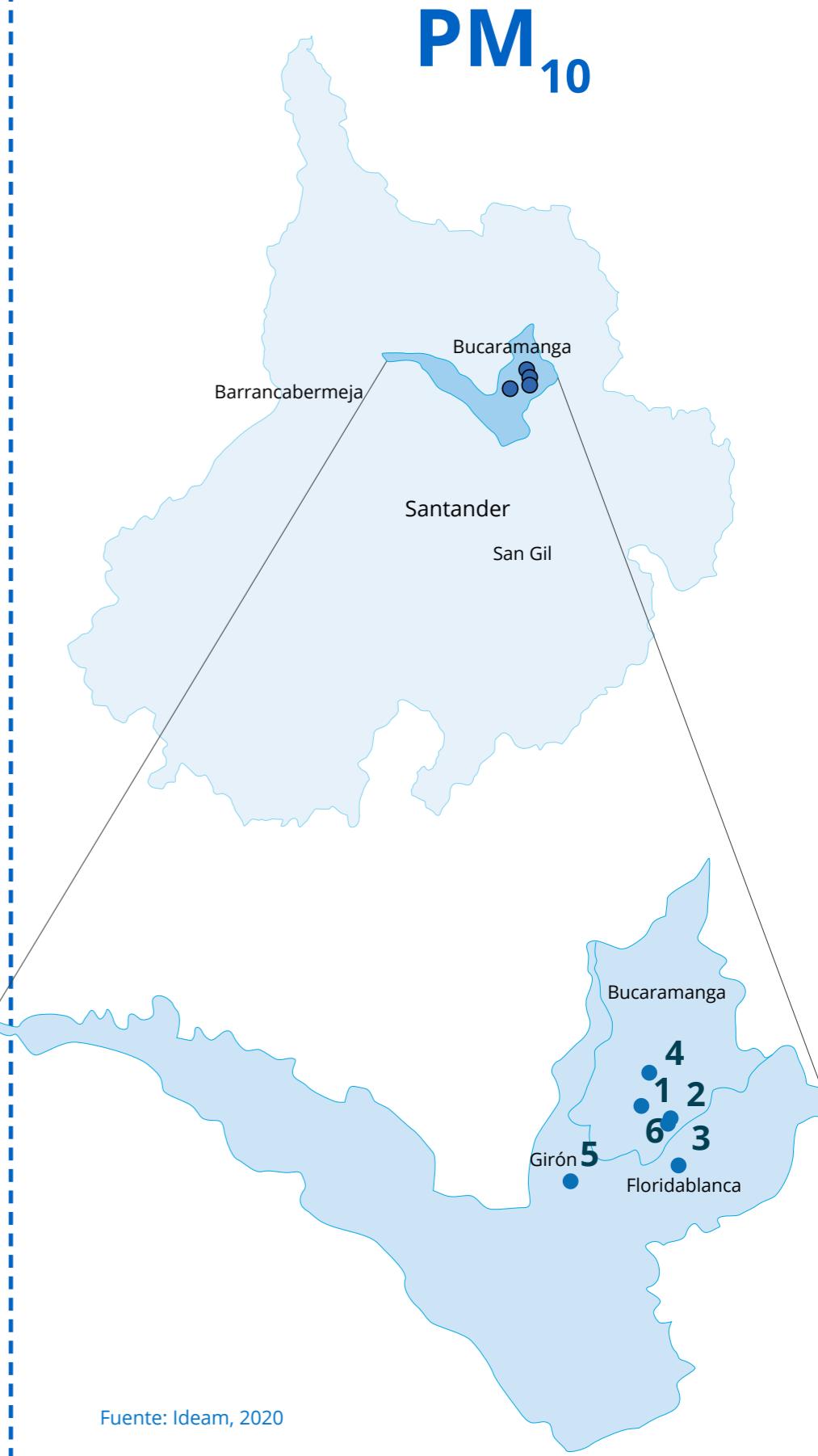
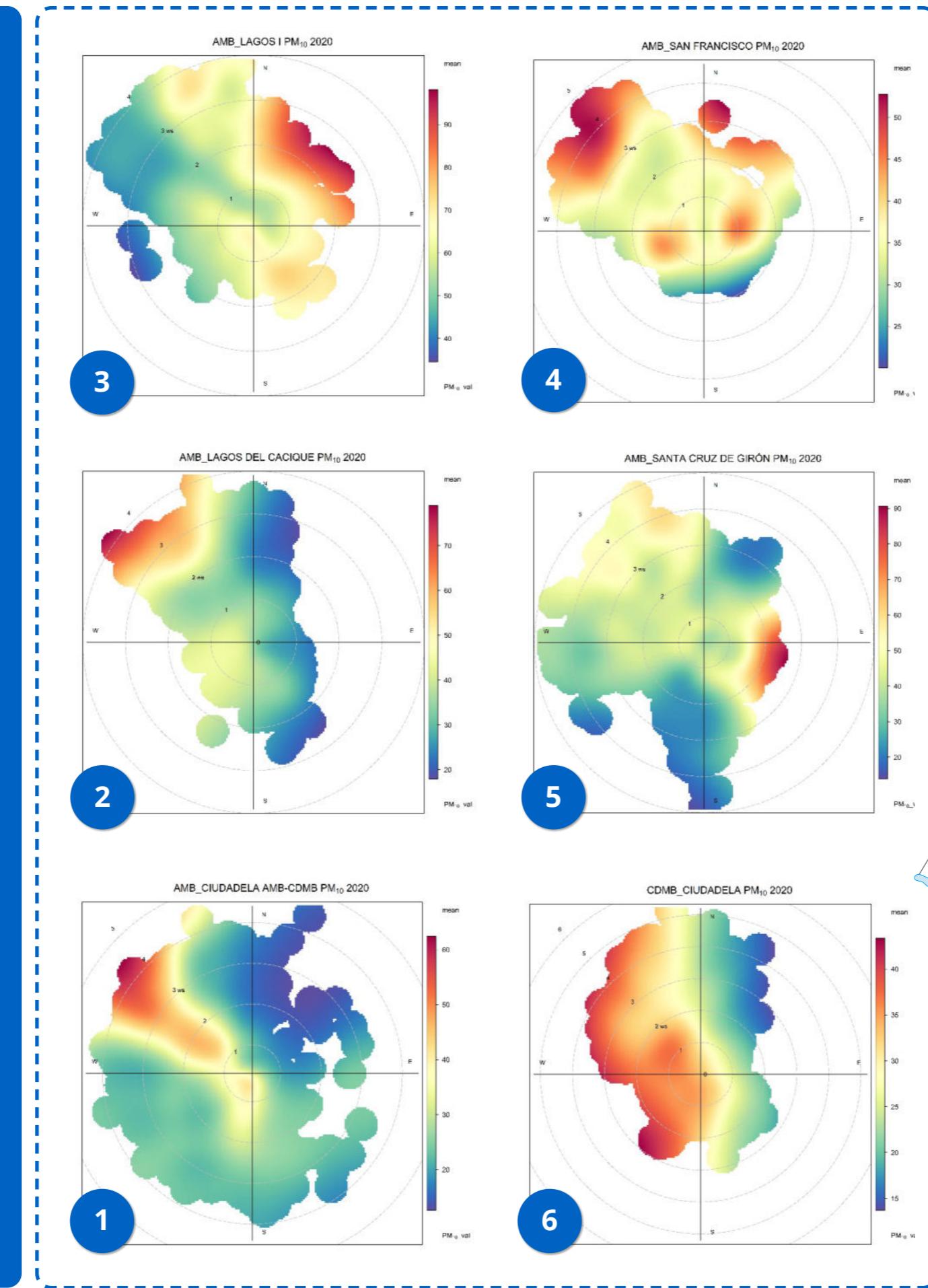
En el departamento de Santander se presentaron seis estaciones para el monitoreo de PM₁₀ con información de dirección y velocidad de viento. Todas presentaron influencia de material particulado en aumento de la velocidad del viento, con la única diferencia de la proveniencia del viento para cada estación. En las estaciones Ciudadela AMB-CDMB, Lagos del Cacique y San Francisco, se observó que las mayores concentraciones provienen desde el noroccidente y aumentan con la velocidad del viento.

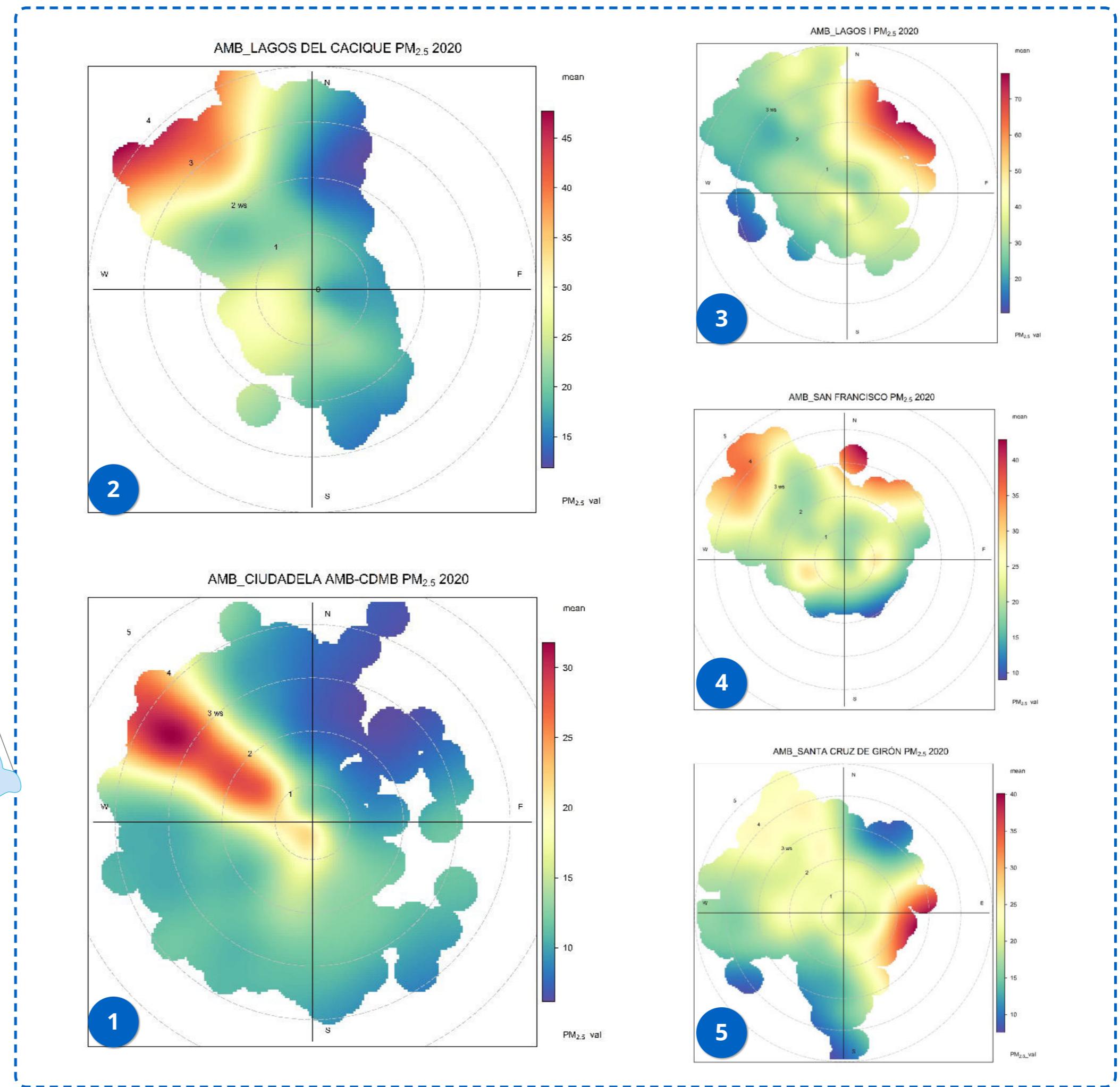
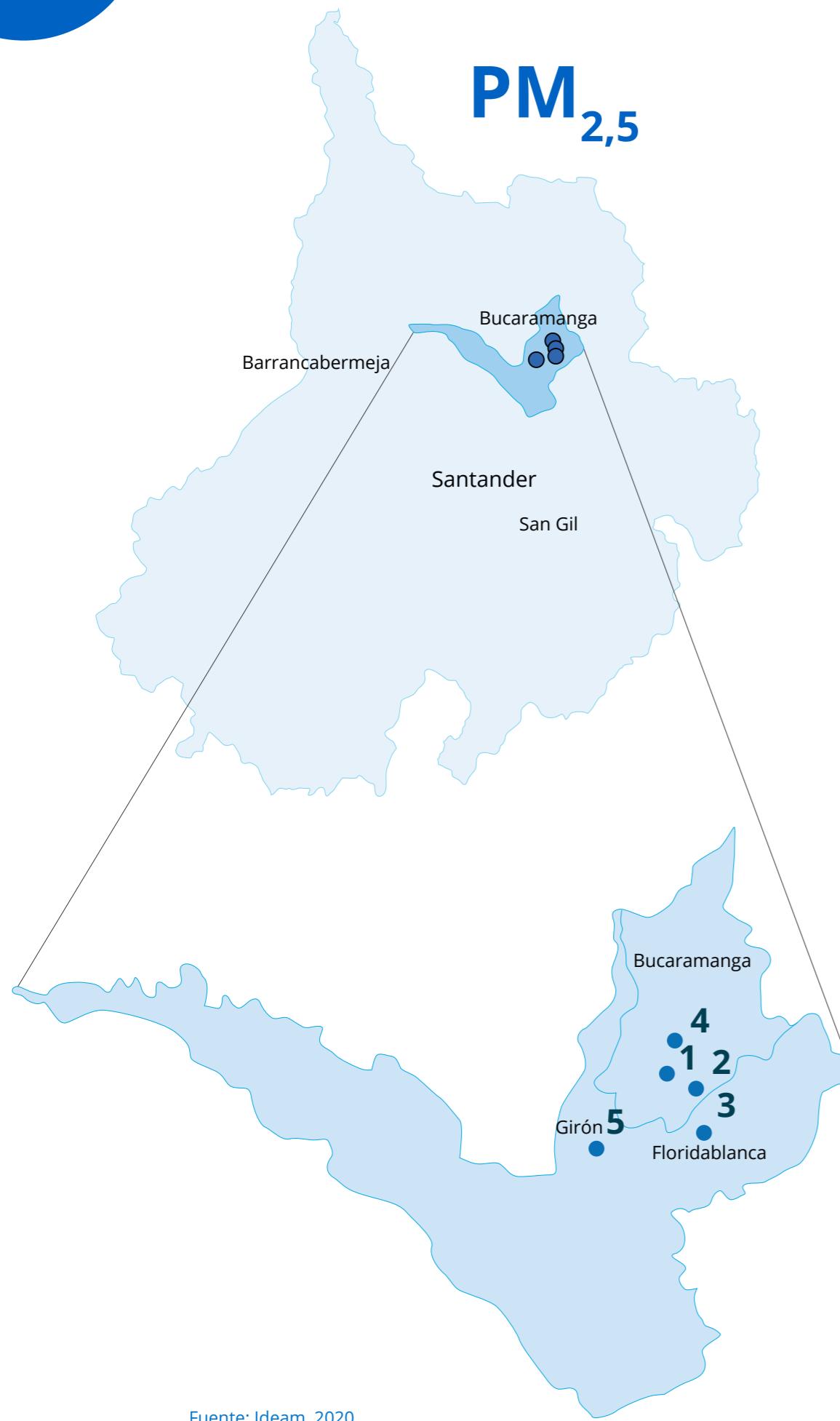
En cuanto a la estación Lagos AMB, registró aumento en las concentraciones del contaminante sobre velocidades mayores a 2 m/s y en el sector nororiente de la estación. Caso similar se produjo en la estación de Santa Cruz de Girón, en donde se centraron a los 90 grados con velocidades mayores a 2 m/s.

