



Servicios de Regulación

5. Clima local y calidad del aire
6. Secuestro y almacenamiento de carbono
7. Moderación de fenómenos extremos
8. Tratamiento de aguas residuales
9. Prevención de la erosión y conservación de la fertilidad del suelo
10. Polinización
11. Control biológico de plagas



CAPÍTULO 5

CLIMA LOCAL Y CALIDAD DEL AIRE

Víctor Fabián Forero Ausique
Marco Andrés Guevara Luna
Diego Alejandro Pérez Giraldo
Diana Marcela Fúquene
Juan Sebastián Chiriví Salomón
Christian Felipe Valderrama López
Julián Andrés Castillo Vargas⁹

5.1. Introducción

La relación que existe entre las variables meteorológicas y la calidad del aire ha sido estudiada históricamente en todo el mundo. Esfuerzos por comprender la relación que existe entre estas, y como se interrelacionan para reproducir escenarios futuros y así mitigar impactos, son el objeto del estudio moderno de las ciencias ambientales aplicadas al aire como recurso vital (González *et al.*, 2018). Todo esto centrado en describir cuantitativamente, y con precisión, la afectación del clima, frente a un momento actual cercano al punto de no retorno en términos de variabilidad y cambio climático.

La regulación de la calidad del aire, junto con temáticas coyunturales como la conservación del suelo, el control de las inundaciones o avenidas torrenciales derivadas de las altas precipitaciones, agentes generadores de enfermedades, y la polinización de cultivos, representan solo algunos de los múltiples servicios a los que se les denominan “servicios de regulación”. Aunque estos servicios no se aprecian de manera tangible, o son poco perceptibles en las personas, son sensibles al desarrollo sostenible de una sociedad y su ausencia a través de procesos de deterioro o agotamiento representan un riesgo alto para los ecosistemas locales (Maass, 2016).

⁹ Docentes Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente.
Correos electrónicos de contacto: victor.forero@unad.edu.co, marco.guevara@unad.edu.co, diego.perez@unad.edu.co

La falta de regulación en la afectación de la calidad del aire trae como consecuencias no solo problemas propios del ambiente, también implicaciones en la salud pública que han sido identificadas por estudios en todo el mundo (WHO, 2006). Adicionalmente el deterioro de la calidad del aire afecta negativamente los sistemas productivos que sustentan la economía para algunos grupos tales como los dedicados a la agricultura, la silvicultura y la pesca (TEEB, 2017).

Cabe destacar que una gran parte de las impurezas que se encuentran en el aire de los grandes centros urbanos obedecen a los gases producidos por los vehículos automotores (Madrazo & Clappier 2017). Los residuos que provienen de los gases de escape en forma de polvo y el aerosol son nocivos, además porque logran captar la radiación ultravioleta proveniente del sol haciendo que aumente la temperatura. (Tunarroza, 2002).

Cada uno de los elementos que conforman un ecosistema influyen de manera directa e indirecta en el clima local y en la calidad del aire, ya sea positiva o negativamente, ejemplo de ello son los árboles quienes juegan un papel esencial gracias a su estructura y sistema biológico, permitiendo que sean capaces de generar un efecto de sombra lo que permite mantener la humedad y de esta manera regular la temperatura, además de los efectos de su proceso de fotosíntesis (Daily, 1997). Son los árboles y las plantas en general, los que se encargan de regular el aire mediante la eliminación y remoción de contaminantes presentes en la atmósfera y que además son los precursores del calentamiento global y que se denominan gases de efecto invernadero (GEI).

Este capítulo deja de lado la complejidad numérica de las relaciones y modelos matemáticos que la ciencia ha planteado para describir la atmósfera y sus propiedades, por el contrario, se centra en una descripción conceptual y cualitativa de los fenómenos que se involucran en la dinámica atmosférica local, en este caso orientada a la zona centro-occidente de Colombia.

5.2. Servicios de regulación y su función en la regulación del aire

El concepto de bienes y servicios ecosistémicos ha tomado mucha fuerza en los años recientes, puesto que la comunidad mundial ha tomado una mayor conciencia de la importancia que hay en la relación de dependencia entre el ser humano

y los ecosistemas. Estos ecosistemas, aunque actualmente locales, tienen la tendencia de deslocalizarse en un futuro, por efectos del fenómeno de la globalización, que a pesar de las políticas proteccionistas de las potencias económicas del norte ya ha tomado rumbo y no se detendrá en un futuro cercano.

