



1 de septiembre de 2013 | Vol. 14 | Núm. 9 | ISSN 1607 - 6079

## ARTÍCULO

# **OPORTUNIDADES DE MITIGACIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO: FORZANTES DE VIDA CORTA EN EL TRANSPORTE DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

*Xóchitl Cruz Núñez*

## OPORTUNIDADES DE MITIGACIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO: FORZANTES DE VIDA CORTA EN EL TRANSPORTE DE LA CIU- DAD DE MÉXICO

### Resumen

Se presenta un breve análisis histórico de los contaminantes producidos por el sector transporte en la Ciudad de México. Además, trataremos el tema de los contaminantes que recientemente han atraído la atención, por su potencial de reducir el efecto inver-

nadero, como lo es el carbono negro. Éste es un forzante climático de vida corta, por lo que su eliminación sería una medida de mitigación a corto plazo. Las emisiones de carbono negro son importantes en los países en desarrollo, por lo que su reducción es una oportunidad de gran beneficio a escala mundial con importantes co-beneficios, principalmente en la salud pública y la calidad del aire.

“  
Reducir sus emisiones,  
principalmente en el sector  
transporte, permitirá  
reducir, a corto plazo, la  
tendencia ascendente de la  
temperatura global.  
”

**Palabras clave:** Cambio climático; forzantes climáticos de vida corta; carbono negro; transporte; México.

*OPPORTUNITIES FOR MITIGATION  
OF CLIMATE CHANGE: FORCING  
SHORT LIFE ON THE TRANSPORT OF  
MEXICO CITY*

### Abstract

*A brief historical analysis of pollutants due to the transport sector in Mexico is presented. Different quality of air pollution by type of burned fuel in the transportation sector is analyzed. Among the pollutants of the modern era are the greenhouse gases that have a long half-lifetime so that actions taken at present shall have an effect on global temperatures in the medium and long term. Therefore, mitigation measures to act in the short-term are required. These are focused on reduction of emissions of short-lived climate forcers. Black carbon is one of these forcers and their main sources are the diesel-driven vehicles. Black carbon emissions are important in developing countries for their reduction has positive effects on a global level with additional co-benefits, mainly in public health and air quality.*

**Keywords:** *Climate change; short-life climate forcers; black carbon; transport; Mexico.*

## OPORTUNIDADES DE MITIGACIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO: FORZANTES DE VIDA CORTA EN EL TRANSPORTE DE LA CIUDAD DE MÉXICO

### El transporte

**E**l transporte es una necesidad básica del hombre para comunicarse, para comerciar, para estudiar, para conocer otros sitios y para relacionarse con otros. La tecnología e instrumentación del transporte determina la estructura urbana y la conexión entre diferentes centros poblacionales. Así, en la era preindustrial, la cobertura en distancia que alcanzaban las carretas era de 5 km: viajar a Coyoacán desde el centro de la Ciudad de México era un trayecto largo que cubría *toda* la ciudad.

Figura 1:  
 El ferrocarril que unía la  
 Ciudad de México con la  
 lejana Villa de Guadalupe.  
 Inaugurado en 1856, consis-  
 tió en el primer ferrocarril de  
 la Ciudad de México y formó  
 parte del ambicioso proyecto  
 de unir el puerto de Veracruz  
 con el de Acapulco.



El advenimiento del ferrocarril, a mediados del siglo XIX y más tarde de los tranvías (Legorreta, 1995:21), abrió la conexión entre los centros urbanos (Mixquic, Chalco y Xochimilco) hasta los 17 km del centro y, en su segunda fase, decía Delgado (1998:167), en una ciudad ya metropolitana e industrial, esta distancia se amplió a 30 km para pasar, en la terciarización de la economía, a los 100 km de influencia directa con los trenes radiales.

### Los combustibles ayer y ahora

La Ciudad de México estrenó su primer ferrocarril en 1856. Este proyecto pretendía unir el puerto de Veracruz con el de Acapulco, pasando por la Ciudad de México, y, al cerrar

distancias, abrió la puerta a la comunicación entre las ciudades. Pero la ya mencionada Ciudad de México, por la manera en que creció y se expandió, fue la más beneficiada con los avances tecnológicos en materia de transporte que se instrumentaron en el país.

