

**Consultoría Técnica para el desarrollo del
Proyecto: “Sensibilización de la población ante los
Impactos en la Salud causados por la
Contaminación del Aire y Cambio Climático en la
Ciudad de México”**

INFORME FINAL

Elaborado con el apoyo de: PNUMA-ROLAC y programa REGATTA¹

Autora²: Dra. Grea Litai Moreno Banda

Octubre 2014

¹ Los contenidos de este documento son responsabilidad de su autora. Las opiniones que pudiera reflejar no representan ni comprometen al Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente o al Programa REGATTA.

² La autora agradece los comentarios y aportaciones a este informe del Instituto Nacional de Salud Pública (INSP).



REGATTA
Portal Regional para la Transferencia de Tecnología y la Acción
frente al Cambio Climático en América Latina y el Caribe





TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	2
RESUMEN EJECUTIVO	4
INTRODUCCIÓN.....	5
GENERALIDADES	8
OBJETIVOS.....	11
METODOLOGÍA.....	13
I. Identificación de las brechas en evidencia científica.....	13
II. Revisión bibliográfica sobre políticas públicas para la disminución de contaminantes atmosféricos.....	13
III. Creación de un curso de capacitación sobre contaminación del aire y salud, globalización y cambio climático.....	14
Resultados.....	14
I. Identificación de las brechas en evidencia científica.....	14
Información sobre estudios que permitan establecer relaciones entre cambio climático, contaminación del aire e impactos en la salud a nivel nacional	15
Información sobre estudios que permitan establecer relaciones entre cambio climático, contaminación del aire e impactos en la salud en Cd. de México	15
Mortalidad por todas las causas.....	15
Mortalidad en adultos e infantes.....	19
Temperaturas extremas y mortalidad	21
Efectos cardiovasculares.....	22
Efectos en salud relacionados con tráfico vehicular.....	23
Efectos neuro-cognitivos	24
Varios	25
Valoraciones económicas de la morbilidad por enfermedades ligadas a la contaminación del aire y al cambio climático	27
Identificación de límites especificados en las normas de calidad del aire existentes en México para protección de la salud	30
Redes de monitoreo a nivel del área Metropolitana de la Ciudad de México	32
II. Revisión bibliográfica sobre políticas públicas para la disminución de contaminantes atmosféricos.....	33
III. Creación de un curso de capacitación sobre contaminación del aire y salud, globalización y cambio climático.....	53
Conclusiones.....	55
I. Identificación de las brechas en evidencia científica.....	55



II. Revisión bibliográfica sobre políticas públicas para la disminución de contaminantes atmosféricos.....	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXO	66



RESUMEN EJECUTIVO

Es evidente el papel que desempeñan las actividades antropogénicas en la modificación de los procesos climáticos a escala mundial, en gran medida por la contaminación del aire. Diversas Investigaciones han concluido que los contaminantes del aire (principalmente bióxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, materia particulada y ozono) tienen un efecto negativo sobre la salud de la población. La Ciudad de México es la segunda ciudad más grande del mundo después de Tokio con 8, 851,189 habitantes. Circulan 2.5 millones de vehículos en la ciudad y existen 31 mil industrias establecidas. Su población se ve significativamente afectada por la contaminación producida en la Zona Metropolitana debido a las características propias de una cuenca atmosférica en dónde los contaminantes emitidos son transportados a otras zonas debido a las corrientes de aire. En la actualidad las principales sustancias tóxicas que afectan la calidad del aire en la Ciudad de México son el ozono, material particulado, el benceno y el carbón negro. Se ha observado que la aplicación de políticas públicas ha logrado disminuir la concentración de contaminantes en la atmósfera. El presente reporte tiene como objetivos: a) Identificar evidencia científica sobre los efectos de contaminantes atmosféricos en la salud humana; b) realizar una revisión bibliográfica sobre resultados de la aplicación de políticas públicas para la disminución de contaminantes atmosféricos y en base a la información recopilada sugerir estrategias para dicho fin; y c) creación de un curso de capacitación sobre cambio climático, contaminación del aire y salud. Se encontró amplia evidencia científica sobre el daño que los contaminantes atmosféricos tienen sobre la salud humana, en especial en enfermedades respiratorias, cerebrovasculares y cardiovasculares. Sin embargo, mediante la aplicación de diversas políticas públicas se ha podido reducir la contaminación del aire, obteniendo beneficios en la salud de la población. Se presenta la estructura del curso de capacitación enfocado a tomadores de decisiones de entidades gubernamentales.



INTRODUCCIÓN

El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), han resaltado la contaminación del aire ambiental como una de las áreas focales estratégicas para combatir causas fundamentales de mortalidad y morbilidad a nivel mundial. La OMS afirma, en un comunicado de prensa de 2011, que *“para 2008, la mortalidad estimada, atribuible a la contaminación del aire ambiental en ciudades, asciende a 1.34 millones de muertes prematuras.”*

Así mismo, un reporte de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (OCDE, 2012), que se adelanta al año 2050 para estimar el impacto en el medio ambiente si el mundo no adopta políticas verdes más ambiciosas, asevera: *“Se prevé que la contaminación del aire se convertirá en la causa ambiental principal de mortalidad prematura, por encima de aguas insalubres y falta de saneamiento” con “una proyección de que se duplique en el mundo el número de muertes prematuras derivadas de la exposición a material particulado, pasando de más de 1 millón hoy en día, a aproximadamente 3.6 millones al año en 2050.”* (OCDE, 2012).

Es evidente el papel que desempeñan las actividades antropogénicas en la modificación de los procesos climáticos a escala mundial, en gran medida por la contaminación del aire. Se ha mostrado un incremento en la temperatura promedio de superficie terrestre y oceánica de 0.85°C (IPCC 2013), a través de series climáticas históricas entre 1880 y 2012. Además se han observado cambios en los patrones de precipitación, frecuencia de eventos climáticos extremos (i.e. número de días más cálidos o fríos, lluvias más intensas), en la salinidad de los océanos; así como una disminución del área total de glaciares, reducción del grosor del permafrost, aumento del nivel del mar, entre otros. Se pronostica que si las actividades humanas continúan como hasta el momento, habrá un aumento en la temperatura del planeta, intensificando las alteraciones climáticas (OCDE, 2012;



IPCC 2013).

Más allá de sus efectos locales, existe una creciente evidencia sobre la contaminación ambiental a nivel regional y global. Distribuida por todo el globo terráqueo facilitado por corrientes de aire y por la transformación de los contaminantes del aire, que permite transportar los contaminantes ambientales a largas distancias de su fuente original. Por lo tanto, la calidad del aire local puede ser afectada por la contaminación generada en otros lugares, en la medida de que se sobrepasen los niveles críticos. Además, existe evidencia científica que ha encontrado que algunos contaminantes del aire también pueden contribuir de manera significativa al calentamiento global. Esos contaminantes han sido agrupadas bajo el término "Contaminantes de vida corta " (SLCPs por sus siglas en inglés).

Algunos informes recientes del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), identificaron una amplia gama de los potenciales beneficios de la reducción de cuatro SLCPs- principalmente metano, carbono negro (CN), ozono troposférico, y hexafluorocarbono (HFC)-y las medidas identificadas que ofrecen una oportunidad real de reducir significativamente la tasa de calentamiento global durante las próximas dos a cuatro décadas (PNUMA, 2011; Shindell et al., 2012; PNUMA/OMM, 2011).

La Ciudad de México es la segunda ciudad más grande del mundo después de Tokio, cuenta con 8, 851,189 habitantes. Circulan 2.5 millones de vehículos en la ciudad y existen 31 mil industrias establecidas, sin embargo su población se ve significativamente afectada por la contaminación producida en el resto de la Zona Metropolitana debido a las características propias de una cuenca atmosférica en dónde los contaminantes emitidos son transportados a otras zonas debido a las corrientes de aire.

Algunas investigaciones realizadas en la Ciudad de México, acerca de los efectos que los contaminantes del aire tienen sobre la salud de la población, han



evidenciado la importancia de las redes de monitoreo atmosférico, como una de las herramientas para evaluar la exposición a contaminantes del aire; debido a esta razón se realizó una búsqueda de estudios epidemiológicos publicados desde 2002 a la fecha, que estimaran el efecto sobre la mortalidad y/o la morbilidad a corto y/o largo plazo en la población mexicana; los cuales utilizaran datos generados por las redes de monitoreo del país.

Estimaciones recientes han evidenciado cómo la mala calidad del aire en México impacta en la carga de morbilidad y mortalidad. El *Institute for Health Metrics and Evaluation* (IHME, por sus siglas en inglés) ha estimado que la contaminación del aire con material particulado fue la causa de más de 20,000 muertes en 2010 (Institute for Health Metrics and Evaluation, 2014). Además, los niños, adultos mayores, las personas con previos problemas de salud y la población de bajos estratos socioeconómicos, son los grupos más vulnerables a los efectos dañinos de una mala calidad del aire, así como a los efectos e impactos del cambio climático.

En la actualidad las principales sustancias tóxicas que afectan la calidad del aire en la Ciudad de México son el ozono, material particulado (PM_{10} , $PM_{2.5}$), el benceno y el carbón negro. La Ciudad de México cuenta con diversos mecanismos con el objetivo de mejorar su calidad del aire. El Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México cuenta con 29 estaciones de monitoreo en distintas zonas de la Ciudad por medio de las cuales hora tras hora se informa a la población sobre la calidad del aire. Así mismo se cuenta con Programas de Gestión de la Calidad del Aire como el PROAIRE 2011-2020 elaborado por los gobiernos del DF, Estado de México e Hidalgo pertenecientes a la Comisión Ambiental Metropolitana, la cual desde agosto del 2013 evolucionó para convertirse en la Comisión Ambiental de la Megalópolis incluyendo a los Estados de Morelos, Puebla y Tlaxcala.

Es entonces importante que los tomadores de decisiones creen estrategias para la



disminución de contaminantes vinculadas con las estrategias más amplias de adaptación y mitigación del cambio climático. En países como China e Inglaterra, se ha relacionado el mejoramiento de la tecnología en combustibles, renovación de flota y mayor uso del transporte público con una mejora en la calidad del aire (Hedley *et al.* 2002; Mazzi y Dowlatadabi 2007; Mithcell 2005). De igual manera, en México la implementación de políticas públicas como la utilización de combustible sin plomo y construcción del metro bus en el Distrito Federal han reducido los contaminantes atmosféricos (Lascaña-Navarro *et al.* 1999; Cortez-Lugo *et al.* 2003; Martínez 2005), y a la vez son acciones que contribuyen a la mitigación del cambio climático. Sin embargo, para la planeación, creación e implementación de políticas públicas enfocadas a la reducción de gases de efecto invernadero se necesita que los tomadores de decisiones tengan un conocimiento de conceptos básicos sobre el tema.

GENERALIDADES

El *material particulado* (PM_{10} y $PM_{2.5}$) es una mezcla de partículas sólidas y líquidas minúsculas, que se encuentran en el aire que respiramos. Del material particulado, las partículas más pequeñas (aquellas con un diámetro aerodinámico menor a 2.5 micrómetros o $PM_{2.5}$) son especialmente dañinas, puesto que pueden penetrar profundamente en los pulmones, donde pueden causar inflamación y empeoramiento de condiciones cardíacas o pulmonares; lo que puede ocasionar una muerte prematura. Las partículas tienen distintos tamaños y formas, y pueden formarse a partir de cientos de diferentes químicos, algunos de los cuales poseen propiedades carcinogénicas. Algunas partículas, conocidas como partículas primarias, son emitidas directamente por una fuente, por ejemplo, los automóviles, autobuses y camiones de carga, industrias, ciertos comercios, obras de construcción, vías sin pavimentar, chimeneas, humo de cigarrillo o incendios. Otras, nombradas partículas secundarias, son formadas por medio de complicadas reacciones en la atmósfera, a partir de otros químicos emitidos por plantas de generación de energía, industrias y automóviles. Además de sus



impactos en la salud, las partículas contienen una gran proporción de carbón negro (u hollín), el cual se ha constituido durante los últimos años en un contribuyente importante al cambio climático mundial. El hollín es el componente del material particulado que más luz absorbe e, igual que otros contaminantes que afectan la salud, es formado en la combustión incompleta de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa. Cuando se encuentra suspendido en el aire, el carbón negro absorbe la luz solar y genera calor en la atmósfera. Puesto que es un contaminante de corta vida, esto es, permanece en la atmósfera por sólo una a cuatro semanas, sus efectos en el clima son de carácter primordialmente regional. Puesto que las fuentes de emisión son similares, una reducción en la emisión de partículas, especialmente $PM_{2.5}$, tiene el beneficio adicional de reducir el hollín y así contribuye con la disminución de los impactos de los contaminantes de corta vida.

El ozono (O_3) es un gas que puede afectar adversamente el sistema respiratorio aun a niveles relativamente bajos. El ozono es el más complejo de los contaminantes criterio y, en consecuencia, el más difícil de reducir, puesto que no es directamente emitido por ninguna fuente. En cambio, es formado en la atmósfera por medio de reacciones fotoquímicas, en presencia de luz solar y a partir de la reacción entre contaminantes precursores como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COVs). Éste también se descompone por reacciones con NO_2 . Las medidas para controlar los niveles de ozono troposférico se enfocan en las emisiones de sus precursores gaseosos, con las cuales también es posible controlar los niveles e impactos de una serie de otros contaminantes precursores. Igual que con el hollín, el ozono troposférico (a nivel del suelo) contribuye al cambio climático global. El ozono hace un aporte significativo al balance radiativo de la tropósfera superior y la estratósfera inferior, de modo que los cambios en la distribución de O_3 en estas capas atmosféricas afectan el forzamiento radiativo del clima. El dióxido de nitrógeno (NO_2) es un gas que, en altas concentraciones, puede irritar las vías aéreas de los pulmones, empeorando los síntomas de aquellas personas que sufren enfermedades



pulmonares. También contribuye a la formación de ozono troposférico y material particulado fino. Es formado como resultado de la quema de combustibles fósiles a temperaturas altas. Sus principales fuentes de emisión son los automóviles y otras fuentes móviles, y las calderas de las plantas de generación de energía. Otras fuentes pueden abarcar las calderas industriales, la manufactura de vidrio, las refinerías de petróleo y la manufactura de ácido nítrico. Algunas fuentes naturales o bio-génicas de óxidos de nitrógeno incluyen relámpagos, incendios forestales, incendios de pastizales, árboles, arbustos, grasas y levaduras.

El incremento en la temperatura ambiental promedio se debe al incremento de Gases de Efecto Invernadero (GEI), entre los cuales se incluyen CO₂, metano (CH₄), SO₂, NO₂ y clorofluorcarbonos (CFC's) principalmente (IPCC 2013). Además de tener un efecto en el sistema climático terrestre, estos gases también tienen un impacto negativo sobre la salud humana. Distintos estudios han observado un aumento en las tasas de mortalidad y morbilidad de enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cerebrovasculares cuando los contaminantes atmosféricos aumentan.

Se ha evidenciado que las emisiones relacionadas con el sector transporte tienen importantes repercusiones en la salud de la población urbana en general, con el objeto de reflejar y complementar el análisis económico algunos investigadores buscaron integrar los ahorros representados por la disminución en emisiones de contaminantes locales. Incluyendo los ahorros en salud por la mitigación de contaminantes criterio se menciona que se alcanzaría un beneficio social de alrededor de 9,300 millones de dólares (2005) y un costo por tonelada reducida de 80 dólares (Presidencia, 2013; Sánchez *et al.* 2009). Estos autores refieren que en general se incrementarían 4 dólares en ahorro por tonelada debido al impacto en la salud.

El análisis económico permitió que la relación que tiene el transporte público y el ordenamiento territorial con la calidad de vida de la población fuera grande. Sin embargo los supuestos utilizados en casos de éxito, permiten que el análisis de



implementación individual no refleje el impacto real de la política. Esto se debe a que, al hablar de que el sector transporte es en realidad un sistema orgánico, los casos de éxito ya toman en consideración el efecto de políticas públicas (Sánchez *et al.* 2009).