Por último, la estación de ciudadela reflejó las concentraciones más altas cuando el viento provenía del occidente, desde 180 a 360 grados, independiente de la velocidad del viento.

► Material Particulado PM_{2,5}

Por su parte, los diagramas polares obtenidos para el contaminante Partículas Menores a 2,5 micras (PM_{2,5}) en el área de jurisdicción de Área Metropolitana de Bucaramanga y la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Mesa de Bucaramanga, indican que las estaciones de monitoreo reciben concentraciones provenientes de fenómenos externos y de fuentes de emisión localizadas fuera del área de influencia directa.





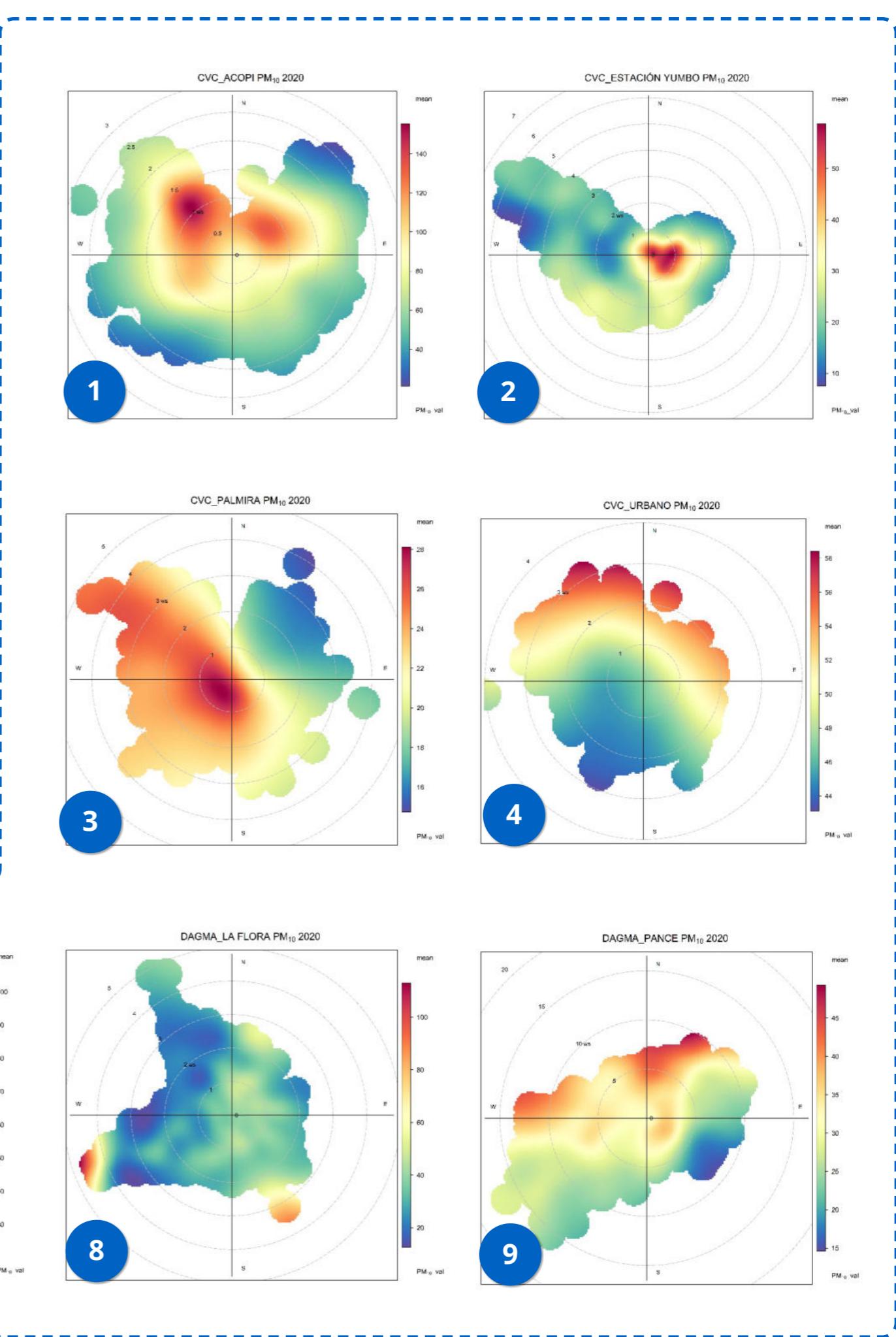
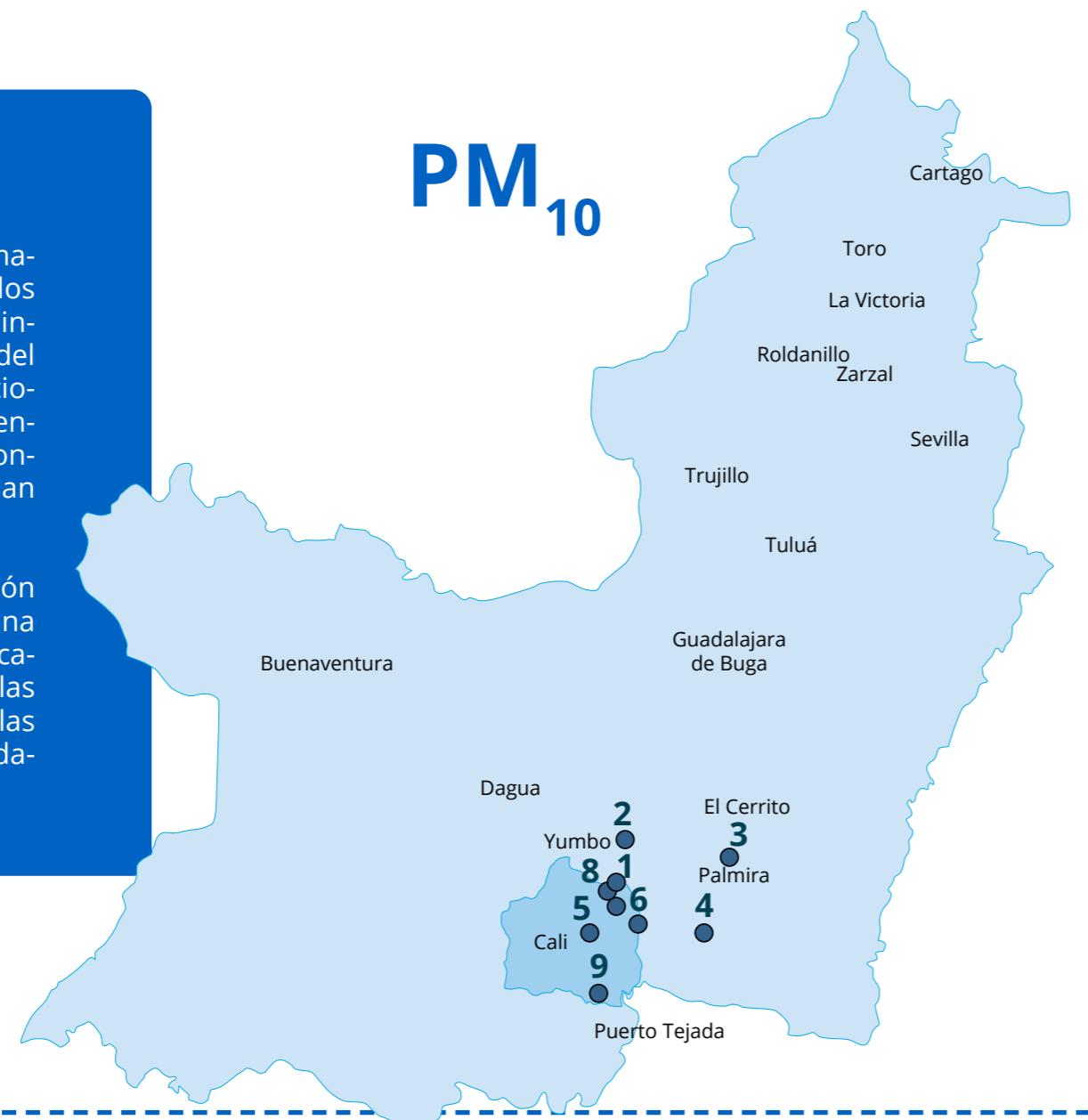
8.6. Departamento del Valle del Cauca – CVC – DAGMA Cali

► Material Particulado PM₁₀

En lo que respecta al contaminante material particulado menor a 10 micras, los diagramas polares revelan la gran influencia de los vientos provenientes del oeste y del norte, 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.