Lo anterior, hace necesario entender el concepto de servicios ecosistémicos como aquellos beneficios que los ecosistemas brindan para suplir las necesidades de los seres humanos. (Daily, 1997; Piñeros & Baptiste, 2006). Conocer la oferta de bienes y servicios de los ecosistemas y la información a escala regional y local, sirve no solo como referente teórico, también científico y político para la toma de decisiones administrativas efectivas al integrarse como fundamento en la formulación de estrategias de desarrollo y explotación de recursos. Este conjunto de acciones en las que se enmarcan las políticas propende el uso de prácticas de manejo sostenibles, que garanticen la conservación y el incremento en la provisión que los servicios ecosistémicos brindan.

Por lo anterior se puede decir que los servicios ecosistémicos resultan de las funciones que un ecosistema genera si se entiende que las funciones ecosistémicas no son más que “la capacidad de los procesos naturales para proporcionar bienes y servicios que satisfacen las necesidades humanas de manera directa e indirecta” (de Groot, 2002). Según la FAO, los servicios de regulación son aquellos que mantienen los procesos y funciones naturales de los ecosistemas, a través de las cuales se gestionan las condiciones del ambiente humano.

5.2.1. ¿Qué es la calidad del aire y cómo influye en el clima local?

La calidad del aire es un concepto que se refiere a la composición del aire y de la idoneidad de éste para determinadas aplicaciones o usos, en años recientes involucrando sus efectos de salud pública para las sociedades tanto desarrolladas como en vía de desarrollo. En pocas palabras cuando se habla de “una buena calidad del aire” se está indicando que el aire esté exento de polución en la atmósfera, y por lo tanto puede ser apto para ser respirado. El aire tiene una composición compleja al contar con más de mil compuestos diferentes, sin embargo, los elementos que lo constituyen en su mayor concentración son el nitrógeno (78%), el oxígeno (21%) y el argón (casi 1%) (Sharp, 2017). Sin estos compuestos, el desarrollo de la vida en el planeta no tendría posibilidades, además son ellos los que le dan al aire sus propiedades macroscópicas, como viscosidad, densidad, peso molecular, etc. (OMS, 2018).

La calidad del aire está entonces determinada por su composición específica, por la presencia o no de sustancias y sus respectivas concentraciones. Se expresa también a través de las medidas de concentración e intensidad de contaminantes y a través de su apariencia física. Entre estas sustancias contaminantes se encuentran el ozono, metano, partículas en suspensión y óxido nitroso (Escudero & Scheelje, 2003). El dióxido de carbono (CO_2) es el mayor precursor del calentamiento global y de las variaciones climáticas puesto que influye en la cantidad de energía solar que retiene la Tierra y en la cantidad que refleja fuera al espacio exterior, aun cuando su composición media en la atmósfera es de tan sólo 387 ppm (Escudero & Scheelje, 2003).

Las partículas en suspensión son consideradas como un contaminante de alta complejidad de acuerdo con su composición, pueden afectar el calentamiento o enfriamiento del clima local y mundial. El carbono negro que es uno de los muchos componentes del material particulado (PM del inglés *Particular Material*) y se genera como resultado de la combustión incompleta de combustibles fósiles, absorbe la radiación solar e infrarroja proveniente la atmósfera y por consiguiente tiene un efecto de calentamiento terrestre (AIDA, 2015).

Según AIDA (2015), otros tipos de PM que contienen componentes de azufre o nitrógeno tienen el efecto contrario debido a que actúan como espejos que reflejan la energía solar y por consiguiente provocan un enfriamiento o descenso de la temperatura. En términos simples, todo depende de la composición de la partícula y como esta interactúa de forma diferente con las ondas electromagnéticas.

En algunas regiones del mundo se prevé que el cambio climático podría afectar las condiciones climáticas locales, como la frecuencia de las olas de calor y los periodos de aire estancado. Una mayor presencia de luz solar y temperaturas más altas prolongarían los períodos de tiempo en que suben los niveles de ozono y también pueden aumentar las concentraciones máximas de ozono (Lema, 2002).