OBJETIVOS

El presente trabajo se dividió en tres partes, siendo sus objetivos los siguientes:

I. Identificación de las brechas en evidencia científica

En esta etapa del proyecto se buscó identificar las brechas en evidencia científica de temas relevantes como lo son:

- i) Las tasas de morbilidad y mortalidad de la población por enfermedades ligadas a la contaminación del aire y al cambio climático así como la valoración económica de dichas enfermedades.
- ii) Las mediciones del benceno, el tolueno y el carbono negro y su validación.
- iii) Las mediciones del carbono negro en la Ciudad de México, que se encuentran hasta el momento en dos zonas: El primer equipo de medición se encuentra en la zona de Vallejo, en el laboratorio del Sistema de Monitoreo Atmosférico (Simat), y el segundo en Alzomoni, entre los volcanes Popocatepetl e Iztaccíhuatl; para posteriormente realizar una determinación de la población expuesta en la Ciudad de México.
- iv) Análisis de la situación de las redes de monitoreo a nivel del área Metropolitana de la Ciudad de México y principales ciudades de la



República Mexicana. Será fundamental hacer un análisis de los Programas ya existentes tales como el PROAIRE 2011-2020 para conocer a profundidad los mecanismos ya existentes para lograr fortalecerlos.

II. Revisión bibliográfica sobre políticas públicas para la disminución de contaminantes atmosféricos

- i) Tomando como referencia estudios y estrategias tomadas en otros países y México, elaborar mensajes clave dirigidos a los tomadores de decisiones para elevar su concientización acerca del problema a fin de promover cambios substanciales en el diseño de la política y programación del gasto público. Realizar una lista de medidas de política pública que reducirían de manera substancial las causas de la contaminación del aire y ayudarán a la mitigación del cambio climático.

III. Creación de un curso de capacitación sobre contaminación del aire y salud, globalización y cambio climático.

- i. Identificación de necesidades educativas por medio de un sondeo a personajes clave de la Secretaría de Salud del Distrito Federal.
- ii. Identificación de material y recursos sobre los impactos de la contaminación del aire en salud, globalización y cambio climático, con la finalidad de seleccionar el material más adecuado para una potencial implementación de un taller de capacitación para funcionarios y empleados del Gobierno del Distrito Federal y de otras dependencias estratégicas.
- iii. Desarrollo de un programa educativo intersectorial, basado en las necesidades identificadas con una duración de 20 horas (presencial).



METODOLOGÍA

I. Identificación de las brechas en evidencia científica

Inicialmente, se llevó a cabo una búsqueda de estudios epidemiológicos internacionales publicados a partir del año 2002 a 2014 en revistas de divulgación científica e indexados en bases de datos médicas; los cuales mostraran evidencia de la asociación a corto y/o largo plazo entre la exposición a contaminantes atmosféricos criterio (PM_{10} , $PM_{2.5}$, O_3 , NO_2 , SO_2 , CO) y efectos sobre la mortalidad general, por causas específicas en población general o grupos etarios. La información hallada se sistematizó en tablas de resumen, las cuales registraron las principales medidas de asociación encontradas. Aquellos artículos que no especificaron la medida utilizada para evaluar la exposición fueron eliminados de la matriz.

Posteriormente, se realizó una búsqueda de estudios epidemiológicos publicados desde 2002 a la fecha, que estimaran el efecto sobre la morbilidad a corto y/o largo plazo en la población mexicana; los cuales utilizaran datos generados por las redes de monitoreo del país ya que estas últimas son las herramientas más importantes para evaluar la exposición a contaminantes del aire.

En la revisión se incluyeron artículos con diversos tipos de diseño epidemiológico no experimentales: cohorte, case-crossover, transversales y ecológicos. Los cuales reportaran resultados de tipo cuantitativo, con medidas de asociación entre concentración-respuesta en forma de Riesgos Relativos (RR), Odds Ratio (OR), Hazard Ratio (HR) o Porcentajes de Cambio en la variable Resultado o riesgo (PCR), con sus respectivos intervalos de confianza.

II. Revisión bibliográfica sobre políticas públicas para la disminución de contaminantes atmosféricos.

Se realizó una búsqueda de documentos nacionales e internacionales sobre



recomendaciones en políticas públicas relacionadas con contaminantes atmosféricos, cambio climático y salud. La información hallada se sistematizó en tablas de resumen, de donde se extrajo la recomendación y se formuló un mensaje clave de cada una de ellas, que permitiera ser claro y conciso para sintetizar las recomendaciones encontradas.

III. Creación de un curso de capacitación sobre contaminación del aire y salud, globalización y cambio climático.

Se realizó una búsqueda bibliográfica sobre contaminación del aire y salud, gases de efecto invernadero, cambio climático y globalización. La información de los documentos encontrados se resumió y se realizaron presentaciones con el programa Power Point sobre dichos temas. Se enviaron invitaciones vía correo electrónico para que funcionarios públicos de distintas organizaciones asistieran a la presentación de las diapositivas y aportaran sus comentarios.

Resultados

I. Identificación de las brechas en evidencia científica

La síntesis de la OMS con respecto de los estudios de $PM_{2.5}$ y su efecto de largo plazo, indica que es posible reducir los riesgos de mortalidad al progresar en el cumplimiento de objetivos intermedios y que al cumplir con la media anual de $10 \mu\text{g}/\text{m}_3$ se está por debajo de la media para los efectos más probables, y reitera que no se descartan efectos adversos en la salud por debajo de este nivel. Y con respecto a O_3 , los estudios indican que hay una asociación significativa, entre los registros de mortalidad diaria y las concentraciones de ozono, independientes de los efectos que se observan para las partículas. Además de indicar que existen efectos en salud a pesar de que las concentraciones de O_3 estén por debajo de los $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, aunque no se define una concentración umbral de posibles efectos. En la definición del valor guía de este contaminante se contempla que en



personas sensibles aumenta entre 1 y 2% la mortalidad cuando una concentración media de 8 horas de O₃ alcanza un valor de 100 µg/m³, por encima del que se registra en 70 µg/m³.

Información sobre estudios que permitan establecer relaciones entre cambio climático, contaminación del aire e impactos en la salud a nivel nacional

A nivel internacional existe una amplia cantidad de investigaciones que demuestran los daños a la salud por la exposición a contaminantes atmosféricos. Sin embargo a nivel nacional, la evidencia sobre algunos contaminantes específicos como son el carbón negro o los efectos asociados a tráfico vehicular, es escasa. Intentando rescatar la información de los artículos realizados en Cd. de México a partir del 2002, se detalla a continuación una breve descripción de la metodología y principales resultados de algunos de ellos por mortalidad y posteriormente por morbilidad. Aportando una breve conclusión en cada sección que sirva de apoyo para identificar las evidencias en las brechas de conocimiento científico.

Información sobre estudios que permitan establecer relaciones entre cambio climático, contaminación del aire e impactos en la salud en Cd. de México

Mortalidad por todas las causas

En México se han realizado algunas investigaciones acerca de los efectos que los contaminantes del aire tienen sobre la salud de la población. Específicamente para los contaminantes: O₃ y PM (Carbajal- Arroyo et al., 2011; Lauer et al., 2009; Bell et al., 2008; McMichael et al., 2008; O'Neill et al., 2008; O'Neill et al., 2005; O'Neill et al., 2004; O'Neill et al., 2003), se detallan los resultados del estudio realizado entre 2006 y 2009: *Multicity Study of Air Pollution and Mortality in Latin America* (ESCALA) (Romieu et al. 2012) el cual tenía como objetivo examinar la asociación entre la exposición a la contaminación del aire exterior y la mortalidad por varias causas en 9 ciudades de América Latina en diferentes grupos de edad, con el uso de un marco analítico común para obtener información comparable y actualizada.



En ese proyecto, se involucraron a tres equipos de investigadores responsables de la recolección y el análisis de la contaminación atmosférica y la mortalidad de datos específicos de ciudades de tres países diferentes. Los equipos diseñaron cinco protocolos diferentes para estandarizar los métodos de recolección y análisis de datos que se utilizaron para evaluar los efectos de la contaminación atmosférica sobre la mortalidad. Al seguir los mismos protocolos, los investigadores pudieron comparar directamente los resultados entre ciudades. El análisis se realizó en dos etapas. La primera etapa incluyó el análisis de todas las causas de muerte natural y la mortalidad por causas específicas relacionadas con las partículas PM_{10} y O_3 , en ciudades de Brasil, Chile y México. Los análisis para PM_{10} y O_3 también fueron estratificados por grupos de edad y el análisis de O_3 se estratificó según la temporada. Utilizaron modelos lineales generalizados (MLG) en la regresión de *Poisson* para ajustar los datos de series de tiempo. Las tendencias temporales y la estacionalidad se modelaron usando *splines* naturales con 3, 6, 9, ó 12 grados de libertad (gl) por año. La temperatura y la humedad también se modelaron usando *splines* naturales, inicialmente con 3 o 6 gl, y luego con grados de libertad elegidos sobre la base de diagnósticos residuales. Además, los autores utilizaron las variables indicadoras para el día de la semana y días de fiesta para dar cuenta de las fluctuaciones cíclicas a corto plazo. Para evaluar la asociación entre la exposición a la contaminación atmosférica y el riesgo de muerte, los datos de PM_{10} y O_3 se ajustaron mediante modelos de rezagos distribuidos (MRD). Estos modelos se basan en los hallazgos que indican que los efectos en la salud asociados con las concentraciones de contaminantes del aire en un día determinado pueden acumularse durante varios días posteriores. Cada MRD mide el efecto acumulativo de una concentración de contaminantes en un día determinado (día 0) y la contribución de ese día con el efecto de ese contaminante en múltiples días posteriores (rezagados). Para este estudio, la exposición de hasta 3, 5, y 10 días de rezagos fueron explorados. Sin embargo, sólo los resultados de los MRD utilizando un rezago de 3 días (MRD 0-3). El potencial efecto modificador de nivel socioeconómico (NSE) en la asociación de la



concentración de O_3 y PM_{10} con la mortalidad también fue explorado en cuatro ciudades: Ciudad de México, Río de Janeiro, Sao Paulo y Santiago. La segunda etapa incluyó metaanálisis y metarregresión. Durante esta etapa, las asociaciones entre la mortalidad y la contaminación del aire se compararon entre las ciudades para evaluar la presencia de heterogeneidad y de explorar las variables de nivel de la ciudad que podrían explicar esta heterogeneidad. Realizaron metanálisis para combinar las estimaciones del efecto de mortalidad en las ciudades y para evaluar la presencia de heterogeneidad entre los resultados de la ciudad, mientras que utilizaron modelos de meta-regresión para explorar las variables que podrían explicar la heterogeneidad entre ciudades en los riesgos de mortalidad asociados con la exposición a PM_{10} (pero no O_3).

Los resultados de los análisis de mortalidad se presentaron como cambios porcentuales de riesgo (CPR) con un intervalo de confianza del 95% (IC). El CPR es el aumento en el riesgo de mortalidad asociado a un aumento de $10 \mu g/m^3$ en la concentración promedio de 24 horas de PM_{10} o en el máximo de promedio móvil de 8 horas al día en la concentración de O_3 . La mayor parte de los resultados de PM_{10} fueron positivos y estadísticamente significativos, que muestran un aumento del riesgo de mortalidad con el aumento de las concentraciones ambientales. Los resultados para O_3 también mostraron un aumento estadísticamente significativo de la mortalidad en las ciudades con los datos disponibles. Con el modelo de rezagos distribuidos, MRD 0-3, las concentraciones ambientales de PM_{10} se asociaron con un mayor riesgo de mortalidad. En la Ciudad de México y Santiago de los CPR y IC del 95% fueron de 1.02% (0.87 a 1.17) y 0.48% (0.35 a 0.61), respectivamente. Los niveles de PM_{10} también se asociaron significativamente con mayor mortalidad por causas: cardiopulmonares, respiratorias, cardiovascular, accidentes cerebrovasculares (ACV) y enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC) en la mayoría de las ciudades. Los porcentajes de incremento en la mortalidad, asociadas con las concentraciones de O_3 ambientales fueron más pequeños que los asociados a PM_{10} .



La mortalidad por todas las causas naturales, fue significativamente relacionada con O_3 en la Ciudad de México, Monterrey, Sao Paulo y Río de Janeiro. También se observaron mayores riesgos de mortalidad para algunas causas específicas en estas ciudades y en Santiago. En los análisis estratificados por temporada, se observaron diferentes patrones de mortalidad para las estaciones frías y calientes. Las estimaciones de riesgo para la temporada de frío eran más grandes y significativas para algunas causas de muerte en la Ciudad de México, Monterrey y Toluca. En un análisis estratificado por NSE, el riesgo de mortalidad por todas las causas naturales en la Ciudad de México fue mayor para las personas con un medio de NSE. Sin embargo se observó que el riesgo de mortalidad relacionada con causas respiratorias fue mayor entre las personas con un bajo NSE, mientras que el riesgo de mortalidad relacionada con causas cardiovasculares y ACV fue mayor entre las personas con NSE media o alta.

Además, se estudió el efecto de las concentraciones ambientales de PM_{10} en la mortalidad infantil por causas respiratorias y las infecciones respiratorias bajas sólo para la Ciudad de México, Santiago y Sao Paulo. Se observó un aumento significativo del riesgo de mortalidad por estas causas, tanto en Santiago y Ciudad de México. Para O_3 , se observó un aumento del riesgo de mortalidad en la Ciudad de México (en los lactantes y niños mayores) y en Sao Paulo (sólo en los bebés durante la estación cálida). Los resultados de los meta-análisis confirman la asociación positiva y estadísticamente significativa entre PM_{10} y la mortalidad por todas las causas naturales (CPR = 0,77% [IC del 95%: 0.60 a 1.00]), utilizando el modelo de efectos aleatorios. Para la mortalidad por causas específicas, el porcentaje de aumento de la mortalidad fue de 0.72% (0.54 a 0.89) para la enfermedad cardiovascular a 2.44% (1.36-3.59) para la EPOC, también mediante el modelo de efectos aleatorios. Para O_3 , se observaron asociaciones positivas significativas con el modelo de efectos aleatorios para algunas de las causas, pero no para todas las causas naturales o por enfermedades respiratorias en personas de 65 años o mayores. El porcentaje de aumento en la mortalidad por todas las causas naturales fue de 0.16% (-0.02 a 0.33). En el análisis de meta-regresión, las



variables que mejor explican la heterogeneidad en los riesgos de mortalidad entre las ciudades eran la media aritmética de la temperatura en la estación cálida, el porcentaje de población de lactantes (<1 año), el porcentaje de población de niños al menos de 1 año de edad, pero <5 años (es decir, 1-4 años), el porcentaje de población de personas de 65 años o mayores, la densidad geográfica de los monitores de PM_{10} , las concentraciones medias anuales de PM_{10} y las tasas de mortalidad por cáncer de pulmón.

Mortalidad en adultos e infantes

Con la finalidad de averiguar si el nivel de educación en la población de América Latina, modificaba las asociaciones entre la mortalidad y material particulado (PM_{10}), utilizando varias escalas de tiempo, se realizó un estudio (O'Neill et al., 2008) que incluyó a personas que murieron durante 1998-2002 en la Ciudad de México, México; Santiago, Chile; y Sao Paulo, Brasil. El análisis se realizó por medio de regresiones de *Poisson* específicas por ciudad para considerar la mortalidad por todas las causas no-externas, estratificadas por edad, sexo y nivel de educación entre los adultos mayores de 21 años de edad (ninguno, alguno, primaria, secundaria o más). Las variables predictoras incluidas en el *spline* natural considerando tendencia temporal fueron: PM_{10} de manera lineal, la temperatura aparente y sus respectivos rezagos, así como los indicadores de día-de-semana. Evaluaron los rezagos para PM_{10} de 0 y 1 día de rezagos, con un ajuste de modelo de distribución de rezagos *unconstrained* para efectos acumulativos de 6 días. Con lo cual se evidenció, que el efecto de un incremento en $10 \mu g/m^3$ de PM_{10} con 1 día de rezago para la mortalidad por todas las causas no-externas en adultos de la Ciudad de México fue 0.39% (IC 95% = 0.13% -0.65%); Sao Paulo 1.04% (0.71% - 1.38%); y en Santiago 0.61% (0.40% - 0.83%). Mostrando un efecto acumulativo a 6 días para la mortalidad de adultos en Santiago (0.86% [0.48% -1.23%]) y Sao Paulo (1.38% [0.85% 1.91%]), pero no fueron consistentes por nivel educativo.