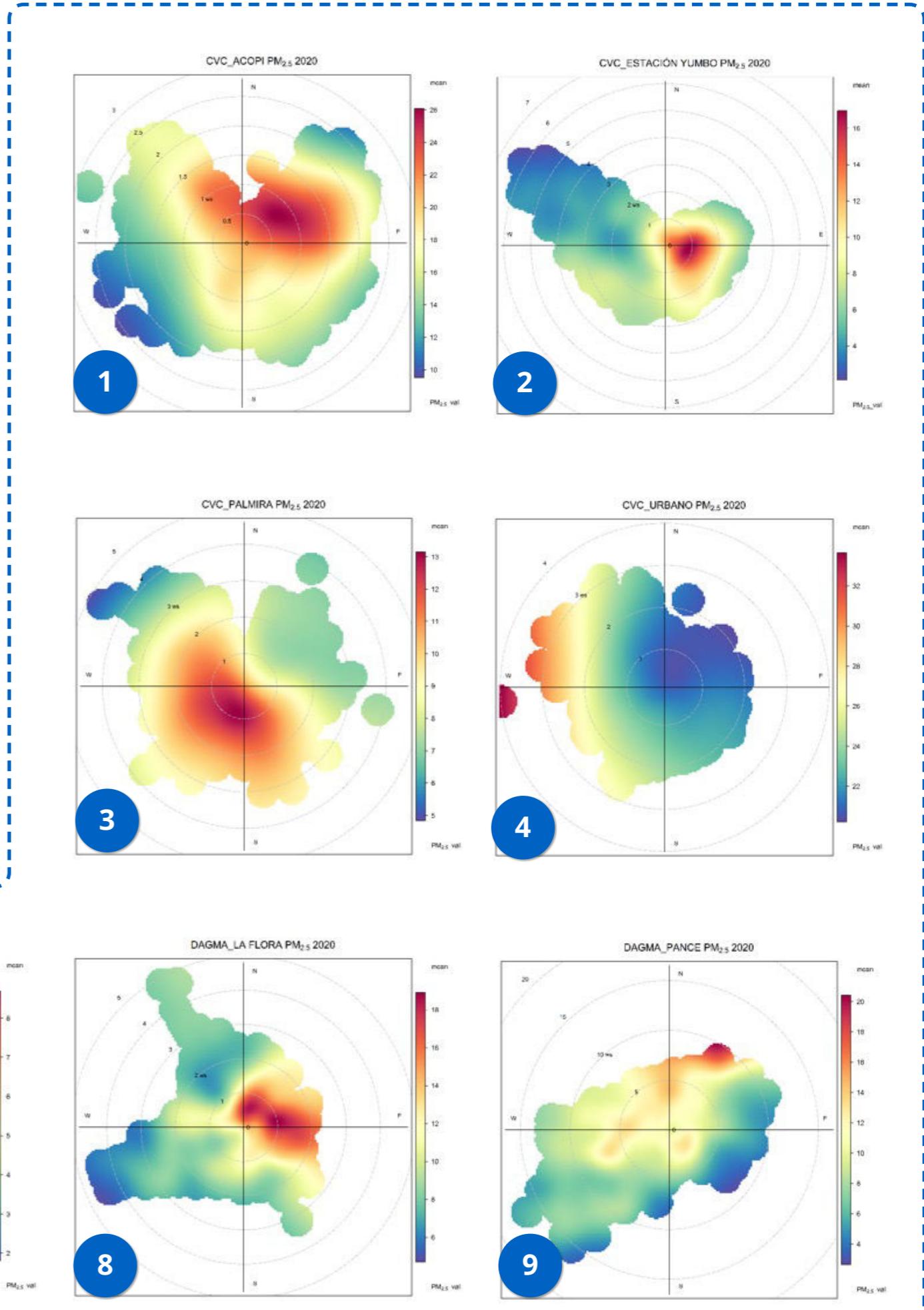
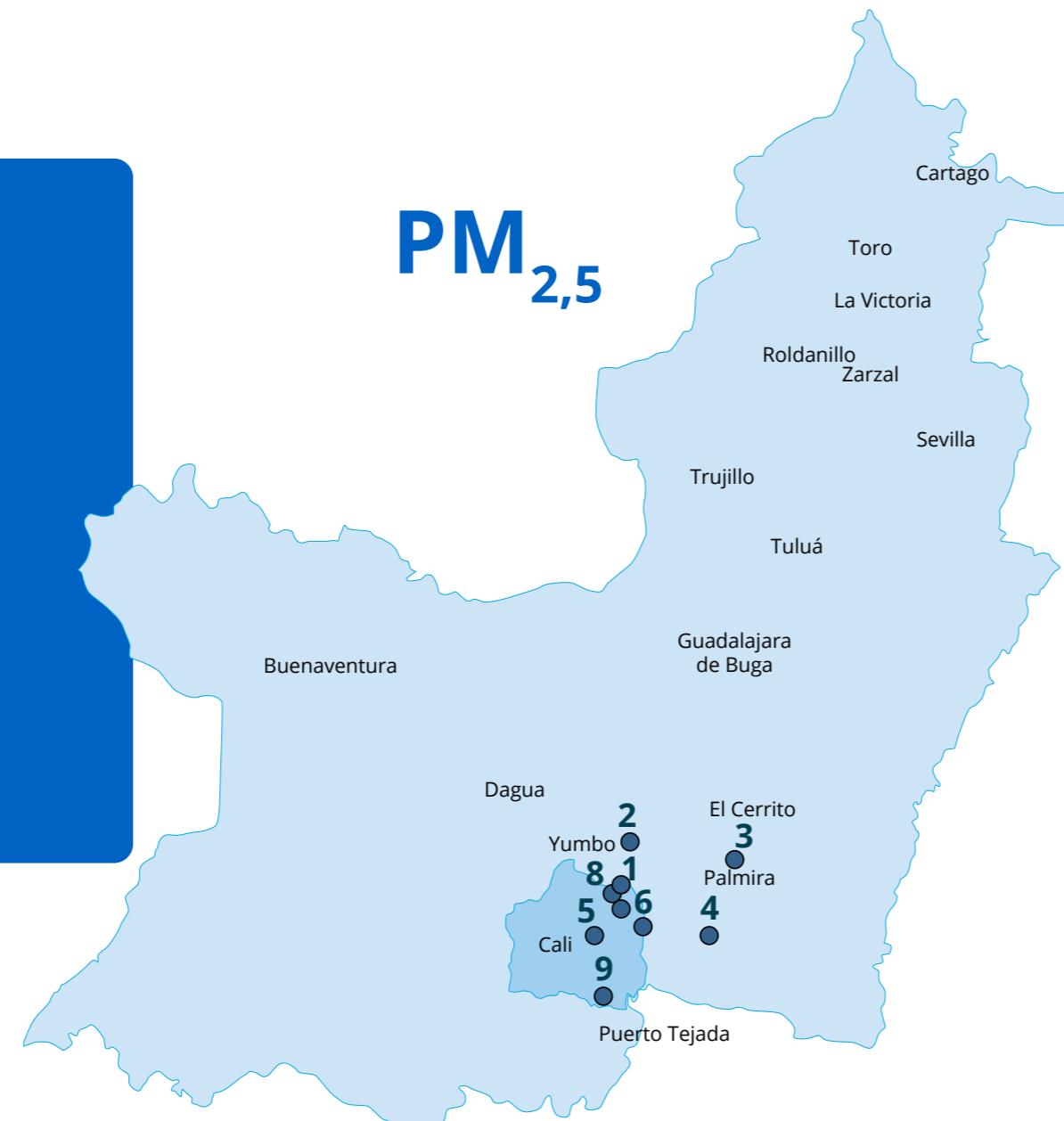
Para el caso específico de la estación Yumbo y Cañaveralejo se observó una alta incidencia de fuentes locales, ubicadas dentro de la zona de influencia de las estaciones, dado que se presentan las máximas concentraciones con velocidades de viento menores a 1 m/s.

Fuente: Ideam, 2020



Material Particulado PM_{2,5}

Entre tanto, en cuanto a los diagramas polares para PM_{2,5} revelan que las estaciones de monitoreo Acopí, Yumbo, Palmira, Compartir, ERA Obrero y La Flora, reciben concentraciones variables de material particulado incluso en períodos de calma, con mayor acentuación entre velocidades de viento de 1 a 4 m/s. De manera contraria, las estaciones de Urbano y Pance reflejaron concentraciones de fuentes de emisión externas debido a las altas velocidades de viento durante los períodos de alta contaminación.



9. Conclusiones y recomendaciones



El presente informe, correspondiente a la octava entrega, es el resultado del trabajo conjunto del Ideam con las Corporaciones Autónomas Regionales, las Corporaciones para el Desarrollo Sostenible, las Autoridades Ambientales de los Grandes Centros Urbanos y demás instituciones que contribuyeron en la generación, almacenamiento, procesamiento, análisis y difusión de información de calidad del aire en el país, aportando y permitiendo conocer los efectos del desarrollo socioeconómico sobre la naturaleza, el medio ambiente y los recursos naturales renovables.

El Gobierno nacional ha venido trabajando con los diferentes sectores para el mejoramiento de la calidad del aire, con el enfoque específico de aumentar el monitoreo y seguimiento de la contaminación atmosférica y reducir la presencia de los contaminantes en la atmósfera. A partir del Plan Nacional de Desarrollo y de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, se establecen indicadores de cumplimiento referentes a la calidad del aire con metas proyectadas a los años 2022 y 2030, respectivamente, los cuales toman como orientación el objetivo intermedio 3 de la OMS, y hacen referencia al porcentaje de estaciones de calidad del aire que registran concentraciones anuales por debajo de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{PM}_{2.5}$.

Durante 2020 se encontró un comportamiento propicio de los indicadores de la calidad del aire nacional, los cuales denotan una orientación al cumplimiento de las metas trazadas por el Plan Nacional de Desarrollo (PND) y Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para los años 2022 y 2030. En cuanto al PM_{10} , el porcentaje de estaciones que cumplió tanto con el criterio de representatividad temporal de los datos, como con el objetivo intermedio 3 de las Guías de Calidad del Aire de la OMS, pasó del 33,7% en 2019 al 34,8% en 2020, sugiriendo una tendencia al cumplimiento gradual de la meta del PND al año 2022. De igual manera, la tendencia mostró un aumento gradual orientado al cumplimiento de la meta del 70% de estaciones fijada por los ODS.

Con respecto al $\text{PM}_{2.5}$, el indicador de cumplimiento de la meta de los Objetivos de Desarrollo Sostenible reportó un porcentaje favorable del 32,1% de las estaciones que señalan cumplimiento tanto en representatividad temporal como en el objetivo intermedio 3 de la OMS, y aunque dicho porcentaje señala una disminución con respecto al año anterior, se evidencia un aumento en el número de estaciones, pasando de 18 unidades en 2019 a 21 unidades en 2020, lo que indica una evolución favorable en el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. En este sentido, cabe resaltar que el año 2020 fue un período atípico por la pandemia de Covid-19 y varios de los

sistemas de vigilancia no pudieron realizar las operaciones en campo necesarias, lo que resultó en tiempos con vacíos de información y de esta manera se disminuyó el porcentaje de representatividad temporal.

Por su parte, el indicador de seguimiento a la Política de prevención y control de la contaminación del aire, definido por el porcentaje de estaciones en situación de conformidad normativa en la totalidad de los parámetros que evalúan, para el año 2020 registró un porcentaje alto, del 94,7%, reflejando incremento de 1,5 puntos porcentuales con respecto al año 2019. En cuanto a los resultados de este indicador desgregados por parámetro, se destacan porcentajes de estaciones cumpliendo cercanos al 95,5% para PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ y un cumplimiento del 100% de las estaciones para NO_2 .

En 2020, el país contó con 23 Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire, conformados por 210 estaciones de monitoreo, de las cuales 187 fueron fijas y 23 indicativas; estas cifras, en comparación con el 2019, representan un incremento considerable de 61 estaciones fijas y una reducción de 26 indicativas, lo que indica un panorama positivo en el fortalecimiento del monitoreo de la calidad del aire, ya que lo ideal es reducir el monitoreo fijo o por campañas y robustecer el monitoreo permanente.

Es necesario resaltar que, a pesar de la pandemia y las cuarentenas realizadas en el país, contó con cerca de cuatro millones de registros en el SISAIRE, lo que se traduce en aproximadamente el doble de información reportada del estado de la calidad del aire frente a 2019, que le aportan al entendimiento y a la gestión integral de los contaminantes atmosféricos a nivel nacional.

Los SVCA que operaron en 2020 cubrieron 19 departamentos y 80 municipios. Sin embargo, a partir de los criterios estipulados en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, se identificaron oportunidades de mejora y grandes retos para las autoridades ambientales, esto ya que a nivel nacional se identificaron 84 municipios que requieren implementar un SVCA, de los cuales 16 deben implementar un monitoreo permanente, entre estos municipios se encuentran Apartadó, Turbo, Soledad, Cartagena, Tunja, Florencia, Yopal, Maicao, Uribe, Ipiales, Pasto, Tumaco, Piedecuesta, Barrancabermeja, Sincelejo y Buenaventura.

