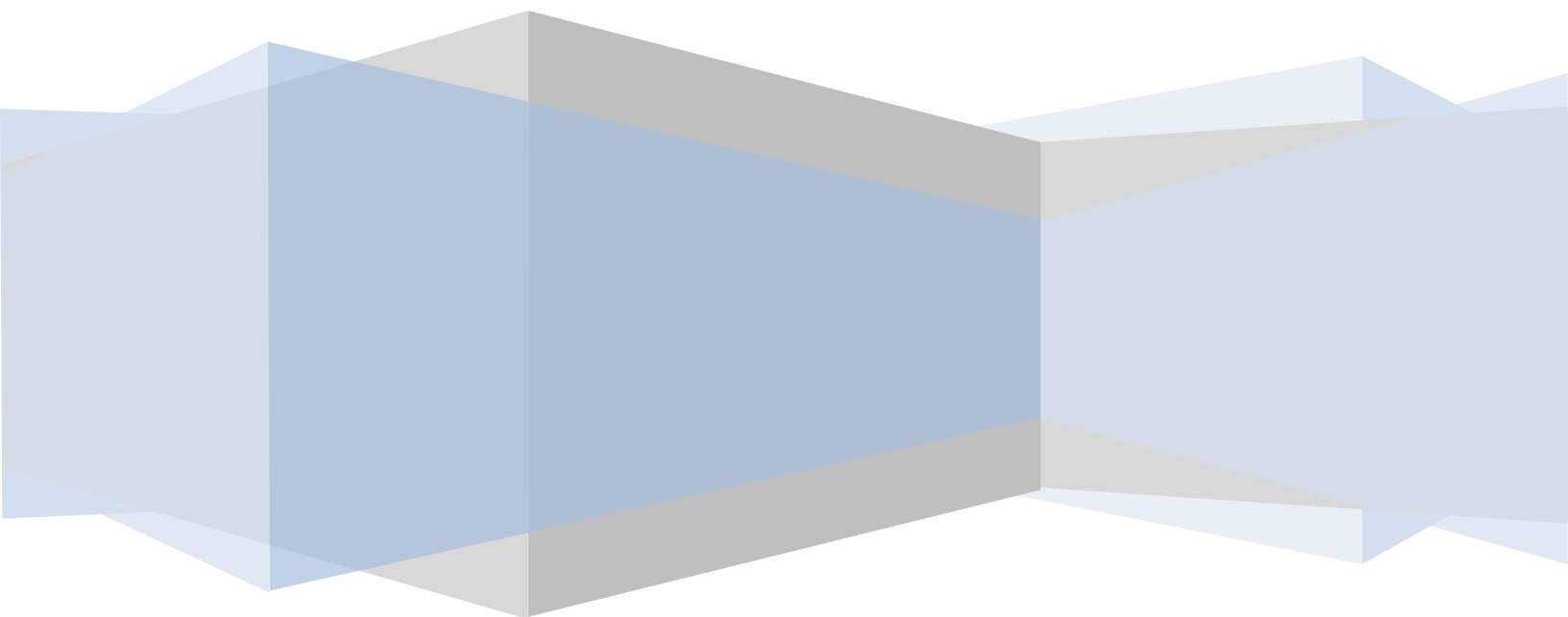


University College London – Universidad de los Andes

# **Marco Teórico de contaminación atmosférica en Colombia**



## **University College London-Reino Unido**

### **Profesores**

Nick Tyler

### **Asistentes de investigación**

Claudia Ramírez

Adriana Ortegón

## **Universidad de los Andes-Colombia**

### **Profesores**

Jorge Acevedo Bohórquez

Juan Pablo Bocarejo Suescún

Juan Miguel Velásquez

### **Asistente de investigación**

Ana María Peroza Daza

**Fecha de publicación:** Abril de 2013



## CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| MARCO TEÓRICO .....  | 4  |
| Calidad del aire .....                                     | 4  |
| Introducción .....   | 4  |
| Contaminantes Criterio en el Mundo .....                   | 5  |
| Cambio Climático.....                                      | 5  |
| Relación contaminación del aire – movilidad.....           | 6  |
| Efectos a la salud .....                                   | 9  |
| Acciones de mejoramiento de la calidad del aire.....       | 11 |
| DIAGNOSTICO DE CONTAMINACIÓN ACTUAL.....                   | 20 |
| Contaminación del aire en Colombia .....                   | 20 |
| Instituciones y regulación ambiental.....                  | 21 |
| Estrategia colombiana de bajo carbono .....                | 22 |
| BOGOTÁ.....  | 23 |
| Plan decenal de descontaminación del aire para Bogotá..... | 23 |
| Situación actual contaminantes criterio.....               | 24 |
| Enfermedades ligadas a la contaminación .....              | 28 |
| Acciones de mejoramiento calidad del aire .....            | 29 |
| CALI.....  | 31 |
| Generalidades.....   | 31 |
| Red de monitoreo de calidad del aire .....                 | 32 |
| Plan de gestión ambiental para la calidad del aire.....    | 33 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....                       | 33 |
| Bibliografía.....  | 34 |

# INFORME DE CONTAMINACIÓN

## MARCO TEÓRICO

Este informe busca presentar un marco teórico de contaminación del aire destacando cuáles son estos contaminantes, sus orígenes y su importancia frente a la salud y el medio ambiente. Este marco también menciona la importancia del transporte como uno de los contribuyentes mayores, y proporciona un análisis de contaminación de las dos ciudades principales en Colombia: Bogotá y Cali.

## CALIDAD DEL AIRE

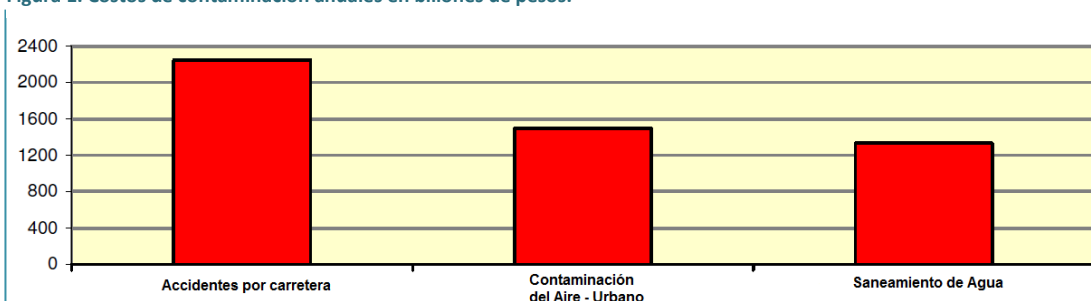
### Introducción

El tema de contaminación del aire empezó a ser un problema para los científicos al presentarse eventos como los de Meuse Valley en 1930, donde murieron más de 60 personas por emisiones de  $\text{SO}_2$  y fluorocarbonados; el de Donora Pensylvania en 1948, dando muerte a más de 20 personas por emisiones de material particulado, y el más importante, en Londres en 1952 con la muerte de más de 4,000 personas también por presencia de partículas en exceso en el ambiente. Esto dio la alerta para tomar medidas radicales a nivel mundial en términos políticos y científicos (De Nevers, 1998).

Hoy en día en Colombia, el 74% de la población identifica a la contaminación del aire como uno de los problemas más serios en el país además porque afecta directamente a la población de bajos recursos. Genera aproximadamente 7000 casos de muertes prematuras anuales, 7400 nuevos casos de bronquitis crónica, 13000 hospitalizaciones por causa de enfermedad respiratoria crónica y 255000 visitas a salas de urgencia (Larner, 2004).

Hasta el año 2004, el costo anual del problema de contaminación del aire era de 1,5 billones de pesos anuales relacionados con casos de salud pública, morbilidad y mortalidad (ver Figura 1).

Figura 1. Costos de contaminación anuales en billones de pesos.



---

## Contaminantes Criterio en el Mundo

Dentro de todos los contaminantes que existen en la atmósfera, se identificaron 5 contaminantes criterio que afectan a la salud inmediatamente desde su inhalación: monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), ozono troposférico (O<sub>3</sub>) y material particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 µm (PM<sub>10</sub>). Además de éstos, se incluye al CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) por su aporte al efecto invernadero.

El comportamiento de los gases en la atmósfera depende no sólo de las características químicas del componente y del ambiente donde se encuentra, sino además de condiciones físicas y meteorológicas donde se emiten. Por esto, las entidades regulatorias ambientales toman las decisiones de estandarizar unos niveles máximos permisibles de concentración para cada uno de los contaminantes criterio. De aquí que las normas de calidad del aire en el mundo están siendo cada vez más exigentes y tienen mayor similitud a nivel global.

En el 2005, la Organización Mundial de la Salud (OMS) realizó un estudio de comparación de las distintas regiones en el mundo, concluyendo que Asia y Latinoamérica tienen concentraciones mayores de PM<sub>10</sub> que Europa y Norteamérica debiéndose principalmente a su crecimiento en producción industrial y el uso de combustibles de baja calidad (WHO, 2005). Con respecto al SO<sub>2</sub>, se encontró que hay altos niveles de concentración en algunas ciudades de China debido al incremento en el uso del carbón como fuente de energía y algunas ciudades de África que presentan concentraciones medias anuales de 100 µg/m<sup>3</sup>. Hoy en día, la norma de límite dada por la OMS es de 24 µg/m<sup>3</sup> en 24 horas (WHO, 2005).

El NO<sub>2</sub> es uno de los contaminantes con más incidencia en el mundo pues su principal causa de emisión son las fuentes móviles; aproximadamente, el 55% de las emisiones de un centro urbano corresponden a éste. En Latinoamérica, São Paulo y México D.F. presentan concentraciones de 70 µg/m<sup>3</sup> y 85 µg/m<sup>3</sup> respectivamente, seguidas de Beijing con 65 µg/m<sup>3</sup>. Según la OMS, se recomienda una concentración máxima de 40 µg/m<sup>3</sup> en promedio anual.

Para tener un conocimiento más acertado y sencillo sobre el tema, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) estandarizó una medida de calidad del aire general para que el público pueda entender mejor el estado de contaminación conocido como el Índice de Calidad del Aire (ICA), que ubica aproximadamente cómo está el aire en el sitio de interés de un modo cualitativo. Lo clasifica de acuerdo a Bueno (0-50), Moderado (51-100), Desfavorable para Grupos Sensibles (101-150), Desfavorable (151-200), Muy Desfavorable (201-300), Peligroso (301-500). En el caso de Colombia, esta medida se utiliza frecuentemente en Cali para informar mensualmente a los habitantes sobre la calidad del aire en la ciudad.

---

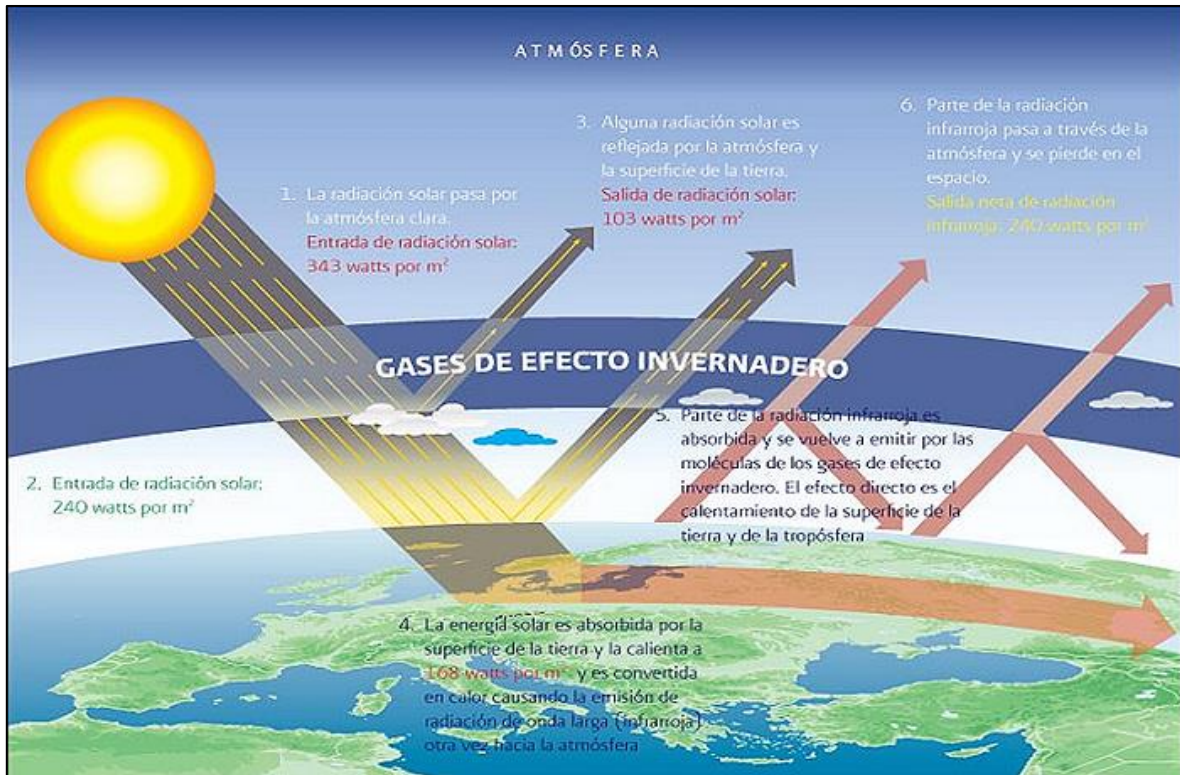
## Cambio Climático

Uno de los problemas de mayor importancia a nivel mundial es el cambio climático que está principalmente atribuido a las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> generados principalmente por la combustión y la agricultura. Para combatir los efectos adversos de estas especies, se propone una Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en 1992 que con ayuda del Panel Intergubernamental del Cambio

Climático (IPCC) determinen las nuevas alternativas de mitigación del problema así como acciones para su prevención a futuro.