Sabemos que existe evidencia consistente de la asociación positiva entre la contaminación atmosférica y la mortalidad diaria en los adultos. Sin embargo es menos lo que se sabe con respecto a su asociación con la mortalidad infantil y la modificación de esta asociación por el nivel socioeconómico (NSE). Debido a ello, un estudio (Carbajal-Arroyo et al., 2007) se encargó de evaluar la asociación de partículas PM_{10} y el O_3 en la mortalidad infantil y su modificación por NSE. Mediante una evaluación de la relación de los niveles promedio de PM_{10} en 24 h y el máximo diario en 1 hora de O_3 , con 12, 079 muertes por todas las causas (3,903 muertes respiratorias) entre los infantes de 1 a 11 meses de edad que residían en la Zona Metropolitana del Valle México (ZMVM) entre enero de 1997 y diciembre de 2005, con un diseño de estudio de casos cruzados. Los datos fueron analizados mediante modelos de regresión logística condicional, controlando por las condiciones climáticas y los días de la semana. Mostrando mediante los modelos de un solo efecto, un aumento de 5.5% por todas las causas de mortalidad (IC del 95%: 1% a 10%) con 1 día de rezago y un aumento del 6.6% (2% a 11.4%) con un rezago de 2 días; los modelos de exposición acumulativa (0-2 días) evidenciaron un aumento del 6.3% (0.01% a 32.7%). Con respecto a la mortalidad por causas respiratorias, se observó un aumento marginal en un 5.3% (-0.02% a 13.2%) con 1 día de rezago y 10% (2.1% a 18%) con un rezago de 2 días por aumento de $38.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en los niveles de PM_{10} . Cuando los datos fueron estratificados por el NSE (bajo, medio y alto), sólo los recién nacidos con NSE bajo y medio presentaron un incremento significativo en el riesgo de mortalidad por todas las causas y mortalidad respiratoria en relación con PM_{10} . El O_3 se relacionó significativamente con la mortalidad respiratoria en el nivel bajo.

Conclusión: Lo anterior confirma lo que se ha observado en otras partes del mundo con respecto a los efectos de PM_{10} ambiental y las concentraciones de O_3 sobre la mortalidad diaria. Sabemos que tanto PM_{10} como O_3 , tienen efectos importantes a corto y medio plazo sobre la mortalidad diferenciados por grupos etarios. También, los estudios sugieren que el NSE juega un papel en la susceptibilidad de la población ante la contaminación atmosférica; personas con



un NES más bajo aparentemente tienen un mayor riesgo de muerte por causas respiratorias, especialmente por EPOC.

Temperaturas extremas y mortalidad

Existe un estudio (McMichael et al., 2008) que describe la mortalidad por calor y las relacionadas con el frío, en 12 poblaciones urbanas en países de bajos y medianos ingresos. Las ciudades fueron: Delhi, Monterrey, Ciudad de México, Chiang Mai, Bangkok, Salvador, Sao Paulo, Santiago, Ciudad del Cabo, Bucarest y Sofía. Para cada ciudad, la mortalidad diaria se examinó en relación con la temperatura ambiente usando Modelos *Poisson* autorregresivos (serie de 2 a 5 años) ajustado por temporada, humedad relativa, contaminación del aire, día de la semana y días festivos. Se encontró que la mayoría de las ciudades mostraron una relación temperatura-mortalidad en forma de U, con un claro aumento en las tasas de mortalidad a más bajas temperaturas en todas las ciudades excepto Salvador y Delhi y con aumento del calor en todas las ciudades, excepto Chiang Mai y Ciudad del Cabo. Las estimaciones de la temperatura umbral por debajo del cual la mortalidad empezó a incrementar con el frío oscila entre 15°C a 29°C; el umbral de las muertes relacionadas con el calor varió de 16°C a 31°C. Los umbrales de calor fueron generalmente más altos en ciudades con climas más cálidos, mientras que para el frío, los umbrales no estaban relacionados con el clima.

Conclusión. Es necesario considerar las variables climáticas al momento de evaluar una relación entre contaminantes atmosféricos y mortalidad en población urbana. Debido a que las poblaciones urbanas, en diversos entornos geográficos, pueden experimentar un aumento de la mortalidad debido específicamente a las temperaturas extremas, que ya se han proyectado para la Cd. de México, bajo diferentes escenarios de cambio climático (Estrada-Porrúa et al., 2010).



Efectos cardiovasculares

En México la contaminación atmosférica es uno de los principales problemas de salud ambiental y se vincula con enfermedades cardiovasculares (Riojas-Rodríguez et al., 2006a), que se encuentran entre las primeras causas de morbi-mortalidad en la Cd. de México, con una tendencia creciente en las últimas décadas.

Son varios los estudios epidemiológicos que han reportado una asociación entre las partículas respirables y monóxido de carbono (CO), con resultados cardiorrespiratorios (Anderson et al., 2012; Romieu et al., 2005; Zanobetti et al., 2003; Riojas-Rodríguez et al., 2006a; Riojas-Rodríguez et al., 2006b; Holguin et al., 2003; Borja-Aburto et al., 1997).

Particularmente un estudio realizado en la Cd. de México (Riojas-Rodríguez et al., 2006b) que tenía como objetivo evaluar el efecto de $PM_{2.5}$ y CO en la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) en períodos de 5 min en pacientes con cardiopatía isquémica conocida. Para lo cual seleccionaron 30 pacientes de la consulta externa del Nacional Instituto de Cardiología de México y fueron seguidos durante 11 h, utilizando electrocardiografía (ECG) electrocardiogramas ambulatorios y monitores personales para CO y $PM_{2.5}$. Se calcularon las medidas de dominio-frecuencia utilizando el análisis espectral de potencia y se evaluó la asociación con los contaminantes utilizando modelos de análisis de efectos mixtos para períodos de 5 min. Se encontró una disminución en la VFC medida como (ln) alta frecuencia (coeficiente = -0,008, IC 95%, - 0.015, 0.0004) por cada $10 \mu\text{g}/\text{m}_3$ de aumento en la exposición personal a $PM_{2.5}$. Asimismo, encontraron una disminución (ln) de la baja (coeficiente=- 0,024, IC del 95%, - 0.041, - 0,007) y (ln) muy baja frecuencias (coeficiente=0.034, IC 95%, - 0.061, - 0.007) por 1ppm de aumento en la exposición personal a CO, después de ajustar por potenciales factores de confusión. Estos resultados muestran que para esta población de alto



riesgo, la alteración de la regulación autonómica cardiaca se asoció significativamente con ambos $PM_{2.5}$ y CO exposiciones personales.

Conclusión. Aparentemente el análisis de los cambios en la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) parece ser una herramienta útil para evaluar tanto los riesgos en personas sensibles, como para vigilar su estado de salud. No obstante, es necesario avanzar en la estandarización de los métodos de medición tanto de la exposición a contaminantes como de la propia variabilidad de la frecuencia cardiaca. Por otra parte, debemos considerar que la variabilidad en el ritmo cardiaco es normal y una reducción en la VFC puede aparecer ocasionada por estrés oxidativo en el corazón. Entonces la VFC es un marcador de estrés oxidativo. En aquellos con enfermedad cardiovascular puede predecir un ataque cardiaco (Grahame, 2011).

Efectos en salud relacionados con tráfico vehicular

Existe incertidumbre sobre el tipo de emisión de los vehículos que ocasiona más efectos perjudiciales en salud. Un estudio de panel (Escamilla-Nuñez et al., 2008) se llevó a cabo entre 147 asmáticos y 50 niños sanos, que eran seguidos durante un promedio de 22 semanas. La densidad de incidencia de tos, sibilancias y respiración dificultad se evaluó mediante la referencia a un registro diario de los síntomas y medicación del niño. La asociación entre la exposición a los contaminantes y la aparición de los síntomas se evaluó usando modelos de efectos mixtos con respuesta binaria y por medio de regresión de *Poisson*. Se encontró que las sibilancias se relacionaban de manera significativa con los contaminantes del aire: un aumento del $17.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2.5}$ (24 h promedio) se asoció con un aumento del 8.8% (IC 95%: 2.4% a 15.5%); un aumento de 34 ppb de NO_2 (1-h máximo) se asoció con un aumento de 9.1% (IC 95%: 2.3% al 16.4%) y un aumento de 48 ppb en los niveles de O_3 (máximo 1 hora) a un aumento del 10% (IC 95%: 3.2% a 17.3%). Los vehículos de motor diesel se asociaron significativamente con sibilancias y el uso de broncodilatadores (IRR = 1.29, IC



95%: 1.03 a 1.62, y la IRR = 1.32, IC 95%: 0.99 a 1.77, respectivamente, para un aumento de 130 vehículos por hora, por encima de la media de 24 horas). Los síntomas respiratorios en niños asmáticos se asociaron significativamente con exposición a las emisiones del tráfico, sobre todo a partir de gas natural y los vehículos diesel.

Conclusión. Dada la actual evidencia de que el estrés oxidativo puede estar vinculado mecánicamente a la fisiopatología cardíaca, se debe considerar que los estudios de revisión que encuentran que la exposición a las emisiones vehiculares en general y para las emisiones de diesel en concreto, están vinculados a estrés oxidativo.

Efectos neuro-cognitivos

Imaginar que 8 millones de niños en la Cd. de México experimentan serios efectos perjudiciales que incluyen neuroinflamación, neurodegeneración y déficits de cognición, resulta verdaderamente alarmante. Calderón-Garcidueñas (2012) da cuenta que tanto los niños que viven en el norte de Ciudad de México (NCM) y los de Sur Ciudad de México (SCM) se exponen a la contaminación del aire, los agentes contaminantes son muy diferentes. Los niños NCM están expuestos a altas concentraciones de partículas finas ($PM_{2.5}$) Y sus componentes: carbono orgánico y carbono elemental, secundaria aerosoles inorgánicos secundarios (SO_4^- , NO_3^- , NH_4^+) y metales (Zn, Cu, Pb, Ti, Mn, Sn, V, Ba), mientras que los niños de SCM están expuestos a altas concentraciones de ozono y PM asociadas con lipopolisacáridos. Esto es muy importante, debido a que la exposición específica a ciertos contaminantes tiene efectos deletéreos específicos.

En una cohorte (Calderón-Garcidueñas et al., 2012) de autopsia de 43 niños y adultos jóvenes (35 MC y 8 CTL), 40% exhibieron hiperfosforilación frontal tau con material *pre-tangle* y 51% presentaron placas difusas amiloides en comparación con el 0% en los controles. Se sabe que las placas amiloides y la



hiperfosforilación tau se observan en individuos con Alzheimer , por lo cual el desarrollo de enfermedades neurodegenerativas pueden ser un potencial efecto a largo plazo en estos niños expuestos.

Conclusión. Es necesaria una diferenciación de los componentes del material particulado, así como una caracterización por zona y continuar evaluando los efectos neurocognitivos en la población más vulnerable (niños).

Varios

Pese a que la exposición a la contaminación del aire tiene un efecto perjudicial sobre la salud respiratoria, pocos estudios han examinado la asociación entre la exposición al carbono elemental y la función pulmonar entre los escolares.

Un estudio (Barraza-Villareal et al., 2011) presenta la asociación entre la exposición al carbono elemental a corto plazo y la función pulmonar en niños en edad escolar de la Cd. de México. En el cual evaluaron a 55 asmáticos y 40 niños no asmáticos y fueron seguidos durante un promedio de 22 semanas. Una prueba de espirometría se realizó cada 15 días durante el seguimiento. Muestreadores de aire portátiles recogieron partículas en filtros de teflón. Realizaron un análisis gravimétrico y el carbono elemental se cuantificó mediante densitometría transmisión. La asociación entre las principales variables se analizó mediante modelos de efectos mixtos lineales. La media \pm desviación estándar de absorción de la luz del carbono elemental fue $92,7 \pm 54,7 \text{ Mm}^{-1}$. Un aumento de un rango intercuartil en el promedio de 24 h de carbono elemental ($100,93 \text{ Mm}^{-1}$) se asoció con un impacto negativo significativo en el volumen espiratorio forzado en 1s (VEF1) (IC 95% -123,3- -1,2) ml) y el flujo espiratorio forzado al 25-75% de la capacidad vital forzada (CVF) (FEF 25-75%) (-111 (IC 95% -228,3- -4,1) ml) entre los niños asmáticos, igual a 3,3% y 5,5 %, respectivamente; y el FEV1 (-95,0 (IC 95% -182,3- -8,5) ml) y CVF (-105,0 (IC 95% -197,0- -13,7) ml) entre los niños no asmáticos. La exposición al carbono elemental dio lugar a un efecto negativo importante sobre la función pulmonar en niños atópicos en edad escolar,



independientemente de la condición de asma.

Con la finalidad de evaluar la exposición personal a ozono (O_{3p}) en niños asmáticos de la Ciudad de México, se llevó a cabo un estudio (Ramírez-Aguilar et al. 2008), en el cual incluyeron 158 niños entre diciembre de 1998 y abril de 2000. En promedio se obtuvieron tres mediciones por niño, utilizando filtros pasivos para medir O_{3p} . Se caracterizaron los patrones de actividad y las concentraciones ambientales diarias de ozono (O_{3a}) se obtuvieron de estaciones fijas cercanas a la residencia del niño. Los niveles promedio de O_{3a} y las concentraciones ponderadas por el tiempo en diferentes microambientes (O_{3w}) fueron usados como variables independientes para modelar las concentraciones de O_{3p} , utilizando modelos de efectos mixtos. Los resultados, arrojaron que la media de O_{3p} fue 7.8 ppb. Las principales variables en el modelo fueron: tiempo en exteriores, distancia, periodo de seguimiento y dos términos de interacción ($R^2=0.50$, $p<0.05$). Las concentraciones de O_{3w} pueden usarse como "proxi" de O_{3p} , tomando en cuenta patrones de actividad y lugar de residencia.

Conclusión. Sobre los estudios realizados en la Ciudad de México (Barraza et al., 2011, Calderón-Garcidueñas et al., 2011, Romieu et al., 2011, Calderón-Garcidueñas et al. 2008; Ramírez-Aguilar et al., 2008), se ha evidenciado de manera general que la exposición crónica a las partículas aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como de cáncer de pulmón; además puede tener efectos cognitivos. El exceso de ozono en el aire produce problemas respiratorios, puede provocar asma, reducir la función pulmonar y originar enfermedades pulmonares. La disminución del desarrollo de la función pulmonar y una mayor frecuencia de los síntomas de bronquitis en niños asmáticos se asocia con la exposición al NO_2 . Por otro lado, el SO_2 puede afectar al sistema respiratorio y las funciones pulmonares, y causar irritación ocular.



Valoraciones económicas de la morbilidad por enfermedades ligadas a la contaminación del aire y al cambio climático

La estimación de los costos en salud asociados a la contaminación permite contar con una base de información muy útil para la evaluación de las políticas públicas dirigidas a mejorar la calidad del aire. Es asimismo, un insumo para la realización de análisis costo-beneficio, los cuales son instrumentos que pueden ser usados para realimentar y mejorar las políticas públicas en la Cd. de México.

Los riesgos ocasionados por el cambio climático sobre la salud son de naturaleza diversa y van desde el aumento del riesgo de fenómenos meteorológicos extremos hasta modificaciones de la dinámica de las enfermedades infecciosas y cambios en la calidad del aire de los centros urbanos. La OMS afirma que las repercusiones del cambio climático "afectarán de forma desproporcionada a las poblaciones vulnerables", tales como niños pequeños, adultos mayores, enfermos, población de bajos ingresos y de manera muy específica a las poblaciones urbanas.