La Figura 1 muestra una litografía de la época en la que el humo negro, producto de la combustión incompleta del carbón, era símbolo de progreso y avance tecnológico. Posteriormente, el carbón dio paso al petróleo y sus derivados, y los contaminantes que emitieron también "evolucionaron".

En los años preindustriales, y hasta mediados del siglo XX, los contaminantes emitidos por el sector transporte estaban identificados en el humo, como el que se muestra en la Figura 1. Los primeros monitores ambientales consistían en filtros en los que las tonalidades de negro daban la indicación de la gravedad de la contaminación. La llegada de los combustibles más refinados, como las gasolinas, trajo consigo un aumento de plomo en la concentración atmosférica y en la sangre de los habitantes. Asimismo, en el aire se empezó a ver una nube café matutina que se blanqueaba en las tardes.

Figura 2:

El ozono –que es invisible– se forma de las reacciones fotoquímicas de sus precursores, los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles. Los primeros se forman de la combustión por la actividad vehicular e industrial. Y la Ciudad de México se observa, en las mañanas, a través de la concentración de dióxido de nitrógeno (café) que se diluye a medida que reacciona para formar ozono, unas horas más tarde. Imagen obtenida de <http://diarionmx.com/nacionales/ciencia-y-urbe-monitorean-el-ozono/>

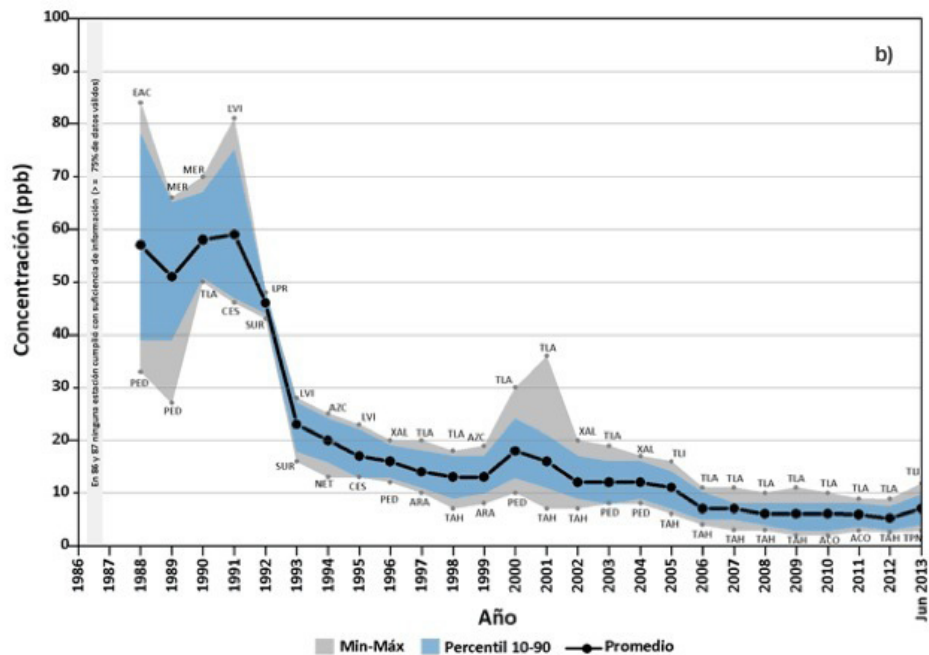
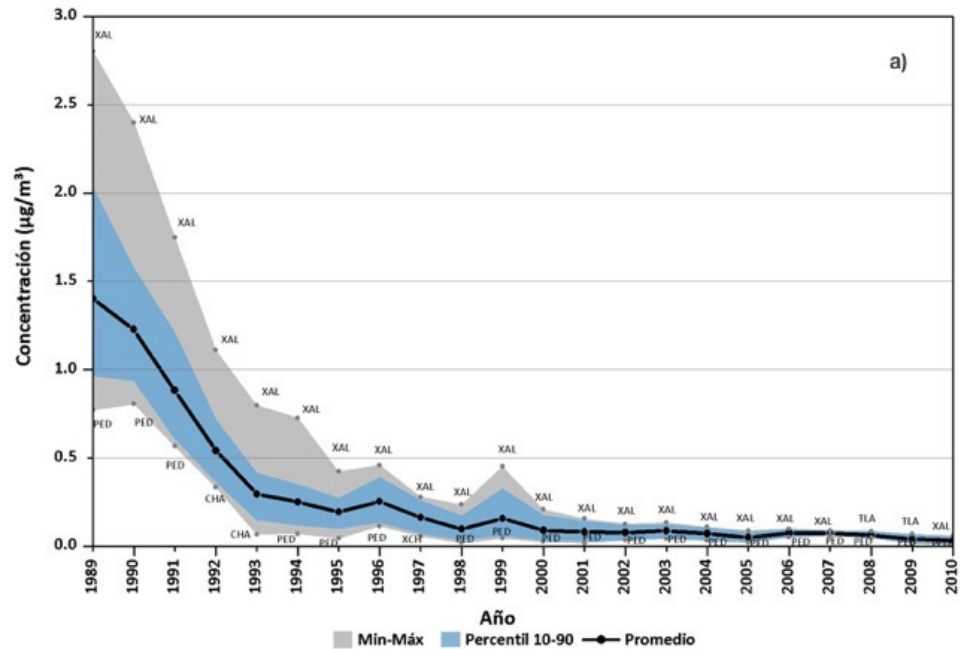