La acumulación de gases en la atmósfera forma una capa que evita el intercambio energético entre los rayos emitidos por el sol y la tierra (entrada y salida) y eso hace que se acumule energía entre la tierra y la capa de ozono. Así, la temperatura aumenta dando como resultado un invernadero alterando los ciclos naturales, los ecosistemas, así como la química y física de los gases en la atmósfera (Ver Figura 2).

**Figura 2. Diagrama de cambio climático y su relación en el efecto invernadero.**



Fuente: Programa de acción ante el cambio climático del Estado de Chiapas. En: [http://www.cambioclimaticochiapas.org/portal/index.php/cambio\\_climatico](http://www.cambioclimaticochiapas.org/portal/index.php/cambio_climatico)

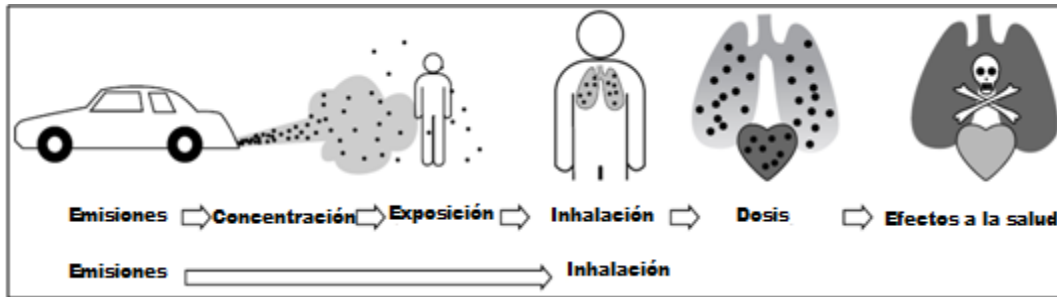
## Relación contaminación del aire – movilidad

El transporte es responsable de algunos de los riesgos ambientales y de salud que enfrentan muchas ciudades en desarrollo. En el contexto europeo, el transporte relacionado con la salud y los riesgos ambientales han sido un foco importante de diálogo conjunto de políticas desde hace más de una década, por ejemplo, en el Programa Paneuropeo de Transporte, Salud y Medio Ambiente. En muchos países en desarrollo, los riesgos para la salud relacionados con el transporte aún no han recibido una atención prioritaria, o no han llegado a estimular acciones políticas conjuntas por la salud, el medio ambiente y del transporte en general (WHO, 2009).

En general, para que las emisiones puedan tener efectos adversos a la salud, deben tener una línea de proceso que involucra: concentración del contaminante (masa por tiempo), fracción inhalada (masa inhalada por masa emitida) y toxicidad (impacto a la salud por masa inhalada) (Marshall & Nazaroff, 2006);

de aquí, se puede establecer la relación intrínseca entre cantidad de emisiones y efectos a la salud. (Ver Figura 3)

Figura 3. Relación entre contaminación del aire y efectos de las emisiones a la salud.



Fuente: (Marshall & Nazaroff, 2006)

La problemática del transporte tiene variables que afectan la contaminación como los tipos de combustibles, la edad de los automotores que intrínsecamente incluye a la tecnología que se está utilizando, los comportamientos de conducción, entre otros. Cada uno de estos componentes son los que se deben tener en cuenta para cualquier tipo de decisión con respecto al medio ambiente.

### Tipos de combustibles

Existen varios tipos de combustibles que generan emisiones que afectan a la salud; entre los más comunes se encuentran la gasolina, el diesel (ACPM) y el gas natural vehicular (GNV).

Las emisiones producidas por los automotores no sólo se limitan a las que salen del tubo de escape, también hay que tener en cuenta el escape de gas de los pistones que pueden generar monóxido de carbono o hidrocarburos, el sistema de combustible donde las emisiones pueden emerger desde el carburador, la entrada del aire de la inyección de combustión y el tanque de combustible, emisiones producidas por el desplazamiento del automotor en un camino con polvo o material particulado, el desgaste de los neumáticos que aportan a partículas suspendidas, el desgaste de los frenos, etc.

Para un motor de cuatro tiempos accionado por gasolina, se presentan emisiones de CO por el mismo proceso interno de combustión incompleta; sin embargo, esto dependerá de si la mezcla aire/combustible es rica o pobre. El NO<sub>2</sub> se forma por la mezcla entre el nitrógeno y el oxígeno molecular a altas temperaturas y su emisión está relacionada con la temperatura. El material particulado, además de ser producto de la combustión, depende además de los desgastes del motor, el aceite lubricante y la dilución.

Para un motor que funciona con diesel, el sistema de combustión es más eficiente ambientalmente pues se necesita de más cuidado para manejarlo. En términos de contaminación por CO, como la mezcla es pobre y consume menos combustible, va a producir menos CO y CO<sub>2</sub> que un motor a gasolina. El problema radica en la presencia de azufre en el combustible, sin embargo, ya se han tomado medidas mundiales para erradicar el combustible con este elemento.

### Edad y tecnología

La emisión de contaminantes producidos por el transporte, depende además de variables como la edad del vehículo. Desde hace varios años, se implementaron medidas tecnológicas para tratar de mitigar las emisiones como el uso de convertidor catalítico ubicado en el tubo de escape de los carros. Para los carros que tienen un buen mantenimiento, el convertidor catalítico funciona y reduce hasta un 90% los hidrocarburos y el CO. Sin embargo, tiene una vida útil de 10 años o menos dependiendo de la calidad del combustible. Aunque es una buena medida donde se reduce CO, HC y NO<sub>2</sub>, aumenta niveles de emisión de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O, gases invernadero.

Existen estándares de emisiones en el mundo para las fuentes móviles como las EURO y las dadas por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). Las normas EURO tienen estándares de concentración para CO, Hidrocarburos, NOx, PM<sub>10</sub> y empezaron a regir desde 1992. Clasifican las fuentes móviles en encendido por chispa o por compresión, entre otras clasificaciones. En la Tabla 1, se resumen los estándares de emisión para la norma Euro. EEV representa una regla voluntaria entre Euro V y Euro VI.

En el caso de Estados Unidos, la EPA clasifica las fuentes móviles en baja potencia (autos y camiones), motocicletas, alta potencia (motores y vehículos), motores y vehículos fuera del camino (non-road) y estándares para combustibles que contienen azufre.

Tabla 1. Estándares de emisión Euro para vehículos de tránsito. (g/km). Fuente: Exhaust emissions of Transit Buses (Cooper, Arioli, Carrigan, & Jain, 2012)

| Estándar        | Fecha | CO  | THC   | NOx  | PM    |
|-----------------|-------|-----|-------|------|-------|
| <b>Euro I</b>   | 1992  | 9.1 | 1.98  | 14.4 | 0.648 |
| <b>Euro II</b>  | 1998  | 7.2 | 1.98  | 12.6 | 0.270 |
| <b>Euro III</b> | 2000  | 3.8 | 1.188 | 9.0  | 0.180 |
| <b>Euro IV</b>  | 2005  | 2.7 | 0.828 | 6.3  | 0.036 |
| <b>Euro V</b>   | 2008  | 2.7 | 0.828 | 3.6  | 0.036 |
| <b>EEV</b>      |       | 2.7 | 0.450 | 3.6  | 0.036 |
| <b>Euro VI</b>  | 2013  | 2.7 | 0.234 | 0.7  | 0.018 |

En Colombia todavía se manejan tecnologías Euro II y III y en algunos casos de transporte masivo articulado, se tienen buses con Euro IV.

Tabla 2. Estándares de emisión EPA (g/km). Fuente: Exhaust emissions of Transit Buses (Cooper, Arioli, Carrigan, & Jain, 2012)

| Estándar        | CO    | THC  | NOx   | NMHC + NOx | PM   |
|-----------------|-------|------|-------|------------|------|
| <b>1994</b>     | 45.06 | 3.78 | 14.54 |            | 0.20 |
| <b>1996</b>     | 45.06 | 3.78 | 11.63 |            | 0.15 |
| <b>1998</b>     | 45.06 | 3.78 | 11.63 |            | 0.15 |
| <b>2004 (1)</b> | 45.06 | 3.78 |       | 6.98       | 0.03 |
| <b>2004 (2)</b> | 45.06 | 3.78 |       | 7.27       | 0.03 |
| <b>2007</b>     | 45.06 | 3.78 | 3.92  |            | 0.03 |
| <b>2010</b>     | 45.06 | 3.78 | 0.58  |            | 0.03 |

\*THC: Hidrocarburos totales NMHC: Hidrocarburos no metanos



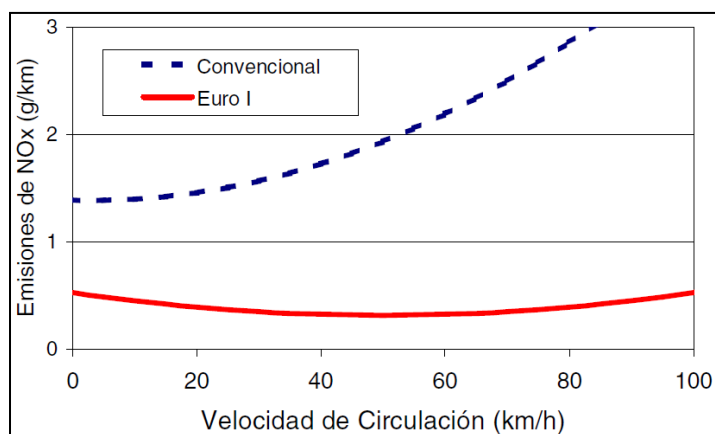
## Velocidad, aceleración

El factor de emisión para cuantificar las emisiones depende de la tecnología del vehículo y esto varía dependiendo de la velocidad promedio de rodaje, además, de la aceleración y el modo de conducción.

Dependiendo de la tecnología (norma Euro I, II, III, IV, V), se puede determinar el comportamiento del contaminante en función de la velocidad. Por ejemplo, para el caso de un vehículo que cumple la norma Euro I, las emisiones disminuyen paulatinamente hasta cierta velocidad (ver Figura 4) cuando empieza a aumentar el contaminante. Esto debido a que el gasto de energía que utiliza el motor en mayores velocidades, hace que necesite gastar más combustible (CEPAL, 2003).

La intensidad de la producción de emisiones ocurre en el momento de la aceleración y por ende en la forma de conducir (menos aceleración significa menos combustible y menos contaminantes). Los vehículos híbridos proporcionan una alternativa a la producción de emisiones, ya que el motor eléctrico es el responsable de la propulsión del vehículo lo que permite una velocidad constante del motor diesel. Como el motor diesel no es utilizado para manejar el vehículo, la aceleración y el estilo de conducir no son relevantes en estos tipos de vehículos y las emisiones son reducidas.

Figura 4. Emisión de NO<sub>x</sub> en función de la velocidad de circulación.



Fuente: Cepal. (CEPAL, 2003)

## Efectos a la salud

Los efectos a la salud se determinan dependiendo de variables como concentración del contaminante, tiempo de exposición, fracción inhalada, entre otros. Para cada una de estas variables, se incluyen estudios epidemiológicos así como de toxicidad que determinan la relación entre emisión y enfermedad.

Las normas de calidad del aire se basan en los niveles a los que la población puede estar expuesta a la contaminación: agudo o crónico. El nivel agudo ocurre cuando se presentan altos niveles instantáneos de

concentración de contaminante, mientras que el crónico es cuando la contaminación permanece durante un tiempo prolongado. Estos dos tipos de exposición son perjudiciales y por lo tanto deben ser controlados para cada uno de los contaminantes criterio y por esto es que existen normas para tiempos de exposición cortos (horas) o largos (anual).

---

### Material particulado (PM<sub>10</sub>)

El PM son partículas sólidas o líquidas presentes en el aire que tienen la capacidad de penetrar las vías respiratorias. Existe plena evidencia científica de la relación entre la presencia de éstas con enfermedades respiratorias y cardíacas. Los más afectados son la población sensible (niños menores de 5 años y personas de la tercera edad) y su peligrosidad depende del tamaño y con las sustancias que se adhieren a su superficie. Se clasifican en PST (partículas suspendidas totales), partículas con diámetro menos a 10 µm (PM<sub>10</sub>) y con diámetro menor a 2.5 µm (PM<sub>2.5</sub>).

La inhalación de PM puede inflamar las partes más pequeñas del sistema respiratorio, dejando a la exacerbación del asma o de bronquitis crónica. En el momento de una inflamación, se corre el riesgo de padecer hipercoagulabilidad transitoria (WHO, 2005).

Las partículas con diámetro menor a 2.5 µm son aún más peligrosas pues pueden alcanzar las partes más pequeñas de los pulmones, de aquí que la acción natural de limpieza del cuerpo no pueda ser llevada a cabo y se necesite de intervención quirúrgica.

Otros problemas a la salud incluyen muerte prematura en las personas con problemas cardíacos o pulmonares, ataques al corazón, arritmia cardíaca, asma, aumento en problemas respiratorios como irritación de las vías respiratorias, tos y dificultad para respirar (EPA, 2013).

