

Aire y problemas ambientales de Bogotá.

Néstor Y. Rojas, PhD. Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia
Ciudad Universitaria, Carrera 30 45-03, Of. 206, Laboratorio de Ingeniería Química
Tel. 3165000 ext. 14304. e-mail: nyrojasr@unal.edu.co

INTRODUCCIÓN

Definición del problema

La calidad del aire es uno de los factores de importancia en la determinación del índice de calidad de vida de un centro urbano. Una ciudad con buena calidad del aire es preferible para vivir y más atractiva para las inversiones al ser comparada con otras ciudades con condiciones similares de ingreso, acceso a bienes y servicios y oportunidades de empleo pero con aire contaminado.

Un aire de baja calidad o aire contaminado es aquel que produce una evidencia perceptible o medida de poco bienestar, v.g.: visibilidad reducida, suciedad en edificaciones, afectaciones a la naturaleza o perjuicios sobre la salud. En centros urbanos con altas concentraciones de población y la alta ocurrencia de procesos productivos, la afectación a la salud resulta ser la consecuencia más importante de la contaminación del aire.

Alcance del documento

La contaminación del aire es un problema que normalmente es analizado en dos escalas que difieren en el impacto y el tipo de los contaminantes emitidos: los que tienen un impacto de escala global y aquellos que tienen un impacto de escala local. Los principales contaminantes que tienen impacto a escala global son los gases de efecto invernadero y gases destructores de ozono estratosférico, los cuales tienen como consecuencia el calentamiento global, los cambios en los patrones climáticos y la destrucción de la capa de ozono que protege a la biosfera de la radiación solar ultravioleta B, aunque también pueden tener algunos efectos locales asociados con el empeoramiento de los efectos de los contaminantes que tienen impacto a escala local. Éstos últimos son los causantes de la baja calidad del aire en centros urbanos, con sus implicaciones sobre la calidad de vida de la población, y están representados principalmente por un grupo de seis contaminantes conocidos como contaminantes "criterio" por sus efectos sobre la salud humana y el ambiente: monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos (compuestos orgánicos volátiles), óxidos de azufre, material particulado y ozono troposférico¹.

¹ El ozono troposférico se encuentra en la capa más baja de la atmósfera, y no tiene la característica protectora del ozono estratosférico. Por el contrario, es causante de efectos nocivos sobre la salud.

Este documento tiene el propósito de presentar el diagnóstico y recomendaciones de política pública con respecto a la calidad del aire urbano representada por contaminantes “criterio” en Bogotá. No cubre, por lo tanto, las emisiones ni la problemática de los gases de efecto invernadero o de gases destructores de ozono estratosférico, las cuales son abordadas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT – a través de su oficina de Cambio Climático y la Unidad Técnica de Ozono respectivamente. Cabe anotar, sin embargo, que los gases de efecto invernadero y de los contaminantes con impacto a escala local tienen como fuentes comunes los procesos de combustión y, por tanto, algunas políticas que sean diseñadas para reducir las emisiones de contaminantes de impacto local serán efectivas también para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La ciudad puede también promover el aprovechamiento de los Mecanismos de Desarrollo Limpio, que se basan en proyectos productivos que puedan demostrar reducciones en emisiones de gases de efecto invernadero, por las cuales dicho proyecto puede recibir recursos del comercio de bonos de carbono provenientes de países desarrollados. Esto ya lo ha adelantado TransMilenio S.A. en el Distrito Capital. Sin embargo, no debería ser función de la Secretaría Distrital de Ambiente – SDA – llevar el liderazgo en estos procesos.

Este documento tampoco cubre la contaminación del aire en ambientes interiores, los cuales pueden estar relacionados con la contaminación de aire ambiente, pero principalmente son producidos por actividades específicas al interior de hogares o ambientes laborales y se deben estudiar y controlar de una manera particular, bien sea con cambios en comportamientos, mejoramiento de la ventilación interior o eliminación de las fuentes de contaminación interna.

Contaminantes del aire y sus efectos

Los contaminantes “criterio” son los contaminantes regularmente medidos en estaciones de monitoreo y controlados en las emisiones de fuentes antropogénicas, a través de normas de calidad del aire y normas de emisión. De ellos, el único contaminante que no es emitido directamente por las fuentes antropogénicas es el ozono troposférico, el cual es formado en la atmósfera a partir de reacciones químicas entre los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles, bajo la acción de la luz solar y es conocido comúnmente como *smog fotoquímico*.

El material particulado es, por otro lado, el contaminante más complejo por sus características de tamaño (desde 0.007 hasta 60 micras, aproximadamente), composición química (carbón, compuestos orgánicos, hidrocarburos aromáticos policíclicos – varios de ellos cancerígenos –, metales, ácidos sulfúrico y nítrico, sales de amonio, minerales, entre otros), transformaciones en la atmósfera e interacción con los demás contaminantes. Comúnmente es medido como PM₁₀, que incluye todas las partículas de tamaño inferior a 10 micras, que son aquellas que permanecen suspendidas durante varias horas o días en el aire. En Estados Unidos y otros países alrededor del mundo, existen normas y mediciones para las partículas consideradas como finas, es decir, aquellas que tienen un tamaño inferior a 2,5 micras, las cuales tienen están compuestas principalmente por partículas producidas en procesos de combustión y aquellas producidas a partir de vapores que se condensan en la atmósfera. Las partículas finas no sólo son inhalables, sino que además se depositan eficientemente en las vías respiratorias inferiores y en los alvéolos pulmonares, produciendo irritación e inflamación en las células alveolares. Aquellas partículas con

tamaño inferior a 0.1 micras tienen la capacidad de entrar en el torrente sanguíneo, y han sido asociadas a enfermedades cardiovasculares.

Las altas concentraciones de material particulado y ozono troposférico, las cuales exceden las normas de calidad del aire, están asociadas a un exceso de mortalidad y morbilidad de la población². En las localidades críticas de Bogotá, la reducción de la concentración promedio de material particulado de aproximadamente 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (norma de una gran número de países del mundo) se vería reflejada en un 5% de reducción en mortalidad por todas las causas y en un 40% de reducción en visitas hospitalarias por enfermedad respiratoria³. La población más sensible a los efectos de la contaminación del aire está formada por los niños – especialmente los menores a cinco años –, los ancianos y aquellos con sensibilidad especial por condiciones respiratorias como el asma.

La morbilidad y la mortalidad de la población asociada a la contaminación del aire generan altísimos costos sociales, representados en vidas perdidas tempranamente, ausentismo laboral, pérdida de productividad y atención hospitalaria a la población que sufre enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Se ha demostrado alrededor del mundo que las inversiones en la reducción de las concentraciones de contaminantes del aire son compensadas con creces al reducir los costos sociales de la mortalidad y morbilidad asociadas.

SITUACIÓN ACTUAL DE LA CALIDAD DEL AIRE EN BOGOTÁ

La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB – ha llevado un registro de las concentraciones de los contaminantes “criterio” desde 1997, el cual ha proporcionado las siguientes conclusiones⁴:

- El PM_{10} es el contaminante con mayor índice de excedencias de la norma de calidad del aire, seguido por el ozono.
- Las concentraciones de óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, hidrocarburos totales y monóxido de carbono presentan pocas o ninguna excedencia de la norma.
- Las concentraciones de PM_{10} no han mostrado una tendencia clara de reducción o aumento en los 10 años de operación de la red. Aunque existió una tendencia de reducción al introducir diesel de 1200 ppm de azufre en 2000, lamentablemente la concentración de PM_{10} volvió a aumentar a partir de 2003, probablemente debido al crecimiento industrial y a la utilización de carbón a cambio de gas natural.

² La Organización Mundial de la Salud, OMS, estima que el existe un 1% de muertes en exceso por el aumento en 10 microgramos de partículas de tamaño inferior a 10 micras por metro cúbico de aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

³ Solarte et al., encontraron que, en Bogotá, el aumento en 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} está asociado a por lo menos el 8% de aumento en visitas hospitalarias.

⁴ Con base en Cancino, J. Validación y análisis de la información de la Red de Calidad del Aire de Bogotá. Universidad de Los Andes, 2006 y Página web de la RMCAB, disponible en: <http://201.245.192.252/php/2006pm10.php>.

- El ozono muestra una tendencia de aumento en su concentración media anual, especialmente a partir del ingreso de la gasolina con etanol.
- La influencia de los vehículos particulares, que funcionan en su mayor parte con gasolina, se manifiesta en las concentraciones de CO, mientras que los vehículos de transporte público, movidos por motores diesel, influyen claramente en las concentraciones de PM₁₀ (evidencias del día sin carro y días de paro de transporte público).
- La zona occidental de la ciudad, particularmente en las localidades de Puente Aranda, Kennedy y Fontibón, presenta las mayores concentraciones de contaminantes, especialmente de material particulado.
- A pesar de que la concentración de contaminantes en varias estaciones de la ciudad se encuentra por debajo de los niveles máximos permisibles definidos por las normas colombianas de calidad del aire, dicha concentración resulta inaceptable de acuerdo con los estándares recomendados por la Organización Mundial de la Salud – OMS – en su actualización de 2005.

Más allá de las mediciones de la red de monitoreo, las cuales son indispensables para observar las tendencias históricas de los contaminantes y los efectos de las políticas públicas de alto impacto sobre la calidad del aire en la ciudad, los efectos de la contaminación dependen en gran medida de la exposición de la población a los contaminantes. Algunas mediciones han reflejado las diferencias entre las concentraciones de contaminantes medidas por estaciones de la RMCAB aquellas medidas en los espacios donde se encuentra la población, también conocidos como microambientes. Se ha establecido, por ejemplo, que en los andenes y espacios similares de Bogotá, los peatones pueden estar expuestos a concentraciones de varios cientos de microgramos por metro cúbico de PM₁₀ cada vez que un bus urbano pasa o arranca en el carril aledaño.⁵

Cualquier análisis de emisiones de contaminantes y diseño de políticas públicas generales de calidad del aire debe tomar en cuenta principalmente la emisión de material particulado y de los promotores de formación de ozono en la atmósfera: los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles. Así mismo, debe incluir como factor primordial el grado de exposición producida por las diversas fuentes.

Fuentes de contaminantes más importantes y factores asociados

La Secretaría Distrital de Ambiente – SDA – ha logrado identificar los mayores emisores de contaminantes del aire a través de inventarios de emisión que han sido actualizados en varias oportunidades. Se ha determinado que tanto la industria como las fuentes móviles tienen una contribución importante a las emisiones de contaminantes. Para el contaminante más significativo, el material particulado, se ha encontrado que la

⁵ Behrentz, E. et al. Contaminación por Material Particulado en inmediaciones de una vía con alto tráfico vehicular. Universidad de los Andes. Disponible en: I Congreso Colombiano de Calidad del Aire y Salud Pública, Manizales, 14 a 16 de marzo de 2007.
<http://www.ing.unal.edu.co/eventos/casap2006/htm/ponencias.htm>

industria aporta aproximadamente el 60% de las emisiones, y las fuentes móviles el 40%⁶. Sin embargo, si se tiene en cuenta el impacto de la exposición de la población a la contaminación, es posible afirmar que las fuentes móviles tienen un impacto más significativo, debido a la mayor cercanía de la población (peatones, ciclistas, conductores) a las fuentes de emisión de contaminantes.

Considerando únicamente las fuentes móviles, se ha demostrado que los vehículos con motor diesel, buses y camiones (alrededor de 50000 en Bogotá), contribuyen con aproximadamente el 90% de las emisiones de material particulado. Prácticamente todo el 10% restante es emitido por motocicletas con motores de dos tiempos, debido a la ineficiente combustión en estos motores. Muchos países alrededor del mundo han prohibido estas motocicletas y Colombia no debería ser la excepción. La contribución de alrededor de 1 millón de vehículos particulares, en su mayoría a gasolina o gas natural, a las emisiones de material particulado, es prácticamente despreciable, aunque su contribución a la falta de movilidad es un factor no menos importante en la contaminación del aire.

Tabla 1. Estimación del inventario de fuentes móviles en Bogotá.⁷

	Km/día	Emisiones (toneladas/día)			
		CO	VOC	NOX	PM ₁₀
Vehículos particulares	20,000,000	950	70	40	0.15
Motos	2,000,000	85	45		1
Taxi	12,000,000	270	25	20	0.3
Bus	4,000,000	690	40	60	3.5
Camion	1,500,000	490	30	30	2
Total	40,000,000	2500	200	150	6

a) Motores diesel de buses y camiones.

Los vehículos automotores impulsados por motores diesel son la fuente de mayor impacto sobre la exposición de una fracción importante de la población a altas concentraciones de material particulado. Entre las fuentes móviles, estos vehículos son responsables del 80% de las emisiones de material particulado, 60% de las emisiones de óxidos de nitrógeno, 65% de las emisiones de óxidos de azufre y, atípicamente, 50%

⁶ Las cifras de participación en las emisiones por cada tipo de fuente a lo largo de esta sección se basan en inventarios de emisiones desarrollados en 2003 y 2006 por la Universidad de Los Andes. Disponibles en: www.cleanairnet.org/lac_pt/1473/articles-56439_recurso_1.ppt y <http://dspace.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/939/1/Balkema+Tesis+Liliana+Giraldo.pdf>

⁷ L. Giraldo y E. Behrentz, Universidad de Los Andes, 2006. Disponible en: <http://dspace.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/939/1/Balkema+Tesis+Liliana+Giraldo.pdf>

de las emisiones de monóxido de carbono. Los factores de mayor incidencia en las emisiones producidas por estos motores son:

1. Contenido de azufre del combustible diesel. El azufre del combustible diesel es un importantísimo promotor de la formación de material particulado. El ACPM o diesel ofrecido en Bogotá, tiene un contenido de azufre de 1200 partes por millón (ppm), el cual, aunque es más bajo que en el resto del país, sigue siendo uno de los más altos del mundo para una gran ciudad. La recomendación adoptada mundialmente para el contenido de azufre es de menos de 50 ppm.
2. Ausencia de tecnologías de control de emisión. En la situación actual, los filtros de partículas, que son las mejores tecnologías de control de emisiones de motores diesel disponibles para reducir las emisiones de material particulado, no son aplicables en Bogotá, debido al alto contenido de azufre del diesel – el cual desactiva los catalizadores presentes en dichos filtros – y a la obsolescencia tecnológica de los motores. Por otro lado, los convertidores catalíticos de oxidación para motores diesel, los cuales son utilizados en la flota de buses del Sistema de Transporte Masivo Sistema de Transporte Masivo TransMilenio, reducen las emisiones de monóxido de carbono y de hidrocarburos no quemados, pero no las emisiones de material particulado, que son las más importantes.
3. Motores con tecnologías obsoletas. Los motores de más de 10 años, que hacen parte de más del 50% del parque automotor a diesel en Bogotá, no han sido diseñados con tecnologías de prevención y control de emisiones de material particulado, dentro de las cuales se incluyen la turbocompresión con enfriamiento, la inyección a alta presión, commonrail, cámaras de combustión de alta turbulencia, entre otras.
4. Sobreoferta y guerra del centavo. El fenómeno de la sobreoferta de transporte público y sus consecuencias sobre la movilidad urbana está bien documentado en Bogotá. Cada vehículo en sobreoferta produce emisiones innecesarias al aire de la ciudad. Adicionalmente, los patrones de conducción en el sistema de transporte colectivo conocido como guerra del centavo, el cual incluye paradas frecuentes y aceleraciones agresivas, aumentan las emisiones en comparación con un sistema ordenado.
5. Carrocerías inapropiadas y mal mantenimiento. Parte de la exposición de los pasajeros y conductores se debe al ingreso de contaminantes a la cabina de los vehículos. Una cabina construida sin tener en cuenta este factor, sumada al mal mantenimiento de los motores y los tubos de escape, que en consecuencia presentan fugas de emisiones antes de su expulsión definitiva, aumenta el ingreso de contaminantes a la cabina y, por lo tanto, la exposición de pasajeros y conductores a dichos contaminantes.
6. Problemas de diseño y mantenimiento de vías. El crecimiento desordenado de la ciudad ha tenido como consecuencia la construcción de vías muy estrechas para alto tráfico vehicular, sin las condiciones mínimas requeridas para una movilidad apropiada y sin el desarrollo del espacio público que debería estar asociado a dichas vías: andenes amplios, mobiliario urbano, paraderos de buses. La

construcción no ha tenido la calidad técnica para soportar el alto flujo vehicular ni el mantenimiento apropiado, produciendo vías en muy malas condiciones, con gran número de huecos y alta presencia de polvo. En estas condiciones, se incrementa la concentración de material particulado fino y otros contaminantes, y se producen altas concentraciones de material particulado grueso por la resuspensión de polvo de las vías. A pesar de que el polvo resuspendido no es crítico en la generación de enfermedades respiratorias, pues se deposita rápidamente y es filtrado eficientemente por los mecanismos de protección de las vías respiratorias superiores, sí genera molestias al bienestar de la población, causa ensuciamiento de edificios, construcciones, monumentos y hogares, bloquea las hojas de la vegetación y sus mecanismos de respiración, causa taponamientos en alcantarillados y aumenta los sólidos transportados hacia cuerpos de agua.

7. Carencia de incentivos a la renovación. En nuestro contexto, no existen mecanismos eficaces que incentiven la renovación vehicular, diferentes al incumplimiento del certificado de gases. Los impuestos son más altos para los vehículos nuevos, cuando son los vehículos viejos los que tienen un mayor impacto sobre las vías, el ambiente y la salud de la población. Con respecto a los certificados de gases y la revisión técnico-mecánica, existen malas prácticas por parte de los conductores y propietarios de vehículos, consistentes en ajustar los vehículos para pasar las pruebas, pero no para mantener el vehículo en las condiciones óptimas de operación.

b) Motocicletas con motores de dos tiempos.

Aunque hasta ahora no han sido consideradas por normas como el pico y placa y los certificados de gases, las motocicletas con motores de dos tiempos son una fuente significativa de contaminantes. Son responsables de cerca del 17% de las emisiones de material particulado de fuentes móviles, siendo la fuente móvil más importante después de los buses y camiones con motor diesel y el 20% de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles. Esto se debe a la baja eficiencia de combustión, a la necesidad de mezclar la gasolina con el aceite lubricante en estas tecnologías, y al importante incremento en el número de motocicletas en circulación, promovido por los bajos precios de estos vehículos.

c) Vehículos a gasolina

Los vehículos con motor a gasolina contribuyen con cerca de 50% de las emisiones de monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles, y 40% de óxidos de nitrógeno. Tienen, por tanto, una responsabilidad importante en la emisión de promotores de smog fotoquímico, lo cual está vinculado a los siguientes factores:

1. Obsolescencia tecnológica: se estima que más del 70% del parque automotor a gasolina que circulan por Bogotá tiene más de diez años de antigüedad. Por lo tanto, son vehículos que, en su gran mayoría, no cuentan con tecnologías avanzadas de combustión (v.g. inyección electrónica) ni convertidor catalítico de tres vías, pues este dispositivo de control de emisiones es exigido por la normatividad colombiana para los vehículos nuevos a partir de 1997. Se está

perdiendo, por tanto, el potencial de reducción en más del 70% de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono.

2. Movilidad reducida. El incremento del parque automotor incrementa por sí mismo las emisiones de contaminantes, pero sobre todo, reduce la velocidad promedio de circulación e incrementa la congestión vehicular. Estas dos condiciones también están asociadas al incremento en las emisiones de contaminantes, principalmente monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles.
3. Utilización de etanol en la gasolina. A pesar de que los aditivos oxigenantes de la gasolina, como el etanol, cumplen con una función de mejorar la combustión en regiones de mezclas inapropiadas entre el combustible y el aire en la cámara de combustión, las consecuencias de la adición de etanol al 10% sobre las emisiones vehiculares no parecen ser del todo favorables para la calidad del aire. En primer lugar, debido al menor poder calorífico del etanol con respecto a la gasolina, el consumo de combustible para producir la misma cantidad de energía se aumenta, produciendo, por lo tanto, mayores emisiones de contaminantes. En segundo lugar, la presión de vapor de la mezcla etanol-gasolina es mayor que la de la gasolina sin etanol, lo cual incrementa las emisiones evaporativas de etanol y otros compuestos orgánicos volátiles. Finalmente, la utilización de etanol incrementa significativamente las emisiones de productos de combustión incompleta tales como formaldehído, acetaldehído y otros compuestos, los cuales además de ser difícilmente controlables por el convertidor catalítico de tres vías, son promotores de la formación de ozono troposférico, siendo algunos de ellos tóxicos.
4. Carencia de incentivos a la renovación. Se presenta una situación similar a la descrita en la sección de vehículos con motor diesel.
5. Falta de controles de emisión a los vehículos nuevos. Los vehículos nuevos que ingresan al país reciben la autorización para circular del MAVDT, con base en un certificado de emisiones emitido por un laboratorio en el exterior, dado que en el país no existe un centro de certificación de emisiones que cuente con la tecnología necesaria para llevar a cabo las mediciones en ciclos de prueba. La experiencia de Chile con la creación del Centro de Control y Certificación Vehicular – 3CV – ha mostrado que la medición de emisiones dentro del territorio chileno es clave en la prevención del ingreso de vehículos que no cumplirán con las normas de emisión al operar en las condiciones locales.

d) Vehículos a gas natural.

Los vehículos que operan con gas natural en Bogotá han sufrido una conversión a partir de motores que originalmente fueron diseñados para operar con gasolina. El desempeño ambiental de estos motores es inferior al de vehículos dedicados a gas natural, es decir, aquellos diseñados para operar con gas natural desde la fábrica. Las emisiones de los vehículos a gas natural podrían exceder incluso las emisiones del vehículo original a gasolina.

e) Industria

Las fuentes industriales aportan cerca del 60% de las emisiones de material particulado y el 70% de las emisiones de óxidos de azufre a la atmósfera en Bogotá. La diversidad de tamaños en la industria de la ciudad y el enorme número de fuentes puntuales ha dificultado, sin embargo, la consolidación de un inventario de emisiones más exacto para la ciudad, y ha sobrepasado la capacidad de monitoreo y control de la autoridad ambiental. No obstante, algunos sectores industriales pueden ser considerados de alto impacto social por contaminación del aire, de acuerdo con el criterio de alta exposición de la población y alto riesgo de sus emisiones: ladrilleras, tintorerías, fundiciones, empresas de todo tipo que utilizan carbón como combustible, hornos de incineración y empresas que involucran el uso de solventes. Existen múltiples factores asociados al alto impacto las emisiones industriales en Bogotá, dentro de los cuales se pueden considerar como los más significativos:

1. Fallas en el cumplimiento del plan de ordenamiento territorial. El fenómeno de instalación de industrias en barrios residenciales, así como la construcción de vivienda en zonas originalmente destinadas a la producción industrial genera la exposición de población a altas concentraciones de contaminantes emitidos por la industria. Las tintorerías instaladas en predios residenciales del barrio Carvajal, en la localidad de Kennedy constituyen uno de los ejemplos más dramáticos de cambio ilegal de uso del suelo en la ciudad y afectación a la comunidad vecina con emisiones de la combustión de carbón y el uso de pigmentos, los cuales también producen contaminación excesiva de las aguas de alcantarillado. Otros ejemplos similares se observan con la industria de fundición, curtiembres y otros sectores, que exponen a la población vecina a emisiones de metales pesados, hidrocarburos y olores ofensivos.
2. Utilización de carbón como combustible, sin las mejores tecnologías de combustión y control de emisiones. La combustión de carbón exige condiciones tecnológicas particularmente buenas para lograr bajas emisiones de material particulado y monóxido de carbono, las cuales no están presentes en la industria local. El carbón es el combustible preferido por la pequeña y mediana empresa debido a su aparente bajo costo, a pesar de su difícil manejo frente a combustibles como el gas natural. La diferencia de precios entre estos combustibles ha sido factor decisivo para que muchas empresas hayan retrocedido en su decisión de conversión tecnológica a gas natural y hayan vuelto a utilizar carbón como combustible.
3. Utilización de tecnologías de bajo nivel. Gran número de empresas en Bogotá han sido desarrolladas con tecnologías artesanales, sin controles que permitan una alta eficiencia de operación ni el mejor aprovechamiento de materias primas, produciendo en consecuencia altas emisiones de contaminantes y condiciones laborales de alto riesgo por exposición a contaminantes. Ladrilleras, tintorerías, fundiciones, curtiembres, entre otros sectores industriales, se encuentran en esta categoría.

La acción de la autoridad ambiental con respecto a la industria ha tenido dificultades de orden operativo, técnico y jurídico. Operativo, pues el número de inspectores dedicados a las labores de monitoreo y control de fuentes es muy reducido frente al número de

empresas por monitorear y controlar. Técnico, dada la carencia de evidencia de altas emisiones durante las visitas de los inspectores. Jurídico, debido a los mecanismos de respuesta de los empresarios frente a los cierres de sus instalaciones: tutelas que alegan la violación del derecho al trabajo o a la libre empresa, protestas sociales por reducción de puestos de trabajo, desobediencia a la ley y rompimiento de sellamientos, entre otros.

f) Otras fuentes

El relleno sanitario Doña Juana es la fuente más importante de metano (99% de la emisión total), que es un importante gas de efecto invernadero. Emite también compuestos orgánicos volátiles, aunque contribuye sólo con un 4% a las emisiones totales de estos compuestos. Sin embargo, es una fuente importante de olores ofensivos que reducen significativamente la calidad de vida de la población vecina, y es un centro de proliferación de vectores que pueden transmitir enfermedades infecciosas a la población. Una vez más, el impacto del relleno sobre la población ha sido originado por el incumplimiento del Plan de Ordenamiento Territorial, principalmente por la construcción ilegal de viviendas en las inmediaciones del relleno.

Las estaciones de distribución de combustibles tienen un potencial de impacto a la población vecina por las emisiones evaporativas de compuestos orgánicos volátiles de los tanques de almacenamiento de combustibles. Altas concentraciones de estos compuestos podrían tener afectaciones sobre la salud de la población que viva en las inmediaciones de las estaciones de servicio. Las emisiones de VOCs de las estaciones de servicio, sin embargo, representan sólo un 4% de las emisiones totales de estos compuestos en Bogotá.

ALGUNAS HERRAMIENTAS EXISTENTES PARA LA GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE

Legislación

La revisión de la legislación completa relacionada con calidad del aire en el país está fuera del alcance de este documento. Se comentarán solamente algunas de las normas más importantes aplicadas en el Distrito Capital.

- Decreto 948 de 1995. Es el reglamento nacional de protección y control de calidad del aire. Ha sufrido numerosas modificaciones, pero continúa siendo la norma de referencia en este tema.
- Decreto 979 de 2006. Es el producto de la revisión más reciente de las normas de calidad del aire por parte de las autoridades ambientales del país, y modifica varios artículos del Decreto 948 de 1995. El decreto 979 hace precisiones necesarias al decreto 948 y constituye un avance normativo para la protección y control de calidad del aire.
- Resolución 601 de 2006, MAVDT. Establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión para Colombia, de acuerdo con la cual, los niveles máximos permisibles para los contaminantes criterio son:

Contaminante	Unidad	Límite máximo permisible	Guía OMS, actualización 2005 ⁸	Tiempo de exposición
PST	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	--	Anual
		300	--	24 horas
PM ₁₀	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	70	20	Anual
		150	50	24 horas
SO ₂	ppm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.031 (80)	(20)	Anual
		0.096 (250)	--	24 horas
		0.287 (750)	(500, media de 10 minutos)	3 horas
NO ₂	ppm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.053 (100)	(40)	Anual
		0.08 (150)	--	24 horas
		0.106 (200)	(200)	1 hora
O ₃	ppm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.041 (80)	(100)	8 horas
		0.061 (120)	(160)	1 hora
CO	ppm (mg/m^3)	8.8 (10)	--	8 horas
		35 (40)	--	1 hora

Nota: mg/m^3 o $\mu\text{g}/\text{m}^3$: a las condiciones de 298,15°K y 101,325 KPa. (25°C y 760 mm Hg).

Parágrafo 1º. El límite máximo permisible anual de PM₁₀ en el año 2009 será 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el año 2011 será 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En su comparación con la actualización de 2005 de calidad del aire, cabe anotar la gran diferencia entre los valores de nivel máximo permisible para material particulado (PM₁₀), dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂). Con la actualización de las guías de calidad del aire en 2005, la OMS ha dejado un gran reto a los países para reducir significativamente la contaminación del aire en sus centros urbanos.

- Decretos 174, 325 y 417 de 2006, Alcalde Mayor. Clasificación a las localidades de Puente Aranda, Fontibón y Kennedy, como áreas-fuente de contaminación alta, Clase I, por material particulado menor o igual a 10 micras (PM₁₀). Adopción del pico y placa ambiental, la cual ha exigido a los transportadores autorregularse con respecto al monitoreo y control de sus emisiones de material particulado.
- Resoluciones 1015 y 3500 de 2005; 2200 y 5975 de 2006; 15 de 2007. Fijan los niveles de emisión de contaminantes de fuentes móviles a gasolina y diesel, las características de los centros de diagnóstico y la periodicidad de la revisión.
- Ley 1083 de 2006 y Resolución 180158 de 2007, Ministerio de Minas y Energía (MME). Determinan los combustibles limpios a ser utilizados por sistemas de transporte público de pasajeros. Incluye la exigencia de diesel de menos de 50 ppm de azufre, entre otros.

⁸ Air quality guidelines - global update 2005. Disponible en: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair_aqg/en/

Red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá (RMCAB)

La RMCAB ha sido una herramienta muy efectiva para hacer el seguimiento de la calidad del aire de la ciudad, a pesar de algunas dificultades de continuidad (estaciones que han tenido que cambiar de ubicación, interrupciones debidas a fallas de operación, mantenimiento, alimentación eléctrica o caídas en la transferencia de datos). Es, sin duda, una herramienta que debe mantenerse y mejorarse para continuar conociendo la calidad del aire de la ciudad y los efectos de políticas o medidas de alta cobertura.

La RMCAB no cuenta con una estructura de determinación de exposición personal a contaminantes en ambientes cercanos a fuentes (v.g. vías, avenidas, autopistas), pues no ha sido su objetivo de diseño.

Programas Acercar Industria, Acercar Transporte y PREAD

La SDA ha implementado exitosamente los programas Acercar Industria y Acercar Transporte, los cuales ofrecen asesoría técnica ambiental para la implementación de programas de producción más limpia en pequeñas y medianas empresas, así como para los transportadores del servicio público colectivo. Así mismo, el Programa de Excelencia Ambiental Distrital – PREAD – ha motivado a las grandes empresas a lograr un alto desempeño ambiental en sus procesos productivos, mediante un reconocimiento de su autogestión ante la sociedad.

Modelo de calidad del aire de Bogotá

La SDA cuenta con un modelo de calidad del aire para la ciudad, el cual tiene el potencial de ser una de las herramientas claves en el diseño y la evaluación de las medidas de protección y control de la calidad del aire. El modelo es una herramienta muy sólida, aunque también compleja en su operación, por lo cual requiere del desarrollo de capacidad técnica para su manejo y del levantamiento de información para su correcto desempeño.

Investigaciones en calidad del aire

La SDA ha contado permanentemente con los resultados de investigaciones en calidad del aire desarrolladas en diversas universidades. Gracias a la investigación, se han empezado a identificar e implantar acciones prioritarias y efectivas para el mejoramiento de la calidad del aire. Las investigaciones más importantes para el cumplimiento de esta meta se encuentran actualmente en desarrollo.

RECOMENDACIONES DE POLÍTICA PÚBLICA

Reducir las concentraciones de contaminantes del aire en Bogotá significa reducir de manera significativa las emisiones de dichos contaminantes. Está demostrado que las inversiones en reducir la contaminación del aire conlleva un beneficio mucho mayor en términos de bienestar, salud y costos sociales. Bogotá debe invertir en programas de reducción de emisiones, tanto de las fuentes móviles (vehículos automotores) como fijas (industrias), de manera altamente costo-efectiva, para lo cual deberá priorizar sus medidas con base en estudios de costo-beneficio y costo-efectividad, y aumentar su capacidad operativa, técnica y jurídica en el monitoreo y control de fuentes de contaminantes.

En la generación de la política pública para la reducción de las emisiones de contaminantes del aire deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

1. *Debe diseñarse y consolidarse un plan integral de gestión de calidad del aire*

El plan debe integrar todos los componentes del mejoramiento identificados, priorice las medidas para la reducción de emisiones y aplique aquellas de mayor costo-efectividad a corto, mediano y largo plazo.

2. *El fortalecimiento de la capacidad operativa, técnica y jurídica de la Secretaría Distrital de Ambiente y otras instituciones distritales, es clave para el control de fuentes fijas y móviles.*

Respecto a fuentes móviles, la interacción con diversas entidades del distrito es clave en las medidas relacionadas con la integración de sistemas de transporte, lo cual implica diseñar mecanismos e incentivos para eliminar la sobreoferta, formalizar y organizar el transporte público colectivo y chatarrizar los buses viejos.

En relación con fuentes fijas, se requiere un aumento de capacidad para controlar las industrias que están violando el Plan de Ordenamiento Territorial y están poniendo en riesgo y desplazando a las poblaciones vecinas. Deben diseñarse mecanismos para motivar a estas empresas a ubicarse en zonas destinadas para la producción industrial.

3. *La acción simple de mayor efectividad en la reducción de emisiones de material particulado de vehículos con motor diesel es la reducción del contenido de azufre del combustible diesel.*

La reducción a concentraciones por debajo de 50 partes por millón (ppm) produciría por sí misma una reducción de por lo menos el 30% en las emisiones de material particulado de dichos automotores. Gracias a las evidencias científicas, los debates académicos y la acción institucional, Ecopetrol ha anunciado que estará en capacidad de proveer combustible diesel con menos de 50 ppm a partir de 2010, lo cual es una decisión en la dirección correcta. La acción de la SDA y su relación con el MAVDT deberá desarrollar los mecanismos necesarios para exigir a Ecopetrol el cumplimiento de este anuncio y de la ley de combustibles limpios.