Los óxidos de nitrógeno, en conjunto con los compuestos orgánicos volátiles, producto de la combustión incompleta de las gasolinas y el diésel, dieron inicio a la era del ozono y los oxidantes fotoquímicos, que se conoce como la "contaminación de Los Ángeles".

El advenimiento de los combustibles bajos en azufre disminuyó paulatinamente los niveles de dióxido de azufre en el aire. Además de que la reducción de plomo en las gasolinas, a partir la segunda mitad de la década de 1980, permitió iniciar el descenso de este contaminante en el aire (Figura 3). Sin embargo, el ozono seguía una recta ascendente, así como la concentración de partículas suspendidas. Y así, cuando se fueron instalando nuevos y mejores monitores en la *Red de Monitoreo Atmosférico* de la Ciudad de México, la información de los niveles de contaminación ambiental empezó alarmar a los diferentes sectores de la población.

Figura 3:  
 Tendencia de los niveles en la Ciudad de México de a) plomo en la atmósfera. La primera reducción de plomo en las gasolinas se dio en 1986, con una reducción de 2.65 a 1.06 g/gal en la gasolina Nova y la definitiva en 1990 como parte del paquete de medidas del Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica (PICCA). Se observa la reducción casi lineal con la reducción del plomo en las gasolinas; b) Azufre. Las reducciones de azufre en los combustibles se realizaron en varias etapas, principalmente al inicio de los años 1990 como parte de las medidas del PICCA. Sin embargo, los altos niveles de azufre en el diésel han sido disminuidos hasta recientemente con la publicación de la norma oficial mexicana que regula los niveles de este contaminante en el diésel. Pemex, al no tener infraestructura para producir y surtir diésel ultra bajo en azufre, ha tenido que comprar en refinerías de Estados Unidos el producto que a la fecha no se distribuye en todo el país; c) Ozono. Al ser un contaminante secundario, que se forma a partir de las reacciones químicas de los contaminantes que se emiten directamente a la atmósfera, tiene una menor sensibilidad a la reducción de las emisiones de sus precursores. Además, por la no linealidad de las reacciones químicas que lo forman y destruyen, la reducción de sus precursores no siempre se refleja en la reducción de este contaminante en la atmósfera y reducir sus niveles ambientales es más y más difícil cada vez; d) Partículas suspendidas fracción 2.5  $\mu\text{m}$  (PM25). Estas partículas penetran el tracto digestivo y respiratorio, causando múltiples afecciones tanto agudas como crónicas. Las PM25 pueden ser emitidas directamente como generadas por reacciones químicas y su composición es variable. Consisten en conglomerados de compuestos en fase tanto sólida como líquida y gaseosa, generalmente en medio acuoso. La reducción de su concentración es un asunto multifactorial, por lo que la reducción de sus niveles en