---

### NO<sub>x</sub>

Los óxidos de nitrógeno, y especialmente el NO<sub>2</sub>, son promotores de otros contaminantes como el smog y la lluvia ácida. En un centro urbano, el 55% de las emisiones son del sector transporte y 22% es de generación energética. La presencia del NO<sub>2</sub> en la tropósfera en conjunto con radicales libres HC, hace que se forme O<sub>3</sub> troposférico, mientras que en la atmósfera, reacciona con el monóxido de cloro formando nitrato de cloro y liberando átomos de cloro que destruyen la capa de ozono al reaccionar con el ácido clorhídrico (Banco Mundial, 1997).

El tiempo de exposición determina el alcance a la salud para las personas, un tiempo de exposición corto (1 hora a 24 horas) tendrá un efecto inmediato en el aumento de problemas respiratorios incluyendo inflamación de las vías respiratorias y el aumento de síntomas para las personas que tienen asma. A largo plazo, con la formación de partículas que se ubican en todo el tracto respiratorio, pueden aumentar problemas cardiovasculares, bronquitis, asma y muerte prematura para la población más vulnerable.

---

### SO<sub>x</sub>

El SO<sub>2</sub> es un gas estable que se produce por la quema de combustibles. En un centro urbano, el 67% de las emisiones vienen de las generadoras de energía y el 18% del sector industrial. La contribución del sector

transporte a las emisiones mundiales de SO<sub>2</sub> se estiman entre 2% y 6% (Banco Mundial, 1997). Es un gas irritante, que afecta a las partes superiores de las vías respiratorias y está asociado con la disminución en el funcionamiento pulmonar. La OMS determinó que los efectos mortales están entre 500 µg/m<sup>3</sup> por un tiempo de exposición de 24 horas y una morbilidad respiratoria en ambientes con exposiciones superiores a 250 µg/m<sup>3</sup> (WHO, 2005).

---

## CO

El monóxido de carbono es un gas inodoro, incoloro que a muy bajas dosis es uno de los contaminantes más peligrosos para la salud. En un centro urbano el 56% de las emisiones provienen del transporte.

Está asociado a la formación de *carboxi-hemoglobina (COHb)*, una condición en la que la hemoglobina es más afín con el CO que con el oxígeno. Al estar presente el CO en la sangre, la hemoglobina no puede transportar oxígeno para las condiciones vitales y por lo tanto creará un déficit de éste en la sangre. En niveles por debajo de 10% de COHb se producen mareos, dolor de cabeza y vómito. Para niveles con más del 40% de COHb, el monóxido empieza a causar coma neurológico y colapso en el sistema nervioso y a más del 60% causa la muerte (WHO, 2000).

---

## Ozono Troposférico (O<sub>3</sub>)

El ozono troposférico se forma a partir de otros compuestos en el aire como el NO<sub>2</sub>. En presencia de los rayos del sol, los enlaces del NO<sub>2</sub> se rompen formando óxido de nitrógeno (NO) y oxígeno molecular (O) que combinados con el O<sub>2</sub> presente en la atmósfera, genera O<sub>3</sub>. De aquí que los niveles de concentración del ozono dependan de la intensidad lumínica, la concentración de óxidos de nitrógeno, variables meteorológicas, entre otras.

En tiempos de exposición bajos, la inhalación de ozono genera inflamación del todo el sistema respiratorio superior; es decir, las fosas nasales, la garganta y la laringe. Hay que tener en cuenta que así los niveles de exposición se reduzcan luego de haber estado en ambientes con concentraciones altas, los efectos persisten en los pulmones y principalmente, la afectación en las unidades terminales de los bronquios. Existe además evidencia que la presencia de ozono genera mutaciones en las células respiratorias resultando en generar con más probabilidad cáncer (WHO, 2005).

---

## Acciones de mejoramiento de la calidad del aire

---

### Implementación de tecnologías alternativas de combustible

Además de los combustibles tradicionales (gasolina, diesel), se implementaron otros combustibles que podrían ayudar al sector transporte: biogás, mezcla gasolina – etanol, gases licuados del petróleo (GLP), hidrógeno, gas natural vehicular (GNV), vehículos híbridos o eléctricos, entre otros.

**Diesel:** En Colombia, la calidad del diesel a reducido concentraciones de 5000 partes por millón (ppm) de azufre a 500 ppm y desde enero de 2013, se implementó diesel a menos de 50 ppm de azufre. Esto genera una mejor calidad del aire y además, las tecnologías de control de emisiones trabajarán más efectivamente.

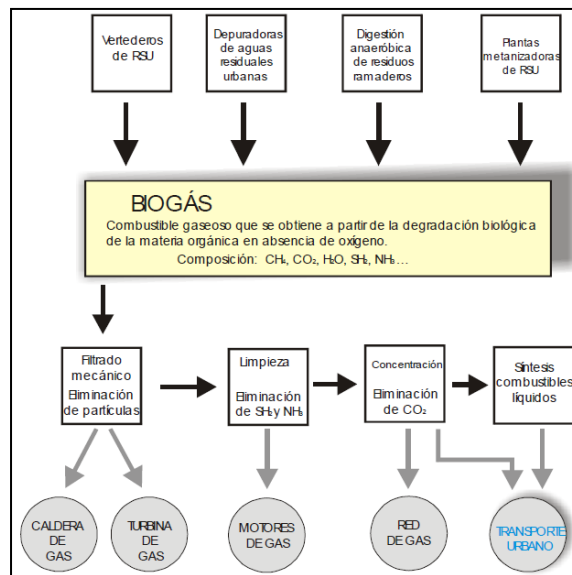
Para el diesel, se encuentran alternativas para control de emisiones como:

- Catalizador de oxidación para diesel: utiliza un proceso químico para romper los contaminantes en el tubo de escape del vehículo. Esto reduce PM, CO, HC pero sólo se puede utilizar por debajo de los 500 ppm en el contenido de azufre
- Filtro de material particulado: el catalizador aumenta la proporción de NO<sub>2</sub> a NO, reduciendo así las emisiones de PM. No funciona con PM por debajo de 100 nm.
- Recirculación del gas en el tubo de escape: recircula los gases que salen del tubo de escape a los cilindros del motor. La recirculación enfría el motor reduciendo así CO, emisiones y MP.
- Catalizador de reducción selectiva: combina urea y agua para producir amonio y CO<sub>2</sub> que se combinan con el NOx para producir nitrógeno y vapor de agua. Puede reducir las emisiones de NOx del 75 al 90% (Cooper, Arioli, Carrigan, & Jain, 2012).

Para las otras alternativas, se resumen en:

**Biogás:** es un combustible gaseoso producido por digestión anaerobia de subproductos y/o residuos orgánicos. La degradación de la materia orgánica produce una mezcla de gases formada principalmente por metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono. Se puede originar en vertederos de residuos sólidos, plantas de tratamiento de aguas residuales con estación de tratamiento biológico, plantas de digestión anaerobia con residuos de animales, entre otros (Martín Martín & Sala Gómez, 2004). En la Figura 5 se explica el procedimiento de producción del biogás y su utilización.

Figura 5. Proceso origen, generación y uso del biogás.



Fuente: (Martín Martín & Sala Gómez, 2004)

**Gases licuados del petróleo (GLP):** Son subproductos de la destilación del petróleo que tienen mayor contenido energético que el GNV. Usa el mismo motor de un GNV y por esto, utiliza las mismas tecnologías de control de emisiones.

Dentro de las tecnologías de control de emisiones para motores que funcionan con GLP ó GNV, se encuentran:

Catalizador de oxidación: está diseñado para oxidar el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos (HC) con CO<sub>2</sub> como producto final. Puede reducir emisiones de CH<sub>4</sub>, CO y HC (Cooper, Arioli, Carrigan, & Jain, 2012).

**Híbridos:** Un vehículo híbrido utiliza energía de dos fuentes: por quema de combustible y por un sistema de almacenamiento de energía recargable que utiliza el método de convertir la energía disipada durante el frenado en potencia y almacenarla en una batería. Las emisiones del tubo de escape son las mismas que las atribuidas a un motor de combustión interna; sin embargo, éstas son más bajas pues el consumo es mucho menor dado que el motor gira a una velocidad constante (Cooper, Arioli, Carrigan, & Jain, 2012). A pesar de no ser una alternativa de combustible, si se presenta como una alternativa más próxima al transporte en el mundo.

**Gas natural vehicular (GNV):** desde los años 70, la evolución de esta fuente de energía ha sido considerada una de crecimiento más rápido pues hoy en día representa la quinta parte del consumo energético mundial (Martín Martín & Sala Gómez, 2004). El gas natural contiene grandes contenidos de metano que es comprimido para aumentar su densidad energética y así poder llegar a ser igual de eficiente a los demás combustibles fósiles.

Dentro de los sistemas de control de emisiones se encuentran:

Catalizador de oxidación: el funcionamiento es el mismo que otro catalizador. Su función es oxidar el monóxido de carbono, los hidrocarburos y el CH<sub>4</sub> en CO<sub>2</sub>.

Catalizador de 3 vías: es también conocido como Catalizador de oxidación – reducción y su función es oxidar El CO, los HC y reducir el NOx. Esto produce CO<sub>2</sub>, Nitrógeno y Agua (Cooper, Arioli, Carrigan, & Jain, 2012).

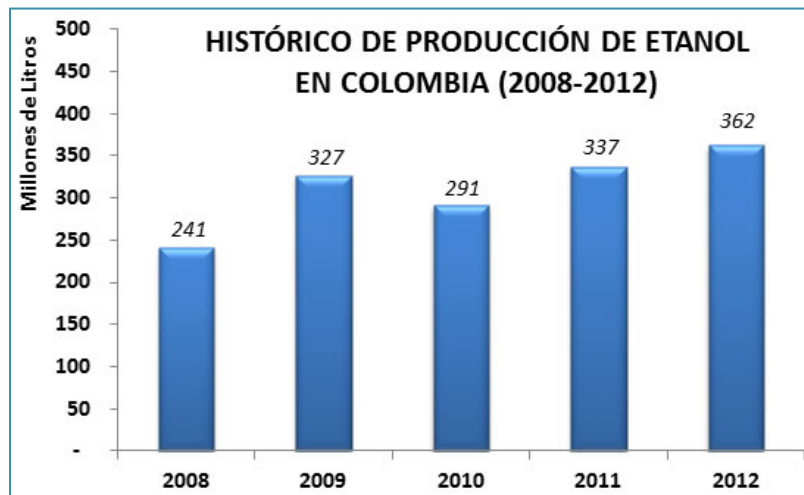
**Etanol:** El etanol es un combustible producto de la fermentación de azúcares y se puede utilizar solo o mezclado con gasolina. Su principal función es de enriquecer el oxígeno que hay en ésta para que en el momento de la combustión, se generen menos gases contaminantes.

A nivel mundial en el 2011 la producción de etanol fue de 84.500 millones de litros (22.320 millones de galones) y se calcula que ha logrado reducir en 99 millones de toneladas métricas las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero). Se predice que la producción mundial de etanol crecerá un 1% como mínimo en el 2012 a más de 85.200 millones de litros, proyección elaborada por GRFA (*Global Renewable Fuels Alliance*) y la firma analista *F.O Licht*.

En Colombia se está utilizando hoy en día la mezcla 80% gasolina, 20% Etanol, sin embargo a partir del 2012, se decretó que “ los automotores de hasta 2000 cm<sup>3</sup> que se fabriquen, ensamblen, importen, distribuyan y comercialicen en el país que requieran para su funcionamiento gasolinas, deberán estar acondicionados para que sus motores funcionen con sistema Flex-fuel (E85), es decir, que puedan funcionar normalmente utilizando indistintamente gasolinas básicas o mezclas compuestas por gasolina básica de origen fósil con al menos 85% de alcohol carburante” (Decreto 1135 , 2009).

Desde al año 2008, la producción de etanol en Colombia ha aumentado paulatinamente desde los 241 millones de litros a 320 millones de litros aproximadamente en el 2012. Un crecimiento económico importante para la realidad de los biocombustibles en el país. En la Figura 6 se observa el crecimiento paulatino del etanol en Colombia desde el 2008.

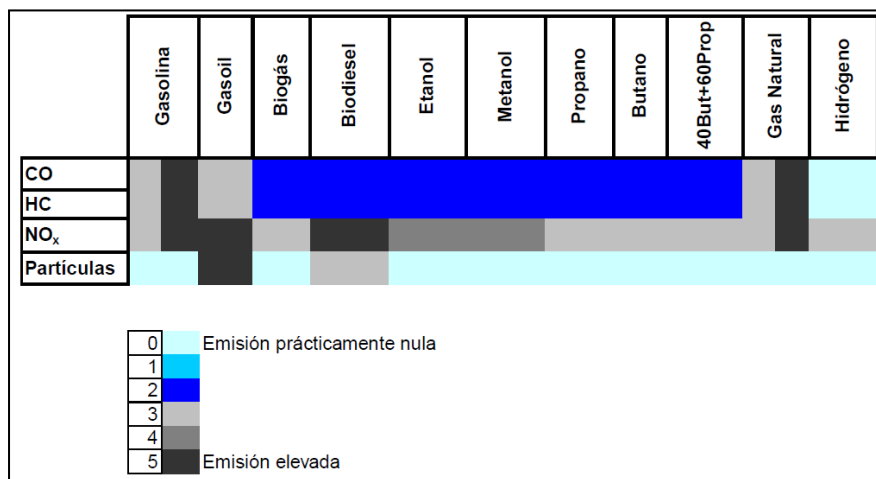
Figura 6. Producción de Etanol en Colombia desde el 2008 al 2012.