En este orden de ideas es imposible no hablar de cambio climático (CC) si se habla de calidad del aire, y dinámica atmosférica. Los alcances de los impactos que se generan del cambio climático dependerán específicamente de las acciones de adaptación que se tomen en las diferentes regiones frente al calentamiento global. Plantar árboles y propiciar mayores espacios verdes a manera de senderos o alamedas en espacios urbanos disminuye los efectos provenientes de las olas de

calor, además de mejorar ostensiblemente la calidad del aire brindando bienestar a las personas. Finalmente, esto lleva a una reducción en costos de salud pública, y por lo tanto mayor capital de inversión para proyectos de desarrollo.

5.2.2. ¿Qué es la contaminación atmosférica y cuáles son sus efectos?

El aire que respiran los seres vivos se ve deteriorado cuando sustancias distintas a su composición natural se emiten al aire y cuando varían las cantidades o concentraciones de sus componentes, a este proceso se le denomina contaminación atmosférica. La contaminación puede ser producto de factores de tipo natural como también de tipo antropogénico. Las actividades volcánicas, la generación y propagación de incendios forestales entre otros constituyen las naturales; aquellas que se derivan de las actividades desarrolladas por el ser humano como el uso de vehículos, procesos industriales e incluso actividades domésticas como la calefacción, son las consideradas como antropogénicas, y se pueden clasificar de acuerdo a su fuente de emisión como:

- **Fuentes móviles:** cualquier fuente de contaminación atmosférica que se mueva en términos de su posición geográfica, como, por ejemplo: automóviles, camiones, motocicletas, autobuses, aviones y medios de transporte individuales y masivos que utilicen combustibles fósiles para su operación (Def. tomada de la EPA). La proporción o cantidad de emisión de estos contaminantes depende del tipo de motor, el combustible usado y el mantenimiento que se le brinde al vehículo (Figura 5.1).
- **Fuentes fijas:** aquellas que su ubicación se encuentra inmovilizada o cuenta con una instalación fija de donde se generan los contaminantes a la atmosfera. Hace referencia a una fuente única y que además es identificable, por ejemplo: una tubería, zanja, o chimenea de una fábrica. (Def. tomada de la EPA- Figura 5.1).
- **Fuentes de área:** aquellas fuentes de generación de contaminantes que se dispersan sobre una pequeña área y no puede ser categorizada como una fuente fija. Se constituyen como fuentes pequeñas para ser consideradas individualmente, sin embargo, de forma colectiva sí representan una cantidad significativa en la emisión de uno o varios contaminantes (Figura 5.1).
- **Fuentes biogénicas:** no son directamente de origen antrópico, son propias de la naturaleza, pero de un modo u otro contaminan el aire. (Def. tomada de

la EPA) pueden provenir de la vegetación, animales o lugares como pantanos donde hay generación de gases producto de la degradación de la materia orgánica (Figura 5.1).

- **Fuentes antropogénicas:** fuentes de contaminantes directamente relacionadas con la actividad humana, como explotación de recursos, vivienda, transporte, etc. La mayoría de las fuentes móviles entran dentro de la categoría de fuentes antropogénicas también. Algunos autores hablan de emisiones antropogénicas para evitar confusiones (Figura 5.1).

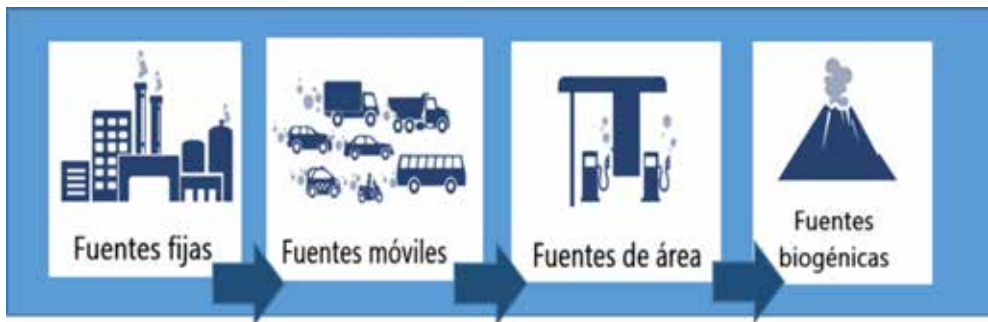


Figura 5.1. Fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos.

Fuente: Metropól (2015), adaptado por el autor.