La Ciudad de México también enfrenta distintas problemáticas derivadas del cambio climático el cual se ve agravado por las emisiones de sustancias tóxicas a la atmósfera. Reconociendo estos peligros, la Ciudad ha desarrollado distintas herramientas como el Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008-2012 (Programa 2014-2018). En el periodo del 2008 al 2012, la Ciudad de México redujo 7.7 millones de toneladas de CO₂ equivalente, superando sus metas por un 10.2%. Esto se logró gracias a las políticas de mejoramiento del aire, el programa de sustitución de taxis, sustitución de microbuses por autobuses de mediana capacidad y la implementación de corredores de transporte Metrobús. Sin embargo son escasos los artículos que hacen referencia a la relación entre cambio climático, contaminación atmosférica y efectos en salud. Existe una necesidad de comenzar a idear un marco conceptual que aproxime a los posibles mecanismos que relacionen el cambio climático, la contaminación atmosférica y los efectos en salud, en el ANEXO se presenta un ejemplo de aproximación.



Existe una investigación realizada sobre el Cambio Climático y la Pobreza en Cd. de México (Sánchez–Vargas et al. 2011) en el cual sugieren que el cambio climático podría generar los siguientes impactos en los pobres de la Ciudad de México:

- 1) menor disponibilidad de agua
- 2) menores niveles de salud
- 3) mayor migración
- 4) disminución en los ingresos
- 5) deterioro del nivel de vida
- 6) reducción en el acceso a los alimentos

Por tanto, para contrarrestar el aumento de la pobreza y la vulnerabilidad en el D.F. se deben plantear una serie de opciones de política pública que permitan enfrentar de manera exitosa los futuros efectos del cambio climático. Tal y como se puede apreciar en el siguiente cuadro (Cuadro 1) una de las recomendaciones en política pública, es la disminución en las emisiones generadas en la ciudad.



Cuadro 1. Recomendaciones en política pública ante el cambio climático

<i>Problema asociado al cambio climático</i>	<i>Propuestas de política pública</i>	<i>Delegaciones con mayor vulnerabilidad</i>
Disponibilidad de agua	Creación y reparación de infraestructura hidráulica; reparación y mantenimiento del sistema de drenaje; aprovechar el agua de lluvia, mantenimiento del emisor central, rehabilitación y reposición de redes, campañas de educación a la población (particulares y empresas), identificar e instalar medidores a los grandes usuarios.	Gustavo A. Madero Iztapalapa Tlalpan
Deterioro del nivel de salud	Seguir las recomendaciones encaminadas a mejorar la disponibilidad de agua, reducir el actual nivel de emisiones generadas en la ciudad, establecer límites de emisión para las industrias, ampliar áreas verdes urbanas, programas de oferta de medicinas y atención médica gratuita y programas de prevención de salud de enfermedades contagiosas.	Delegaciones con una percepción baja de su salud: Gustavo A. Madero Iztapalapa Tlalpan Delegaciones con menor acceso a servicios médicos: Milpa Alta Cuajimalpa Xochimilco Tláhuac Iztapalapa
Aumento de la migración, reducción de los ingresos y aumento de la marginación	Reubicar los asentamientos que actualmente son más vulnerables, creación y reparación de infraestructura hidráulica y sanitaria en las zonas pobres y políticas de empleo relacionadas con la prevención del cambio climático.	Gustavo A. Madero Iztapalapa Tlalpan Magdalena Contreras Tláhuac Xochimilco
Inseguridad alimentaria	Reconstruir el sector primario del D.F., mejorar las vías de comunicación, para un fácil acceso y distribución de alimentos.	Magdalena Contreras Milpa Alta Venustiano Carranza Gustavo A. Madero Iztacalco En menor medida: Iztapalapa Tláhuac Xochimilco Cuauhtémoc

Fuente: Sánchez–Vargas et al. 2011

En otra investigación (Estrada-Porrúa y Martínez-López, 2010) se proyecta (Ver Cuadro 2) un aumento en las temperaturas medias en el cual las concentraciones de ozono pudieran verse afectadas, así como las dinámicas de los contaminantes.



Cuadro 2. Proyecciones del incremento en la temperatura media anual en el Distrito Federal por el efecto de la isla de calor para finales de siglo

DELEGACIÓN	Incremento en la temperatura media anual por isla de calor (°C)
Azcapotzalco	1.57
Coyoacán	0.93
Cuajimalpa de Morelos	0.91
Gustavo A. Madero	1.87
Iztacalco	0.71
Iztapalapa	1.14
La Magdalena Contreras	0.43
Milpa Alta	0.60
Álvaro Obregón	0.65
Tláhuac	0.67
Tlalpan	0.64
Xochimilco	0.64
Benito Juárez	1.60
Cuauhtémoc	1.69
Miguel Hidalgo	1.63
Venustiano Carranza	1.58

Fuente: Estrada Porrúa y Martínez-López, 2010

Si consideramos el incremento en la temperatura por delegación, necesariamente deberíamos considerar una exposición diferenciada a los diversos contaminantes atmosféricos, además de tomar en cuenta que existe un gradiente en el nivel socioeconómico que puede fungir como un modificador de efecto o confusor al momento de realizar un estudio epidemiológico.

Identificación de límites especificados en las normas de calidad del aire existentes en México para protección de la salud

La contaminación del aire en exteriores resulta de la emisión de sustancias a la atmósfera que provocan un desequilibrio en la composición original de la misma, lo cual es un grave problema en la salud ambiental. Dichas sustancias contaminantes, provenientes tanto de fuentes naturales como antropogénicas,



pueden clasificarse como: contaminantes criterio y contaminantes tóxicos o no criterio.

Dentro de los contaminantes criterio, se encuentran aquellos que fueron objeto de evaluaciones publicadas en documentos de la calidad del aire en EUA con el objetivo de establecer niveles permisibles que protegieran la salud, el medio ambiente y el bienestar de la población (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) 2013). Estos se enlistan a continuación:

- Bióxido de Azufre (SO_2)
- Bióxido de Nitrógeno (NO_2)
- Material particulado (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$)
- Plomo (Pb)
- Monóxido de carbono (CO)
- Ozono (O_3)

En México, actualmente existen normas que establecen las concentraciones máximas de los contaminantes atmosféricos criterio que se permiten durante un periodo de tiempo definido (Ver Cuadro 1). Éstas se han creado con el objetivo de proteger la salud humana y el medio ambiente. Sin embargo, a pesar de los límites permisibles establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), se registran concentraciones elevadas de los contaminantes del aire y una preocupación constante por los efectos que esta puede provocar en la salud pública de los mexicanos, especialmente en áreas urbanas e industrializadas.

Por ejemplo, en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), si bien la gestión de la calidad del aire ha provocado una disminución en las concentraciones de casi todos los parámetros contemplados por el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT), aún persisten los niveles de ozono y partículas por arriba de los límites permisibles (SMA-GDF 2012).



Por lo cual se realizó una revisión de las Normas Oficiales Mexicanas de Salud Ambiental: 020, 021, 022, 023, 025 y 026 para identificar las concentraciones máximas permisibles de los contaminantes atmosféricos considerados como criterio, mismas que se resumen en el siguiente Cuadro 3.

Cuadro 3. Normas oficiales de calidad del aire en México

Cuadro 3. Normas Oficiales de Calidad del Aire en México		
Contaminante	Promedio anual	Promedio diario (Tiempo)
PM_{2.5} ³ (µg/m)	15	65 24 horas
PM₁₀ ³ (µg/m)	50	120 24 horas
O₃ ³ (µg/m)	-	216 1 hora 157 8 horas
SO₂ ³ (µg/m)	66	524 1 hora 288 24 horas
NO₂ ³ (µg/m)	100	395 1 hora
CO ³ (µg/m)	-	13 8 horas

Suficiente evidencia toxicológica y epidemiológica sobre los daños a la salud por exposición a los contaminantes atmosféricos criterio avalan la existencia de un exceso de riesgo por exposición incluso a concentraciones relativamente bajas de los contaminantes en el aire.

Redes de monitoreo a nivel del área Metropolitana de la Ciudad de México

De acuerdo a lo versado en el PROAIRE 2011-2020, los cambios en el entorno



inmediato de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire tienen un efecto directo en el monitoreo atmosférico. Se menciona que tanto el diseño de la red de monitoreo y en consecuencia la instalación de las estaciones y la distribución de los parámetros, se realizó en función de las necesidades de la década de los ochenta, con un enfoque hacia el monitoreo de los contaminantes primarios, como monóxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno. Posteriormente se instalaron nuevas estaciones orientando el monitoreo hacia los contaminantes secundarios, como ozono y partículas finas. Y se ejemplifica que actualmente el área de la ZMVM, ha rebasado la zona de cobertura espacial de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire.

II. Revisión bibliográfica sobre políticas públicas para la disminución de contaminantes atmosféricos.

El Cambio Climático puede generar fuertes impactos en la población con escasos recursos de la Ciudad de México (Sánchez–Vargas *et al.*, 2011). Por tanto, para contrarrestar el aumento de la pobreza y la vulnerabilidad en el Distrito Federal se deben plantear una serie de opciones de política pública que permitan enfrentar de manera exitosa los futuros efectos del cambio climático.

Para que México pueda llevar a cabo acciones que reduzcan y eviten emisiones de GEI en el sector transporte, es necesario diseñar políticas públicas y estrategias de mitigación que permitan integrar y llevar a la práctica planes de acción y medidas efectivas, en el contexto de desarrollo económico (Mejía *et al.* 2012; INECC 2013).

De acuerdo al Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2002, en México se emitieron 643.2 millones de toneladas de CO₂ equivalente (CO₂e). La contribución de las emisiones de los GEI de las diferentes categorías en términos de CO₂e en el 2002 fueron en primer lugar el sector energía el cual representó el 61% de las emisiones con 389,497 Millones de toneladas de CO₂e (MtCO₂e); le siguen las categorías de uso de suelo y cambio del uso del suelo con 14% de las



emisiones totales (89,854 MtCO₂e), desechos con 10% (65,584 MtCO₂e), procesos industriales con 8% (52,102 MtCO₂e) y agricultura con el 7% (46,146 MtCO₂e) (SEMARNAT-INE 2006, 2006b). Asimismo, el sector transporte es la segunda fuente de emisiones a nivel nacional con el 18% del total nacional. Éste se distribuye en un 16.20% del transporte automotor, un 0.99% del aéreo y el 0.73% correspondiente a ferrocarril y navegación (SEMARNAT-INE 2006, 2006b). El 18% de transporte equivale 114,385 MtCO₂e distribuidas en cuatro categorías conforme a la clasificación de las fuentes de emisión del sector energía en el Inventario Nacional de Emisiones de GEI. Las emisiones totales de GEI en unidades de CO₂ equivalente del sector del transporte están integradas por transporte automotor con un 91%, el transporte aéreo con un 6%, el transporte marítimo con un 2% y el transporte ferroviario con el restante 1% (INE 2006). Además, se estima que el parque vehicular aumentará en los siguientes años (Sánchez *et al.* 2009). El transporte es un sector estratégico para el desarrollo, la movilidad de las personas y el abasto de productos a nivel mundial, el cual contribuye de manera cada vez más significativa al problema de emisión de contaminantes de cambio climático. Es por ello que, para la reducción de contaminantes atmosféricos, es de suma importancia considerar el sector transporte.

Se debe aclarar que la suma de políticas individuales no puede ser mayor a la suma del escenario de políticas integradas en el que se basó el estudio de Sánchez *et al.* (2009). Para ese caso en especial, no se corrió un escenario conjunto. Como es el caso de la medida de Uso de Suelo de alta densidad, la cual es igual al escenario con interrelaciones, debido a que esta política fue la primera en modelarse y por tanto es independiente en su modelación con respecto a las otras. Conceptualmente, esta medida debe de considerarse como necesariamente interdependiente o como parte de una estrategia integral de movilidad.

El desarrollo urbano compacto disminuye las distancias a recorrer y genera un incremento de demanda para soluciones de transporte público. No obstante, si esta demanda no es satisfecha por políticas adecuadas de movilidad para



incentivar un cambio de modo, esta medida podría resultar contraproducente. Esto se debe a que si no hay los incentivos suficientes para generar un cambio de modo entonces la velocidad promedio de los vehículos privados disminuiría y esto conllevaría a un mayor consumo de combustible (Sánchez *et al.* 2009). Por otro lado si existe un adecuado plan de movilidad tanto para transporte no motorizado como para transporte público, un desarrollo urbano compacto incrementaría la demanda de estos modos alternos y más sustentables haciendo mayor el impacto de mitigación que pudieran tener.

Se ha evidenciado un constante crecimiento de un elevado índice de motorización en el país (Sánchez *et al.* 2009). Esto se debe a que el parque vehicular pasará de una flota de cerca de 24 millones en el 2008 a 70 millones en el 2030, teniendo una tasa de motorización promedio de 5.1% anual. Ello significaría pasar de un vehículo por cada cuatro habitantes en promedio, a un vehículo por cada dos habitantes, con el consecuente incremento en la congestión vial, consumo de combustibles y emisiones de contaminantes locales y de efecto invernadero. De seguir esta tendencia, las emisiones de GEI, únicamente por este sector, pasarían de 170 MtCO₂e en el 2008 a más de 440 MtCO₂e en el 2030 (Sánchez *et al.* 2009).

Las múltiples interdependencias que existen en los proyectos de mitigación del sector transporte, procuran un enfoque integrado para alcanzar una mayor disminución de emisiones de GEI a nivel nacional.

Se debe considerar la aplicación de políticas y medidas dirigidas a los siguientes seis aspectos básicos si se busca incidir sobre las diferentes causas y posibilidades de mitigación en el sector transporte:

- Reforma urbana y planeación integrada de uso de suelo
- Introducción de nuevas tecnologías de vehículos, motores y combustibles
- Optimización del Transporte Público e introducción de sistemas masivos de transporte urbano



- Mantener o Incrementar el Transporte No- Motorizado
- Gestión de la demanda de transporte
- Atender el Incremento del Transporte de Carga

Un apartado que se debe considerar además del transporte es la meteorología y su dinámica. A continuación se presentan tres políticas recomendadas estratégicamente para el mejoramiento de la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Recomendaciones en política pública para el mejoramiento de la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) del PROAIRE 2011-2020.

Políticas relacionadas con la meteorología y dinámica	
Política recomendada	Justificación
1. En la planeación de políticas públicas considerar el perfil temporal en el que se emiten los contaminantes	Los picos altos de contaminación por la mañana son afectados fuertemente por los flujos de ventilación con muy poco mezclado vertical antes de la salida del sol. La reducción de emisiones nocturnas y durante las primeras horas en la mañana tendría un gran impacto en los altos niveles de contaminantes en esas horas.
2. Incluir los flujos de ventilación nocturnos en las evaluaciones de impacto ambiental para el corredor industrial de Tula y el volcán Popocatepetl	Existen vientos estables y ligeros de la región de Tula hacia la ZMVM antes del amanecer y en algunas ocasiones después de la puesta del sol. Estos flujos pueden transportar y elevar las concentraciones de contaminantes en el aire de la ZMVM. Estos eventos de transporte deberían ser considerados tanto desde la perspectiva de calidad del aire como del análisis de riesgos. En contraste, se encontró que el volcán Popocatepetl tiene en general poca influencia en los niveles de la calidad del aire en la ZMVM en superficie. Sin embargo, los eventos en donde la influencia es significativa ocurren durante periodos de altos mezclados verticales de la pluma debido a la altura de la capa de mezclado y la fuerte dilución. Sin embargo, a escala regional, los resultados indican que las emisiones volcánicas sí pueden llegar a tener una influencia importante en la calidad del aire.
3. Desarrollar planes de contingencia con base en los procesos de ventilación de la cuenca	Se ha encontrado que los días con mala calidad del aire en la ZMVM pueden ser el resultado de contaminantes emitidos en un día previo con poca ventilación. Por lo tanto, las acciones de respuesta rápida deberían ser enfocadas a las emisiones nocturnas y de la mañana.



Aunado a esto, se deben realizar estrategias en otros sectores como en la legislación ambiental, industria y educación ambiental. En el Cuadro 5 se detallan las recomendaciones generales. Además, se describen medidas realizadas en México en el programa de PROAIRE 2011-2020 y en otros países (Cuadro 6 y 7).