Fuente: Federación de Biocombustibles de Colombia. En: <http://www.fedebiocombustibles.com/v3/nota-web-id-1347.htm>

Comparación en términos ambientales de las alternativas (ver Figura 7):

Figura 7. Relación emisiones por combustible



Fuente: (Martín Martín & Sala Gómez, 2004)

Se puede observar que el combustible con menos emisiones es el hidrógeno a pesar de emitir un poco más de NO<sub>x</sub> que de los otros contaminantes por las propiedades intrínsecas de temperaturas.

## Cobros por contaminación

Los cobros por contaminación son una medida encaminada a interiorizar las externalidades de los actores privados que contaminan. En el mundo, todavía es muy nuevo el tema, sin embargo, ya se conoce algunos países que tienen esta medida establecida.

### Europa

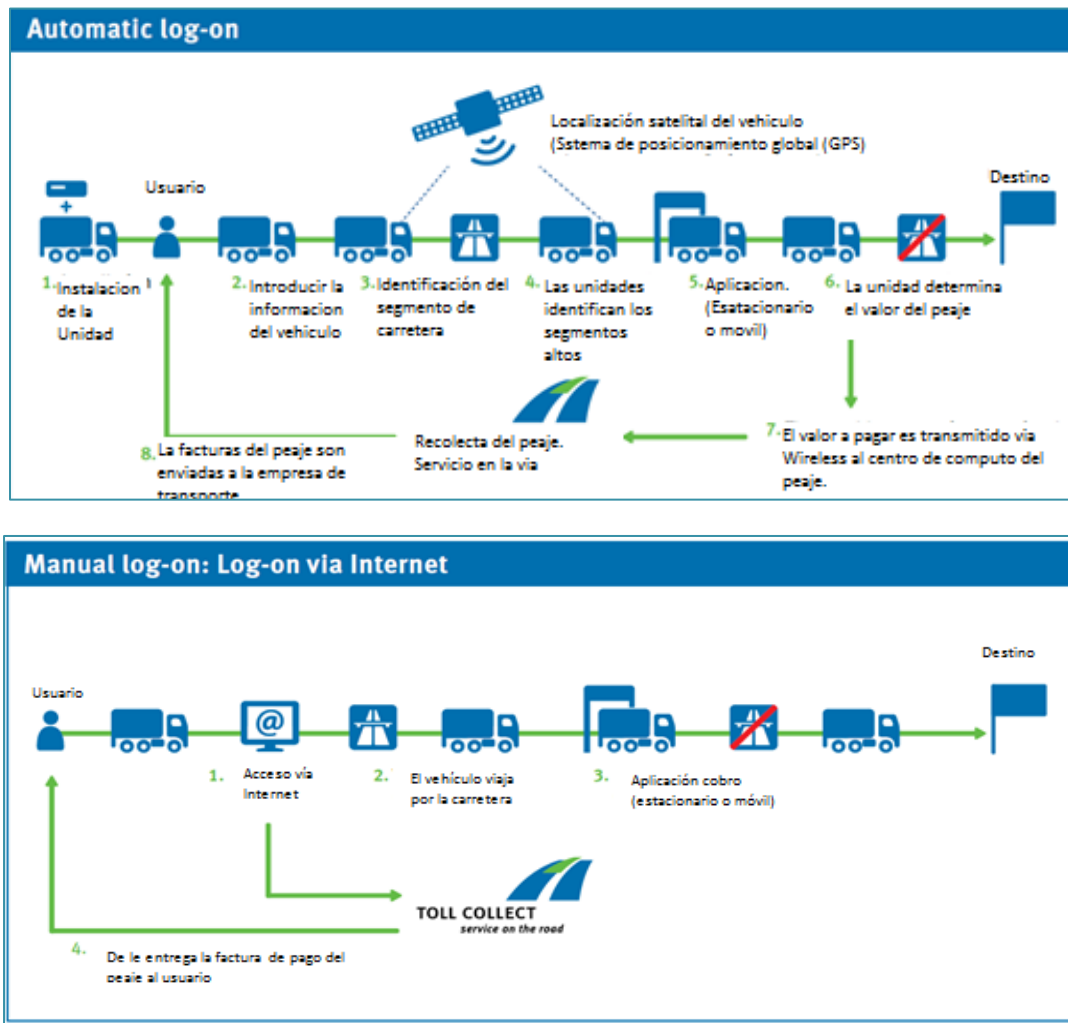
La Agencia Ambiental Europea (EEA) implementó un sistema de cobros por contaminación para transporte de carga desde enero de 2013, donde calculan los costos externos de contaminación del aire para el transporte de carga. Dentro de las especificaciones se encuentra la clase de vehículo, si se encuentra en sitios urbanos, intermunicipales o carreteras para cada uno de los países de la Unión Europea.

Tabla 3. Costos externos para vehículos pesados en los países de la Unión Europea en Euros. Fuente: (EEA, 2013)

| Costo unitario por contaminante |                 | PM <sub>2.5</sub> | N      | NO <sub>x</sub> | PM <sub>2.5</sub> | N         | NO <sub>x</sub> |
|---------------------------------|-----------------|-------------------|--------|-----------------|-------------------|-----------|-----------------|
|                                 |                 | EUR/kg            | EUR/kg | EUR/kg          | cent/gram         | cent/gram | cent/gram       |
| AT                              | Austria         | 46.656            | 59.022 | 17.963          | 4.666             | 5.902     | 1.796           |
| BE                              | Bélgica         | 82.991            | 48.345 | 14.714          | 8.299             | 4.834     | 1.471           |
| BG                              | Bulgaria        | 30.941            | 39.132 | 11.910          | 3.094             | 3.913     | 1.191           |
| CH                              | Suiza           | 70.860            | 88.693 | 26.994          | 7.086             | 8.869     | 2.699           |
| CY                              | Chipre          | 3.263             | 5.897  | 1.795           | 0.326             | 0.590     | 0.179           |
| CZ                              | República Checa | 50.388            | 48.863 | 14.871          | 5.039             | 4.886     | 1.487           |
| DE                              | Alemania        | 62.981            | 60.142 | 18.304          | 6.298             | 6.014     | 1.830           |
| DK                              | Dinamarca       | 25.182            | 29.769 | 9.060           | 2.518             | 2.977     | 0.906           |
| EE                              | Estonia         | 15.351            | 16.434 | 5.002           | 1.535             | 1.643     | 0.500           |
| EL                              | Grecia          | 23.620            | 22.486 | 6.844           | 2.362             | 2.249     | 0.684           |
| ES                              | España          | 25.992            | 26.271 | 7.996           | 2.599             | 2.627     | 0.800           |
| FI                              | Finlandia       | 12.605            | 11.469 | 3.491           | 1.261             | 1.147     | 0.349           |
| FR                              | Francia         | 47.489            | 56.983 | 17.343          | 4.749             | 5.698     | 1.734           |
| HU                              | Hungría         | 52.613            | 53.859 | 16.392          | 5.261             | 5.386     | 1.639           |
| IE                              | Irlanda         | 27.070            | 36.308 | 11.050          | 2.707             | 3.631     | 1.105           |
| IT                              | Italia          | 48.584            | 58.838 | 17.907          | 4.858             | 5.884     | 1.791           |
| LT                              | Lituania        | 20.513            | 28.783 | 8.760           | 2.051             | 2.878     | 0.876           |
| LU                              | Luxemburgo      | 61.534            | 60.581 | 18.438          | 6.153             | 6.058     | 1.844           |
| LV                              | Letonia         | 17.932            | 21.760 | 6.623           | 1.793             | 2.176     | 0.662           |
| MT                              | Malta           | 7.085             | 8.692  | 2.645           | 0.708             | 0.869     | 0.265           |
| NL                              | Países Bajos    | 86.140            | 51.402 | 15.644          | 8.614             | 5.140     | 1.564           |
| NO                              | Noruega         | 13.755            | 17.881 | 5.442           | 1.375             | 1.788     | 0.544           |
| PL                              | Polonia         | 46.547            | 43.428 | 13.217          | 4.655             | 4.343     | 1.322           |
| PT                              | Portugal        | 37.078            | 14.725 | 4.481           | 3.708             | 1.472     | 0.448           |
| RO                              | Rumania         | 40.816            | 61.353 | 18.673          | 4.082             | 6.135     | 1.867           |
| SE                              | Suecia          | 18.021            | 20.342 | 6.191           | 1.802             | 2.034     | 0.619           |
| SI                              | Eslovenia       | 37.238            | 53.076 | 16.154          | 3.724             | 5.308     | 1.615           |
| SK                              | Eslovaquia      | 44.665            | 49.917 | 15.192          | 4.466             | 4.992     | 1.519           |
| TR                              | Turquía         | 23.325            | 19.733 | 6.006           | 2.333             | 1.973     | 0.601           |
| UK                              | Reino Unido     | 61.544            | 40.188 | 12.231          | 6.154             | 4.019     | 1.223           |

Realizaron una propuesta de modernización tecnológica de peajes que se utilizaban anteriormente para cobros en carretera y que también se pudieran adecuar al cobro por contaminación Ver Figura 8:

Figura 8. Métodos para cobros en carretera, modo peajes



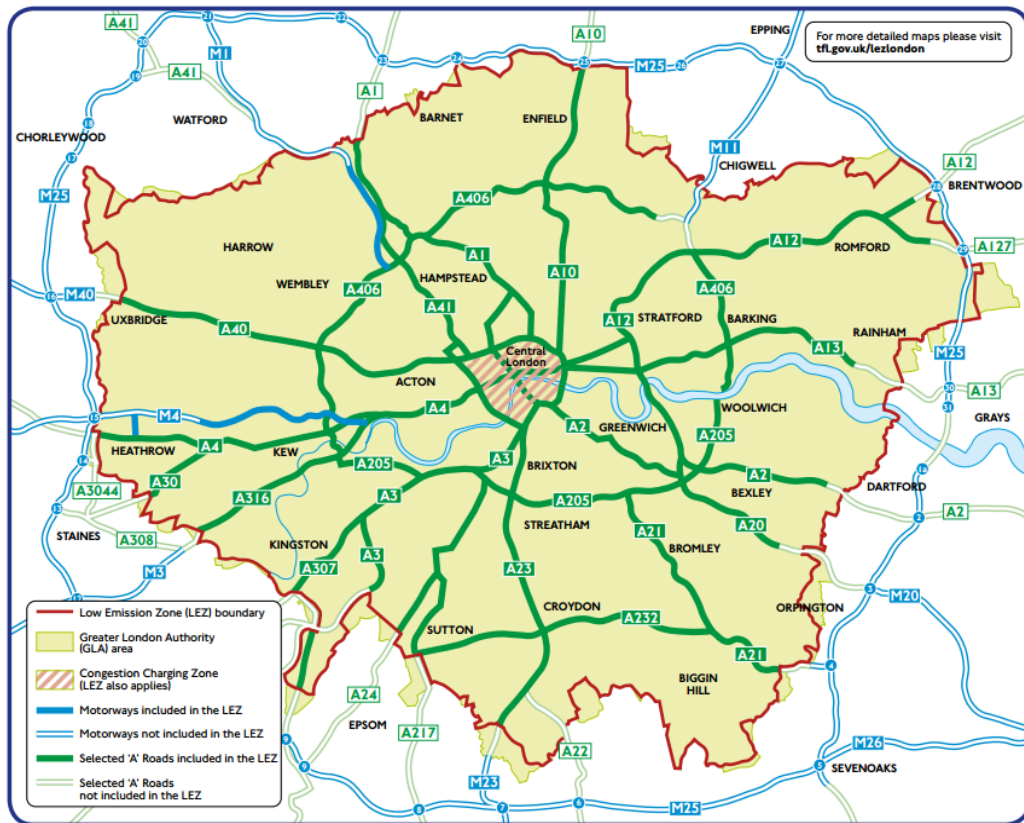
Fuente: Road user charges for heavy goods vehicles. (EEA, 2013)

## Reino Unido

Los cobros por contaminación en el Reino Unido han aumentado significativamente a lo largo de los años, hoy en día, se tienen medidas a nivel local implementadas eficientemente que, si bien para un país en vía de desarrollo es complicado adaptar, si es una guía hacia lo que se quiere para un centro urbano. Una de esas medidas es el cobro por emisiones en las zonas de bajas emisiones (Low Emissions Zones – LEZ) en Londres implementadas desde enero de 2012 como iniciativa para reducir las emisiones en las zonas que podrían presentar más emisiones.



Figura 9. Ubicación Zona de Bajas Emisiones (LEZ), Londres.



Fuente: Transport for London. (Transport for London, 2012)

La metodología para cargos por contaminación en la zona de baja emisión es por medio de controles tecnológicos para llevar un seguimiento de la zona; por medio de un sistema de cámaras, se pueden ubicar a las placas del vehículo cuando entra a la zona. Para el pago, se le exige al dueño del vehículo tener como mínimo normas Euro IV para material particulado. Si no tiene el estándar, es necesario pagar un impuesto diario para poder entrar a la LEZ y tomar medidas para el control de emisiones (implementar nueva tecnología, certificación del VOSA (Vehicle and Operator Service Agency), etc).