Según la OMS (2018) y Bedoya & Martínez (2008), los principales contaminantes del aire en relación con su impacto en la salud humana son los siguientes:

- **PM2.5:** el PM2.5 es el contaminante que más deteriora la calidad del aire en los centros urbanos (Figura 5.2). Además, es el más dañino debido a su tamaño microscópico. Este material particulado se puede encontrar suspendido en el aire en forma de polvo, humo u otros aerosoles. Entre sus principales componentes están: sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro sódico, carbón, polvo de minerales, cenizas metálicas y agua. Las partículas PM2.5 tienen efectos más severos sobre la salud que las más grandes, PM10. Las partículas PM2.5 se pueden acumular en el sistema respiratorio y están asociadas con numerosos efectos negativos sobre la salud, como el aumento de las enfermedades respiratorias y la disminución del funcionamiento pulmonar (OMS, 2018).
- **Ozono troposférico (O₃):** el O₃ (Figura 5.2), como tal puede ser beneficioso, pero también puede ser perjudicial, depende básicamente de la altura donde

se encuentre. El ozono beneficioso es el estratosférico es una forma natural de oxígeno que provee una capa protectora sobre la tierra que bloquea la radiación ultravioleta. El ozono “Perjudicial” o el ubicado en la tropósfera es un oxidante químico y el componente mayor de la niebla fotoquímica. Según la OMS 2018, puede deteriorar seriamente el sistema respiratorio, interfiriendo en las funciones respiratorias y actuando como agente de acentuación de enfermedades respiratorias como el asma, el enfisema y la bronquitis.

- **Dióxido de Azufre (SO₂):** el SO₂ es un gas tóxico (Figura 5.2) cuya característica se acentúa en su olor ocre e irritante, que se atribuye, en muchas ocasiones, a los procesos de combustión debido a los combustibles como el carbón, el petróleo, el diésel o el gas natural (OMS 2018).
- **Monóxido de Carbono (CO):** el CO se constituye como un gas sin presencia de olor y tampoco de color (Figura 5.2). Se origina por la combustión del gas, la gasolina, el petróleo, y elementos madereros. En el cuerpo humano puede reducir el transporte de oxígeno, lo que presenta una disminución de los reflejos, causa confusión y somnolencia. También puede generar dolor de cabeza, fatiga, e incluso, la muerte (OMS 2018).
- **Óxido de Nitrógeno (NOx):** el NOx es un gas tóxico de color pardo, formado como subproducto de los procesos de combustión a altas temperaturas, como en los vehículos motorizados y plantas eléctricas (Figura 5.2). Puede generar irritación al tracto superior del sistema respiratorio e incluso afectar los pulmones. En altas concentraciones puede provocar bronquitis y pulmonía (OMS 2018).



Figura 5.2. Principales contaminantes atmosféricos.

Fuente: Metropól (2015). Disponible en: http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/wz_principales_contaminantes.aspx

En síntesis, la contaminación del aire representa un importante riesgo para el ambiente y para la salud, por lo que, cuanto menores sean los niveles de contaminación en el aire, la salud cardiovascular y respiratoria de la población será mejor. Se prevé que la contaminación atmosférica tanto en zonas urbanas como rurales puede provocar cada año 3 millones de defunciones prematuras en todo el mundo; esta cifra se debe específicamente a la exposición a pequeñas partículas de 10 micrones de diámetro (PM10) o menos, que pueden causar cardiopatías, neuropatías y cáncer (OMS, 2011). Por lo general las mediciones de la calidad del aire se presentan como unidades de concentración, datos tomados con una frecuencia diaria y anual de partículas PM10 por metro cúbico (m³). Estas mediciones sistemáticas de la calidad del aire describen esas concentraciones de PM que se expresan en microgramos (μg) /m³. Cuando se dispone de instrumentos de medición de mayor sensibilidad, se presentan además concentraciones de partículas más finas denominadas PM2.5.

Sobre los efectos en salud de la población se podría decir que existe una estrecha relación entre la exposición a altas concentraciones de material particulado PM10 y PM2.5 y el incremento en las cifras de mortalidad o morbilidad. Si el comportamiento en las concentraciones de partículas pequeñas y finas se muestra reducida, la mortalidad de manera proporcional disminuye. Esto permite a los sistemas de regulación o normativos efectuar proyecciones encaminadas al mejoramiento de la salud de la población (OMS, 2011).