Cabe destacar la relevancia de contar con una adecuada metodología para realizar estudios epidemiológicos (retrospectivos y prospectivos) y de evaluación de la efectividad de los programas puestos en marcha en la ciudad de México. Al hacer esto se podría tener una idea de qué contaminantes tienen una influencia y el efecto de las medidas implementadas en la salud humana. Como ejemplo en el cuadro 8 se muestran algunos estudios que se han realizado para la ciudad de México.

Como se ha visto anteriormente en este escrito, el problema de la contaminación ambiental es resultado de la interacción de distintos factores (Figura 1). Por lo tanto, una buena metodología debería diseñarse para cuantificar, analizar y conocer la contribución que cada factor tiene en el problema de la contaminación del aire. Para ello es necesario contar con la infraestructura y organización para la recolección de información, almacenamiento en bases de datos y disponibilidad de la misma para su posterior análisis.



Cuadro 5. Recomendaciones y mensajes claves para el mejoramiento de la calidad del aire.

Área de oportunidad	Recomendaciones	Mensaje clave
Gestión Vehicular, renovación de flota, tecnología y combustibles limpios	Combustibles limpios <ul style="list-style-type: none"> ● Eliminación progresiva de los subsidios a los combustibles ● Utilización de combustibles más eficientes y que contaminen menos y generación de una infraestructura para su abastecimiento 	Eliminación de subsidios en gasolina Uso de combustibles más eficientes
	Tecnología innovadora y eficiente <ul style="list-style-type: none"> ● Permitir la entrada de vehículos los cuales su maquinaria y el tipo de combustible que usen hagan que emitan menos contaminantes ● Crear leyes que eviten la entrada de vehículos que no cumplan con determinados estándares de calidad ● Generar incentivos para la renovación de la flota vehicular ● Crear instrumentos e incentivos para la modernización de autobuses urbanos ● Incentivar el uso de convertidores catalíticos 	Incentivar el uso de vehículos nuevos
	Transporte particular <ul style="list-style-type: none"> ● Reducción del uso de automóvil y parque vehicular en zonas metropolitanas ● Incentivar el uso de motocicletas 	Reducción del parque vehicular
	Transporte de carga <ul style="list-style-type: none"> ● Fomentar el uso de transportes que generen menos contaminación (i.e. transporte ferroviario) ● Inversión en infraestructura y comunicación ferroviaria ● Organización entre empresas para el transporte de mercancías ● Creación de sistemas carreteros de comunicación rápidos y con distancias cortas entre ciudades para el transporte de carga 	Reordenamiento de transporte



Cuadro 5 (Continuación). Recomendaciones y mensajes claves para el mejoramiento de la calidad del aire.

Área de oportunidad	Recomendaciones	Mensaje clave
<p style="text-align: center;">Planeación urbana</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Planeación del crecimiento de la zona urbana ● Creación de ciudades compactas en donde las distancias entre diversos sitios sean cortas ● Construcción de redes de comunicación que conecten de manera rápida la ciudad ● Desarrollo de un sistema de transporte público eficaz y seguro para el usuario ● Construcción de infraestructura necesaria para que la gente pueda desplazarse utilizando otros medios alternativos a los motorizados (i.e. caminar o utilizar la bicicleta) ● Creación de áreas verdes, ya que los árboles contribuyen a la absorción y retención de ciertos contaminantes atmosféricos ● Desarrollo de programas de verificación vehicular en ciudades más de 500,000 y zonas metropolitanas 	<p>Creación de programas de planeación urbana</p>
<p style="text-align: center;">Actualización y creación de Normas y Fortalecimiento de sus mecanismos de aplicación</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Actualizar la norma de calidad de combustibles NOM 086 ● Actualizar las normas que establecen los límites permisibles de emisiones en vehículos nuevos (NOM 042 y 044), alineadas a las mejores prácticas internacionales ● Actualizar las normas de salud ambiental relativas a los contaminantes criterio: monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y partículas suspendidas (NOM 021, 022 y 023, respectivamente) ● Desarrollo de normas de salud ambiental relativas a contaminantes de vida corta ● Publicar la norma de concentración de benceno, tolueno, etilbenceno y xileno ● Promover la actualización y adecuación del marco jurídico institucional 	<p>Crear y actualizar normas referentes a contaminantes atmosféricos</p>



Cuadro 5 (Continuación). Recomendaciones y mensajes claves para el mejoramiento de la calidad del aire.

Área de oportunidad	Recomendaciones	Mensaje clave
Información, comunicación y participación	<ul style="list-style-type: none"> • Fortalecer desde el Gobierno Federal los programas de monitoreo atmosférico • Fortalecer la investigación científica aplicada que analice las posibles relaciones entre mala calidad de aire y sus impactos en salud, los ecosistemas y la economía con un enfoque integral (ecosistémico) 	Inversión en investigación, redes de monitoreo atmosférico y programas en contaminación ambiental
Investigación y evaluación	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar investigación epidemiológica para continuar evaluando el impacto de la contaminación y medidas de contingencia en la salud humana • Diseño de metodología de evaluación de impacto de estrategias en cada una de las áreas de oportunidad • Realizar evaluaciones de impacto de las medidas implementadas para identificar la eficacia y posibles alternativas de implementación • Comunicar a la población intentando generar participación proactiva 	

Fuente: Modificación de Hacia Ciudades Saludables y Competitivas



Cuadro 6. Medidas recomendadas en PROAIRE 2011-2020 para la disminución de contaminantes atmosféricos.

	Medida	Recomendación	Mensaje
MONITOREO ATMOSFÉRICO	Evaluación de la red de monitoreo atmosférico Contar con un buen sistema de monitoreo atmosférico que permita la obtención de datos de calidad a nivel temporal y espacial para su posterior análisis	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis, reubicación e instalación de nuevas estaciones de monitoreo 	Analizar la red de monitoreo de contaminantes atmosféricos
	Aumento de la cantidad de contaminantes atmosféricos que se miden	<ul style="list-style-type: none"> • Medición de otros contaminantes atmosféricos relacionados con el cambio climático como carbono negro y precursores de ozono 	Instalar monitores atmosféricos que miden otros contaminantes
PROTECCIÓN A SALUD	Actualización del marco legal federal para la protección de la salud por exposición a contaminación atmosférica y cambio climático	<ul style="list-style-type: none"> • Actualizar la Ley General de salud, reglamento, Normas Oficiales Mexicanas que establecen los criterios de calidad del aire 	Proteger la salud a través de modificación de Marco Normativo
	Construcción de un Sistema de Indicadores de Calidad de Aire	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar los indicadores actuales y construir los necesarios para contar con un sistema que permita medir espacial y temporalmente los contaminantes 	Generación de indicadores
	Actualización del Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer niveles adecuados de activación para contingencias por ozono y PM₁₀ • Revisar los indicadores actuales y construir los necesarios para contar con un sistema que permita medir espacial y temporalmente los contaminantes 	Adecuación de las Contingencias Ambientales Atmosféricas



Cuadro 6 (Continuación). Medidas recomendadas en PROAIRE 2011-2020 para la disminución de contaminantes atmosféricos.

	Medida	Recomendación	Mensaje
CALIDAD Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN TODAS LAS FUENTES	Modernización y homologación de verificación vehicular	<ul style="list-style-type: none"> Modernizar el equipamiento de los centros de verificación vehicular Desarrollo de normas oficiales para evaluación de emisiones de todas las motocicletas Homologar procedimientos y criterios de verificación de vehículos con placas federales y locales 	Adecuación de Verificación de vehículos motorizados
	Fortalecimiento del programa de sustitución de convertidores catalíticos	<ul style="list-style-type: none"> Fortalecer la aplicación del programa para sustitución de convertidores catalíticos Desincentivar el uso de vehículos con carburador 	Fortalecimiento de programa de convertidores catalíticos
	Promover el uso de vehículos híbridos y eléctricos para uso particular, transporte público y de carga	<ul style="list-style-type: none"> Incentivar el uso de vehículos híbridos y eléctricos por medio de facilitar y disminuir costos 	Incentivar el uso de Vehículos Híbridos y Eléctricos
	Actualizar programa de Hoy No Circula con prácticas de gobernanza y considerando un análisis riguroso de evaluación de impacto	<ul style="list-style-type: none"> Actualizar el programa HNC 	Actualización del Programa "Hoy No Circula"
	Actualizar la normatividad para vehículos automotores	<ul style="list-style-type: none"> Publicar la NOM de eficiencia energética para vehículos nuevos 	Actualización de Normatividad para Vehículos Automotores Nuevos
	Renovación de vehículos a diésel con sustitución de motores y adaptación de sistema de control de emisiones	<ul style="list-style-type: none"> Sustitución de motores a diésel con más de 10 años de operación y adaptación de equipos de control de emisiones 	Renovación de vehículos a diésel con sustitución de motores y adaptación de sistema de control de emisiones
	Renovación de flotas vehiculares de transporte de pasajeros de baja, median y alta capacidad	<ul style="list-style-type: none"> Renovar la flota vehicular de transporte 	Renovar flota vehicular
	Promoción del uso de energías y combustibles alternos	<ul style="list-style-type: none"> Promover el uso de energía alterna y en su defecto el uso de combustibles menos contaminantes en vehículos de transporte público de pasajeros y de carga 	Promover uso de energía y combustibles alternos para transporte público y de carga
	Modernización de flota vehicular del servicio de limpia	<ul style="list-style-type: none"> Renovar la flota vehicular del servicio de limpia por vehículos eficientes 	Mejorar vehículos del servicio de limpia



Cuadro 6 (Continuación). Medidas recomendadas en PROAIRE 2011-2020 para la disminución de contaminantes atmosféricos.

	Medida	Recomendación	Mensaje
MOVILIDAD Y REGULACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO	Planeación de redes de transporte como un sistema único metropolitano	<ul style="list-style-type: none"> Establecimiento de rutas exprés, locales y metropolitanas de transporte público Promover la construcción de sistemas de transporte público de alta capacidad y eficiencia 	Ordenamiento del transporte
	Regulación de circulación de vehículos de carga en rutas seleccionadas	<ul style="list-style-type: none"> Concertar conjuntamente con sector transporte de carga un programa que oriente la circulación adecuada de estos vehículos 	Ordenamiento de transporte de carga
	Diseño y aplicación de un programa de transporte de personal a nivel metropolitano	<ul style="list-style-type: none"> Promover transporte de personal 	Transporte de personal
	Promoción del uso de bicicleta como medio de transporte	<ul style="list-style-type: none"> Adecuación de ciclovías, educación y fomento de una cultura ciclista 	Fomento de la Bici-cultura
INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y CONTROL DE EMISIONES	Establecimiento de metas de reducción de emisiones para las industrias	<ul style="list-style-type: none"> Establecer instrumentos de reducción adicional de emisiones con iniciativa privada 	Reducción de emisiones de la Industria
	Fortalecimiento de la supervisión, vigilancia y control para que se cumplan las normas federales, locales en materia ambiental	<ul style="list-style-type: none"> Fortalecimiento de los programas de vigilancia e inspección ambiental 	Vigilancia y control medio ambiental
	Elaboración de normas para control de emisiones de mercurio, dioxinas y furanos	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollo de normatividad para limitar las emisiones de dioxinas, mercurio y furanos 	Normatividad con base en evidencia científica
	Revisión y verificación del funcionamiento de sistemas de recuperación de vapores instalados en las estaciones de servicio	<ul style="list-style-type: none"> Verificar los sistemas de recuperación de vapores en todas las estaciones de servicio 	Estaciones de servicio y sus verificaciones de sistemas de recuperación de vapores
	Reducción de emisiones en corredores industriales, en especial en el corredor Tula-Vito-Apaxco	<ul style="list-style-type: none"> Cambiar a combustibles más limpios e instalar sistemas de control de emisiones en centrales termoeléctricas, refinerías e industrias mayores 	Implementación de tecnología para mejorar la calidad del aire emitido por industrias
	Actualización de las normas de emisión de partículas en la industria y desarrollar las correspondientes para el control de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollar la normatividad para limitar las emisiones de partículas y COV en la Industria 	Normas para COV
	Diseño e implementación de un programa para reducción de fugas de gas LP	<ul style="list-style-type: none"> Diseño e implementación de un programa para reducción de fugas de gas LP 	Reducción de fugas de gas LP



Cuadro 7. Estrategias utilizadas en otros países para la reducción de contaminantes atmosféricos

Autor y año	País	Recomendación	Resultado	Mensaje clave
Zhang <i>et al.</i> , 2010	Beijing, China	<ul style="list-style-type: none"> ● Filtros de azufre en industrias y generadores de energía ● Utilización de gasolina sin plomo ● Cambio del uso de carbón a combustibles menos contaminantes como gas natural ● Reubicación de industrias contaminantes ● Aplicación de medidas estrictas de estándares de calidad automotriz ● Instalación y operación de dispositivos para la prevención y control de contaminación ● Aplicación de programas de circulación vehicular reduciendo la circulación de la mitad de la flota 	<p>Disminución de SO₂ y polvos (25 mil millones de kg a 24 mmk)</p> <p>Reducción de 46.7% SO₂, 42.9 de CO, 57.4 NO₂ y 53.7% de PM₁₀</p>	<p>Utilización de combustibles limpios</p> <p>Control de eficiencia y cantidad de vehículos</p> <p>Ubicación estratégica de fuentes de contaminación</p>
Wachs 1993	Los Ángeles, EUA	<ul style="list-style-type: none"> ● Incremento en el impuesto a la gasolina ● Cobro de impuestos a carro en relación a su eficiencia en la combustión de gasolina ● Cobro por el tránsito vehicular en ciertas horas y sitios ● Densificación de ciudades ● Organización entre ciudadanos para usar un vehículo para trasladar varias personas ● Uso de un vehículo institucional para el transporte de personal 		<p>Implementación estratégica de impuestos</p> <p>Densificación de ciudades</p> <p>Disminución de parque vehicular</p>



Cuadro 7 (Continuación). Estrategias utilizadas en otros países para la reducción de contaminantes atmosféricos

Autor y año	País	Recomendación	Resultado	Mensaje clave
Hedley <i>et al.</i> 2002	Hong Kong	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de gasolina con bajos niveles de sulfuro 	Disminución de SO ₂ (45%) y sulfatos (15-23% durante los dos primeros años después de la intervención)	Utilización de combustibles limpios
Mazzi y Dowlatadabi 2007	Inglaterra	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización de automóviles que usen diésel como combustible 	Aumento de concentraciones de PM _{2.5} y NO _x de 12 kilo toneladas (kt) y 93 kt Disminución de hidrocarburos (73 kt), CO (204 kt) y CO ₂ (7 Mega toneladas)	Utilización de combustibles más eficientes
Mitchell 2005	Leeds, Inglaterra	<ul style="list-style-type: none"> • Renovación de parque vehicular • Uso de combustibles nuevos • Mayor utilización del transporte público • Reducción de la distancia de traslado 	Reducción de 10.6µg/m ³ a 3.7 µg/m ³ NO ₂	Vehículos con tecnología y que usen combustibles menos contaminantes Densificación de ciudades Uso del transporte público



Cuadro 8. Estudios realizados para evaluar el efecto de estrategias en política pública en la concentración de contaminantes atmosféricos y en la salud humana en la ciudad de México.

Autor y año	Periodo	Métodos	Resultados
<ul style="list-style-type: none"> • Cortéz-Lugo <i>et al.</i> 2003 	<ul style="list-style-type: none"> • 1988-1998 	<p>Se midieron las concentraciones de plomo atmosférico en nueve estaciones de la ciudad de México para evaluar el efecto de medidas tomadas en los siguientes años:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1986: clausura de la refinería de Atzacapotzalco y la disminución del tetraetilo de plomo en la gasolina “Extra” • 1987: inicio programa “Hoy no circula” de manera voluntaria • 1989: establecimiento del programa “Hoy no circula” de manera obligatoria • 1991: introducción de gasolina sin plomo “Magna sin” y convertidores catalíticos en automóviles nuevos • 1991-1996: descenso en la cantidad de Tetraetilo de Plomo (TEP) en gasolina • 1997: eliminación de TEP en gasolina 	<ul style="list-style-type: none"> • A partir de 1993 no hubo excesos de concentración de plomo basado en la NOM-026-SSA1-1993 • Disminución promedio estimada de 89% de plomo en aire al final del periodo de estudio



Cuadro 8 (Continuación). Estudios realizados para evaluar el efecto de estrategias en política pública en la concentración de contaminantes atmosféricos y en la salud humana en la Ciudad de México.

Autor y año	Periodo	Métodos	Resultados
<ul style="list-style-type: none"> Lascaña-Navarro <i>et al.</i>, 1999 	<ul style="list-style-type: none"> 1988-1997 	<p>Medición en monitores atmosféricos de partículas suspendidas totales (PST), PM₁₀, SO₂, NO₂, CO y O₃ para observar el efecto de medidas para reducir la contaminación ambiental en los siguientes años:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1986: sustitución del combustóleo por gas natural y se reducción del contenido de tetraetilo de plomo en las gasolinas 1990: puesta en marcha el programa de verificación vehicular, introducción de gasolinas oxigenadas, inicio del programa "Hoy no Circula" e inició el Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica, con el cual se introducen convertidores catalíticos a vehículos y se mejoran los sistemas de combustión en la industria y servicios 1991: uso de combustibles con concentraciones menores a 2% de azufre 	<p>Disminución de todos los contaminantes muestreados; sin embargo, el NO₂ y O₃ siguen siendo un problema de contaminación debido al aumento del parque vehicular.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Martínez 2005 	<ul style="list-style-type: none"> 2005 	<p>Mediciones personales de CO, PM_{2.5} y benceno en la línea del metrobus, autobuses y microbuses que circulan en la avenida Insurgentes</p>	<p>Reducción de la mediana de exposición personal de CO, PM_{2.5} y benceno en 53%, 35% y 59% en microbuses y en un 34%, 23% y 53% en autobuses comparado con la exposición en el metrobus</p>



Cuadro 8 (Continuación). Estudios realizados para evaluar el efecto de estrategias en política pública en la concentración de contaminantes atmosféricos y en la salud humana en la Ciudad de México.

Autor y año	Periodo	Métodos	Resultados
<ul style="list-style-type: none"> Romieu <i>et al.</i> 1996 	<ul style="list-style-type: none"> 1993-1995 	Medición de PM ₁₀ y O ₃ y relación con síntomas respiratorios (i.e. tos, producción de flemas, sibilancias y dificultad al respirar) en 71 niños entre 5 y 7 años de edad en el norte de la ciudad de México	Síntomas respiratorios y enfermedades respiratorias bajas estuvieron asociadas con incrementos en concentraciones de PM ₁₀ y O ₃
<ul style="list-style-type: none"> Loomis <i>et al.</i> 1999 	<ul style="list-style-type: none"> 1993-1995 	Se tomaron mediciones de PM ₁₀ , NO ₂ y O ₃ y se observaron las muertes en niños	El aumento en concentración de PM ₁₀ en el aire estuvo asociado con un incremento en muertes infantiles. Se observó el mismo patrón con los contaminantes NO ₂ y O ₃ pero no tan consistentes como en el caso de PM ₁₀
<ul style="list-style-type: none"> Cifuentes <i>et al.</i> 2001 	<ul style="list-style-type: none"> 2000-2020 	Se utilizaron coeficientes de concentración-respuesta obtenidos a partir de una revisión bibliográfica de estudios realizados para conocer el efecto de la reducción de GEI entre el año 2000 y 2020	Si se toman medidas se pueden evitar aproximadamente 1,300,000 muertes, padecimientos, admisiones hospitalarias, visitas médicas y a emergencias en enfermedades respiratorias y cardiovasculares



Como se ha visto anteriormente en este escrito, el problema de la contaminación ambiental es resultado de la interacción de distintos factores (Figura 1 y 2). Por lo tanto, una buena metodología debería diseñarse para cuantificar, analizar y conocer la contribución que cada factor tiene en el problema de la contaminación del aire. Para ello es necesario contar con la infraestructura (recursos técnicos y humanos), capacitación y organización para la recolección de información, almacenamiento en bases de datos y disponibilidad de la misma para su posterior análisis.

Figura 1. Factores ecológicos, biológicos y sociales que afectan la salud humana.

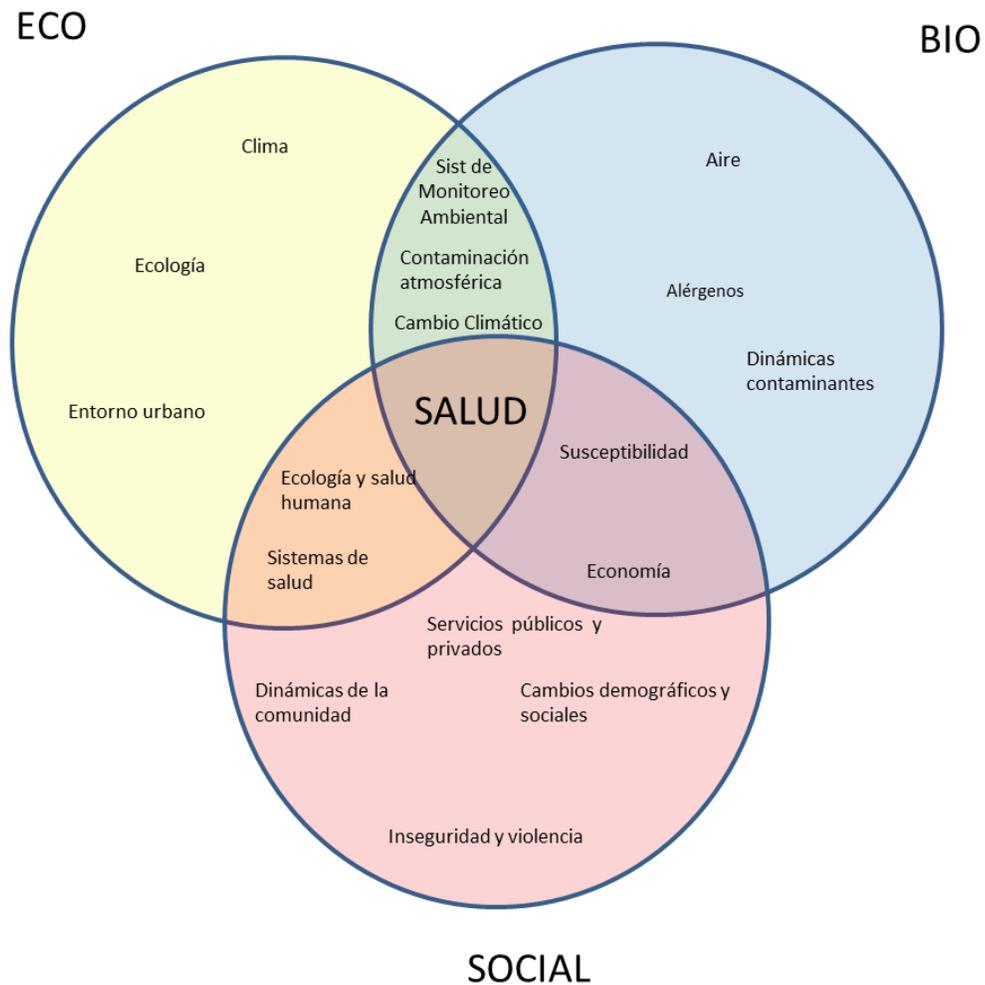
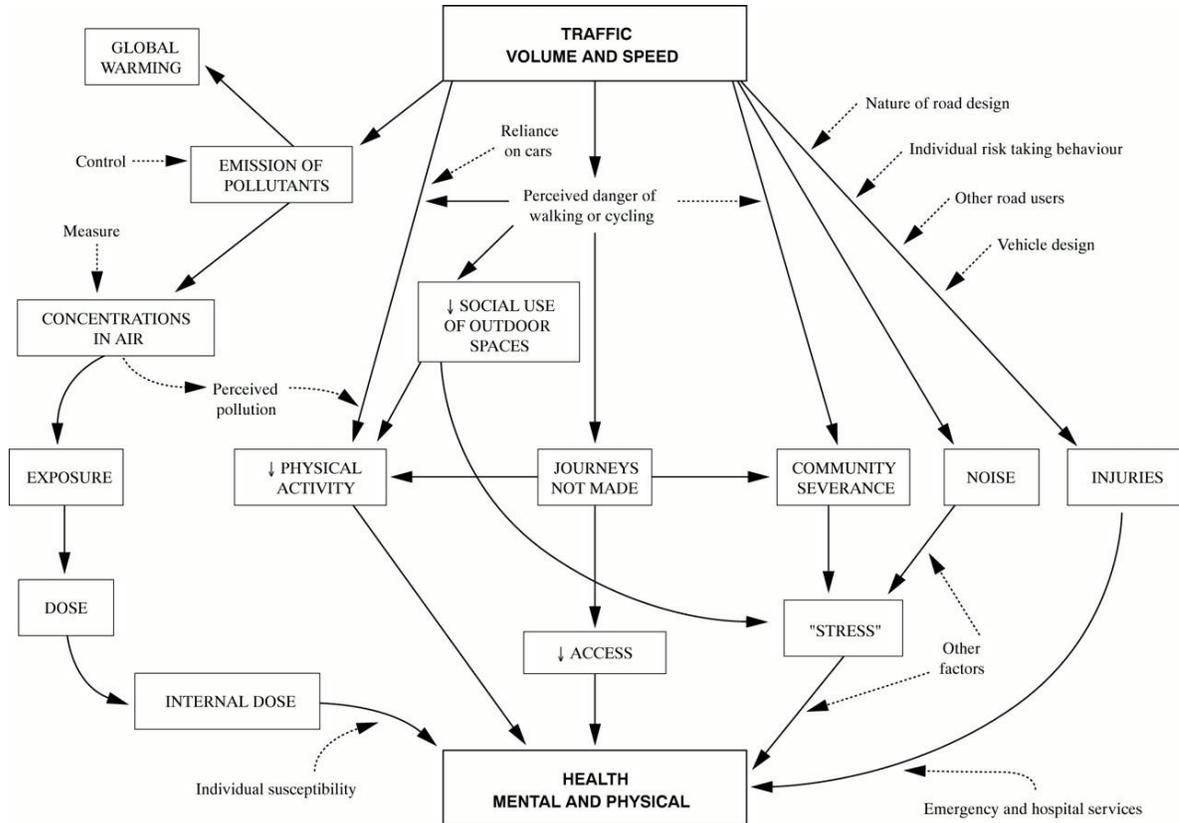




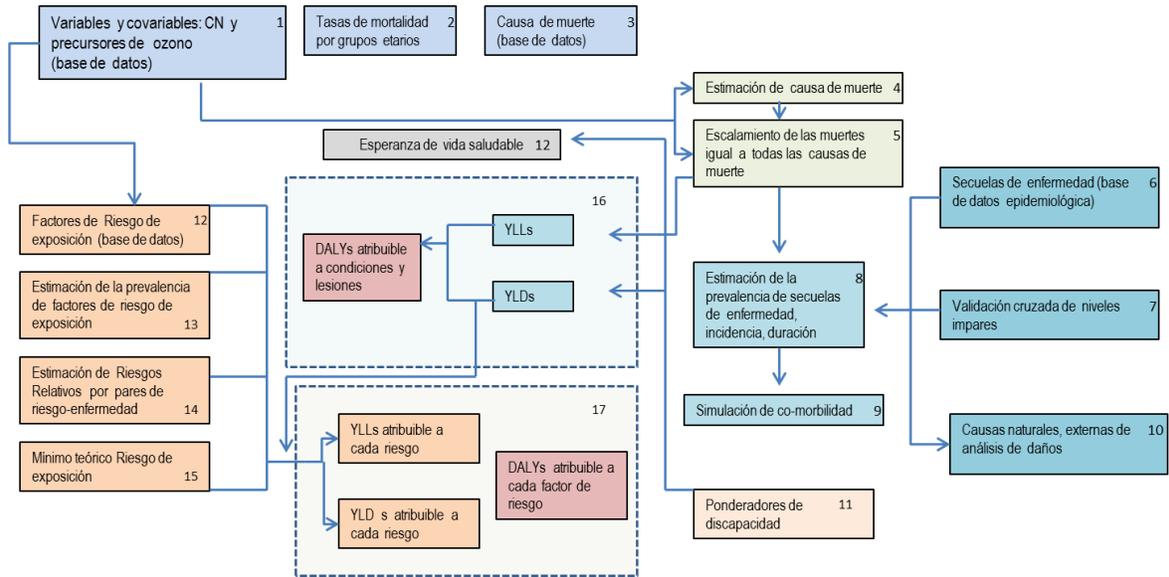
Figura 2. Potencial diseño de análisis de factores que intervienen en la salud mental y física



- Fuente: Joffe, M et al. J Epidemiol Community Health 2002;56:132-138
- Además de las políticas públicas, es de importancia contar con una metodología para realizar estudios epidemiológicos (retrospectivos y prospectivos) y de evaluación de la efectividad de los programas puestos en marcha (Figura 3, 4 y 5). Al hacer esto se podría tener una idea de qué contaminantes tienen una influencia y el efecto de las medidas implementadas en la salud humana. Como ejemplo en el cuadro 6 se muestran algunos estudios que se han realizado para la ciudad de México.



Figura 3. Posibles interrelaciones para calcular carga de enfermedad en la Cd de México debida a contaminación atmosférica y cambio climático



Fuente: Modificación de Institute for Health Metrics and Evaluation. 2014.

Figura 4. Diseño de estudio retrospectivo para evaluar la asociación entre carbono negro (CN) y variabilidad de la frecuencia cardiaca (HRV).

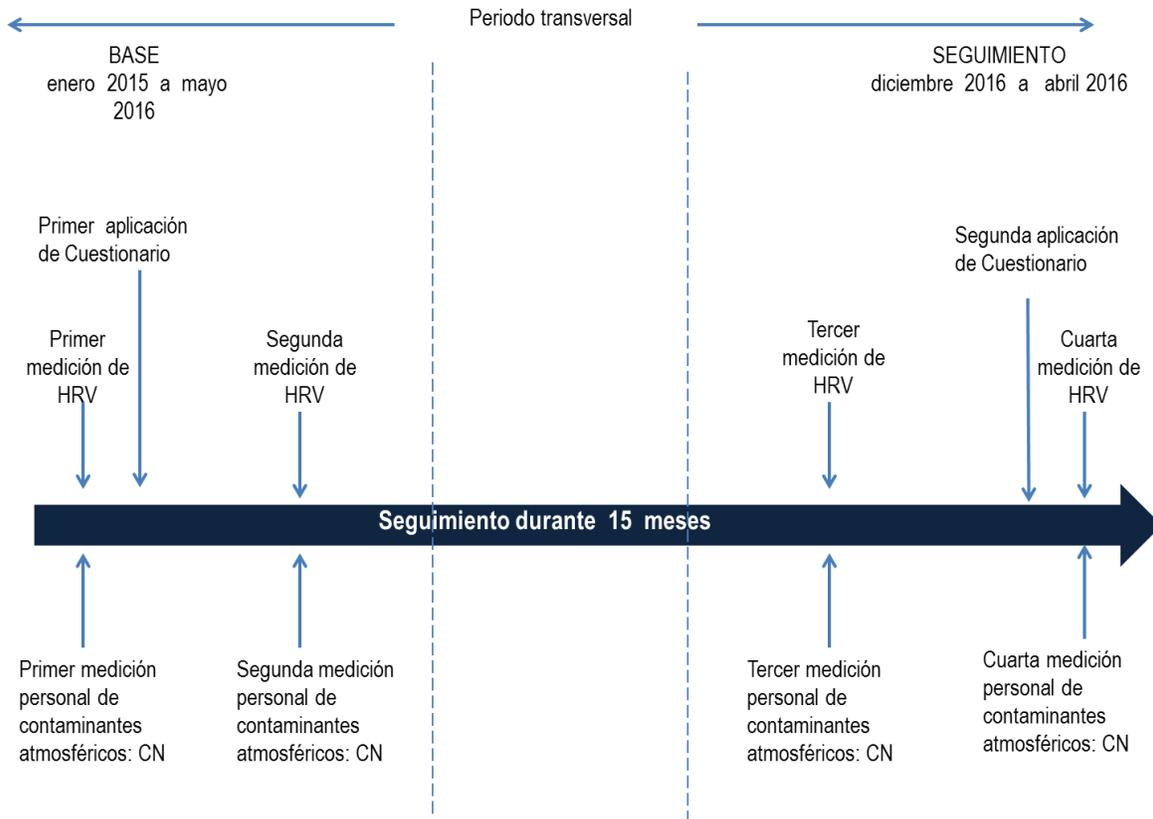
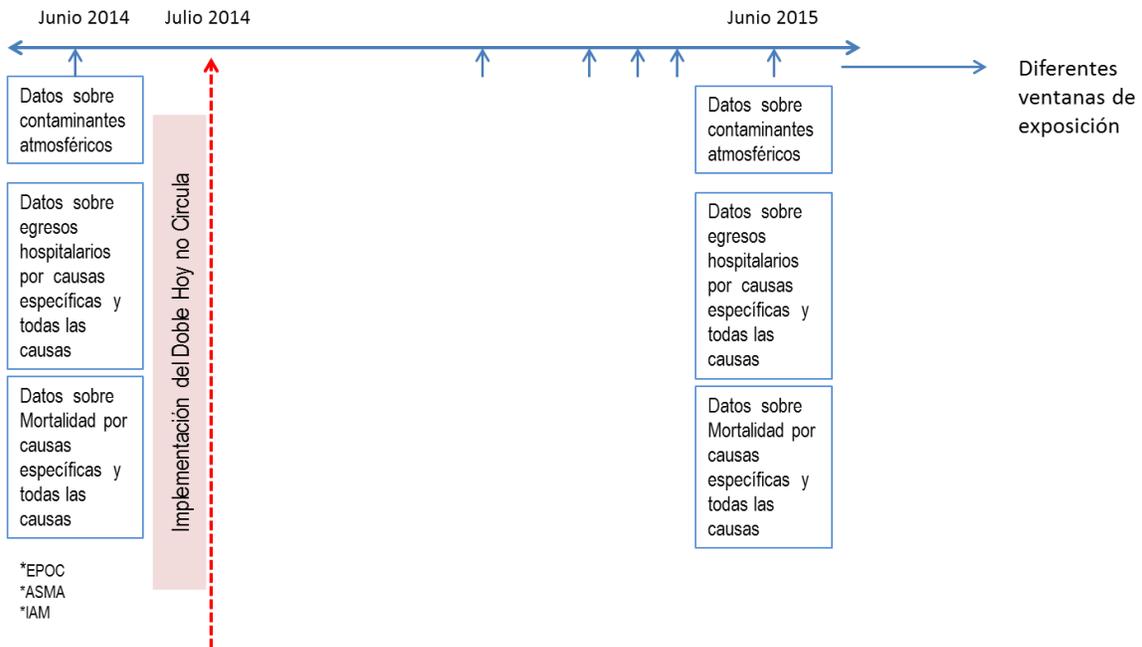




Figura 5. Diseño de un estudio retrospectivo para evaluar el impacto del HOY NO CIRCULA en la Ciudad de México.



NOTA: Modelo asumiendo el supuesto que el resto de variables y covariables que intervienen en el proceso de morbi-mortalidad se mantienen constantes



III. Creación de un curso de capacitación sobre contaminación del aire y salud, globalización y cambio climático.

Se realizaron presentaciones de Power Point y se organizaron los temas de la siguiente manera:

a) Conceptos básicos:

- Salud
- Ambiente
- Salud Ambiental
- Salud ambiental y ecosistemas
- Efectos en Salud
- Adaptación humana

b) Evaluación de Riesgos:

- Metodología
- Manejo de Riesgos

c) Deterioro ambiental, global y salud pública

d) Causas del cambio climático- Gases de Efecto Invernadero

e) Variabilidad y cambio climático

f) Escenarios de cambio climático

g) Impactos en salud ante variabilidad y el cambio climático

h) Contaminación atmosférica, cambio climático y salud

- Contaminantes y sus fuentes
- Impacto en salud de la contaminación atmosférica
- Contaminación fotoquímica e incremento de temperatura
- Aereoalergenos y salud respiratoria
- Impacto en salud pública
- Factores modificadores del impacto de las variaciones del clima y la contaminación atmosférica
- Estacionalidad e influencia de las condiciones meteorológicas en la emisión, transporte y formación de los contaminantes atmosféricos



- Vulnerabilidad
 - Principales medidas adaptativas
 - Repercusiones de las medidas de adaptación
 - Incertidumbres
 - Necesidades de InvestigaciónSe realizaron presentaciones de Power Point y se organizaron los temas de la siguiente manera:
- **a) Conceptos básicos:**
 - Salud
 - Ambiente
 - Salud Ambiental
 - Salud ambiental y ecosistemas
 - Efectos en Salud
 - Adaptación humana
 - **b) Evaluación de Riesgos:**
 - Metodología
 - Manejo de Riesgos
 - **c) Deterioro ambiental, global y salud pública**
 - **d) Causas del cambio climático- Gases de Efecto Invernadero**
 - **e) Variabilidad y cambio climático**
 - **f) Escenarios de cambio climático**
 - **g) Impactos en salud ante variabilidad y el cambio climático**
 - **h) Contaminación atmosférica, cambio climático y salud**
 - Contaminantes y sus fuentes
 - Impacto en salud de la contaminación atmosférica
 - Contaminación fotoquímica e incremento de temperatura
 - Aereoalergenos y salud respiratoria
 - Impacto en salud pública
 - Factores modificadores del impacto de las variaciones del clima y la



contaminación atmosférica

- Estacionalidad e influencia de las condiciones meteorológicas en la emisión, transporte y formación de los contaminantes atmosféricos
- Vulnerabilidad
- Principales medidas adaptativas
- Repercusiones de las medidas de adaptación
- Incertidumbres
- Necesidades de Investigación

Conclusiones

I. Identificación de las brechas en evidencia científica

Las recomendaciones basadas en el anterior análisis son las siguientes:

Datos y monitoreo

- Analizar la distribución y representatividad de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire del Sistema de Monitoreo Atmosférico en el contexto de los cambios del entorno urbano y de la dinámica atmosférica, para evaluar el cumplimiento de los objetivos del monitoreo de la calidad del aire, así como sus condiciones operativas (PROAIRE).
- Reforzar la infraestructura del Sistema de Monitoreo Atmosférico para realizar el monitoreo de los contaminantes que aún exceden las normas de calidad del aire y sus precursores, incorporar el monitoreo rutinario de aquellos contaminantes que se encuentran en concentraciones que comprometen la salud de la población y que no están regulados por las normas oficiales, y generar información para la evaluación de la formación, dispersión y transporte de la contaminación atmosférica (PROAIRE).

Evidencia de efectos en salud

- Se debe adoptar en la Cd. De México, un conjunto armonizado de estándares de calidad del aire para proteger la salud pública, con objetivos



intermedios que dependan de las circunstancias particulares locales (como se sugiere en las Guías de Calidad del Aire de la OMS). Lo cual favorecerá la elaboración de reportes, análisis, y evaluaciones comparativas.

- Es necesario adoptar un estándar de $PM_{2.5}$ para valoraciones de salud y cambio climático, preferiblemente dentro del marco anteriormente sugerido. Se debería facilitar financiación para expandir el monitoreo de este contaminante. Esto es primordial desde una perspectiva de salud, y también para facilitar información representativa de las potenciales reducciones de carbón negro, el cual contribuye al cambio climático.
- Se advierte la escasez de monitoreo de Carbón Negro (CN), importante por una parte desde el punto de vista de la salud y que además contribuye al cambio climático. Se debería facilitar financiación para expandir el monitoreo de este contaminante.
- Para evaluaciones futuras y monitoreo de las concentraciones regionales de la contaminación del aire, así como para evaluaciones robustas en contraste con estándares nacionales de calidad del aire, es vital que en la Cd. de México donde no se realice óptimamente un monitoreo se deben mejorar sus prácticas, así como su evaluación. Algunas actividades en el fortalecimiento de las capacidades en esta área son:

Capacitación y asistencia técnica.

- Mayor revisión exhaustiva de las prácticas y recomendaciones de monitoreo.
- Provisión de financiamiento para asegurar un monitoreo robusto en ubicaciones estratégicas, en el presente y en el futuro.
- Unificación en la medición para asegurar consistencia en los periodos de muestreo, métodos de cálculo y técnicas de muestreo comparables.
- Identificación de mecanismos alternativos de financiación para brindar soporte a la implementación y operación de redes de monitoreo de la calidad del aire, que incluyan análisis de buenas prácticas y casos exitosos.
- Es necesario mejorar el acceso a la información y aumentar la visibilidad de los



datos que está recogiendo.

- Resaltar y propagar buenas prácticas y alentar el desarrollo de capacidades en actividades asociadas con un buen monitoreo de la calidad del aire, como el manejo eficiente de los datos, la diseminación efectiva de los datos de calidad del aire, la divulgación exitosa de la información al público y la implementación de índices de calidad del aire, para comunicar fácilmente los niveles de contaminación en tiempo real al público y a las poblaciones sensibles.

Propuesta de Investigación desde perspectiva epidemiológica

- Continuar con investigación ajustando por aspectos, sociales, demográficos y concentrados en grupos vulnerables.
- Es evidente la carencia de estudios que identifiquen la susceptibilidad genética a diversos contaminantes.
- Los estudios epidemiológicos requieren de información precisa sobre la exposición del sujeto.
- Sabemos que con la medición de la emisión inexacta, la asociación con el contaminante será discreta o nula, y se puede transferir a contaminantes con menos error en la exposición.
- ¿Se puede demostrar subestimación y transferencia mediante la comparación de los estudios con una buena exposición a emisiones locales (CN) vs los que no tienen?
- La mayoría de los estudios epidemiológicos utilizan lecturas de un monitor central como un *proxy* para las personas que están actualmente expuestas a:

CN puede variar de 0.1 a $1.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ a través de una ciudad, pero la lectura de un monitor central implica que cada uno está expuesto a una sola concentración.

Entonces para las emisiones con una gran variabilidad (local) tal como las exposiciones a CN/CE sus efectos en salud pueden verse subestimados.



Importancia de información adecuada sobre la exposición

- ¿Qué sucede con la buena y la mala información sobre la exposición?
Suh y Zanobetti (2010) “*Exposure error masks the relationship between traffic-related air pollution and heart rate variability*”.
- Utilizar los datos de una estación de monitoreo central, no establece ninguna asociación entre 5 mediciones de VFC y 4 diferentes contaminantes, incluyendo CN.
- Utilizando monitoreo personal, se encuentran asociaciones estadísticamente significativas entre el CN y 5 mediciones de VFC, la estimación del incremento de riesgo entre 3-45 veces, pero no se encuentra asociación entre otras especies de $PM_{2.5}$, incluyendo sulfato y $PM_{2.5}$
- Dada la evidencia de que el estrés oxidativo puede estar vinculado mecánicamente a la fisiopatología cardíaca, se debe considerar que los estudios de revisión que encuentran que la exposición a las emisiones vehiculares en general, y para las emisiones de diesel en concreto, están vinculados a estrés oxidativo.
- Específicamente para CN, identificación de fuentes de emisión.
- Identificación de modelos de dispersión de CN y sus aproximaciones con $PM_{2.5}$ para la Cd. de México.

II. Revisión bibliográfica sobre políticas públicas para la disminución de contaminantes atmosféricos.

III. De acuerdo a la revisión de estudios y estrategias en México y en otros países, se encontraron documentos en donde el principal problema de contaminación del aire se atribuía al uso de transporte motorizado. Algunos estudios evidenciaron y se mejoraron en la calidad del aire al aplicar medidas a este sector.

IV. Del PROAIRE 2011-2020, que cuenta con 81 medidas, 116 acciones, divididas en ocho estrategias; identificamos cinco estrategias importantes



para emitir recomendaciones relacionadas con contaminación atmosférica, efectos en salud y posible mitigación de impacto climático. El enlace entre la contaminación de aire, los efectos en salud y el cambio climático puede abordarse a través de estrategias encaminadas a disminuir los contaminantes de vida corta, para lo cual es necesario contar con una medición de los contaminantes de vida corta (principalmente carbono negro), identificar las fuentes, estimar bajo diferentes escenarios, con la finalidad de analizar las medidas de mitigación posibles.

- V. Se necesita diseñar un plan de investigación multisectorial, con el objetivo conocer el efecto de la contaminación del aire sobre la salud humana y evaluar las estrategias realizadas.
- VI. Es necesario, contar con una red de colecta de información y almacenamiento de bases de datos de calidad en el sector salud y en el sector ambiente para uso de los investigadores.
- VII. Sabemos que el sector transporte emite en la actualidad casi la quinta parte de las emisiones de GEI en México. En los próximos veinte años, este aporte podría crecer significativamente como resultado de la acelerada tasa de motorización del país, del deterioro de los sistemas de transporte público, y la expansión territorial de las ciudades y zonas metropolitanas del país. Es importante entonces centrar la atención en el desarrollo de políticas y estrategias enfocadas al transporte.
- VIII. El marco institucional y de políticas del país es insuficiente para enfrentar de manera eficaz los crecientes retos en materia de transporte urbano, uso del suelo, crecimiento de las emisiones de GEI y contaminantes locales, y las múltiples consecuencias económicas y sociales relacionadas.
- IX. En el país no existe una política nacional de transporte y desarrollo urbano y falta por incorporar la variable de cambio climático y contaminación del aire como elementos centrales de las políticas, programas y proyectos.
- X. Prevalecen visiones limitadas y capacidades insuficientes para el diseño, implementación, seguimiento y evaluación de políticas, programas y proyectos.





REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson GB, Krall JR, Peng RD, Bell ML. Is the relation between ozone and mortality confounded by chemical components of particulate matter? Analysis of 7 components in 57 US communities. *American Journal of Epidemiology*. 2012; 176:726-732.
- Barraza-Villarreal A, Escamilla-Nuñez MC, Texcalac-Sangrador JL, Sienra-Monge JL, del Río-Navarro B, Cortez-Lugo M, Sly PD and Romieu I. Elemental carbon exposure and lung function in schoolchildren from Mexico City. *European respiratory Journal* 2011; 38(3): 548-552.
- Basu R, Samet JM. Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiological evidence. *Epidemiologic Reviews* 2002; 24:190-202.
- Bell M, O'Neill M, Ranjit N, Borja-Aburto V, Cifuentes N, Gouveia N. "Vulnerability to Heat-Related Mortality in Latin America: A Case-Crossover Study in Sao Paulo, Brazil, Santiago, Chile, and Mexico City, Mexico." *International Journal of Epidemiology* 2008; 37(4): 796-804
- Borja-Aburto VH, Loomis DP, Bangdiwala S, Shy CM, Rascon-Pacheco RA. Ozone, suspended particulates, and daily mortality in Mexico City. *American Journal of Epidemiology* 1997; 145: 258–268.
- Buckley J, Samet JM y Rishardson DB. Does Air Pollution Confound Studies of Temperature. *Epidemiology* 2014; 25(2). Disponible en: [www. Epidem.com](http://www.Epidem.com)
- Calderón-Garcidueñas L, Kavanaugh M, Block M, D'Angiulli A, Delgado-Chávez R, Torres-Jardón R, González-Maciel A, Reynoso-Robles R, Osnaya N, Villarreal-Calderon R, Guo R, Hua Z, Zhu H, Perry G, Diaz P. Neuroinflammation, Alzheimer's disease-associated pathology and down regulation of the prion-related protein in air pollution exposed children and young adults. *Journal of Alzheimer's Disease*. 2012; 28, 93–107.
- Calderón-Garcidueñas L, Engle R, Mora-Tiscareño A, Styner M, Gómez-Garza G, Zhu H, Jewells V, Torres-Jardón R, Romero L, Monroy-Acosta ME, Bryant C, González-González LO, MedinaCortina H, D'Angiulli A. Exposure to severe urban air pollution influences cognitive outcomes, brain volume and systemic inflammation in clinically healthy children. *Brain and Cognition*. 2011; 77, 345–355.
- Calderón-Garcidueñas L, Mora-Tiscareno A, Ontiveros E, Gomez-Garza G, Barragan-Mejia G, Broadway J, et al. Air pollution, cognitive deficits and brain abnormalities: a pilot study with children and dogs. *Brain and Cognition* 2008; 68(2):117–127.
- Calderón-Garcidueñas L, Azzarelli B, Acuña-Ayala H, Garcia R, Gambling TM, Osnaya N, Monroy S, Tizapantzi MR, Carson JL, Villarreal-Calderon A, Rewcastle B. Air pollution and brain damage. *Toxicologic Pathology* 2002; 30, 373–389.
- Carbajal-Arroyo L, Miranda-Soberanis V, Medina-Ramón M, Rojas-Bracho L, Tzintzun G, Solís-Gutiérrez P, Méndez-Ramírez I, Hurtado-Díaz M, Schwartz J, Romieu I. Effect of PM(10) and O(3) on infant mortality among residents in the Mexico City Metropolitan Area: a case-crossover analysis, 1997-2005. *Jornal of Epidemiology Community Health*. 2011; 65(8):715-21.
- Cifuentes L, Borja-Aburto VH, Gouveia N, Thurston G, Davis DL. Assessing the health benefits of urban air pollution reduction associated with climate change mitigation (2000-2020): Santiago, São Paulo, México city, and New York city. *Environmental Health Perspectives* 2001; 109 (3): 419-425.