### Estados Unidos

Los cobros por contaminación son más populares para descargas en cuerpos de agua que para emisiones. Sin embargo, desde 1990 con el *Clean Air Act* propuesto por el congreso de este país, se acordó un cobro a las industrias para permisos de emisión. Cada uno de los estados, tiene potestad de imponer sus impuestos por contaminación y se acordó que el monto mínimo para contaminantes criterio (excepto CO) es de US \$25 por tonelada. Este monto además será ajustado con la inflación (EPA, 2001).

### Armenia

Los cargos por contaminación en Armenia, los implementó la Organización para la Co-Operación Económica y Desarrollo (OECD) y los dividieron en fuentes fijas y fuentes móviles. Dependiendo de la cantidad de

toneladas emitidas de un contaminante determinado, se establece el costo que deben pagar por contaminar. Para las fuentes fijas, se tienen en cuenta además de los contaminantes criterio ya mencionados, Tolueno, Óxido de Cromo, Formaldehído, entre otros. En el caso de las fuentes móviles, los cobros los clasifican en dos: por tipo de motor para los vehículos registrados en Armenia y por capacidad de carga para los que no están registrados (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2011).

Para el cobro por tipo de motor, se realiza una vez al año por el dueño del vehículo. El pago es una condición para adquirir el certificado técnico de inspección. En este caso, se clasifican según los caballos de fuerza del motor, como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4. Cobros por tipo de motor de los vehículos registrados en Armenia.**(Organisation for Economic Co-operation and Development, 2011). 1 USD= 575.03 AMD

| Caballos de fuerza | Cobro del vehículo en AMD |
|--------------------|---------------------------|
| < 50 M             | 10 x M                    |
| 50 M – 80 M        | 20 x M                    |
| 81 M – 100 M       | 30 x M                    |
| 101 M – 150 M      | 40 x M                    |
| 150 M – 200 M      | 50 x M                    |
| 201 M – 250 M      | 60 x M                    |
| 251 M – 300 M      | 70 x M                    |
| > 300 M            | 100 x M                   |

En lo que concierne a los cobros por capacidad de los vehículos, se clasifican según la capacidad de pasajeros del vehículo y la capacidad de carga. Los cobros se hacen a la entrada del país y el argumento que da el Ministerio de Protección Natural de Armenia (MNP) es que muchos vehículos van a Irán a comprar combustible pues es más barato pero generan las emisiones en Armenia.

**Tabla 5. Cobros para vehículos no registrados en Armenia. :** (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2011). 1 USD= 575.03 AMD

| Categorías de vehículos                        | Cobro en AMD |
|--|--------------|
| <b>Pasajeros</b>                               |              |
| <b>Carros con Pasajeros</b>                    | 2500         |
| <b>Buses con menos de 12 asientos</b>          | 5000         |
| <b>Buses con 12 asientos y más</b>             | 10000        |
| <b>Carga</b>                                   |              |
| <b>Capacidad de carga menos de 8 toneladas</b> | 5000         |
| <b>Capacidad de carga de 8 a 20 toneladas</b>  | 10000        |
| <b>Capacidad de carga 20 toneladas y más</b>   | 15000        |

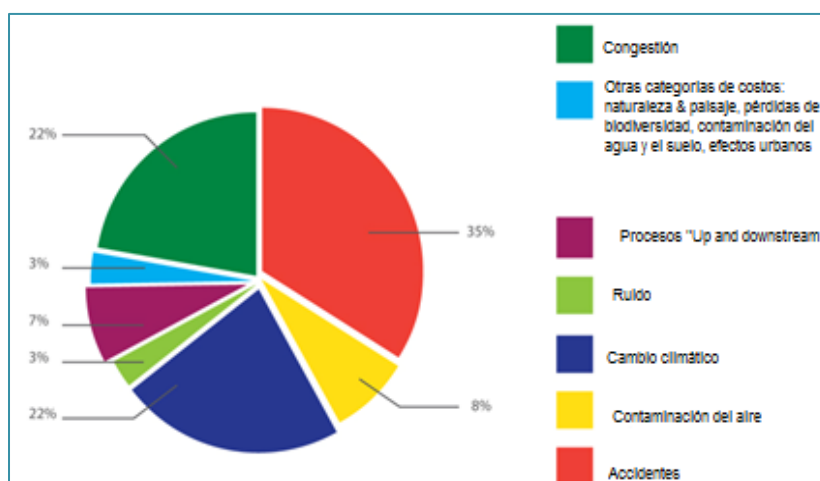
## Externalidades ambientales asociadas con la contaminación del aire

Las externalidades o costos externos son todos aquellos que se producen cuando un grupo de personas generan un costo derivado de sus actividades a otro grupo de personas. Pueden ser positivas o negativas, pueden ser recíprocas o unilaterales, transferibles o no transferibles, agotables o inagotables según si el bien es privado o público (Martínez Vásquez, 2008).

En el caso de contaminación del aire, este concepto se materializa en la emisiones de los automóviles; en este caso, en el momento de utilizarlo, se está afectando a las demás personas por sus efectos a la salud o al cambio climático. En un centro urbano, las externalidades por contaminación atmosférica pueden cobrarse por medio de impuestos sobre los bienes comunes que generan la emisión (por ejemplo automotores, industrias).

En el mundo, las externalidades ambientales todavía es un concepto muy nuevo, sin embargo en las decisiones gubernamentales cada vez se tienen más en cuenta, un claro ejemplo es el impuesto a la gasolina que incentiva al pago prematuro del efecto de contaminación a la sociedad por la quema del combustible.

Figura 10. Costos externos totales del transporte en 2008 clasificados por externalidad

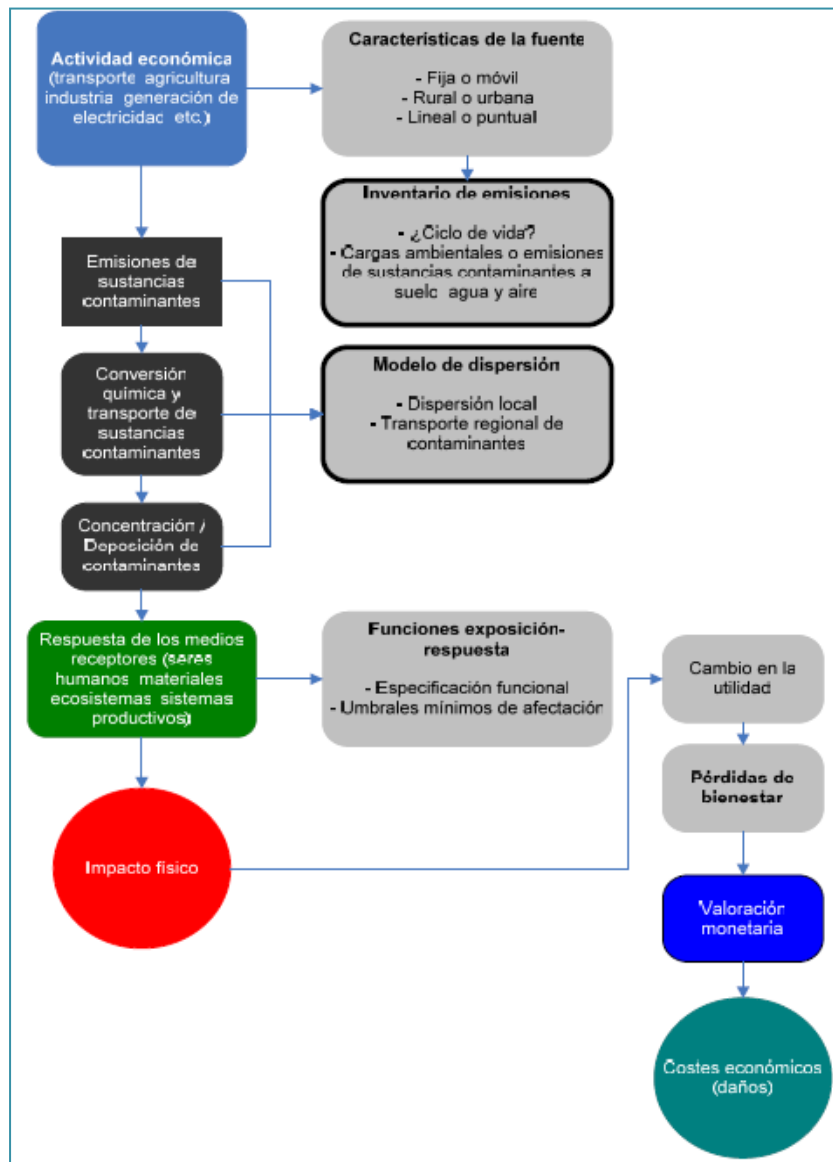


Fuente: Railway Pro. (Luica, 2012)

### Metodología:

En el caso de las externalidades ambientales, la literatura sugiere una metodología en la que se enfoca en dos puntos clave: ruta de impacto (ver y categorías globales de impacto (cambio climático). En Latinoamérica, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) utiliza esta metodología para estimar los costos externos de las emisiones.

Figura 11. Enfoque de la ruta de impacto, externalidades ambientales



Fuente: CEPAL. (CEPAL, 2008)

## DIAGNOSTICO DE CONTAMINACIÓN ACTUAL

### Contaminación del aire en Colombia

La contaminación de aire en el país es causada principalmente por el uso de combustibles fósiles, ya sea por fuentes de emisiones móviles, fijas o aéreas. El 41% del total de las emisiones se genera en las principales ciudades del país donde Bogotá lidera, seguida por Medellín y Cali. Las mayores emisiones de material particulado menor a 10 micras (PM10), de óxidos de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO) son ocasionadas por fuentes móviles (vehículos, motocicletas, trenes, aviones, barcos, etc.) que son los que utilizan fuentes fósiles de energía mientras que las partículas suspendidas totales (PST) y los óxidos de azufre (SOx) son generados por las fuentes fijas como establecimientos industriales y termoeléctricos,

principalmente. La participación de los distintos sectores en la contaminación del aire es: 86% en el transporte terrestre, 8% en la industria, 3% termoeléctricas, 2% en los sectores residencial y comercial y 1% en el transporte aéreo.

La contaminación del aire es una de las mayores preocupaciones para los colombianos ya que es el mayor generador de costos sociales después de la contaminación del agua y de los desastres naturales. Estos costos han sido estimados en el 2004, como 1.5 billones de pesos anuales y están relacionados con efectos sobre la salud pública, mortalidad y morbilidad (Conpes3344, 2005). El contaminante monitoreado de mayor interés, dado sus efectos nocivos sobre la salud humana es el material particulado (PM<sub>10</sub> y PST), ya que con frecuencia las concentraciones de este contaminante superan los estándares ambientales de la regulación vigente. Por lo tanto, se ha identificado que el aporte más importante de emisión de contaminantes a la atmósfera proviene principalmente de las industrias y el rodamiento del parque automotor, para lo cual se han establecido algunas medidas.

Consciente de la problemática y del impacto que genera la contaminación atmosférica, en los últimos años el país ha establecido medidas a nivel normativas, institucional, y operativo que se han mejorado y actualizado contando con herramientas claras para afrontar la situación de la calidad del aire, que incluyen elementos para el control de las emisiones atmosféricas y de ruido generadas por fuentes fijas y móviles y mejora en la calidad de los combustibles.

---

## Instituciones y regulación ambiental

En cuanto al tema institucional, el Conpes 3344 identificó que la estructura institucional vigente resultaba adecuada para el desarrollo de una gestión descentralizada de prevención y control de la contaminación del aire, con las regulaciones y lineamientos de política definidos por el Gobierno Nacional. Sin embargo, dado que existen enormes diferencias entre las autoridades ambientales en cuanto a su capacidad institucional, el fortalecimiento de las más débiles sería condición necesaria para implementar con éxito políticas de calidad del aire. Por otro lado, se evidenció una discontinuidad vertical con la política establecida a nivel nacional, ya que las autoridades ambientales habían desarrollado instrumentos normativos y de política general contruidos de manera aislada sin obedecer a los lineamientos de política entre las entidades del orden ambiental y sectorial.

## Normatividad ambiental en Colombia – comparación con ejemplos internacionales

Tabla 6. Comparación normas calidad del Aire Colombia con el Reino Unido. Fuente: Propia

| COLOMBIA     |                                 |                      | REINO UNIDO  |                                 |                      |
|--------------|---------------------------------|----------------------|--------------|---------------------------------|----------------------|
| Contaminante | Nivel máximo permisible [µg/m3] | Tiempo de exposición | Contaminante | Nivel máximo permisible [µg/m3] | Tiempo de exposición |
| <b>PST</b>   | 100                             | Anual                | <b>PST</b>   | (-)                             | Anual                |
|              | 300                             | 24 horas             |              | (-)                             | 24 horas             |
| <b>PM10</b>  | 50                              | Anual                | <b>PM10</b>  | 40                              | Anual                |
|              | 100                             | 24 horas             |              | 50                              | 24 horas             |
| <b>PM2.5</b> | 25                              | Anual                | <b>PM2.5</b> | 25                              | Anual                |
|              | 50                              | 24 horas             |              | (-)                             | 24 horas             |
| <b>SO2</b>   | 80                              | Anual                | <b>SO2</b>   | (-)                             | Anual                |
|              | 250                             | 24 horas             |              | 125                             | 24 horas             |
|              | 750                             | 1 hora               |              | 350                             | 1 hora               |
| <b>NO2</b>   | 100                             | Anual                | <b>NO2</b>   | 40                              | Anual                |
|              | 150                             | 24 horas             |              | (-)                             | 24 horas             |
|              | 200                             | 1 hora               |              | 200                             | 1 hora               |
| <b>O3</b>    | 80                              | 8 horas              | <b>O3</b>    | 100                             | 8 horas              |
|              | 120                             | 1 hora               |              | (-)                             | 1 hora               |
| <b>CO</b>    | 10000                           | 8 horas              | <b>CO</b>    | 10000                           | 8 horas              |
|              | 40000                           | 1 hora               |              | (-)                             | 1 hora               |

Haciendo una comparación entre los dos países, Colombia todavía tiene niveles más flexibles pues no cuenta con la capacidad para asumir niveles más exigentes; a medida que se puedan implementar, las normas serán más estrictas.