La contaminación que se deriva a la generación de partículas conlleva efectos de tipo sanitario; aunque no hay evidencia científica de un umbral mínimo que refleje daños para la salud. Los límites de la directriz de la OMS, se basan en orientar la presencia de partículas en mínimas concentraciones. Las políticas e inversiones a medios de transporte menos contaminantes o responsables con el ambiente, además de viviendas sostenibles, la generación de electricidad y una mejor gestión de residuos, lograrán reducir de gran manera las fuentes de contaminación en el aire de los grandes centros urbanos.

La reducción de las emisiones domésticas derivadas de sistemas energéticos basados en el carbón y la biomasa, así como de la incineración de desechos agrícolas, permitirán limitar algunas fuentes de contaminación del aire en rurales y urbanas de las regiones o países en desarrollo (OMS, 2018).

5.3. La importancia estratégica de los árboles y su función como reguladores del clima

Según la FAO (2007), de los servicios ambientales que se derivan de los bosques y en especial de las especies arbustivas, se destacan la conservación y el uso de la diversidad biológica, la captación y el almacenamiento de carbono, este último de gran utilidad para la mitigación de cara al calentamiento global, la conservación de suelos y de cuerpos de agua, y también para la generación de nuevas propuestas de empleo y ocupación además de mejorar los sistemas de producción agrícola. También trae consigo un mejoramiento en las condiciones de vida, a través de la conservación del patrimonio natural y cultural de una región. Muchos de estos servicios han sido aceptados por Colombia a través de acuerdos mundiales vinculantes en especial desde la celebración de la Cumbre de Rio de Janeiro en 1992.

Los servicios ecosistémicos provenientes de ecosistemas forestales y agroforestales se relacionan directamente con su carácter de regulación de fenómenos naturales, como lo son la oferta del recurso hídrico, la óptima calidad del aire, control de la erosión y afectación en la estructura del suelo, el acervo genético de la fauna y flora y como soporte esencial en la mitigación de riesgos naturales (CONAFOR, 2014). De acuerdo con la FAO (2007), los servicios ambientales de regulación que brindan los árboles específicamente en el sector urbano son: la captación y almacenamiento de carbono y la regulación climática. Las hojas filtran el aire que se respira, removiendo el polvo y el material particulado, además, absorben el CO_2 del aire para formar hidratos de carbono, los cuales son utilizados en el crecimiento estructural y desarrollo de la planta, estos absorben otros contaminantes del aire como lo son el O_3 , CO y SO_2 , y liberan O_2 a la atmosfera (ISA, 2007). Son reguladores del clima puesto que proporcionan sombra y resistencia contra las corrientes de aire. Mediante el uso de árboles específicamente en las ciudades, puede moderarse el efecto de isla de calor causado por el calentamiento excesivo de las superficies de asfalto (AMB, 2000), pavimento y edificios (ISA, 2007). Además, como se dijo anteriormente esto regula la humedad y la temperatura debido a los procesos de evapotranspiración, disminuyendo considerablemente los trastornos climáticos presentes en las grandes ciudades (AMB, 2000).

De acuerdo con lo anterior, son múltiples los servicios que los arboles ofrecen al ecosistema y al ser humano, en relación con el control del clima, se puede decir que estos moderan los efectos de la radiación solar, la velocidad del viento y la precipitación. Adicionalmente, la energía proveniente del sol se absorbe a través

de las hojas de los árboles en las épocas de verano cuando la radiación solar es directa y no difusa, lo que hace que se filtre por las ramas de esos mismos árboles en épocas de baja radiación. Cuanto más denso sea el follaje de los árboles, mayor será su función como cortavientos previniendo la erosión eólica. Algunos fenómenos naturales como la precipitación, la nieve o granizo se absorbe o se desvía por los árboles, dando protección a personas, animales y edificios” (ISA, 2007).

Desde el punto de vista económico el valor de los árboles varía en función de su tamaño, condición y función. Los beneficios económicos que proporcionan pueden ser directos o indirectos. Los directos se asocian con los costos energéticos, por ejemplo, el gasto en aire acondicionado es menor en un hogar sombreado por árboles que se encuentran dispuestos a la radiación directa del sol. Los árboles son una sabia inversión de capital, ya que los hogares con espacios verdes ya sean jardines horizontales, verticales o cubiertas verdes, tienen más valor que aquellos que no lo tienen (Ellis *et al.*, 2006).