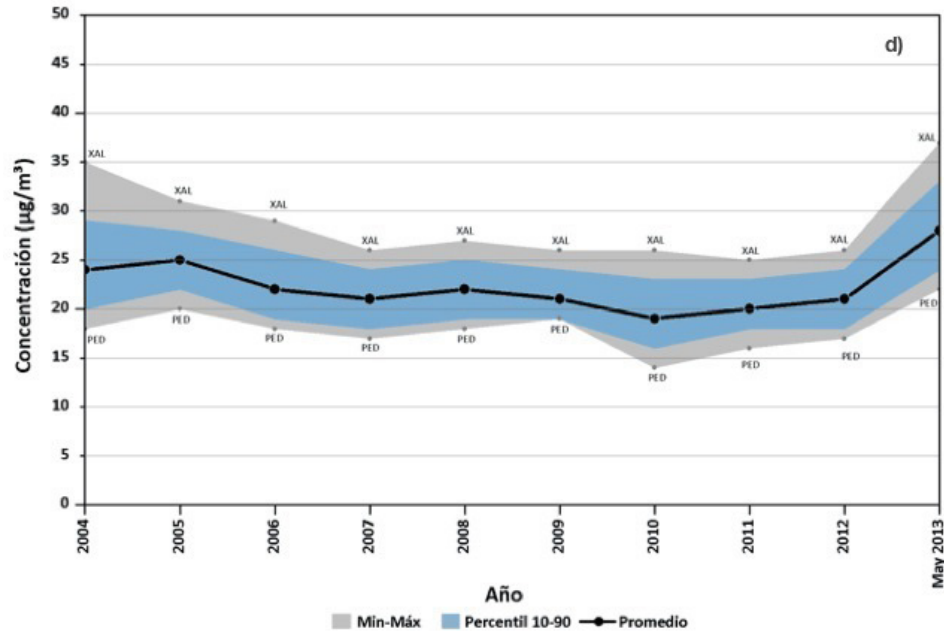
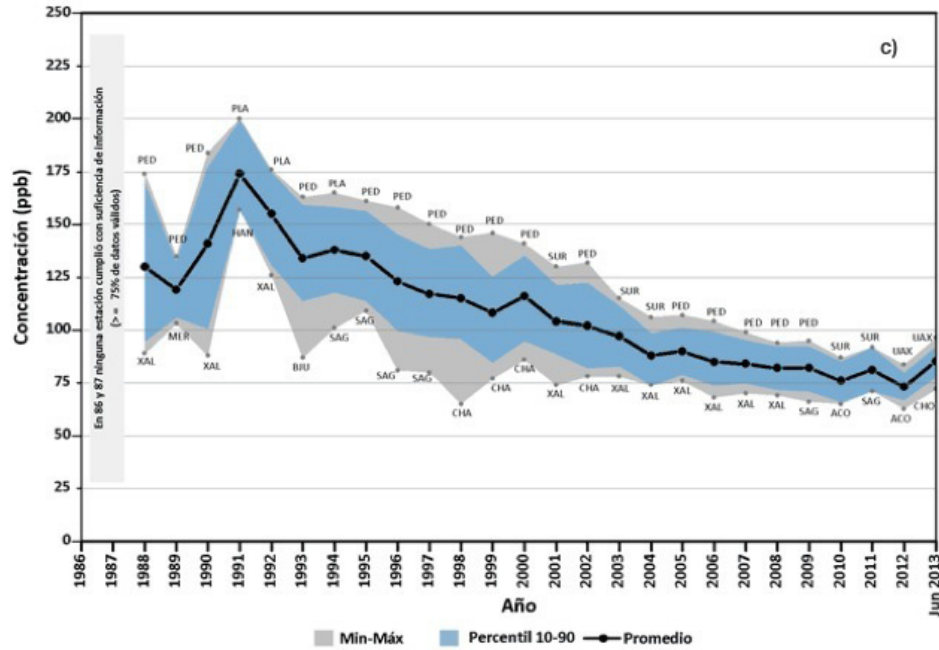
La calidad del combustible que se usa en el sector transporte, y en cualquier otro sector, determina la calidad de los contaminantes que generan. Los combustibles "viejos", como el carbono o los combustibles fósiles de baja calidad y altos contenidos de azufre, como el combustóleo o el diésel, generan niveles altos de azufre, humo negro y demás. A medida que los combustibles se vuelven más refinados y las maquinas de combustión interna se perfeccionan, los contaminantes que genera su combustión se hacen químicamente más complejos, cargados de compuestos orgánicos altamente reactivos y, por tanto, más difíciles de erradicar (ver la Figura 3).



la atmósfera es un reto que conlleva una serie de políticas públicas integrales.

Los puntos corresponden a las estaciones de monitoreo que registran los niveles máximos y mínimos de concentración: XAL = Xalostoc; PED = Pedregal; XCH = Xochimilco, LVI = La Villa; PED = Pedregal; AZC = Azcapotzalco; ARA = Aragón; NET = Nezahualcóyotl; SUR = Santa Úrsula; TAH = Tláhuac; CES = Cerro de la Estrella; ACO = Acolman; TPN = Tlalpan

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal: <http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php?opcion=2&opcioninfoproductos=1>



La transición de combustibles, mediante la mejora tecnológica y la mayor infraestructura histórica de Pemex para proporcionar combustibles más limpios, permitió que la Ciudad de México mejorara su calidad del aire y evolucionara la naturaleza de sus contaminantes, como se observa en la Figura 3. Sin embargo, en la actualidad, la falta

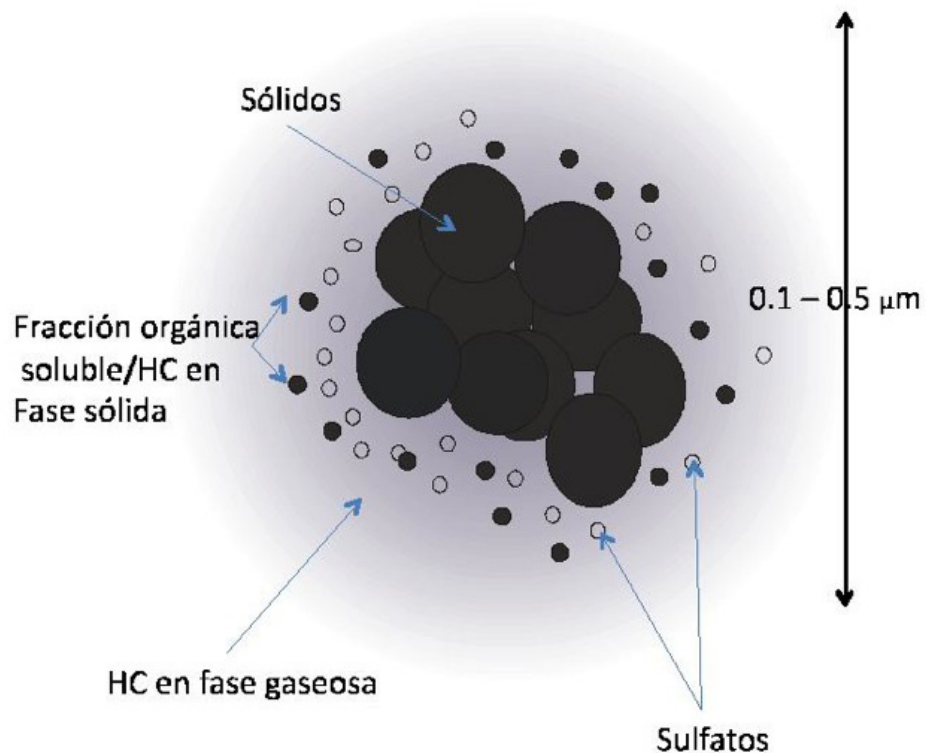
de infraestructura tecnológica para la refinación y la gran demanda de combustible, ha ocasionado el regreso a los combustibles "sucios", tales como el diésel con azufre en el transporte o el combustóleo en la industria. Aunado a lo anterior, la falta de capacidad institucional para el mantenimiento de la flota vehicular, la falta de recursos y la corrupción en la aplicación de la regulación ambiental, ha propiciado la circulación de una gran cantidad de vehículos viejos que consumen combustible sucio. El humo negro se vuelve a ver en el ambiente, en la era del cambio climático.

## Las emisiones y el calentamiento global

El 95% del combustible líquido se utiliza directamente en el sector transporte a escala mundial (Kahn-Riveiro et al, 2007). La combustión de los diversos tipos de combustible que se usan en el sector transporte genera varios tipos de contaminantes. Los factores físicos y meteorológicos, como la altitud y la temperatura del medio ambiente, y otros como el estado mecánico del vehículo, su tecnología, su forma de manejo y de mantenimiento, determinarán las emisiones que se generarán durante su operación.

En México, los vehículos que usan diésel, por lo general son vehículos pesados que requieren de esta tecnología por su potencia y durabilidad. Este proceso genera emisiones al ambiente ricas en un humo negro, que ahora denominamos "carbono negro", y uno grisáceo, que denominamos "carbono azul", dependiendo de la temperatura del vehículo y las condiciones de operación. El carbono negro es un compuesto orgánico en el que se encuentran moléculas en estado gaseoso, sólido y líquido rodeando un núcleo de carbono elemental.

Figura 4:  
 Estructura diagramática  
 del carbono negro. HC =  
 hidrocarburos. Dibujo con  
 la idea de Black carbon: A  
 Science/Policy Primer (2009)  
 John Bachmann I Vision Air  
 Consulting, EUA.

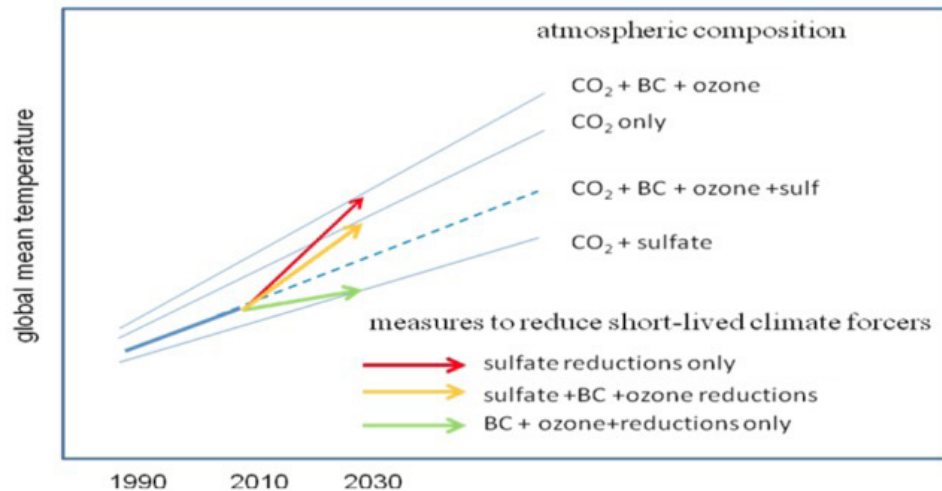


La Figura 4 presenta un esquema de la estructura y dimensiones de un conglomerado molecular de carbono negro. Por sus características de tamaño, estos componentes de las partículas suspendidas finas, se introducen en el cuerpo humano y pueden causar desde malestares agudos hasta enfermedades crónicas, como el cáncer. La principal fuente de carbono negro es el diésel del transporte, la quema de biomasa en las cocinas rurales de los países en desarrollo, como India o México y los incendios forestales.

A diferencia de los compuestos orgánicos volátiles que forman parte de la estructura del carbono negro, transparentes al ojo humano, el carbono negro absorbe la luz visible y, por tanto, es responsable de la disminución de la visibilidad. De los compuestos que se emiten a la atmósfera, el carbono negro es la principal sustancia que absorbe la radiación solar (Bahadur et al, 2011). Al absorber la radiación solar disminuye la incidencia de radiación en la superficie. Además, la radiación que emerge de la superficie, atrapada por los gases de efecto invernadero, es también absorbida por el carbono negro. Al final, estos dos componentes de radiación son emitidos en forma de radiación infrarroja, participando de manera doble en el efecto invernadero.

Este efecto neto en el sistema tierra-atmósfera –conocido como forzamiento radiactivo– es de un aumento en la temperatura. El carbono negro es un compuesto de efecto invernadero con una capacidad de cerca de cinco mil veces la del CO<sub>2</sub> en sus efectos directos, aunque, hasta la fecha, no ha sido reconocido como tal por las Naciones Unidas.

Figura 5:  
 Escenarios de reducción de los forzantes climáticos de vida corta. La línea azul continua representa la tendencia actual en el aumento de la temperatura global. La reducción de los compuestos de azufre, como sulfatos (línea roja), hará que la línea de aumento de la temperatura aumente cambiando de pendiente. Esto se debe a que los sulfatos son forzantes climáticos negativos (su efecto neto es enfriamiento de la superficie). En el otro extremo, reducir las emisiones de los forzantes climáticos de vida corta como el carbono negro y el ozono reducirán la tendencia actual de aumento de la temperatura en un plazo muy corto de tiempo, permitiendo así un respiro en la entrada en vigor de las medidas de reducción de los forzantes de vida larga, como el CO<sub>2</sub>. Tomado de UNEP, 2011.

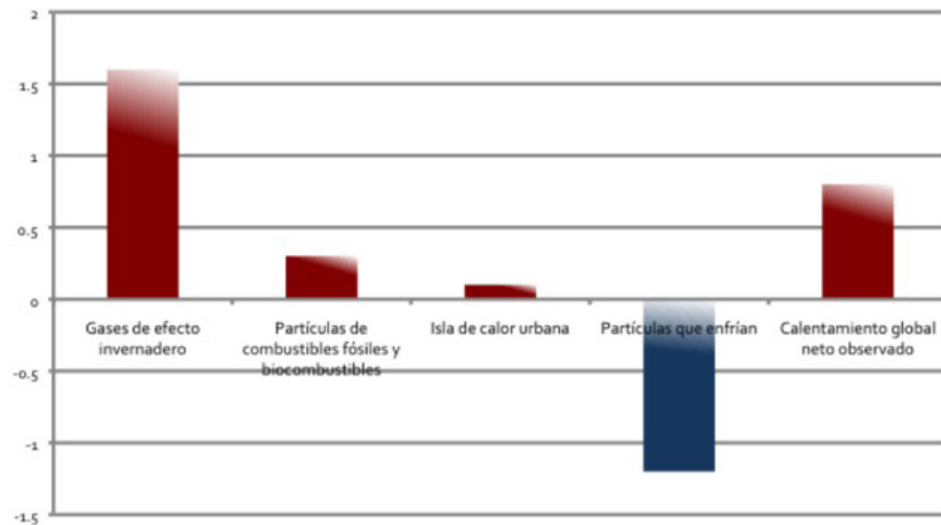


La UNEP (2012) ha publicado recientemente algunos escenarios de emisiones y su influencia en el aumento de la temperatura mundial. Por primera vez se ha mostrado el papel del carbono negro en la solución pronta al ascenso de la concentración de CO<sub>2</sub> y de la temperatura mundial.



La Figura 6 plantea diferentes escenarios de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Un balance en el corto plazo entre las medidas de reducción de los forzantes climáticos positivos y negativos (de calentamiento y enfriamiento) permitirá reducir la tendencia de aumento de la temperatura global.

Figura 6:  
 Contribución en el aumento  
 de la temperatura desde 1750.  
 El carbono negro participa  
 en el grupo de "Partículas  
 de combustibles fósiles y  
 biocombustibles" y ha con-  
 tribuido con cerca de 0.3 grados  
 centígrados al calentamiento  
 global.



## La desigualdad de los mundos en el transporte: la tecnología y la economía

Algunos países desarrollados han construido estructuras carreteras y ferroviarias de alta tecnología para la comunicación de sus centros urbanos y rurales. Las nuevas políticas en la materia están orientadas a desalentar el uso del automóvil, promoviendo el uso del transporte masivo y los usos dinámicos (caminar, bicicleta) con el respaldo de una infraestructura adecuada.

Los países en desarrollo deberán crecer económicamente reduciendo sus emisiones de gases de efecto invernadero. Además, se abre en ellos un potencial de reducción de las emisiones de los forzantes climáticos de vida corta, especialmente el carbono negro (Wallack y Ramanathan, 2009).

Las dos fuentes principales de carbono negro en el mundo provienen de los países denominados *en vías de desarrollo*, entre los que destacan los conocidos como los *grandes cinco*: India, China, Sudáfrica, Brasil y México. Su impacto, a corto plazo, propiciará que la reducción de las emisiones de carbono negro vayan mitigando la tendencia creciente de aumento de temperatura, mientras se observan los primeros efectos de la reducción de los forzantes de vida larga.

En México, la reducción de emisiones de carbono negro, a través de la reducción de las emisiones de diésel y de quema de leña, permitirá alcanzar un porcentaje de las metas de reducción de emisiones comprometidas para 2050. Además, la reducción de

las emisiones de carbono negro tienen una serie de co-beneficios ambientales, como el aumento de la visibilidad atmosférica, reducción del ruido, mejoría en la calidad del aire y, por consiguiente, en la salud, al disminuirse las altas hospitalarias por problemas agudos y crónicos, entre otros.

Foto:  
Alejandro Mejía Greene



Unas cuantas medidas para reducir las emisiones de carbono negro en el transporte (Jazcilevich et al, 2013) son las siguientes:

1. Usar filtros de partículas en la flotilla de los vehículos a diésel.
2. Implantación de los sistemas de transporte urbano rápidos, como el Metrobús.
3. Programas de retiro de vehículos viejos.
4. Planeación del transporte mediante la implantación de zonas de bajas emisiones.
5. Cambio de combustible, de diésel a gas natural comprimido (CNG).
6. Mejorar la infraestructura urbana actual por una que favorezca el uso de vehículos limpios y de transporte masivo.
7. Propiciar la incorporación de sistemas de control de emisiones, además de los de pasajeros y de carga, en los vehículos y equipo a diésel usados en la construcción y los sistemas agrícolas.

8. Fomentar la cultura del transporte de mercancías con vehículos a diésel en horarios programados e impulsar el uso de vehículos "libres de carbono", como los de gas natural, principalmente.
9. Reincorporar los sistemas ferroviarios, con tecnologías que no arrojen humo, es decir, híbridos y eléctricos, pues son la clave del transporte masivo de personas y carga en distancias medias y largas.

## Conclusiones

El sector transporte moldea las ciudades. Los vehículos y los combustibles que éstos usan permiten reducir las distancias para la industria, el comercio, la educación y la comunicación. Los combustibles, por su parte, determinan el tipo de contaminantes que se emitirán a la atmósfera. La contaminación, por tanto, tiene su base en la historia de los combustibles y las tecnologías vehiculares.

El cambio climático es producido por la emisión de gases de efecto invernadero, pero también de otros compuestos, los denominados forzantes climáticos de vida corta, como el humo negro. Reducir sus emisiones, principalmente en el sector transporte, permitirá reducir, a corto plazo, la tendencia ascendente de la temperatura global. Está en los países en desarrollo iniciar esa tarea 🚦

## Bibliografía

- [1] BACHMANN, J. *Black Carbon: A Science/Policy Primer*. Pew Center on Global Climate Change, Arlington, EUA. 2009.
- [2] BAHADUR, R., Y. Feng, L. M. Russell y V. Ramanathan. *Impact of California's air pollution laws on black carbon and their implications for direct radiative forcing*. *Atmos Environ* 45, 1162-1167. 2011.
- [3] DELGADO, J. *Ciudad-Región y transporte en el México central, un largo camino de rupturas y continuidades*. Colección Ciudad y Región, Plaza y Valdés editores y Universidad Nacional Autónoma de México, México DF. 221 pp. 1998.
- [4] JAZCILEVICH-DIAMANT, A., et al. *Programa de acción para reducir las emisiones de la flota vehicular diésel en el Distrito Federal. Informe técnico preparado para la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal*, no. CPSG/0109a/2012 México DF, 214 pp. 2013.
- [5] KAHN RIBEIRO, S., et al. *Transport and its Infrastructure. En Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.O.

Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)], Cambridge University press,  
Cambridge, Reino Unido y Nueva York, EUA, 851 pp. 2007.

[6] LEGORRETA, J. *Transporte y contaminación en la Ciudad de México*. Centro de  
Ecología y Desarrollo, AC. México DF. 355 pp. 1995.

[7] UNFCCC. *Protocolo de Kyoto de la Conferencia Marco de las Naciones Unidas para el  
cambio Climático* [en línea]. Organización de las Naciones Unidas. 1997. Disponible  
en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

[8] WALLACK, J. S. y V. Ramanathan. *The other climate changers: Why black carbon and  
ozone also matter*. Foreign affairs 88 (5) 105-113. 2009.