### Estrategia Colombiana de Bajo Carbono

La Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC) busca desligar el crecimiento económico colombiano de las emisiones de gases efecto invernadero. Para esto se quiere identificar el potencial de mitigación de las emisiones de gases como herramienta para su futura implementación.

Colombia produce tan solo un 0.37% de las emisiones de gases de efecto invernadero del mundo. Si se compara las emisiones per cápita con otros países, también se encuentran por debajo del promedio mundial y de otros países de la región. Sin embargo, la economía colombiana podría considerarse como carbono intensiva si se miran las emisiones anuales en relación al producto interno bruto. Así mismo, el país ha evidenciado ser altamente vulnerable a los efectos del cambio climático, por las diferentes consecuencias en las olas invernales o de sequías.

Los principales objetivos de la ECDBC son aprovechar las opciones de financiación internacional, incluyendo mecanismos de mercado para traer recursos que faciliten el desarrollo bajo en carbono de los sectores

además de promover la transferencia de tecnología y contribuir a la economía del país teniendo en cuenta la eficiencia de los procesos productivos.

La formulación de la ECDBC se concentra en cinco componentes:

Figura 12. Componentes del ECDBC. Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012)

|  |  |
|--|--|
| <b>Componente 1</b><br><b>Identificación y formulación de alternativas y oportunidades de desarrollo bajo en carbono</b> | Diagnóstico y líneas base para alternativas y oportunidades de mitigación.   |
|  | Escenarios de referencias sectoriales involucrando expectativas y tecnologías actuales y esperadas   |
|  | Estudios de impactos económicos, sociales y ambientales de las alternativas y oportunidades de mitigación de los sectores y sus efectos en emisiones |
| <b>Componente 2</b><br><b>Diseño e implementación de los planes, políticas y medidas de desarrollo bajo en carbono</b>   | Planes de acción sectorial   |
|  | Diseño de políticas y medidas  |
|  | Formulación de NAMAs, programas y proyectos de mitigación por actores públicos y privados.   |
| <b>Componente 3</b><br><b>Diseño y construcción del sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación</b>                     | Establecimiento de metodologías y estándares de monitoreo a nivel local, regional y nacional   |
|  | Adopción de criterios, procedimientos y formatos para el reporte de emisiones.   |
|  | Diseño e implementación de una plataforma sistematizada para el sistema MRV.   |
| <b>Componente 4</b><br><b>Construcción de capacidades para la ECDBC</b>  | Necesidades en transferencia de tecnologías para los sectores  |
|  | Programas de entrenamiento y divulgación de tecnologías.   |
|  | Construcción de capacidades en programas de mitigación para el sector público y privado.   |
|  | Fortalecimiento institucional para las políticas de cambio climático.  |
| <b>Componente 5</b><br><b>Establecimiento de la plataforma de cooperación y comunicación de conocimiento</b>             | Programa de comunicación y difusión de conocimientos.  |
|  | Diseño y coordinación del sitio web para el intercambio de información y conocimiento.   |
|  | Diseño y establecimiento de una plataforma para la cooperación económica internacional   |

La

importancia de la ECDBC se concentra en contribuir con un objetivo global que quiere adoptar medidas de mitigación para las emisiones de gases efecto invernadero y es mejorar la calidad de vida y el bienestar de los ciudadanos.

## BOGOTÁ

### Plan decenal de descontaminación del aire para Bogotá

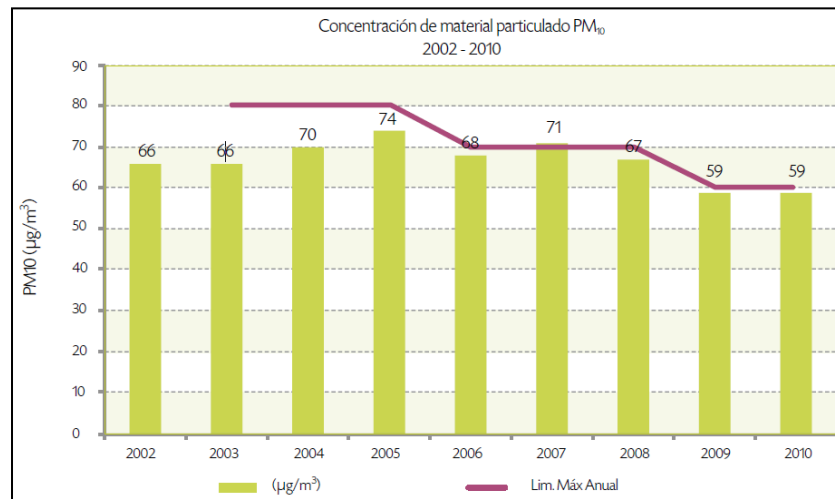
El diagnóstico de la contaminación del aire se realizó con base en los registros de la red de monitoreo de la calidad del aire para Bogotá (RMCAB). Esta red cuenta con 16 puntos (uno de ellos móvil) que permiten cuantificar en tiempo real variables meteorológicas (velocidad del viento, dirección del viento, precipitación, intensidad lumínica, temperatura, humedad relativa, etc.) así como determinar las concentraciones de los contaminantes criterio como monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>) y material particulado (PM).

## SITUACIÓN ACTUAL CONTAMINANTES CRITERIO

### Material Particulado (PM<sub>10</sub> Y PM<sub>2.5</sub>)

Los principales resultados que muestra la RMCAB es que el principal problema de contaminación que enfrenta la ciudad es el PM<sub>10</sub> dado que sobrepasa los niveles máximos de exposición en varias zonas de la ciudad. A pesar de que su distribución depende de condiciones meteorológicas así como del sitio donde se tome la muestra, en general, Bogotá estuvo con niveles por encima de los 60 µg/m<sup>3</sup>, límite permitido hasta finales del 2010 (Beherentz, Eduardo. Et Al., 2010). En la Figura 13 se observa el comportamiento del material particulado, promedio anual. A pesar de las medidas de disminución de emisiones, Colombia todavía tiene niveles permisivos muy altos con respecto a los índices europeos; en el caso del Reino Unido, la concentración máxima de PM<sub>10</sub> es de 40µg/m<sup>3</sup>

Figura 13. Concentración Material Particulado PM10, promedio anual.

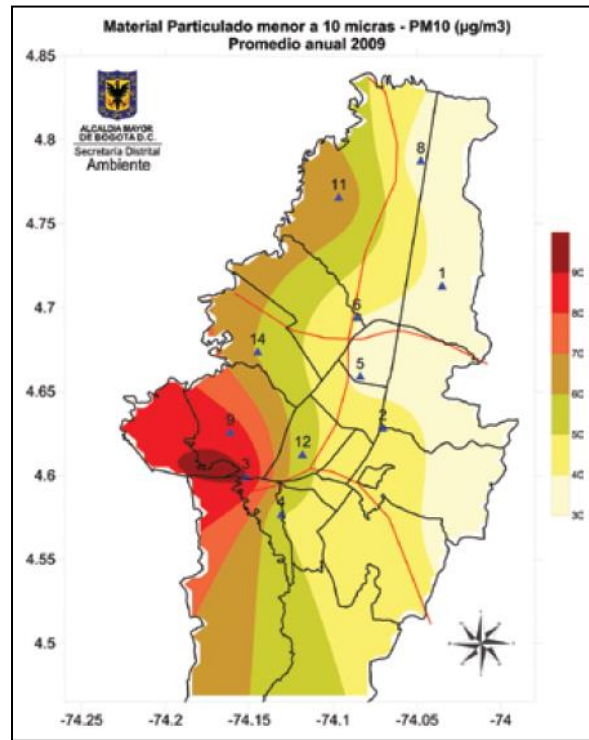


Fuente: Plan Decenal de Descontaminación del aire. (Beherentz, Eduardo. Et Al., 2010)

El comportamiento en la ciudad está influenciado entre otras, por la ubicación de las zonas industriales, donde la mayor concentración de PM<sub>10</sub> se encuentra en las localidades de Kennedy y Bosa y disminuye paulatinamente hacia el nororiente de la ciudad. Dependiendo de la estación del año, las concentraciones disminuyen en los meses de junio y julio donde hay una menor estabilidad atmosférica que en noviembre y diciembre. En la Figura 14 se observa la distribución en Bogotá con sus concentraciones. Se observa que los niveles más alto de concentraciones de PM<sub>10</sub> son en las localidades de Bosa y Kennedy (sección roja y café)



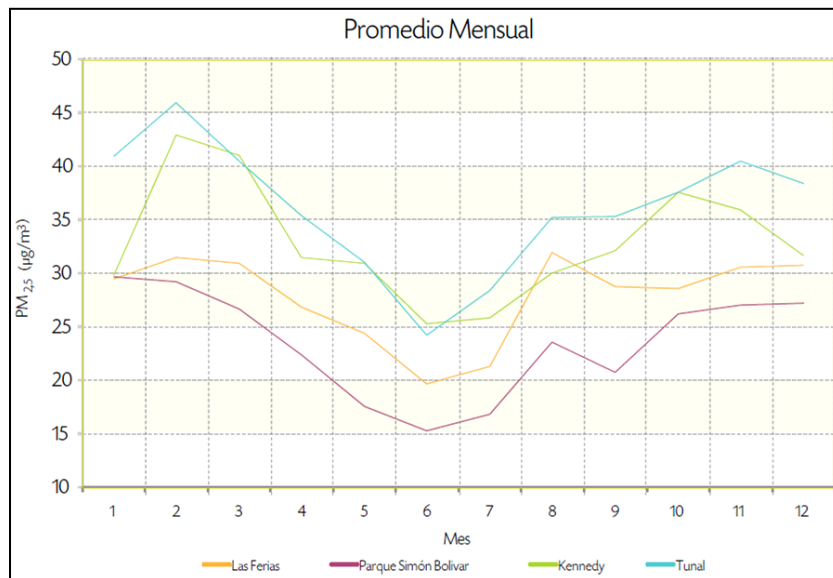
Figura 14. Distribución geográfica de la concentración de PM10 para el 2009.



Fuente: Plan Decenal de Descontaminación del Aire. (Beherentz, Eduardo. Et Al., 2010)

Con respecto a PM<sub>2.5</sub>, sólo se ha medido en cuatro estaciones de monitoreo (Las Ferias, Simón Bolívar, Kennedy, Tunal) teniendo un comportamiento similar a PM<sub>10</sub>. (ver Figura 15)

Figura 15. Concentración PM<sub>2.5</sub> promedio mensual.

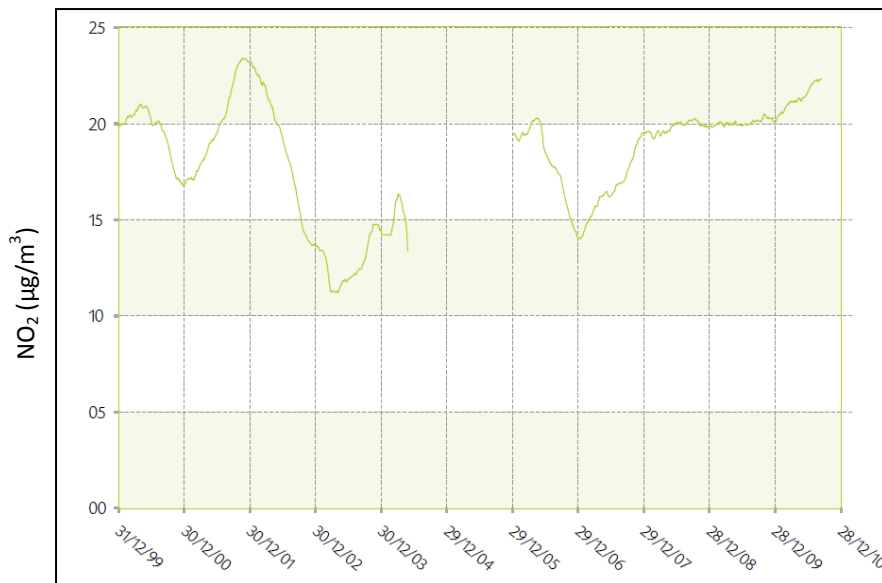


Fuente: Plan Decenal de Descontaminación. (Beherentz, Eduardo. Et Al., 2010)

Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), ozono (O<sub>3</sub>)

Para determinar la incidencia de contaminantes criterio y sus niveles en Bogotá, se utiliza el Índice Porcentual de Excedencias en la norma (IPE) además de comparar los datos históricos promedio con la norma actual de Calidad de Aire en Colombia (Resolución 610 de 2010). Para cada uno de estos contaminantes, los niveles de excedencia no superan el 3% de violación de la norma (Behrentz & Gaitán, 2009). Ahora bien, si se toman en cuenta los datos históricos promedio de cada uno, según las mediciones de la RMCAB presentadas en el 2010 en el Plan Decenal de Descontaminación, se observa la misma tendencia.

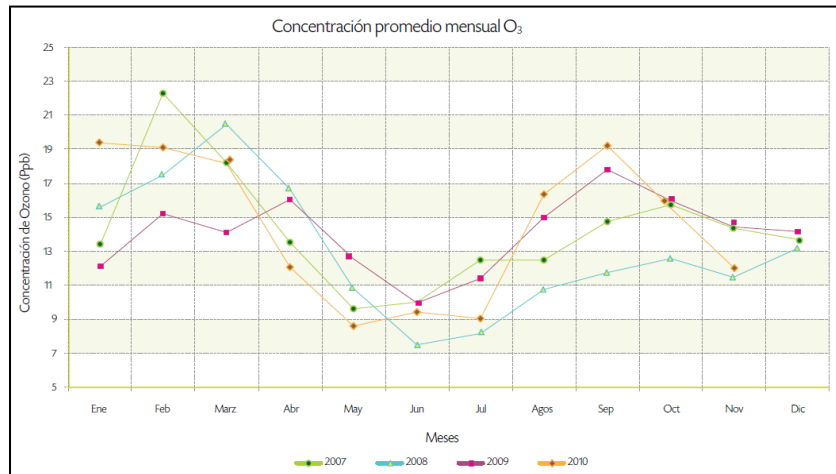
Figura 16. Concentraciones promedio NO<sub>2</sub>, promedio anual.



Fuente: Plan Decenal de Descontaminación. (Behrentz, Eduardo. Et Al., 2010)

Para el caso de NO<sub>2</sub>, las concentraciones siempre han estado 50% por debajo de la norma (100 mg/m<sup>3</sup>) a pesar de la variabilidad por estabilidad atmosférica. Sin embargo, por su importancia como precursor de otros contaminantes, es necesario controlar su emisión.

**Figura 17 Concentración O<sub>3</sub>, promedio mensual**

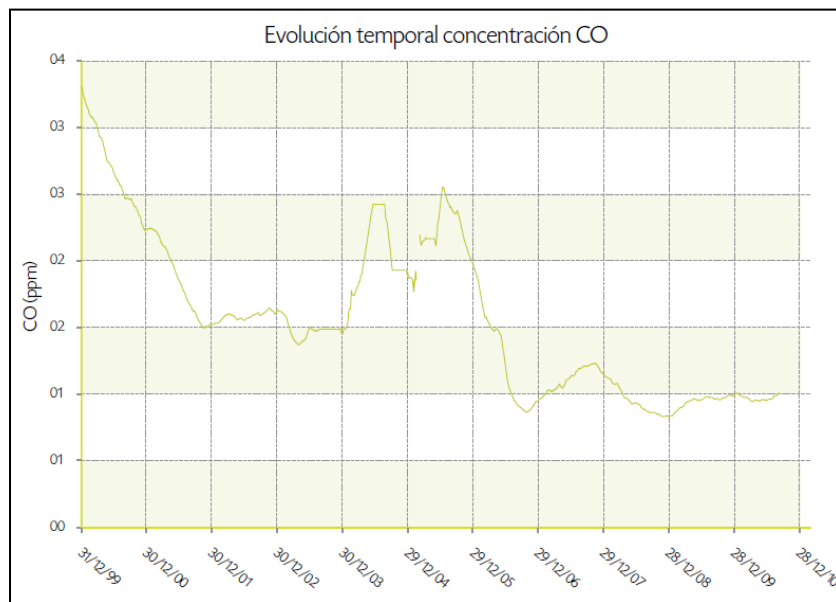


. Fuente: Plan Decenal de Descontaminación. (Beherentz, Eduardo. Et Al., 2010)

En la Figura 17 se observa el comportamiento de O<sub>3</sub> de una manera bimodal siguiendo con el comportamiento del clima en Bogotá. Para este caso, en los meses donde hay mayor inestabilidad atmosférica (junio y julio) se presenta niveles bajos, y altos en bimestres de febrero – marzo, septiembre – octubre.

A pesar de tener niveles de porcentaje de excedencia bajos, hay que tener en cuenta que los datos que exceden la norma se han mantenido constantes desde el 2001 y por esto es importante su control y medición constante pues puede llegar a ser un problema de calidad del aire prontamente.

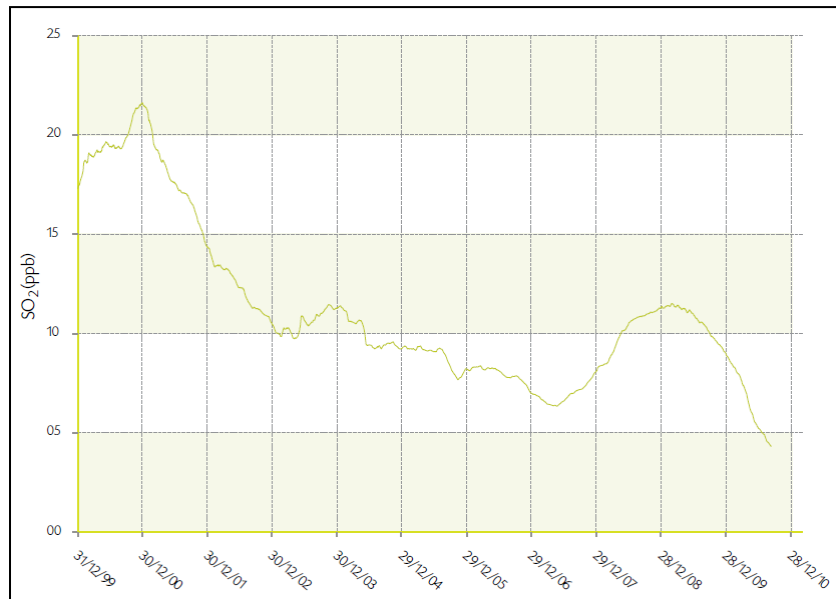
**Figura 18. Concentración CO, promedio anual.**



Fuente: Plan Decenal de Descontaminación.(Beherentz, Eduardo. Et Al., 2010)

El comportamiento del CO se ha disminuido notablemente, tomando valores de 1 ppm, estando por debajo de la norma colombiana.

Figura 19. . Concentración SO<sub>2</sub>, promedio anual



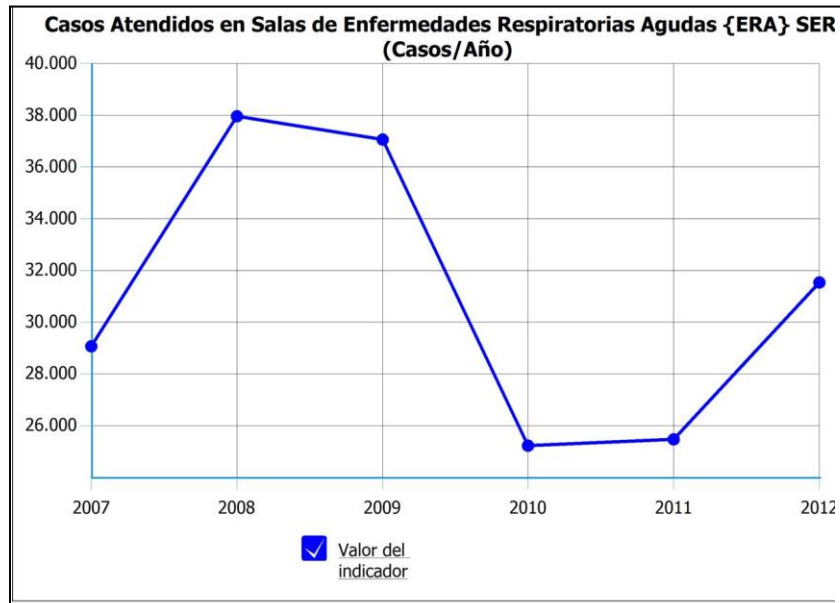
Fuente: Plan Decenal de Descontaminación. (Beherentz, Eduardo. Et Al., 2010)

Desde la toma de medidas para la disminución del contenido de azufre de los combustibles en Colombia, se ha observado una disminución paulatina llegando a niveles de 15 ppb promedio anual. ECOPETROL implementó la meta de 50 ppm en el diesel y esto se evidencia con la disminución entre el año 2009 y 2010.

## Enfermedades ligadas a la contaminación

Estudios de la Secretaría Distrital de Ambiente, en conjunto con entidades gubernamentales e internacionales, han mostrado resultados preocupantes para la población vulnerable de Bogotá pues se ha observado que las enfermedades respiratorias agudas (ERA) son la principal causa de morbilidad de este grupo. Estas enfermedades tuvieron un aumento significativo del año 2011 (25,470 casos/año) a 31,529 casos/año en el 2012, comportamiento que se observa claramente en la Figura 20 (Observatorio Ambiental de Bogotá, 2013)

Figura 20. Casos presentados de Enfermedades Respiratorias Agudas (ERA) en Bogotá.



Fuente: Observatorio Ambiental de Bogotá. En:  
<http://oab.ambientebogota.gov.co/index.shtml?s=l&id=305>

Haciendo un análisis más detallado de los casos que presenta la secretaría de Salud, la Alcaldía de Bogotá y el programa *La ERA de la Vida*, se pueden encontrar coincidencias entre las localidades más afectadas (Ciudad Bolívar, San Cristóbal, Bosa, Kennedy, Suba) con las localidades que presentan una mayor concentración de  $PM_{10}$  ó que se encuentran cerca del foco de mayor concentración (Figura 14). Esta relación indica intrínsecamente que el principal motivo para la presencia de estas enfermedades es la contaminación del aire.

Con respecto a los demás contaminantes, todos generan problemas a salud como se explicó en la primera parte del informe, sin embargo el  $PM_{2.5}$  es uno de los más dañinos. En Bogotá, a pesar de tener un nivel por debajo de la norma de calidad del aire, estudios de la Organización Mundial de la Salud indican una mayor peligrosidad que el  $PM_{10}$  porque pueden alcanzar las zonas periféricas de los bronquiolos y alterar el intercambio de gases en los pulmones (Organización Mundial de la Salud, 2011).

### Acciones de mejoramiento calidad del aire

Las autoridades ambientales establecieron unas acciones para el mejoramiento de la calidad del aire en Bogotá para fuentes móviles (que generan el 50% de emisiones de material particulado de la ciudad) como el pico y placa ambiental, mejoramiento de la calidad del combustible, así como medidas más generales como el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) en el que se generan medidas como chatarrización de los buses, cambio de tecnologías para control de emisiones, entre otras.

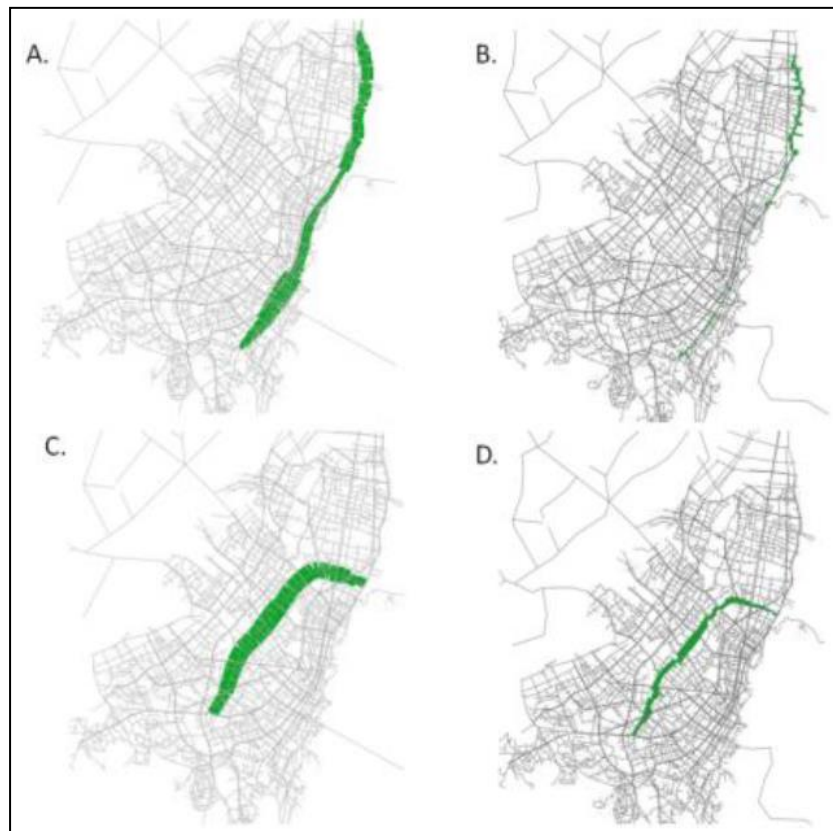
## Implementación del SITP y su relación con la contaminación

El SITP es el proyecto principal de modernización del transporte en Bogotá y tiene como objetivo la prestación de un servicio de transporte público eficiente, digno y económicamente factible que integrará al sistema de transporte masivo Transmilenio con el sistema de transporte público colectivo (TPC).

En lo que concierne a calidad del aire en Bogotá, se han realizado estudios de comparación entre la situación actual y en el momento en el que el SITP esté completamente implementado. En la Estrategia Ambiental Integrada, realizada por la Universidad de los Andes con apoyo del Clean Air Institute, se realizó el cálculo de emisiones para dos escenarios: actual y para el 2018 (fecha de implementación completa del sistema). Teniendo en cuenta esto, se observó que las emisiones para los contaminantes  $PM_{2.5}$  se reducirían en un 75% (Bocarejo, 2012). Esto se debe a medidas como reducción de vehículos, paraderos fijos, cambio en la modalidad de conducción y velocidades más constantes.

En la Figura 21, se comparan los escenarios en el 2008 (sin SITP) y en el 2018 (con SITP implementado al 100%). El grosor de la línea indica mayores concentraciones de emisiones.

**Figura 21. Comparación de los corredores con más emisiones para los escenarios con y sin SITP. A. Emisiones de los corredores carrera séptima y carrera décima, escenario sin SITP (2008). B. Emisiones de los corredores carrera séptima y carrera décima, escenario con SITP (2018). C. Emisiones del corredor Av 68 sin SITP (2008) D. Emisiones del corredor Av. 68 con SITP (2018)**



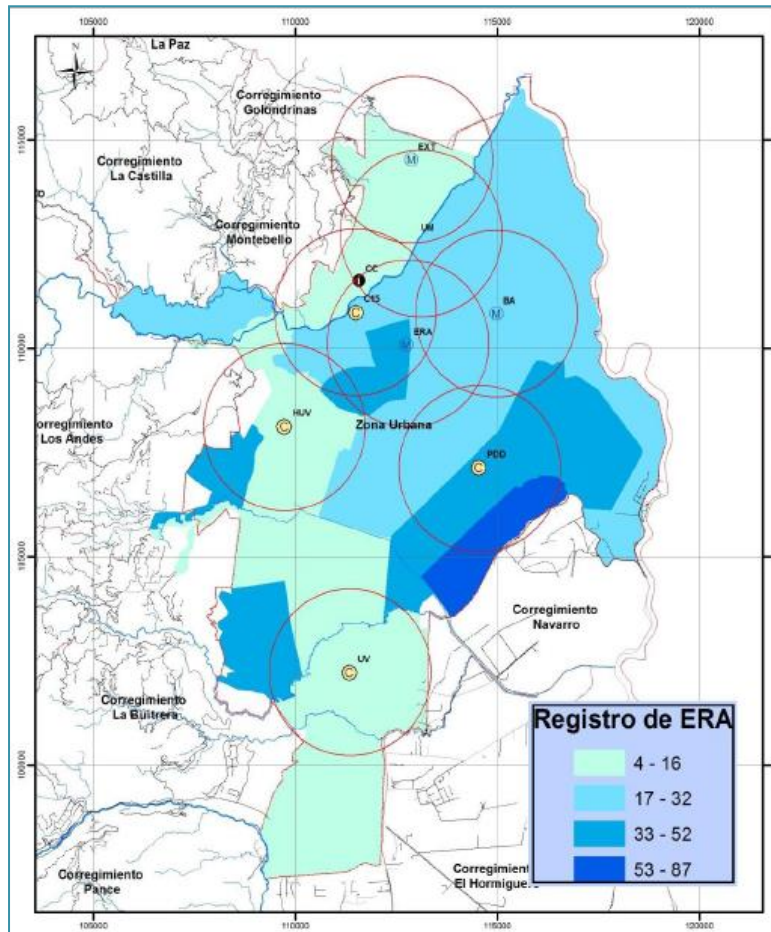
Fuente: Estrategias Ambientales Integradas (Bocarejo, 2012)

Generalidades

Santiago de Cali es la capital del departamento del Valle del Cauca y se encuentra ubicada al suroccidente del país. Tiene una extensión de 560 km<sup>2</sup> y hoy en día tiene una población de 2'320.000 habitantes, aproximadamente el 3.2% de la población bogotana. (Alcaldía de Santiago de Cali, 2012)

La situación de las enfermedades respiratorias agudas en Cali está creciendo cada vez más y las autoridades competentes ya están en procesos de mitigación del problema. Hasta el año 2010, se encontraba en más del 60% del territorio, problemas asociados con las ERA, tomando el tercer lugar en las enfermedades con más índice de morbilidad en la ciudad.

Figura 22. Índice de presencia de casos de ERA en Cali.



Fuente: (DAGMA, 2011)

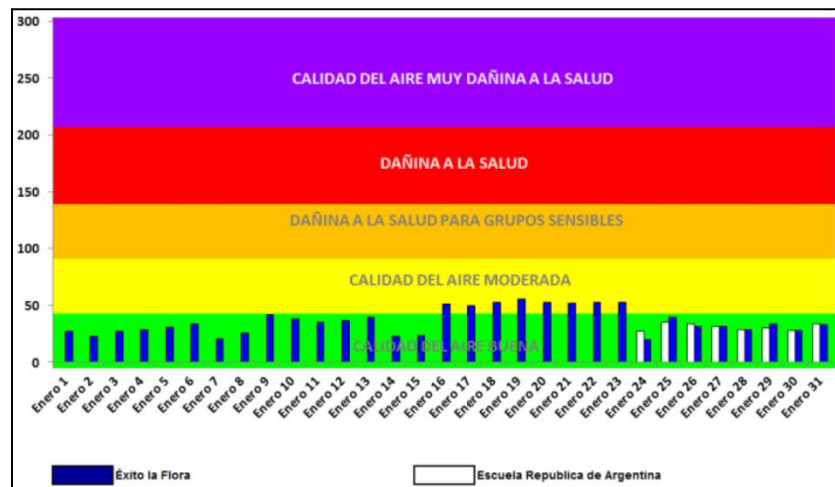
## Red de monitoreo de calidad del aire

Hasta el año 2006, Cali contaba con una red de monitoreo de calidad del aire con ocho estaciones fijas y una móvil que medían los contaminantes criterio en la ciudad y en febrero de 2010 se reactivaron 3 estaciones: La Flora, Escuela República Argentina (ERA) y la Unidad Móvil. Dentro del periodo de febrero de 2010 a febrero de 2011, se midieron niveles de  $PM_{10}$  que registraban datos entre  $15 \mu g/m^3$  y  $27 \mu g/m^3$ , datos que se encuentran por debajo del límite admisible en Colombia.

Durante todo el 2011, sólo se han registrado en dos mediciones de calidad del aire debido a problemas administrativos del Departamento Administrativo de Gestión de Medio Ambiente (DAGMA); sin embargo, con los datos obtenidos el DAGMA concluyó que el Índice de Calidad del Aire (ICA) de Cali ha mejorado con las políticas de control ambiental que ésta empezó a ejecutar desde ese mismo año. Los datos de la estación ERA (que se encuentra en el centro de la ciudad) indican una disminución significativa en los niveles de  $PM_{10}$ , CO,  $SO_2$  y  $NO_2$ .

En el último boletín de enero de 2013 presentado por el Grupo de Calidad del Aire presentan un ICA en una calificación de Bueno a Moderado (ver Figura 23) de la situación del aire de Cali; sin embargo, esta medida de clasificación no es muy eficiente pues no muestra datos específicos de los puntos de interés. Esto todavía es muy impredecible como para tomar cualquier decisión ante la calidad del aire de la ciudad.

Figura 23. Índice de Calidad del Aire, Cali. Enero de 2013.



Fuente: DAGMA (DAGMA, 2013)

Dentro de las acciones para el mejoramiento de la calidad del aire, el DAGMA con ayuda de la Contraloría de Cali, crearon las Declaraciones Ambientales (D.A) que las industrias deben presentar anualmente con reportes de materia prima, cadenas de producción, residuos y emisiones. Con esto, las autoridades ambientales llevan un mejor control de las emisiones de fuentes fijas en la ciudad. Con respecto a las fuentes móviles, la alcaldía ha tomado medidas como el Día sin Carro así como otras tres campañas de control de emisiones en el SITM MIO y cultura ciudadana.

Las autoridades ambientales están comprometidas con los planes para 2013, donde buscan tener toda la red de monitoreo funcionando para así tener una mejor aproximación de la calidad del aire de las tercera ciudad del país más importante en términos de industria.



---

## Plan de gestión ambiental para la calidad del aire

Si bien Cali no tiene en este momento un programa estructurado de control de emisiones ni una red de monitoreo eficiente, la alcaldía y el DAGMA ya tienen un plan de acción para la prevención y el mejoramiento de la calidad del aire de la ciudad. Lo clasifican en objetivos así:

- Monitoreo de la calidad del aire en el área urbana del municipio
- Actualización del inventario de emisiones de fuentes fijas de la ciudad
- Actualización del inventario de emisiones de fuentes móviles de la ciudad
- Fortalecimiento del control y seguimiento a los centro de diagnóstico automotriz y a las fuentes móviles
- Desarrollo de estrategias de gestión y participación con la mesa técnica de calidad del aire.

---

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Colombia todavía cuenta con retos importantes en temas ambientales; si bien se han implementado medidas para tener un control y un seguimiento más efectivo, las autoridades ambientales y los entes de control tienen falencias frenan las medidas ambientales. El tema económico es un punto clave en los países en desarrollo y por esto es que es necesario tomar medidas acordes con las necesidades prioritarias de la sociedad.

Dentro de los retos que se tienen en Colombia en calidad del aire está el mejorar las condiciones del combustible, buscar nuevas alternativas de energía acordes con las necesidades de la ciudad, implementar un sistema de mantenimiento y control estandarizado de calidad del aire en todas las ciudades del país, mejorar los sistemas de transporte, entre otros.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Santiago de Cali. (2012). *Cali en Cifras*. Santiago de Cali.
- Banco Mundial. (1997). *Contaminación atmosférica por vehículos automotores. Experiencias recogidas en siete centros urbanos de América Latina*. Washington, DC: Banco Mundial.
- Beherentz, Eduardo. Et Al. (2010). *Plan Decenal de Descontaminación de aire de Bogotá*. Bogotá.
- Behrentz, E., & Gaitán, M. (2009). *Evaluación del estado de calidad del aire en Bogotá*. Bogotá.
- Bocarejo, J. P. (2012). *Estrategias Ambientales Integradas - Bogotá*. Bogotá.
- CEPAL. (2003). *Comisión Económica para LatinoAmerica y Caribe*. Retrieved 2013 йил 12-marzo from [http://www.eclac.org/publicaciones/xml/9/13059/lcg2199\\_e\\_cap\\_6a.pdf](http://www.eclac.org/publicaciones/xml/9/13059/lcg2199_e_cap_6a.pdf)
- CEPAL. (2008). *Guía para decisores - Análisis económico de las externalidades ambientales*. Santiago de Chile.
- Conpes3344. (2005). *Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire*. Bogotá.
- Cooper, E., Arioli, M., Carrigan, A., & Jain, U. (2012). *Exhaust emissions of Transit Buses*. EMBARQ.
- DAGMA. (2013 йил Enero). *Departamento Administrativo de Gestión de Medio Ambiente*. Retrieved 2013 йил Marzo from Boletín Informativo enero de 2013: <http://www.cali.gov.co/publicaciones.php?id=35192>
- DAGMA. (2011). *Sistema de vigilancia de Calidad del Aire para el Municipio de Santiago de Cali*. Santiago de Cali.
- De Nevers, N. H. (1998). *Ingeniería de control de la contaminación del aire*. Mexico: McGraw - Hill.
- Decreto 1135 (31 de Marzo de 2009).
- EEA. (2013). *Road user charges for heavy road vehicles (HGV)*. Copenhagen.
- EPA. (2001 йил Enero). *Environmental Protection Agency, USA*. Retrieved 2013 йил 14-Marzo from [http://yosemite.epa.gov/ee/epa/erm.nsf/vwan/ee-0216b-13.pdf/\\$file/ee-0216b-13.pdf](http://yosemite.epa.gov/ee/epa/erm.nsf/vwan/ee-0216b-13.pdf/$file/ee-0216b-13.pdf)
- EPA. (2013 йил 1). *Environmental Protection Agency, USA*. Retrieved 2013 йил 12-Marzo from Particular Matter, Health: <http://www.epa.gov/pm/health.html>
- Larner, B. (2004). *Colombia. Cost of Environmental Damage: A socio-economic and Environmental Health Risk Assessment*.
- Luica, P. (26 de septiembre de 2012). *Railway PRO*. Recuperado el abril de 2013, de The Railways bussiness Magazine: <http://www.railwaypro.com/wp/?p=10393>
- Marshall, J., & Nazaroff, W. (2006). *Intake fraction*. EEUU.

Martín Martín, F., & Sala Gómez, V. (2004). *Estudio comparativo entre los combustibles tradicionales y las nuevas tecnologías energéticas para la propulsión de vehículos destinados al transporte*. Cataluña - España.

Martínez Vásquez, S. (2008). *Externalidades Ambientales Asociadas a la Contaminación del Aire*. Barcelona - España: Universitat Autònoma de Barcelona.

Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo Carbono*. Bogotá.

Observatorio Ambiental de Bogotá. (2013). *Consulta de Indicadores Ambientales, Tema: Aire*. Retrieved 2013 йил 7-marzo from <http://oab.ambientebogota.gov.co/index.shtml?s=l&id=305>

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2011). *OECD*. Retrieved 2013 йил 14-Marzo from <http://www.oecd.org/countries/armenia/34500203.pdf>

Organización Mundial de la Salud. (2011). *Calidad del Aire y Salud. Nota descriptiva N°313*.

Transport for London. (2012). *The Low Emission Zone*. Londres.

WHO. (2005). *Air Quality Guidelines. Global Update*. Retrieved 2013 йил Marzo from [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/78638/E90038.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf)

WHO. (2000). *Air Quality Standards*. Copenhagen.

WHO. (2005). *Guía de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. . OMS.

WHO. (2009). *Healthy and Environmental Linkages Policy Series*. Retrieved 2013 йил 14-Marzo from Healthy Transport in Developing Cities: <http://www.who.int/heli/en/>