5.4. Consideraciones finales

Los servicios ecosistémicos de regulación ofrecen dentro de su amplia oferta, una de las más importantes contribuciones para la conservación de los ecosistemas y el bienestar para el desarrollo de la humanidad, se relaciona con la regulación del clima local que incide directamente en la calidad del aire. El primer servicio hace referencia a la prevención del avance progresivo del calentamiento global a causa del efecto invernadero y de sus gases precursores y el segundo tiene que ver con las condiciones óptimas del aire para el cuidado y la salud de las personas.

Los gases y contaminantes que se arrojan al ambiente a través de los diferentes tipos de fuentes llámense fijas, móviles, de área y biogénicas pueden ser fuertemente tóxicos para el ambiente y para la salud de las personas teniendo en cuenta su capacidad de dispersión y su concentración en un área. Según la OMS los materiales particulados en especial el PM_{2.5} es uno de los más peligrosos por su tamaño, sin desconocer los otros contaminantes tales como el O₃ troposférico, SO₂, CO y el NO_x.

En el caso específico de la calidad del aire, los árboles se relaciona con los servicios de regulación ya que pueden absorber CO₂, además pueden brindar sombra a través de su estructura y de sus hojas para la retención de la humedad, sirven

como cortavientos para evitar erosiones o daños en un ecosistema y sirven como barrera frente a algunos fenómenos extremos como periodos de alta precipitación, movimientos en masa, ciclones o vórtices. Además, brindan una riqueza visual y paisajista que permite la relajación el espaciamento, a la admiración, el deporte la diversión y ara algunos grupos constituye símbolos o significados religiosos (Iragorri, 2001).

5.5. Estudio de caso: Valle de Aburrá

El valle de Aburrá, genera emisiones de contaminantes resultado de actividades antrópicas en masa, como el transporte automotor y la producción industrial. Según Metropól (2015), los 3 millones 866 mil habitantes que tiene el área metropolitana están ubicados en 1.157 kilómetros cuadrados. Antioquia tiene 6 millones 535 mil habitantes para una extensión de más de 63.600 kilómetros. Lo anterior quiere decir que el 58,5% de la población del Antioquia está ubicada en el 1,8% del área del departamento.

Debido a su ubicación geografía y condición topográfica, se genera una afectación en la dispersión de los gases y de las partículas generadas por la industria, el transporte y las actividades domésticas. Se concibe entonces que su ubicación de “u” dentro de un valle o cadena de montañas tiene un efecto negativo sobre la dispersión de contaminantes como es el caso del valle de Aburrá (Figura 5.3).



Figura 5.3. Configuración topográfica del valle de Aburrá.

Fuente: Metropól (2015) Disponible en: http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/wz_condiciones_especiales.aspx

La topografía del valle de Aburrá favorece la concentración de contaminantes atmosféricos, y además, las condiciones meteorológicas que son propias de una región tropical favorecen la ventilación escasa y la formación de nubes a una baja altura evitando así que los contaminantes se puedan dispersar en el ambiente de manera óptima. Otra circunstancia que afecta la calidad del aire es el fenómeno

de inversión térmica, proceso que tiene lugar cuando una capa de aire frío se ubica debajo de una capa de aire caliente, haciendo que los contaminantes queden estáticos como se puede apreciar en la figura 5.4.



Figura 5.4. Factores que incrementan la contaminación en el Valle de Aburrá.

Fuente: Metropól (2015) Disponible en: http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/wz_condiciones_especiales.aspx

En el valle de Aburrá es evidente que el comportamiento de la calidad del aire obedece directamente a los niveles de concentración de contaminantes presentes en el aire, además los fenómenos meteorológicos influyen en la generación de smog fotoquímico que se visualizan sobre el territorio. Según los datos reportados por el IDEAM, en el mes de marzo se presenta el cambio entre las épocas de ausencia de precipitación seca y la primera temporada de lluvias, caracterizándose por presentar una alta nubosidad lo que ocasiona acumulación de contaminantes en la atmósfera y producto de esto se confirman las concentraciones más altas de material particulado tanto de PM10 como de PM2.5 durante el año. Posteriormente, en el mes de noviembre se presenta una última temporada de lluvias, mes en el cual se incrementan las concentraciones de material particulado (Metropól, 2015).