Para el caso especial de Buenaventura, este distrito se encuentra en el proceso de implementación de un SVCA tipo II, Básico, que permitirá capturar datos de calidad del aire de manera permanente por

medio de tres (3) estaciones distribuidas a lo largo de la ciudad. Las estaciones de la red de monitoreo se componen de equipos automáticos que reportan información de material particulado, tanto PM_{10} como $\text{PM}_{2.5}$. Además de dichos monitores, las estaciones cuentan con dispositivos que capturan la información meteorológica y sistema de transmisión de datos. Finalmente, se espera para el próximo año contar con información de calidad del aire de este importante puerto marítimo de Colombia.

Adicionalmente, es necesario que 17 municipios incrementen sus esfuerzos para mejorar su SVCA, pues su configuración actual no alcanza a cubrir la complejidad requerida o número suficiente de estaciones para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, de acuerdo con los lineamientos referentes al número de población establecidos en el mencionado protocolo, entre estos municipios se listan: Ibagué, Rionegro, Puerto Berrio, Chinchiná, La Dorada, Popayán, Valledupar, Funza, Cajicá, Zipaquirá, Santa Rosa de Cabal, Dosquebradas, Girón, Jamundí, Candelaria, Guadalajara de Buga y Tuluá.

Durante los últimos años, las autoridades ambientales han venido implementando y renovando sus SVCA con tecnologías automáticas, para realizar en tiempo real la evaluación y seguimiento de los contaminantes atmosféricos. En el 2020 se observó que la mayoría (71%) de las estaciones operativas del país cuentan con tecnologías automáticas o mixtas, lo que 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 evolución tecnológica reflejó una disminución del 62% de equipos manuales y un aumento respectivo de 53% y 9% de equipos automáticos e híbridos, cifras resultantes de la comparación con el año inmediatamente anterior.

El Ideam en su rol de administrador del SISAIRE, en el año 2020 implementó un plan de seguimiento al cague oportuno de información de calidad del aire por parte de las autoridades ambientales, así como los espacios de capacitación, permitiendo fortalecer la administración y oferta de datos de calidad del aire disponibles al público; así las cosas, se promueve el trabajo en conjunto con las autoridades para reforzar el manejo del nuevo SISAIRE, promover el cague de información y desarrollar mejoras del sistema de información para una gestión más efectiva y amigable con los usuarios.

En 2020, el contaminante más evaluado fue el material particulado menor a 10 micras (PM_{10}), cuyo seguimiento fue realizado por 173 de



las 210 estaciones (82,4%). No obstante, la representatividad temporal en 101 estaciones no cumplió el mínimo requerido del 75% de datos válidos, por lo cual dichas estaciones se reportan de manera indicativa. Dado lo anterior, en pro de la evaluación y seguimiento a la calidad del aire, es recomendable, implementar medidas por parte de las autoridades ambientales para mejorar la representatividad temporal de los datos, tales como renovación y mejoramiento de tecnología, entrenamiento y respaldo de personal técnico calificado; así como la formulación e implementación de programas de reducción de la contaminación del aire de acuerdo con las mediciones previas dentro de su jurisdicción.

A nivel nacional, el comportamiento anual del PM₁₀ permitió señalar que el 94,2% de las estaciones de monitoreo que señalan representatividad temporal suficiente, refirieron cumplimiento con respecto al nivel máximo permisible anual estipulado en la Resolución 2254 de 2017. Entre las estaciones de monitoreo que registraron las mayores concentraciones, superando el mencionado nivel máximo permisible anual se citan cuatro, las cuales se ubican en los municipios de Soacha (Cundinamarca) y Ráquira (Boyacá) y en las ciudades de Cali (Valle del Cauca) y Bogotá D.C.

Entre tanto, las medias anuales de (PM_{2,5}), señalaron que a nivel nacional el 93,8% de las estaciones de monitoreo que cumplieron en representatividad temporal presentaron concentraciones inferiores al nivel máximo permisible anual expuesto en la Resolución 2254 de 2017. Las estaciones que reportaron concentraciones superiores al nivel máximo permisible fueron tres, dos de ellas ubicadas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Antioquia) y una en la ciudad de Bogotá D.C.

De otro lado, con respecto al comportamiento de los contaminantes gaseosos, el dióxido de azufre, ozono y monóxido de carbono, reflejaron un efecto mínimo, casi nulo sobre la salud de la población, ya que el Índice de Calidad del Aire, a nivel nacional, durante el año 2020 tuvo porcentajes superiores al 90% en la categoría buena. Por su parte, el dióxido de nitrógeno -NO₂, registró cumplimiento de la norma nacional anual en el 100% de las estaciones que midieron este contaminante, y en la gran mayoría de las estaciones (96%) ya se cumple con el límite normativo proyectado al año 2030, sólo se encontró una estación en la ciudad de Bogotá (Carvajal - Sevillana) por encima de dicho límite máximo permisible proyectado. Lo que ratifica el bajo potencial de afectación a la salud de la población colombiana que tienen los contaminantes gaseosos.

A partir de la valoración del Índice de Calidad del Aire (ICA), se puede decir que las frecuencias en las cuales se alcanzan categorías dañinas a la salud y dañinas a la salud de grupos sensibles, se atribuyen principalmente a los contaminantes particulados (Partículas Menores

a 2,5 micras y Partículas Menores a 10 micras), ratificando la necesidad de aunar esfuerzos para disminuir las concentraciones de estos contaminantes en el aire.

Debido a la importancia de la meteorología en la dispersión de los contaminantes atmosféricos, es necesario que las autoridades ambientales fortalezcan el monitoreo de esas variables en la mayoría de las estaciones de los SVCA, de manera que se facilite el análisis integrado de los eventos de contaminación. Esto con especial énfasis en regiones donde las características climatológicas señalan menos lluvias y altos niveles de radiación, debido a que estas condiciones favorecen, por ejemplo, la resuspensión de contaminantes particulados la formación del ozono y la propagación de incendios forestales.

Se ha identificado que, para aumentar el entendimiento de la contaminación atmosférica y aportar a la gestión integral del recurso aire, es necesario aunar esfuerzos por parte de las autoridades ambientales para la elaboración de inventarios de emisión detallados y ejercicios de modelización que permitan identificar las principales fuentes de contaminantes, su distribución espacio-temporal y sus repercusiones en la salud y el ambiente, de esta manera, generar insumos para desarrollar políticas públicas orientadas al cuidado de la calidad del aire.

De igual manera, se sugiere que las autoridades ambientales implementen herramientas complementarias basadas en información secundaria información secundaria para el análisis de la calidad del aire como el Servicio de Monitoreo de la Atmosfera (CAMS) y el Sistema de Observación de la Tierra Goddard (GEOS), los cuales proveen información satelital de diversos contaminantes atmosféricos, lo que puede aportar al entendimiento de la dinámica en la atmósfera a nivel nacional.

El año 2020 tuvo un escenario de bajas emisiones antropogénicas debido a las restricciones asociadas al Covid-19, el análisis de las concentraciones de contaminantes atmosféricos demuestra que las emisiones de fuentes fijas y móviles no son las únicas que impactan directamente los niveles de contaminación y que hay otras fuentes que deterioran la calidad del aire bajo ciertas condiciones meteorológicas. El transporte de contaminantes desde regiones apartadas hacia las ciudades es también un factor importante a tener en cuenta. Estos resultados indican que los estudios de calidad del aire y políticas gubernamentales deben incluir planes y programas de prevención de incendios forestales.

La normativa colombiana señala que, "los laboratorios que produzcan información cuantitativa, física, química y biótica para los estudios o análisis de 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 el certificado de acreditación correspondiente otorgado por el Ideam" (Parágrafo 2 del artículo 5º, del Decreto 1600 de 1994). Bajo este contexto, el Ideam recomienda a las autoridades ambientales y laboratorios de análisis de calidad del aire surtir el proceso de acreditación de sus SVCA y ensayos analíticos, como garantía de la idoneidad y competencia técnica en todas las etapas involucradas en el proceso de monitoreo, determinación analítica, validación y seguimiento, desde la generación del dato, hasta la emisión y difusión de los resultados, ya que es fundamental que se garantice que los diferentes sectores involucrados y la ciudadanía en general puedan acceder y hacer uso de la información de calidad del aire y adquirir datos de calidad, oportunos y confiables, que conlleven al entendimiento y adecuada gestión del recurso aire.

Es necesario que las autoridades ambientales fortalezcan los programas de prevención, control y reducción de la contaminación de aire, con el objetivo de disminuir las concentraciones de los contaminantes atmosféricos para cumplir con los niveles máximos permisibles establecidos como obligatorios a partir del año 2030 y orientar esfuerzos al cumplimiento gradual de los valores guía recomendados por la Organización Mundial de la Salud. Las medidas que deben implementarse en las ciudades y regiones del país comprometen a los representantes de la sociedad civil, a los sectores productivos, a las autoridades locales y regionales y todas las instituciones y entidades relacionadas con el tema, por lo cual se debe avanzar en gobernanza y apropiación de la problemática por parte de la ciudadanía.

Por parte de la comunidad científica, se identificó a la contaminación del aire como un determinante social que influye en la presencia de la Covid 19 en la población, es por ello necesario trabajar en las estrategias de vigilancia, prevención y control de la contaminación del aire, con el fin de minimizar la carga por enfermedades cardiopulmonares e infecciosas en la población. Es necesario formular e implementar planes nacionales de calidad del aire, que, sumados a los lineamientos mundiales de calidad del aire emitidos por la OMS, conlleven a beneficios para el futuro que impactará las enfermedades derivadas de la contaminación del aire y los efectos de estas emisiones en el cambio climático.

Por último, se resalta la importancia de que las entidades del orden nacional, territorial y local, continúen sumando esfuerzos para dar cumplimiento a los lineamientos contemplados en el Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022, Conpes 3943 de 2018 "Política para el Mejoramiento de la Calidad del Aire", Conpes 3918 de 2018 "Estrategia para la implementación de los ODS en Colombia" y de la Estrategia Nacional de Calidad del Aire, iniciativas y políticas que permitirán garantizar el derecho constitucional de un ambiente sano donde los efectos de la contaminación atmosférica sean mínimos y garanticen la salud de todos los colombianos.