- Cortez-Lugo, M, Téllez-Rojo MM, Gómez-Dantés H, Hernández-Avila M. Tendencia de los niveles de plomo en la atmósfera de la zona metropolitana de la Ciudad de México. 1988-1998. *Salud Pública de México* 2003; 45 (2):196-202.
- Dennekamp M, Carey M. Air quality and chronic disease: why action on climate change is also good for health. *NSW Public Health Bulletin* 2010; 21(6):115-121. <http://www.publish.csiro.au/paper/NB10026.htm>
- Escamilla-Núñez MC, Barraza-Villarreal A, Hernandez-Cadena L, Moreno-Macias H, Ramirez- Aguilar M, Sienna-Monge JJ, Cortez-Lugo M, Texcalac JL, Del Rio-Navarro B and Romieu I. Traffic-related air pollution and respiratory symptoms among asthmatic children, resident in Mexico City: the EVA cohort study . *Respiratory Research* 2008; 9:74.
- Estrada Porrúa F y Martínez-López B. Economía del Cambio Climático en México. D.R. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Ciudad Universitaria, 04510, México D.F. 2010
- Grahame T. Determining Which PM_{2.5} Species are Harmful: Can Differences in Study Methodologies Explain Differential Findings?. SBA Environmental Roundtable September, 16, 2011.
- Hacia Ciudades Saludables y Competitivas: moviéndose por un aire limpio. Secretaría técnica: Fabrizio Brodzia y Nadjeli Babinet, edición y Revisión: Grupo convocante, Diseño Editorial: Agustín Martínez Monterrubio pp.44.
- Hedley, AJ, Wong CM, Thach TQ, Ma S, Lam TH, Anderson HR. Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: a n intervention study. *The Lancet* 2002; 360: 1646-1652.
- Holguin F, Tellez-Rojo MM, Hernandez M, Cortez M, Chow JC ,Watson JG, Mannino D, and Romieu I. Air pollution and heart rate variability among the elderly in Mexico City. *Epidemiology* 2003; 14(5):521–527.
- Informe Final 2012 del Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008-2012. Pág. 15. Consultado en: http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/biblioteca/flippingbooks/programa_accion_climatica2008_2010/
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Contaminantes criterio. Última actualización: Julio 2013. Consultado en: <http://www.inecc.gob.mx/calaires-indicadores/523-calaires-cont-criterio>. 2013; Fecha de consulta: 7 de noviembre de 2014.
- Institute for Health Metrics and Evaluation. En <http://vizhub.healthdata.org/gbd-cause-patterns/>. 2014; Fecha de consulta: 13 de noviembre de 2014.
- Joffe M, Mindell J. A framework for the evidence base to support Health Impact Assessment. *Journal of Epidemiology and Community Health* 2002; 56:132-138.
- Lascaña-Navarro M, Aguilar-Garduño C, Romieu I. Evolución de la contaminación del aire e impacto de los programas de control en tres megaciudades de América Latina. *Salud Pública de México* 1999; 41 (3): 203-215.
- Lauer FT, Mitchell LA, Bedrick, E, McDonald JD, Lee WY, Li, W W, Olvera H, Amaya, MA, Berwick M, Gonzales M, Currey R, Pingitore Jr, NE and Burchiel SW. Temporal-Spatial Analysis of USMexico Border Environmental Fine and Coarse PM Air Sample Extract Activity in Human Bronchial Epithelial Cells. *Toxicology and Applied Pharmacology* 2009; 238: 1–10.
- Loomis D, Castillejos M, Gold DR, McDonnell W, Borja-Aburto VH. Air pollution and infant mortality in Mexico City. *Epidemiology* 1999; 10 (2): 118-123.
- Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC). 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment



- Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York, USA: Cambridge University Press. Pp 1522.
- Martínez G. Evaluación de los beneficios en la exposición personal de pasajeros por la instrumentación de cambios en el transporte público. Instituto Nacional de Ecología, Centro Interdisciplinario de Biodiversidad y Medio Ambiente. 2005.
- Mazzi EA, Dowlatabadi H. Air quality impacts of climate mitigation: UK policy and passenger vehicle choice. *Environmental Science Technology* 2007; 41: 387-392.
- McMichael AJ, Wilkinson P, Kovats RS, Pattenden S, Hajat S, Armstrong B, Nitaya Vajanapoom N, Niciu EM, Mahomed H, Kingkeow C, Kosnik M, O'Neill MS, Romieu, Ramirez-Aguilar M, Barreto ML, Gouveia N and Nikiforov B. International study of temperature, heat and urban mortality: the 'ISOTHURM' project. *International Journal of Epidemiology* 2008; 37:1121–1131.
- Mejía A, Vázquez O, Malvido G, Gutierrez B, López FJ. Informe Final 2012 del Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008-2012. Pág. 15. Consultado en: <http://www.serresponsable.com/2012/08/28/informe-final-programa-de-accion-climatica-ciudad-de-mexico-2012/>. 2012; Fecha de consulta: 13 de noviembre de 2014.
- Mitchell G. Forecasting environmental equity: air quality responses to rad use charging in Leeds, UK. *Journal of Environmental Management* 2005; 77: 212-226.
- O'Neill, MS, Osornio-Vargas, AR, Buxton, MA, Sanchez, BN, Rojas-Bracho, L, Castillo-Castrejon, M, Mordhukovich, I, Brown, DG, Vadillo-Ortega, F. Air pollution, inflammation and preterm birth in Mexico City: Study design and methods *Science of the Total Environment* 2013.
- O'Neill MS, Bell, M, Ranjit N, Cifuentes L, Loomis D, Gouveia N, Borja-Aburto V. Air Pollution and Mortality in Latin America: The Role of Education. *Epidemiology* 2008: 810-819.
- O'Neill MS, Veves A, Zanobetti A, Sarnat JA, Gold DR, Economides PA, et al. Diabetes enhances vulnerability to particulate air pollution-associated impairment in vascular reactivity and endothelial function. *Circulation* 2005; 111(22):2913–2920.
- O'Neill, MS, Loomis D, Borja-Aburto VH. Ozone, area social conditions, and mortality in Mexico City. *Environmental Research* 2004; 234-242.
- O'Neill MS, Zanobetti A, Schwartz J. Modifiers of the temperature and mortality association in seven U.S. cities. *American Journal of Epidemiology* 2003; 157(12), 1074-1082.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OCDE). OECD Environmental Outlook to 2050. The consequences of inaction. 2012. Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264122246-en> Organisation for Economic Co-operation and Development (OCDE). OECD Environmental Outlook to 2050. The consequences of inaction. OECD. 2012; Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264122246-en>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Resumen de evaluación de riesgos Organización mundial de la salud 2006 (Publicada en inglés por la oficina regional de Europa de la OMS: WHO Regional Publications, European Series No. 91).
- PNUMA. 2011. *Near-term Climate Protection and Clean Air Benefits: Actions for Controlling Short-Lived Climate Forcers*. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme (UNEP).
- PNUMA/OMM. 2011. *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone: Summary for Decision Makers*. UNON/Publishing Services Section/Nairobi, ISO 14001:2004.



PROAIRE 2011-2020. Consultado en:

http://www.sma.df.gob.mx/proaire2011_2020/index.php?opcion=1. Fecha de consulta: 13 de noviembre de 2014.

Presidencia. Comisión Ambiental de la Megalópolis. Consultado en: <http://www.presidencia.gob.mx/comision-ambiental-de-la-megalopolis/>

Ramírez-Aguilar M, Barraza-Villarreal A, Moreno-Macías H, Winer AM, Pablo Cicero-Fernández P, Vélez-Márquez MGD, Cortez-Lugo M, Sienna-Monge JJ, Romieu I. Assessment of personal exposure to ozone in asthmatic children residing in Mexico City. *Salud Pública de México*, 2008;50 (1): 67-75.

Reid CE, Snowden JM, Kontgis C, tager IB. The role of ambient ozone in epidemiologic studies of heat-related mortality. *Environmental Health Perspectives* 2012; 120:1627-1630.

Retama, A Presentación sobre la “Calidad del aire en la Ciudad de México”. Febrero del 2014.

Riojas-Rodríguez H, Holguin F, González-Hermosillo A, Romieu I. Uso de la variabilidad de la frecuencia cardiaca como marcador de los efectos cardiovasculares asociados con la contaminación del aire. *Salud Pública de México* 2006a; 48: 348-357.

Riojas-Rodríguez H, Escamilla-Cejudo JA, González-Hermosillo JA, Téllez-Rojo MM, Vallejo M, Santos-Burgoa C y Rojas-Bracho L. Personal PM2.5 and CO exposures and heart rate variability in subjects with known ischemic heart disease in Mexico City. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 2006b; 16: 131-137.

Romieu I, Meneses F, Ruiz S, Sienna JJ, Huerta J, White MC, Etzel RA. Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico City. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 1996; 154 (2): 300-307.

Romieu I, Gouveia N, Cifuentes LA, de Leon AP, Junger W, Vera J, Strappa V, Hurtado-Díaz M, Miranda-Soberanis V, Rojas-Bracho L, Carbajal-Arroyo L, Tzintzun-Cervantes G; HEI Health Review Committee. Multicity study of air pollution and mortality in Latin America (the ESCALA study). *Research Report (Health Effects Institute)*. 2012;(171):5-86.

Romieu I, Barraza-Villarreal A, Escamilla-Núñez C, Texcalac-Sangrador JL, Hernandez-Cadena L, Díaz-Sánchez D, De Batlle J and Del Rio-Navarro BE. Dietary intake, lung function and airway inflammation in Mexico City school children exposed to air pollutants. *Respiratory Research* 2009;10:122. This article is available from: <http://respiratory-research.com/content/10/1/122>

Sánchez L, Martínez H, Niño G, Macías J, Pereyra JS, López A. Informe final MEDEC. Sector Transporte pp. 249. 2009.

Sánchez-Vargas, Gay C y Estrada-Porrúa. Cambio climático y pobreza en el Distrito federal. *Investigación económica, Facultad de economía* 2011; LXX(278):45-74.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)-Inventario Nacional de Emisiones (INE). Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002, SEMARNAT-INE, México. 2006.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)-Inventario Nacional de Emisiones (INE). Inventario Nacional de Emisiones 1999, México, 2006b.

Shindell et al. 2012. “Simultaneously Mitigating Near-term Climate Change and Improving Human Health and Food Security,” *Science* 335, pg. 183.

Smith K, Bruce N, Balakrishnan K, Adair-Rohani H, Balmes J, Chafe Z et al., Millions Dead: How do we know and what does it mean? *Methods used in comparative risk*

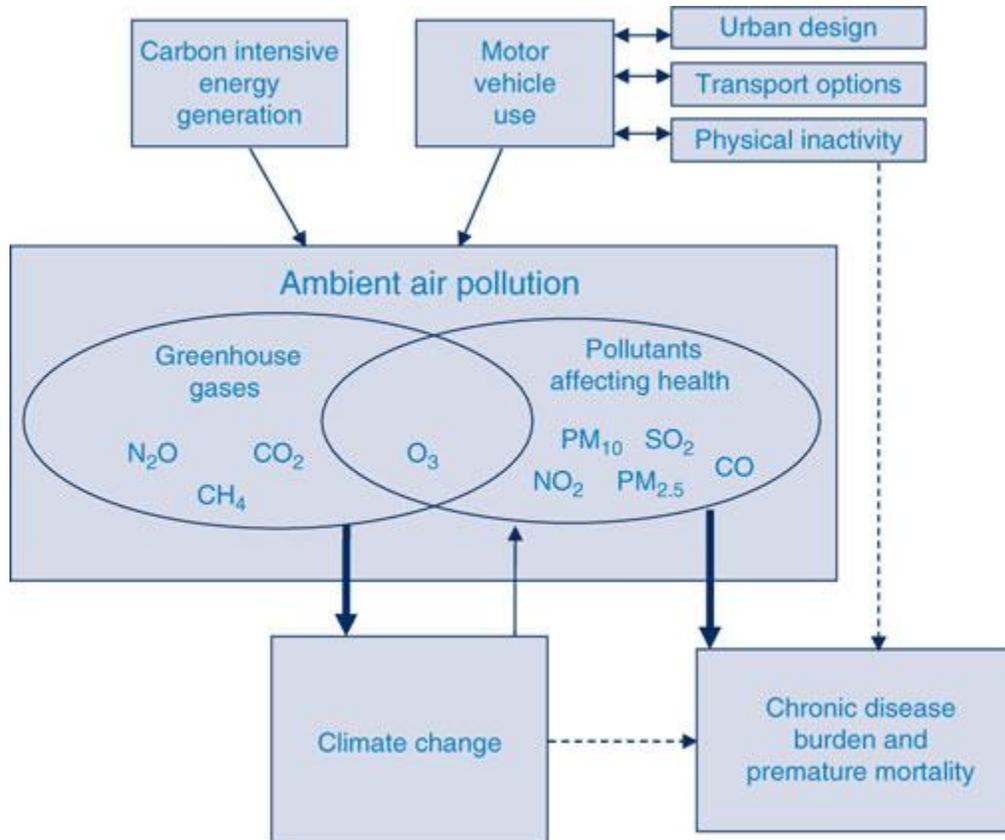


- Assessment of Household air pollution. *Annual Review Public Health* 2014; 35:185-206.
- Wachs M. Learning from Los Angeles: transport, urban form, and air quality. /th Reuben Smeed Memorial Lecture. *Transportation* 1993; 20: 329-354.
- Zanobetti A, Schartz J. Race, gender and social status as modifiers of the effects of PM10 on mortality. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2000; 42:469-474.
- Zanobetti A, Schwartz J, Samoli E, Gryparis A, Touloumi G, Peacock J, Anderson RH, Le Tertre Bobros J, Celko M, Goren A, Forsberg B, Michelozzi P, Rabczenko D, Hoyos SP, Wichmann HE. The temporal pattern of respiratory and heart disease mortality in response to air pollution. *Environ Health Perspect* 2003; 111(9): 1188–1193.
- Zhang J, Mauzerall DL, Zhu T, Liang S, Ezzati M, Remais JV. Environmental health in China: progress towards clean air and safe water. *The Lancet* 2010; 375 (9720): 1110-1119.



ANEXO

Gráfico 1. Representación esquemática de las interconexiones entre el cambio climático, la contaminación atmosférica y las enfermedades crónicas.



Fuente: Dennekamp et al. 2010