El crecimiento de la población en el valle de Aburrá según en inventario de emisiones realizado como año base el 2013, indican que las fuentes móviles son consideradas como las precursoras de las emisiones de material particulado fino PM2.5 y constituyen el 79% del contaminante crítico, por esto se ha priorizado la gestión en el control y reducción de contaminantes, por su impacto relativo a la salud; en ese mismo inventario se identifica que el 91% de las

emisiones de óxidos de azufre, constituye un gas precursor en la formación de PM_{2.5} en la atmósfera. (OMS, 2018).

Cuando se habla de calidad del aire en el valle de Aburrá se debe hablar del concepto de cuenca atmosférica, es decir un espacio geográfico delimitado parcial o totalmente por elevaciones naturales, el cual se encuentra ocupado por un volumen de aire que genera reacción de gases y partículas contaminantes. Por las características topográficas y climatológicas descritas anteriormente, el valle de Aburrá se constituye como una cuenca atmosférica, es decir que comparte el mismo suministro de aire en toda su extensión, lo que se refleja en los valores homogéneos de las concentraciones de partículas finas PM_{2.5} registrados en las diferentes estaciones de monitoreo que indican la exposición a este contaminante (Metropol, 2015).

Frente a esta situación es importante reconocer los servicios de regulación y en especial el beneficio que nos presentan los árboles, frente a esta crisis ambiental que vive Medellín y la escasez de espacios verdes. Ante la falta de árboles se plantearon soluciones para compras de predios para convertir en bosques urbanos, ya que es necesario que haya más árboles por sus hojas, que funcionan como filtros que procesan los GEI. Además, los bosques urbanos cumplen otras funciones, como el embellecimiento, descanso y esparcimiento, y sirven de refugio a la fauna.

En las zonas urbanas de Medellín el arbolado lo interviene la Secretaría de Infraestructura, dependencia donde se lidera el Programa de Mantenimiento y Arborización y se reportan datos acerca de las especies sembradas tales como: laureles, falsos laureles, cauchos, urapanes, pinos y eucaliptos, que son de crecimiento muy rápido y de fácil mantenimiento. Actualmente el bosque urbano del valle de Aburrá (Figura 5.5) remueve 228 toneladas de contaminantes: 32 ton de PM_{2.5}; 60,4 ton de PM₁₀; 74,3 ton de O₃ superficial; 49 ton de NO_x; y 12,3 ton de CO. Esta información fue obtenida por estudios realizados por la Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA). La remoción es mucho mayor en las fuentes fijas que en las móviles.



Figura 5.5. *Sistemas de bosques urbanos como servicios de regulación del clima.*

Fuente: Autopista Sur, Medellín, Parques del Río, Revista Semana, 08 de abril de 2016.

Los bosques urbanos no brindan solamente este beneficio, su efecto de regulación microclimática con diferencias de hasta 4 grados centígrados en sitios con árboles con respecto a los que no, sugieren, en conjunto, que se deben sembrar más especies arbóreas. Estos sistemas de bosques urbanos además de regular el clima local y mejorar la calidad del aire también, se constituyen como una estrategia sólida para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible-ODS, que Colombia suscribió en el marco de la Cumbre de París y que son de tipo vinculante.

5.6. Evaluación del capítulo

1. ¿Para usted qué son los servicios ecosistémicos de regulación? ¿Cómo usted clasifica o agrupa los servicios ecosistémicos de regulación?
2. ¿Qué servicios ecosistémicos brindan los árboles para la regulación del clima en su localidad o región? ¿Cómo se pueden valorar?
3. ¿Cómo influyen los contaminantes atmosféricos en la calidad del aire local de su región?
4. ¿Cuáles son los principales contaminantes atmosféricos y las fuentes de emisión que los generan en su región?

5. Mencione 5 estudios técnicos de calidad del aire recientes (de menos de 5 años), y por cada uno de ellos resuma la idea principal en un párrafo de 10 líneas. No olvide referenciar.
6. Realice un recorrido por la zona de mayor confluencia vehicular de su localidad o municipio y haga un inventario de los árboles encontrados en las zonas e identifique la importancia para la calidad del aire y para la salud de la comunidad.