4. *Una vez se cuente con diesel de bajo contenido de azufre, será posible utilizar filtros de partículas de motores diesel.*

Además de la reducción de emisiones producida por la reducción del contenido de azufre en el diesel, las tecnologías de control de emisión tienen la capacidad de reducir las emisiones de material particulado de los motores diesel en más del 70% durante toda la vida útil de un vehículo. Las tecnologías actualmente disponibles en el mercado exigen que el contenido de azufre en el diesel sea de menos de 50 ppm y tienen un alto precio (US\$ 6000). Sin embargo, un esquema de sistema integrado de transporte bien diseñado podrá incluir el costo de instalación de estas tecnologías sin un impacto significativo sobre la tarifa, como

ha sucedido en el caso de Transantiago y en flotas de buses de servicio público alrededor del mundo.

5. *La renovación del parque automotor, tanto a diesel como a gasolina, complementará las medidas de reducción del contenido de azufre de los combustibles.*

La renovación tecnológica de la fracción del parque automotor que opera con combustible diesel, eliminando los vehículos con motores de más de quince años a través de los mecanismos de chatarrización e integración del transporte público, producirá una reducción de por lo menos un 50% en las emisiones de cada vehículo, o un 20% en las emisiones totales de fuentes móviles. Entre tanto, la renovación del parque automotor a gasolina reducirá las emisiones de monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles. Deben crearse incentivos para la renovación vehicular, combinando instrumentos económicos y controles efectivos a las emisiones.

La exigencia de estándares de construcción de cabinas para los buses nuevos, así como la exigencia de la revisión de sistemas de escape en la revisión técnico-mecánica y de gases podrá contribuir a reducir la exposición de los pasajeros y conductores a los contaminantes de sus vehículos de transporte público.

6. *La integración del sistema de transporte es vital para la reducción de emisiones de fuentes móviles.*

La eliminación de la sobreoferta y de la guerra del centavo a través de la integración de los sistemas de transporte y el recaudo unificado contribuirá a la reducción de un 20% en las emisiones de material particulado.

7. *Las industrias que cumplen con el Plan de Ordenamiento territorial deben reducir sus emisiones a través de la implementación de producción más limpia y controles de emisiones.*

Las instituciones distritales deben desarrollar mecanismos para informar e incentivar a las empresas para aprovechar los beneficios ambientales y económicos de la aplicación de los principios de producción más limpia y los controles de emisiones atmosféricas.

8. *El mantenimiento y mejoramiento de la RMCAB es indispensable para la implantación del sistema de gestión integral de calidad del aire.*

La RMCAB debe continuar mejorando su desempeño a través de actualizaciones tecnológicas, incorporación de mediciones claves y optimización económica. Debe realizarse un ejercicio de priorización y tomar decisiones sobre el replanteamiento de la red, con el objetivo de evitar la redundancia (repetición del comportamiento entre diferentes estaciones), reducir las mediciones innecesarias e incluir mediciones de contaminantes que podrían resultar más impactantes (v.g. VOCs o contaminantes peligrosos, otras mediciones de material particulado). Establecer alguna(s) estación(es) de monitoreo de

contaminación en vías permitiría cuantificar el impacto de los cambios que la ciudad está llevando a cabo en sus sistemas de transporte.

9. *La creación de un centro de control y certificación vehicular similar al de Santiago de Chile es justificable para evitar el ingreso al país de vehículos con deficiencias en sus sistemas de prevención y control de emisiones contaminantes.*

Las condiciones de varias ciudades colombianas, ubicadas a gran altitud y con grandes pendientes en sus vías, justifican la creación del centro de control y certificación vehicular. Este centro, además de servir como tamiz para la selección de los lotes de vehículos con emisiones aceptables, jugaría un importante papel en la investigación de emisiones, pruebas de sistemas de control de emisiones (v.g. filtros de partículas, convertidores catalíticos, motores mejorados, etc.), combustibles reformulados, aditivos para combustión, entre otras alternativas de reducción de emisiones.

10. *Debe fortalecerse la modelación de calidad del aire en Bogotá.*

Debe desarrollarse la capacidad operativa para utilizar el modelo actual de calidad del aire, así como para desarrollar e implantar otros modelos que permitan tomar decisiones bien fundamentadas para el mejoramiento de la calidad del aire. Cabe destacar la experiencia del Valle de Aburrá en el desarrollo y utilización de modelos predictivos de calidad del aire⁹.

11. *La investigación debe continuar brindando los fundamentos científicos y técnicos para el diseño de los planes de gestión de calidad del aire.*

Para lograr la mayor efectividad en la gestión de la investigación necesaria y la generación de conocimiento, se recomienda utilizar el mecanismo de una red de investigación y conocimiento, la cual permitirá la participación de diversas universidades en el diseño, priorización y ejecución de proyectos de investigación, de acuerdo con las fortalezas de cada universidad participante y las sinergias y oportunidades de colaboración generadas por este mecanismo.

⁹ Toro, M.V. et al. Pronóstico de la calidad del aire en Medellín, y sistema de información metropolitano. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, 2007. Disponible en: I Congreso Colombiano de Calidad del Aire y Salud Pública. http://www.ing.unal.edu.co/eventos/casap2006/imagenes/Presentaciones_Congreso/dia02/tarde/maria_toro.pdf