10. Referencias bibliográficas

- Armenteras, D., González-Alonso, F., Frando-Aguilera, C.A. (2009). Geographic and temporal distribution of fire in Colombia using thermal anomalies data. *Caldasia* 31:303-318
- Armenteras, D., Romero, M., Galindo, G. (2005). Vegetation fire in the savannas of the Llanos Orientales of Colombia. *World Resource Review*. 17: 628-640.
- Arregocés, H. A., Rojano, R. & Restrepo, G. (2021). Impact of lockdown on particulate matter concentrations in Colombia during the Covid-19 pandemic. *Science of the Total Environment*, 764, 142874. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142874>
- Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz (2003). Capítulo 2. La contaminación atmosférica. En A. d. Vitoria-Gasteiz, Plan municipal de gestión de la calidad del aire de Vitoria-Gasteiz (págs. 7 - 30). Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, España.
- Ballesteros-González, K., Sullivan, A.P. & Morales-Betancourt, R. (2020). Estimating the air quality and health impacts of biomass burning in northern South America using a chemical transport model. *Sci. Total Environ.*, 739, 139755. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139755>
- Bolaño-Ortiz, T. R., Camargo-Caicedo, Y., Puliafito, S. E., Ruggeri, M. F., Bolaño-Díaz, S., Pascual-Flores, R., Saturno, J., Ibarra-Espinosa, S., Mayol-Bracero, O. L., Torres-Delgado, E. & Cereceda-Balic, F. (2020). Spread of SARS-CoV-2 through Latin America and the Caribbean region: A look from its economic conditions, climate and air pollution indicators. *Environmental Research*, 191, 109938. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109938>
- Cai, W.J., Wang, H. W., Wu, C. L., Lu, K. F., Peng, Z. R. & He, H. D. (2021). Characterizing the interruption-recovery patterns of urban air pollution under the COVID-19 lockdown in China. *Building and Environment*, 205, 108231. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108231>
- Carslaw, D. C. (2015). The openair manual - open-source tools for analyzing air pollution data. Manual for version 1.1-4. King's College London.
- Carslaw, D. C. & Ropkins, K. (2012). Openair - an R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software*, volume 27-28, 52-61.
- Casallas A., Hernandez-Deckers D., Mora-Paez H. (2021b). Understanding convective storms in a tropical, high-altitude location with in-situ meteorological observations and GPS-derived water vapor. *Atmósfera UNAM Journal*. <https://doi.org/10.20937/ATM.53051>
- Casallas, A., Celis, N., Ferro, C. et al. (2020). Validation of PM₁₀ and PM_{2,5} early alert in Bogotá, Colombia, through the modeling software WRF-CHEM. *Environ Sci Pollut Res*. 27, 35930-35940. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06997-9>
- Casallas, A., Ferro, C., Celis, N., Guevara-Luna, M., Mogollón, C., Guevara-Luna, F. & Merchan, M. (2021a). Long-Short Term Memory artificial neural network approach to forecast meteorology and PM_{2,5} local variables in Bogotá, Colombia. *Modeling Earth Systems and Environment*. <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01274-6>
- Castillo-Camacho, M.P., Tunarrosa-Grisales, I.C., Chacón-Rivera, L.M., Guevara-Luna, M.A. & Belalcázar-Cerón, L. C. (2020). Personal Exposure to PM_{2,5} in the Massive Transport System of Bogotá and Medellín, Colombia. *Asian Journal of Atmospheric Environment*. 14, 210-224. <https://doi.org/10.5572/ajae.2020.14.3.210>
- CEPAL (2020). Effects of the quarantines and activity restrictions related to the coronavirus disease (Covid-19) on air quality in Latin America's cities. https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/45885/S2000475_en.pdf
- Chaparro, L.V. & Bustos, J.D. (2021). Evaluación de red neuronal recurrente para predicción de riesgo por SOx en la ciudad de Bogotá. *Disertación de Tesis*. Universidad Sergio Arboleda. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35276.74886>
- Chen, K., Wang, M., Huang, C., Kinney, P. L. & Anastas, P. T. (2020). Air pollution reduction and mortality benefit during the COVID-19 outbreak in China. *The Lancet Planetary Health*, 4(6), e210-e212. [https://doi.org/10.1016/s2542-5196\(20\)30107-8](https://doi.org/10.1016/s2542-5196(20)30107-8)
- Cooper, O. R., et al. (2014). Global distribution and trends of tropospheric ozone: An observation-based review. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 2. <https://doi.org/10.12952/journal.elementa.000029>
- Córdoba, T. & Sánchez, L. (2020). Análisis de las características atmosféricas en eventos de contaminación por material particulado en una ciudad del trópico con topografía compleja. *Disertación de tesis*. Universidad Sergio Arboleda. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22694.65606>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda*
- Departamento Nacional de Planeación (2018). Copes 3918 "Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en Colombia".
- Departamento Nacional de Planeación (2018). Copes 3943 "Política para el mejoramiento de la calidad del aire".
- Departamento Nacional de Planeación (2020). Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022: Pacto por Colombia, pacto por la equidad.
- Deroubaix, A., et al. (2021). Response of surface ozone concentration to emission reduction and meteorology during the Covid-19 lockdown in Europe. *Meteorological Applications*, 28(3), e1990. <https://doi.org/10.1002/met.1990>
- Environmental Protection Agency. (2021, 24 agosto). How is the Nowcast algorithm used to report current air quality? *AirNow*. https://usepa.servicenowservices.com/airnow?id=kb_article&sys_kb_id=bb8b65ef1b06bc10028420eae54bcb98
- Escobar, A.C. & Castiblanco, M.F. (2021). Análisis de condiciones atmosféricas y de cobertura vegetal asociadas a incendios forestales. *Disertación de Tesis*. Universidad Sergio Arboleda. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24244.58241>
- Evtyugina, M., et al. (2013). VOC emissions of smouldering combustion from Mediterranean wildfires in central Portugal. *Atmospheric Environment*, 64, 339-348. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.10.001>
- Fountoulakis, I., et al. (2019). Solar UV Irradiance in a Changing Climate: Trends in Europe and the Significance of Spectral Monitoring in Italy. *Environments*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.3390/environments7010001>
- González, C.M., Ynoue, R.Y., Vara-Vela, A., Rojas, N.Y. & Aristizábal, B.H. (2018). High-resolution air quality modeling in a medium-sized city in the tropical Andes: Assessment of local and global emissions in understanding ozone and PM₁₀ dynamics. *Atmospheric Pollution Research*. 9, 934-948. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.03.003>
- Guevara-Luna, M.A., Casallas, A., Belalcázar Cerón, L. & Clappier, A. (2020). Implementation and evaluation of WRF simulation over a city with complex terrain using Alos-Palsar 0.4 s topography. *Environ Sci Pollut Res*. 27, 37818-37838. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09824-8>
- Herrera-Torres, J. (2020). Análisis de la calidad del aire en diferentes ciudades de América Latina y el Caribe a partir de mediciones en superficie y datos del servicio de monitoreo atmosférico de Copernicus (CAMS). *Disertación de Tesis*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78613/1018472485.2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



- Ideam (2018). Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2017. Bogotá, D.C.
- Ideam (2018). SISAIRE - Consultas. <http://sisaire.ideam.gov.co/ideam-sisaire-web/consultas.xhtml>
- Ideam (2019). Documento Metodológico Estadísticas De Monitoreo Y Seguimiento De La Calidad Del Aire - Emsca.http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72065195/M-GCI-M003+Documento+Metodologico+Monitoreo+y+Seguimiento+de+la+Calidad+del+Aire_Completo.pdf/7a53be28-cd96-432e-ac4e-898fbeb94300
- Ideam (2020). Comunicado especial n°030 posibilidad de ingreso de polvo del Sahara al país. http://www.pronosticosyalertas.gov.co/comunicados-especiales/-/document_library_display/vVG-JGPpWelFl/view/101423849
- Ideam (2020). Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2018. Bogotá, D.C.
- Inche, J. L. (2004). Capítulo 7. Transporte y dispersión de contaminantes del aire. En J. L. Inche, Gestión de la calidad del aire: causas, efectos y soluciones (págs. 59 - 62 p.). Lima, Perú: Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial-UNMSM.
- Inness, A., et al. (2019). The CAMS reanalysis of atmospheric composition. 19, 3515–3556 <https://doi.org/10.5194/acp-19-3515-2019>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam. (2019). Informe del estado de calidad del aire, 2019. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023898/InformeCalidadAire_2019.pdf
- Jiang, G. & Fast, J.D. (2004). Modeling the effects of VOC and NO_x emission sources on ozone formation in Houston during the TexAQS 2000 field campaign. *Atmospheric Environment*, 38(30), 5071-5085. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.06.012>
- Kumar, A., Jiménez, R., Belalcázar, L.C. & Rojas, N.Y. (2016). Application of WRF-CHEM model to simulate PM₁₀ concentration over Bogota. *Aerosol and Air Quality Research*. 16, 1206-1221. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.05.0318>
- Lee, H.J., et al. (2021). Ozone Continues to Increase in East Asia Despite Decreasing NO₂: Causes and Abatements. *Remote Sensing*, 13(11), 2177. <https://doi.org/10.3390/rs13112177>
- Lishu, W., Yan, L., Qiuyan, L., Shoutian, D. & Lijing, T. (2015). Greenhouse environmental data collection based on improved Chauvenet's criterion. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31(5). <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2015.05.030>
- Liu, F., Wang, M. & Zheng, M. (2021). Effects of COVID-19 lockdown on global air quality and health. *Science of the Total Environment*, 755, 142533. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142533>
- Mendez-Espinosa J., Rojas N., Vargas J., Pachón J., Belalcazar L. C. & Ramírez O. (2020). Air quality variations in Northern South America during the COVID-19 lockdown. *Science of the Total Environment*. Volume 749. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141621>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS (2008). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire. Bogotá, D.C.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -MADS (2008). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire. Bogotá, D.C.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -MADS (2020). Contaminación atmosférica. Consultado el 12/11/2020 de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/gestion-del-aire/contaminacion-atmosferica>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017). Resolución Número 2254. 01 de noviembre de 2017.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire.
- Mogollón-Sotelo, C., Casallas, A., Vidal, S., Celis, N., Ferro, C. & Belalcazar, L.C. (2020). A support vector machine model to forecast ground-level PM_{2,5} in a highly populated city with a complex terrain. *Air Qual Atmos Health*. 14, 399-409. <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00945-0>
- Naqvi, H. R., Datta, M., Mutreja, G., Siddiqui, M. A., Naqvi, D. F. & Naqvi, A. R. (2021). Improved air quality and associated mortalities in India under COVID-19 lockdown. *Environmental Pollution*, 268, 115691. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115691>
- NASA. (2021). MODIS Collection 6 Hotspot / Active Fire Detections MCD14ML distributed from NASA FIRMS. Available on-line [<https://earthdata.nasa.gov/firms>]. doi: 10.5067/FIRMS/MODIS/MCD14ML
- OMS. (2020). Covid-19: cronología de la actuación de la OMS. <https://www.who.int/es/news/item/27-04-2020-who-timeline---covid-19>
- Organización Mundial de la Salud (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Ginebra, Suiza.
- Organización Mundial de la Salud - OMS (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre Actualización mundial 2005. Resumen de evaluación de los riesgos. WHO/SDE/PHE/OEH/06.02.
- Organización Mundial de la Salud (2021, 22 septiembre). Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. Calidad del aire y salud. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Retrieved from <https://www.R-project.org/>
- Ramírez-Romero, C., et al. (2021). African dust particles over the western Caribbean – Part I: Impact on air quality over the Yucatán Peninsula, *Atmos. Chem. Phys.*, 21, 239–253, <https://doi.org/10.5194/acp-21-239-2021>.
- Red de Monitoreo de calidad del Aire de Bogotá (2021, julio). Informe anual de calidad del aire de Bogotá año 2020. Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. <https://oab.ambientebogota.gov.co/descargar/18852>
- Rodríguez-Urrego, D., Rodriguez-Urrego, L., 2020, Air quality during the COVID-19: PM_{2,5} analysis in the 50 most polluted capital cities in the world. *Environmental Pollution*. 266, 115042, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115042>
- Rodríguez-Villamizar, L. A., Belalcázar-Ceron, L. C., Fernández-Niño, J. A., Marín-Pineda, D. M., Rojas-Sánchez, O. A., Acuña-Merchán, L. A., Ramírez-García, N., Mangones-Matos, S. C., Vargas-González, J. M., Herrera-Torres, J., Agudelo-Castañeda, D. M., Piñeros Jiménez, J. G., Rojas-Roa, N. Y. & Herrera-Galindo, V. M. (2021). Air pollution, sociodemographic and health conditions effects on COVID-19 mortality in Colombia: An ecological study. *Science of the Total Environment*, 756, 144020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144020>
- SDA (2020). Reporte de estaciones. <http://rmcab.ambientebogota.gov.co/Report/stationreport>
- Secretaría Distrital de Salud de Bogotá (2020, enero). Boletín Epidemiológico Distrital. Subsecretaría de Salud Pública. http://www.saludcapital.gov.co/DSP/Boletines%20epidemiologicos/2019/BED_Vol_17_No_1.pdf
- Sokhi, R., et al. (2021). A global observational analysis to understand changes in air quality during exceptionally low anthropogenic emission conditions. *Environment international*. 157, 106818. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106818>
- Sun, C., et al. (2014). Mechanisms and reaction pathways for simultaneous oxidation of NO_x and SO₂ by ozone determined by in situ IR measurements. *Journal of hazardous materials*, 274, 376-383. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.04.027>
- U.S. Environmental Protection Agency (2018). Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI). EPA 454/B-18-007 September 2018.
- Vargas-González, J. (2020). Evaluación espacial y temporal de la calidad del aire en Colombia a partir de los datos del servicio de monitoreo atmosférico de Copernicus (CAMS) y monitoreos en superficie. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77585/771396.2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- World Health Organization (2021, septiembre). WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2,5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. WHO. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf>



11. Anexos Metereología

La atmósfera es el medio en el que se liberan los contaminantes, el transporte y la dispersión de estos contaminantes en el aire ambiente, depende en gran medida de los parámetros meteorológicos, así como de otros complejos factores. Las variaciones globales y regionales del clima y las condiciones topográficas locales afectan el transporte y dispersión de los contaminantes.

En una escala mundial, las variaciones del clima influyen sobre el movimiento de los contaminantes. Por ejemplo, la dirección predominante de los vientos en Centroamérica y norte de Sudamérica es de este a oeste y en Norteamérica y sur de Sudamérica de oeste a este. En un nivel local, los principales factores del transporte y dispersión son el viento y la estabilidad. La dispersión de contaminantes de una fuente depende de la cantidad de turbulencia en la atmósfera cercana. (Inche, Capítulo 7. Transporte y dispersión de contaminantes del aire, 2004).

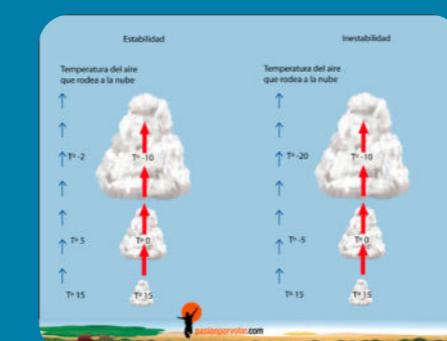
Las emisiones de contaminantes, así como los fenómenos de transporte y de dispersión de estos se producen en la capa más baja de la troposfera, que se denomina "capa de límite atmosférico". Esta capa tiene un espesor comprendido entre varios cientos de metros hasta 1 km y está directamente influenciada por las características de la superficie terrestre (Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, 2003). Es por ello que para realizar actividades relativas a al control de emisiones atmosféricas y ejercicios de modelización es imprescindible comprender los factores meteorológicos que inciden, los cuales se describen a continuación.



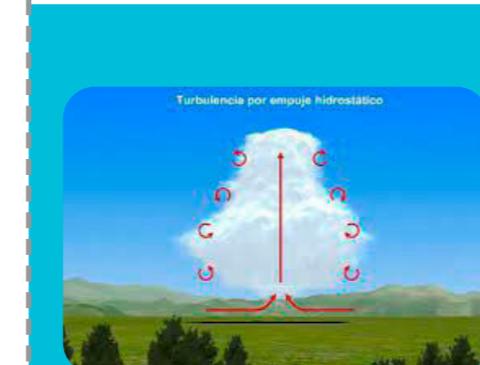
Viento

- » El movimiento horizontal de la atmósfera es lo que comúnmente se llama viento.
- » La velocidad del viento puede afectar en gran medida la concentración de contaminantes en un área.
- » Mientras mayor sea la velocidad del viento, menor será la concentración de contaminantes.
- » El viento diluye y dispersa rápidamente los contaminantes en el área circundante. Con lo cual una ausencia de viento contribuye a la acumulación de los contaminantes cerca de las fuentes.
- » El viento es el principal agente meteorológico que determina las condiciones de dispersión de la contaminación. Sus características de velocidad y dirección son importantes para determinar lo que se denomina área de dispersión o alcance.
- » Contribuye en la generación de los de incendios forestales, determina la velocidad y dirección de propagación del fuego. Puede generar focos secundarios. Favorece la desecación del combustible, aumenta la intensidad del incendio al aportar oxígeno, e incrementa la velocidad de propagación.

Estabilidad atmosférica



- » El movimiento vertical de la atmósfera es conocido como "estabilidad atmosférica" también afecta el transporte y dispersión de los contaminantes del aire.
- » Las condiciones atmosféricas inestables producen la mezcla vertical.
- » Generalmente, durante el día el aire cerca de la superficie de la Tierra es más caliente y liviano que el aire en la atmósfera superior debido a la absorción de la energía solar. El aire caliente y liviano de la superficie sube y se mezcla con el aire frío y pesado de la atmósfera superior que tiende a bajar.
- » Este movimiento constante del aire crea condiciones inestables y dispersa el aire contaminado.
- » Cuando el aire más caliente está por encima del aire frío se presentan condiciones atmosféricas estables, de ese modo se inhibe la mezcla vertical. Esta condición se denomina inversión térmica. Cuando hay una ligera mezcla vertical o no hay mezcla, los contaminantes permanecen en la zona baja y tienden a aparecer en concentraciones mayores.



Turbulencia

- » La turbulencia es la irregularidad del movimiento del viento y se caracteriza por el cruce de las trayectorias de las masas de aire y por la superposición de una fluctuación irregular, aleatoria y no reproducible de la circulación media del viento.
- » La dispersión de tipo torbellino es el proceso de mezcla más importante en las capas bajas de la tropósfera y aumenta el efecto de dispersión y dilución de los contaminantes.



Precipitación



- ▶ Permite un efecto beneficioso, porque lava las partículas contaminantes del aire y ayuda a minimizar las partículas provenientes de actividades como la construcción y algunos procesos industriales.
- ▶ Favorece o hace más eficientes los procesos de lavado y eliminación de contaminantes del aire, principalmente de contaminantes particulados.
- ▶ En épocas de mayor precipitación, existe una mayor eliminación de partículas en suspensión y así mismo, existe un mayor arrastre.
- ▶ Mientras que los períodos de sequía favorecen la resuspensión de partículas depositadas y la reevaporación, lo que hace menos eficiente la eliminación de contaminantes particulados.

Radiación solar



- ▶ Contribuye a la formación de ozono troposférico y otros contaminantes secundarios, que se originan en presencia de luz solar.
- ▶ Influye en la formación del ozono, debido a que permite la reacción de vapores orgánicos con los óxidos de nitrógeno.
- ▶ Favorece la generación de incendios forestales.

Temperatura (gradiante de temperatura)



- ▶ Los movimientos de masas de aire se deben a las diferencias de densidades entre ellas, y las densidades, a su vez, están influenciadas por la temperatura de las masas. El gradiente de temperatura condiciona de esta manera el movimiento (o su ausencia) ascendente o descendente de una capa.
- ▶ Si la temperatura baja bruscamente, la atmósfera se vuelve inestable lo que facilita la dispersión de los contaminantes. Por lo contrario, la estabilidad atmosférica en la capa de aire favorece la aparición del fenómeno llamado inversión térmica.
- ▶ La inversión térmica es una condición atmosférica causada por una interrupción del perfil normal de la temperatura de la atmósfera. Esta puede retener el ascenso y dispersión de los contaminantes de las capas más bajas de la atmósfera y causar un problema localizado de contaminación del aire. Cuando se emiten contaminantes al aire, en esas condiciones, se acumulan debido a que los fenómenos de transporte y difusión ocurren demasiado lentos.
- ▶ Favorece la generación y propagación de incendios, a mayor temperatura corresponde normalmente menor humedad relativa, y como consecuencia, la humedad en los combustibles también disminuye, ya que está altamente relacionada con la disponibilidad para la combustión.

Fuente: (Inche, Capítulo 7. Transporte y dispersión de contaminantes del aire, 2004). (Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, 2003).

Comportamiento de los indicadores meteorológicos

Comportamiento de la anomalía anual de la temperatura media

La temperatura del aire hace referencia a la medida del estado térmico del aire con respecto a su habilidad de comunicar calor a su alrededor. La temperatura del aire en superficie es la temperatura leída en un termómetro expuesto al aire en una garita o caseta meteorológica, que permite la existencia de una buena ventilación y evita los efectos de la radiación solar directa sobre el termómetro, a una altura comprendida entre 1,25 y 2 metros sobre el nivel del suelo. Por otro lado, la temperatura media corresponde al promedio de las temperaturas observadas en el curso de un intervalo de tiempo determinado (hora, día, mes, año, década, etc.).

En climatología se utilizan los valores promedios para definir y comparar el clima, mientras que, el término anomalía climática es usado para describir la diferencia entre el valor del elemento climático en un período determinado, con respecto al valor medio histórico de la variable climática correspondiente, durante el mismo lapso, en un lugar dado.

En este caso, el Índice de la Anomalía Anual de la Temperatura Media determina la fluctuación por encima y por debajo de lo normal, del comportamiento del régimen de temperatura de un año, respecto al valor promedio (normal). El promedio del período de referencia (Normal Climatológica Estándar) es de 30 años y el utilizado para este análisis corresponde al período 1981 – 2010.

Durante el año 2020 se presentaron en gran parte del territorio nacional anomalías positivas de la temperatura media, a pesar de que predominó la fase neutral del ciclo El Niño - Oscilación del Sur (ENSO) durante el primer semestre del año (reportado por el ONI1 y asociado a valores de este indicador entre +0,5 y -0,5 en el área de seguimiento al ciclo ENSO en el Pacífico ecuatorial) y a la ocurrencia de un evento frío al finalizar el mismo año (asociado a valores negativos de este indicador y por debajo de -0,5 en el área de seguimiento), tal como se puede observar en la Tabla 8 y **Figura 49**.

En la siguiente tabla se muestra el comportamiento del índice oceánico de El Niño - ONI durante el año 2020.



Anomalía anual de la temperatura media

► Comportamiento del índice de precipitación anual

La lluvia es un fenómeno atmosférico consistente en una precipitación acuosa en forma de gotas líquidas, cuyo diámetro se halla generalmente comprendido entre 0,5 y 7 mm y que caen a una velocidad del orden de los 3 m/s. El volumen de lluvia se mide en milímetros. Un milímetro equivale a un litro de agua por metro cuadrado.

Los dos principales aparatos de medición de la precipitación son el pluviómetro y el pluviógrafo. El primero mide el volumen total de lluvia caída durante el día meteorológico (7 a. m. a 7 a. m. del día siguiente). El segundo es un aparato de registro continuo que determina la intensidad de la precipitación en un intervalo de tiempo dado.

El Índice de Precipitación Porcentual señala si la variable en el análisis se registró dentro del rango de valores normales, o entre los intervalos por encima o por debajo de lo normal. El promedio del período de referencia de 30 años es la base del cálculo y representa el 100%. El umbral de normalidad se determina entre el 80% y 120% del valor medio.

En el año 2020 se presentó un comportamiento en la precipitación, cercano a lo normal en gran parte del territorio nacional, como se puede apreciar en la **Figura 50**, a pesar de la ocurrencia de un evento frío durante el segundo semestre del año.

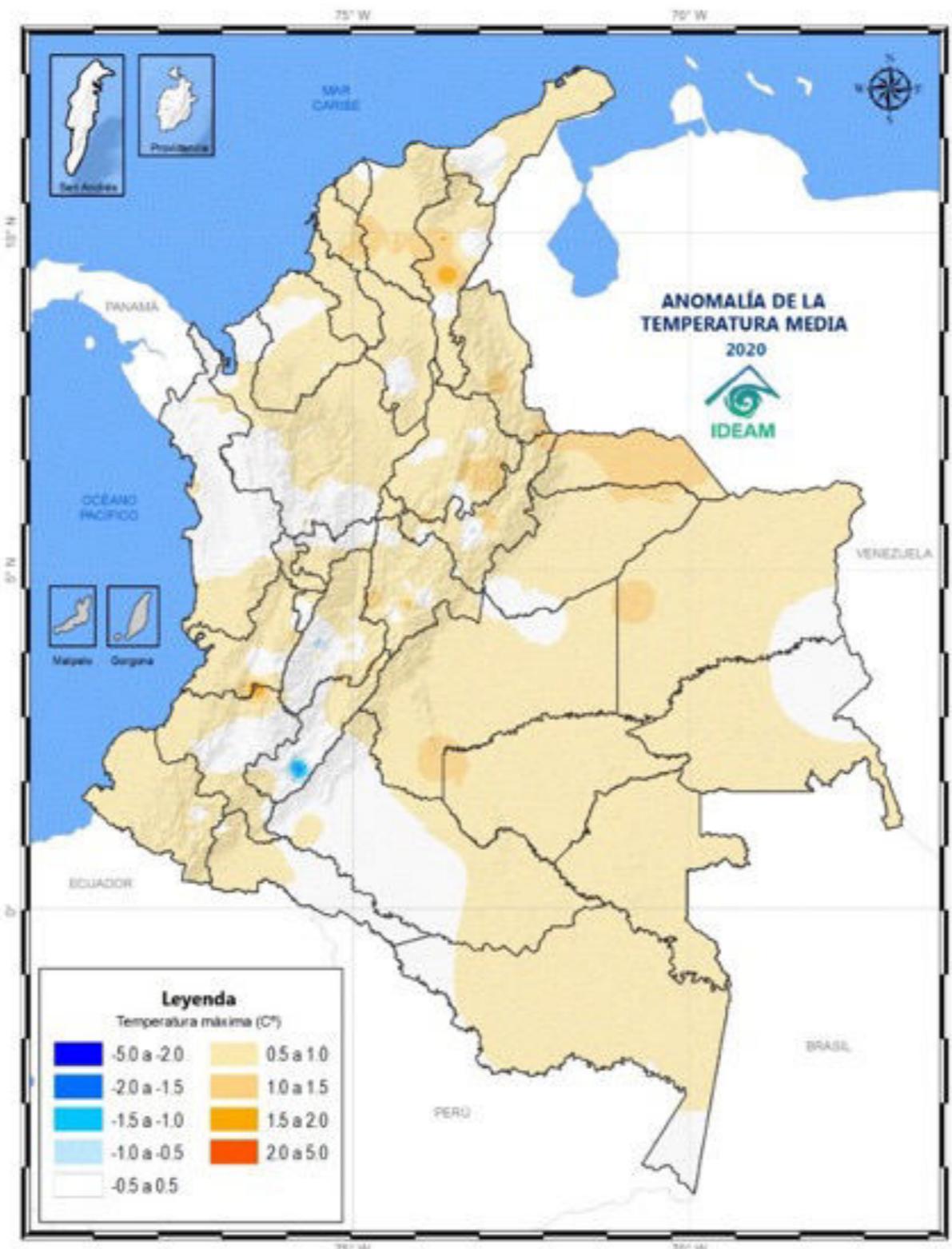
 **Tabla 8. Comportamiento del índice oceánico de El Niño, año 2020**

Año	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE
2020	0,5	0,5	0,4	0,2	-0,1	-0,3	-0,4	-0,6	-0,9	-1,2	-1,3	-1,2

Fuente: ONI¹ - ERSST.v5 SST



Figura 49. Índice de la Anomalía Anual de la temperatura media para el año 2020



Fuente: Grupo de Climatología y Agrometeorología. Subdirección de Meteorología. Instituto de Hidrología Climatología Estudios Ambientales – Ideam, 2020.

El comportamiento de la temperatura media en el país depende de varios factores, pero, se modula en gran medida por la ocurrencia de los fenómenos El Niño y La Niña. Es así que cuando ocurren fenómenos El Niño fuertes, como el del 2015-2016, se presentan notables incrementos en la anomalía de la temperatura media anual, particularmente en las regiones Andina, Caribe, Pacífica, centro y occidente de la Orinoquía y oriente de la Amazonía.

Anomalías positivas

Predominaron en gran parte del territorio nacional, particularmente en las regiones Caribe, Orinoquía, centro y sur de la Pacífica, centro y occidente de la Amazonía y norte y centro de la Andina.

Comportamiento normal

Se concentró principalmente en el centro y norte del Chocó; centro del Valle y el Cauca; en amplios sectores de Putumayo y Caquetá; sur y occidente del Amazonas; nororiente de Guainía y suroriente de Vichada; sectores del norte del Meta, sur de Casanare, centro y sur de Tolima y Huila, sur y occidente de Antioquia, norte de Risaralda y Caldas, centro y sur del Quindío, sur de la Guajira y norte de Córdoba.

Anomalías negativas

Se presentaron en pequeños sectores de los departamentos de Boyacá, Tolima y Huila.

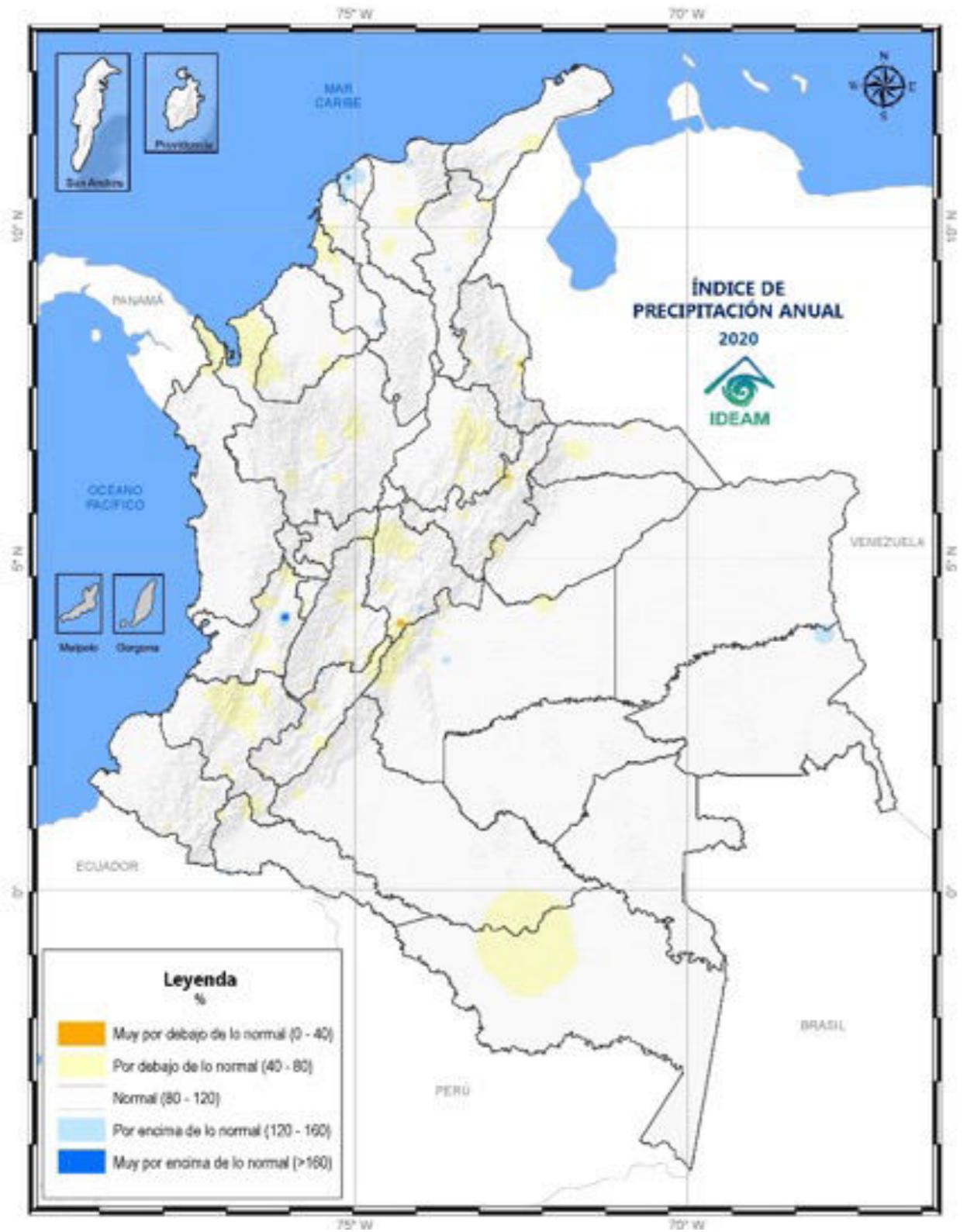
¹ Índice Oceánico de El Niño (ONI, por sus siglas en inglés). Reportado desde 1950. Disponible en: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php



Índice de precipitación anual



Figura 50. Índice de la Precipitación Anual en porcentaje para el año 2020



El comportamiento de la precipitación también presenta fluctuaciones con la ocurrencia de los fenómenos El Niño y La Niña. A pesar de la ocurrencia de un evento frío durante el segundo semestre del año 2020, el Índice de Precipitación Anual estuvo dentro del umbral de la normalidad en gran parte del territorio nacional.

Precipitaciones por debajo de lo normal

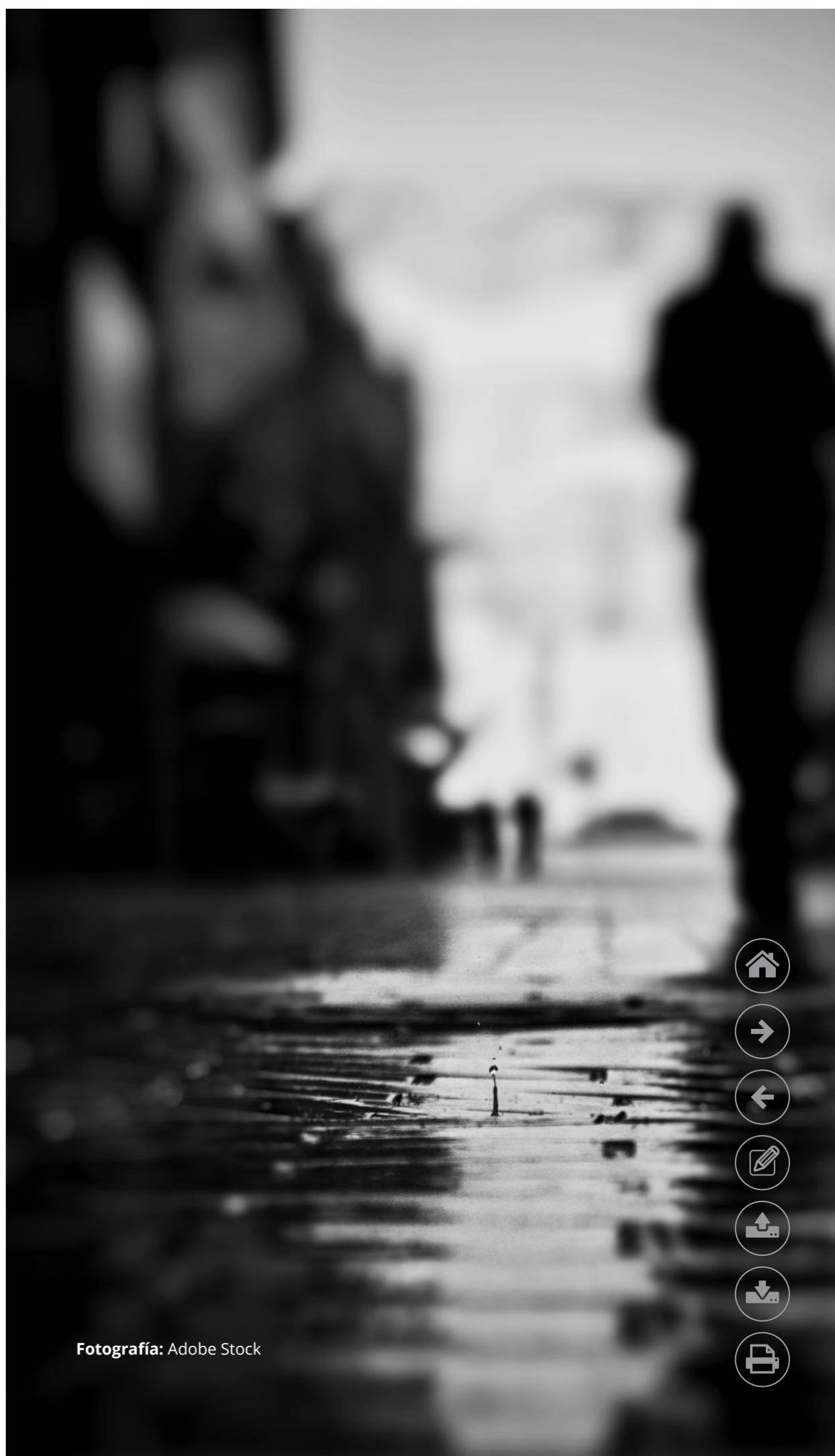
Se concentraron en sectores específicos de los departamentos de la región Caribe, Andina y Amazónica, así como al occidente de la Orinoquía y norte de Chocó.

Comportamiento normal

Predominó en gran parte del territorio nacional.

Precipitaciones por encima de lo normal

Se registraron en pequeños sectores de Atlántico, Cesar, Norte de Santander, Meta, Guainía y Valle del Cauca.



Fuente: Grupo de Climatología y Agrometeorología. Subdirección de Meteorología. Instituto de Hidrología, Climatología Estudios Ambientales – Ideam, 2020.

Fotografía: Adobe Stock

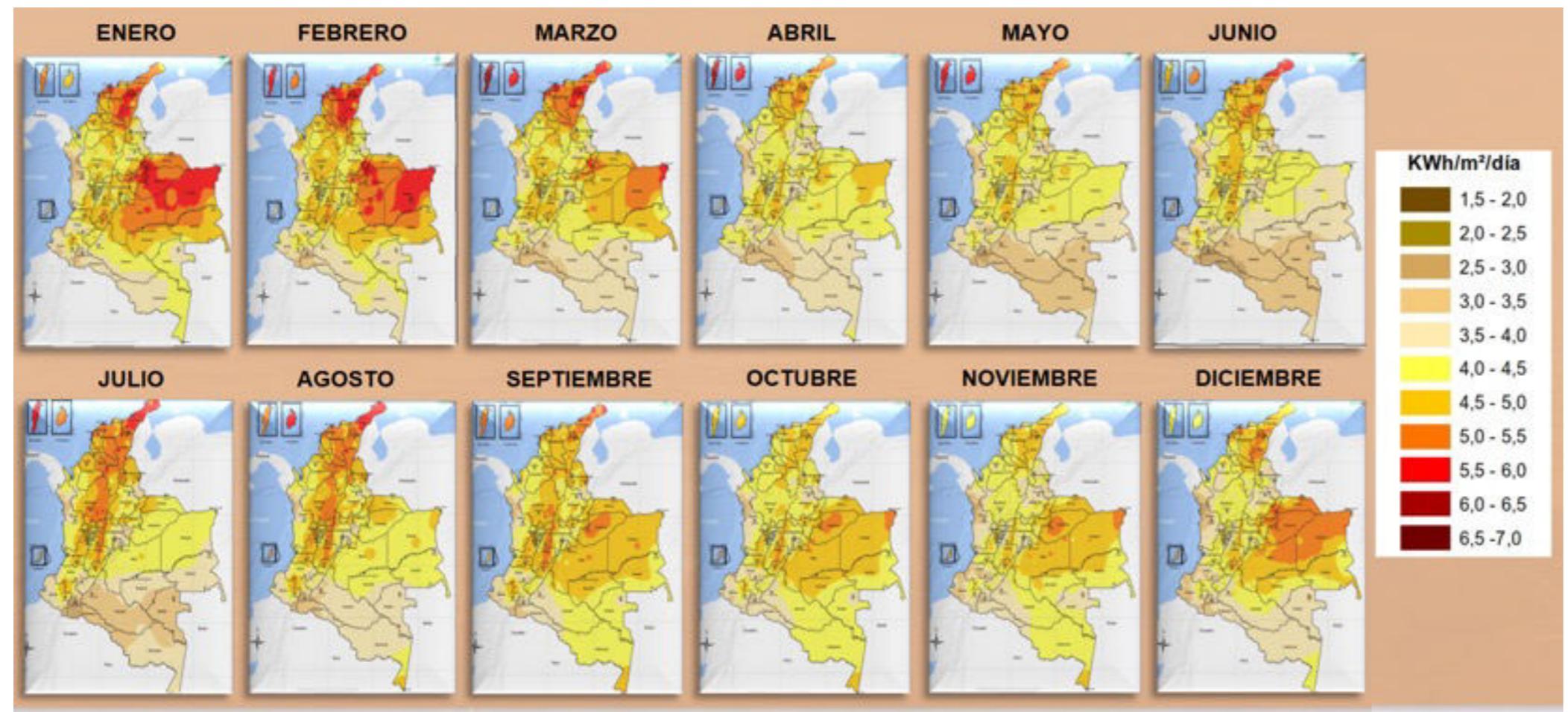


► Comportamiento promedio mensual de la radiación global

Colombia se encuentra en la zona ecuatorial y recibe abundante energía solar, cuya distribución presenta grandes variaciones durante el año en su territorio, razón por la cual para utilizar esta energía es indispensable saber con suficiente detalle su distribución espacial y temporal. La disponibilidad de la energía procedente del Sol depende de la localización geográfica de un punto en la Tierra (latitud, longitud, elevación), además de factores astronómicos como la época del año y la duración del día. Todos estos factores pueden ser determinados con menor o mayor grado de exactitud para estimar la cantidad de energía solar disponible. Sin embargo, el factor que afecta mayormente su disponibilidad efectiva son las nubes y otras condiciones meteorológicas (como la presencia de aerosoles), factores que varían según el lugar y el momento del día. En la **Figura 51**



Figura 51. Mosaico de la radiación global recibida en una superficie horizontal durante el día. (kWh/m^2 por día)



Fuente: Grupo de Climatología y Agrometeorología. Subdirección de Meteorología. Instituto de Hidrología Climatología Estudios Ambientales – Ideam, 2020.

se presenta la distribución de la radiación global media recibida en superficie, sobre el territorio colombiano a lo largo del año, expresada en kWh/m^2 por día. El valor de la energía corresponde al valor agregado de los kWh que en promedio incide durante el día sobre un metro cuadrado, expresado en kWh/m^2 por día.

- **Región Caribe:** en gran parte de la región se presenta un comportamiento bimodal, es decir, dos períodos de alta y dos de baja irradiación global durante el año. Los promedios más altos se dan al inicio del año, especialmente entre enero y marzo y a mediados del año, entre junio y agosto. Los promedios más bajos se presentan entre abril y mayo y entre septiembre y noviembre.
- **Región insular:** En San Andrés y Providencia también se muestra un comportamiento bimodal, pero el primer máximo (que es el

mayor) se da entre febrero y abril y el otro entre julio y agosto, mientras que los mínimos se dan en junio y entre octubre y diciembre.

- **Región Pacífica:** en el norte de la región se presenta un comportamiento monomodal, con los valores más altos a mediados del año y más bajos a principios y finales del año. En el resto de la región el comportamiento es bimodal, con los promedios más altos entre marzo y mayo y entre agosto y septiembre y los promedios más bajos en junio, julio, noviembre, diciembre y enero.
- **Región Andina:** muestra también un comportamiento bimodal, en el cual los períodos con los valores más altos tienen lugar, el primero entre enero y febrero y el segundo en julio y agosto (en algunas estaciones puede incluir a septiembre). Los periodos con los valores más bajos de irradiación ocurren entre abril y mayo y entre octubre y noviembre. En algunas estaciones de Nariño se presenta un comportamiento monomodal, con valores más bajos a principios y finales del año y los más altos entre julio y septiembre, mientras que en algunas estaciones de Boyacá es opuesto al descrito.
- **Amazonía:** en el sur de la región se presenta un comportamiento monomodal, con valores altos a mediados del año y bajos a principios y finales del año. En el resto de la región se presenta un comportamiento contrario al descrito.
- **Orinoquía:** gran parte de la región muestra un comportamiento monomodal con valores altos a principios y finales del año y bajos a mediados del año.



» Comportamiento promedio mensual del viento

En la **Figura 52** se presentan los mapas con los promedios mensuales de la velocidad del viento a 10 m de altura en metros por segundo (m/s). Estos mapas sirven como referencia para Colombia, en el sentido de que aportan conocimiento al transporte de contaminantes atmosféricos en las diferentes zonas del país, indicando los lugares donde podría haber más dispersión de contaminantes y lugares con menos circulación, por ende mayor acumulación de partículas y gases, deteriorando la calidad del aire; además, son útiles para establecer aplicaciones de tipo climatológico, construcción de aeródromos, clima urbano, turismo e incluso agrometeorología y aeronavegación. Al realizar un análisis de estos mapas para las regiones naturales de Colombia, se destaca lo siguiente: durante los períodos entre diciembre y marzo y entre junio y agosto, las velocidades del viento tienden a aumentar sobre el mar Caribe y zonas de montaña. No obstante, para el primer período, las velocidades son particularmente altas en la región marítima, mientras que, para el segundo período los registros más altos de velocidad se concentran en las máximas elevaciones de la cordillera de los Andes, especialmente al sur del país, desde el Macizo colombiano hasta el departamento del Tolima. En el mar Pacífico, las máximas velocidades (4 m/s) se registran durante el trimestre noviembre-diciembre-enero.

» Región Caribe: en gran parte de la región se presenta un comportamiento bimodal con dos períodos de altas intensidades de la velocidad, uno entre enero y marzo y el otro entre junio y agosto, siendo el primer período con mayores intensidades que el segundo. Los de bajas intensidades se presentan entre abril y mayo y entre septiembre y noviembre, siendo este último el de menor intensidad.

» Región Andina: muestra también un comportamiento bimodal, en el cual los períodos con las intensidades más altas tienen lugar, el primero entre enero y marzo y el segundo entre junio y agosto (en algunas estaciones puede incluir a septiembre), siendo el segundo con mayores intensidades que el primero. Los que tienen con las intensidades más bajas de vientos ocurren entre abril y mayo y entre octubre y noviembre.

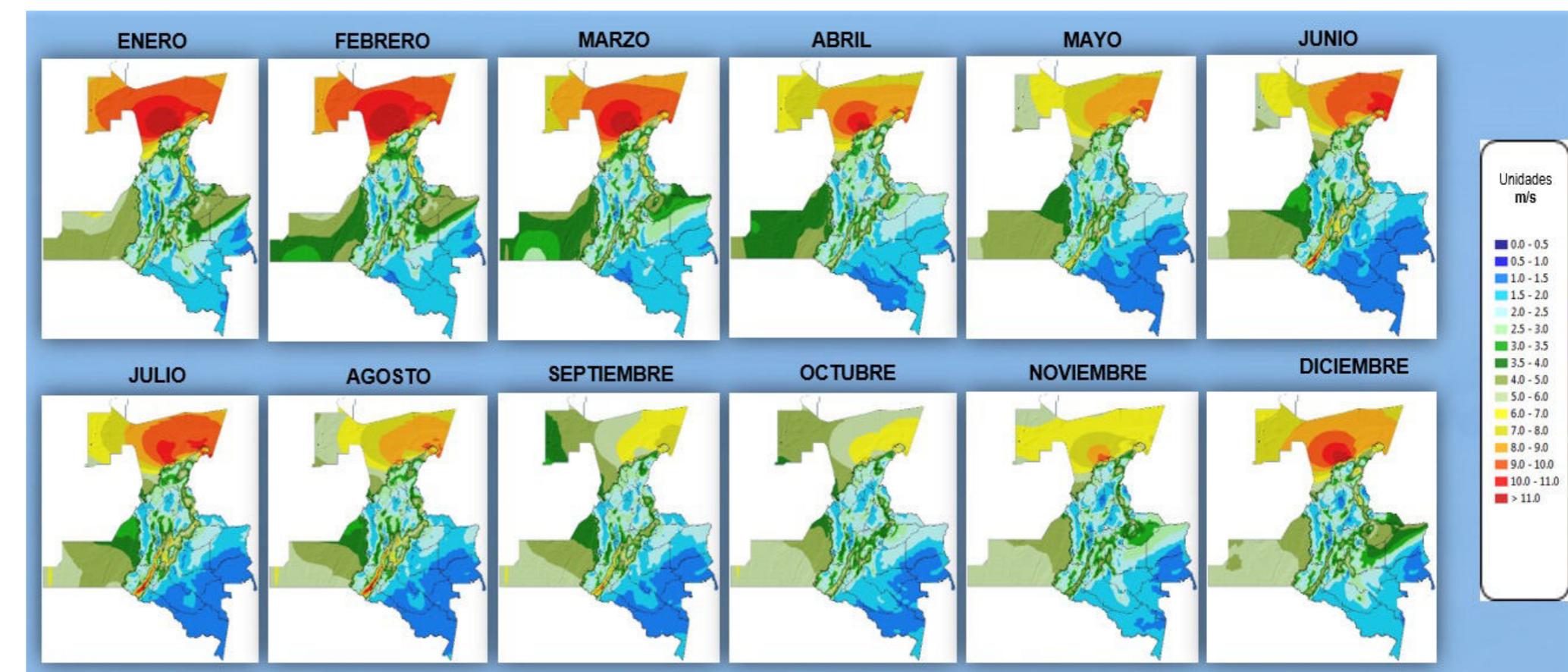
» Región Pacífica: es una región que tiene intensidades débiles en los vientos a lo largo del año. En el sur se presenta un comportamiento monomodal, con las intensidades más altas a mediados del año y las más bajas a principios y finales del año. El resto de la región el comportamiento es bimodal, con los promedios más altos en enero y febrero y entre julio y septiembre y los promedios más bajos entre abril y mayo y entre octubre y noviembre.

» Amazonía: es la región del país que tiene las intensidades más débiles en los vientos a lo largo del año. Presenta un comportamiento monomodal, con las velocidades más altas a principios y finales de año y las más bajas a mediados del año.

» Orinoquía: gran parte de la región muestra un comportamiento monomodal con intensidades altas a principios y finales del año y bajas a mediados del año.



Figura 52. Mosaico del ciclo anual de la velocidad promedio del viento a 10 m de altura (m/s)



Fuente: Grupo de Climatología y Agrometeorología. Subdirección de Meteorología. Instituto de Hidrología Climatología Estudios Ambientales – Ideam, 2020.





IDEAM

Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