Referencias

- AIDA. (2015). *El Carbono Negro: Concepto, Efectos Climáticos y Oportunidades en su Control*. Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente.
- Recuperado de: https://aida-americas.org/sites/default/files/publication/AIDA_Carbono%20Negro%20FINAL.pdf
- AMB. 2000. Memorias del Foro Arborización urbana. Bogotá, D.C. Alcaldía de Bogotá. Recuperado de: <http://dianawiesner.com/publicaciones/delautor/Arborizacion-Urbana.pdf>
- Bedoya, J. & Martínez, E. (2009). *Calidad del aire en el valle de Aburrá*, Antioquia – Colombia. *Dyna*, 76(158), 7-15.
- CONAFOR. (2014). *Servicios Ambientales*. Comisión Nacional Forestal. Recuperado de: <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/servicios-ambientales/>
- Daily, G.C. (1997). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington, D.C.: Island Press.
- De Groot, R.S., Wilson, M.A., Boumans, R.M.J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408.
- Escudero, M. & Scheelje M. (2003). *El cambio climático principales causantes, consecuencias y compromisos de los países involucrados*. XII World Forestry Congress, Quebec. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/ARTICLE/WFC/XII/0523-B2.HTM>
- EPA. (2018). *Glossary*. Environmental Protection Agency. Recuperado de: <https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/glossary/u.s.-environmental-protection-agency-epa.html>
- Ellis, C., Lee, S.W. & Kweon, B.S. (2006). Retail land use, neighborhood satisfaction and the urban forest: An investigation into the moderating and mediating effects of trees and shrubs. *Landscape and Urban Planning* 74(1), 70-78.
- FAO. (2007). *Servicios ambientales. Ecosistemas de Bosques*. Organización de las Naciones unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: www.fao.org/docrep/W9950S/w9950s04.htm
- 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 PM 10 dynamics. *Atmospheric Pollution Research*. doi: 10.1016/j.apr.2018.03.003

- ISA (International Society of Arboriculture). (2007). *Beneficios de los Árboles*. Moreno & Chueca, Zaragoza (Traductores), España: Sociedad Internacional de Arboricultura.
- Iragorri, G. (2001). *Plan de arborización para el campus de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C.*, (Tesis de pregrado). Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá Colombia.
- Lema, I. (2002). El cambio climático y la salud humana. *Gaceta Ecológica*, 65, 43–52.
- Maass, M., Balvanera, P., Bourgeron, P., Equihua, M., Baudry, J., Dick, J.,... Vădineanu, A. (2016). Changes in biodiversity and trade-offs among ecosystem services stakeholders and components of well-being: The contribution of the International Long-Term Ecological Research network (ILTER) to Programme on Ecosystem Change and Society (PECS). *Ecology and Society*, 21(3), [31]. doi: 10.5751/ES-08587-210331
- Madrazo, J., & Clappier, A. (2017). Low-cost methodology to estimate vehicle emission factors. *Atmospheric Pollution Research*, 9(2), 322–332. doi: 10.1016/j.apr.2017.10.006
- Metropol (2015). *Calidad del aire en el Valle de Aburrá*. http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/wz_condiciones_especiales.asp
- OMS. (2011). *Afrontar el reto mundial de garantizar un aire limpio*. Organización Mundial de la Salud. Recuperado de: http://www.who.int/mediacentre/news/releases/20.11/air_pollution_20110926/es/
- OMS. (2018). *Calidad del aire ambiente (exterior) y salud*. Organización Mundial de la Salud Recuperado de: [http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Piñeros, A.M. & Baptiste, L.G. (2006). *Protocolo para la identificación y proyección de bienes y servicios ecosistémicos proporcionados por la biodiversidad a los sistemas productivos*. Bogotá. D. D., Colombia: Pontificia Universidad Javeriana y Colciencias.
- Sharp, T. (2017). Earth's Atmosphere: Composition, Climate & Weather. Space.com. Recuperado de: <https://www.space.com/17683-earth-atmosphere.html>
- TEEB. (2017). *Regulating Services*. The Economics of Ecosystems and Biodiversity Recuperado de: <http://www.teebweb.org/resources/ecosystem-services/>
- Tunarroza, M. (2002). *Evaluación de la Calidad del Aire de la Pontificia Universidad Javeriana* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D. C., Colombia.
- WHO. (2006). Air Quality Guidelines: Global Update 2005. Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide. World Health Organization. Recuperado de: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf