Universidad Iberoamericana Puebla

Repositorio Institucional **http://repositorio.iberopuebla.mx**

Ciencias Ambientales y Desarrollo Sustentable Materiales de Investigación

Efectos de reducir el subsidio a los combustibles sobre la calidad del aire y la salud en la zona metropolitana del Valle de México

Ibarrarán Viniegra, María Eugenia

2013

http://hdl.handle.net/20.500.11777/1070

http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf

EFECTOS DE REDUCIR EL SUBSIDIO A LOS COMBUSTIBLES SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE Y LA SALUD EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

María Eugenia Ibarrarán

Especialista en Evaluación de Impactos Económicos

Gerardo Sánchez

Especialista en Salud Ambiental

Victor Hugo Paramo

Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal

Sergio Sánchez

The Clean Air Institute

Juliana Klakamp

The Clean Air Institute

Documento Final

Julio 31 de 2013

EFECTOS DE REDUCIR EL SUBSIDIO A LOS COMBUSTIBLES SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE Y LA SALUD EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO

EDICION:
Clean Air Institute
EE.UU., Washington D.C. ,
Julio 30, 2013

COMITÉ EDITORIAL:
Sergio Sánchez
Director Ejecutivo

Juan Pablo Orjuela
Especialista en Transporte y Cambio Climático

Juliana Klakamp
Especialista en Calidad de Aire y Cambio Climático

Consultores
María Eugenia Ibarrarán
Especialista en Evaluación de Impactos Económicos

Gerardo Sánchez
Especialista en Salud Ambiental

Reconocimientos

Agradecemos la colaboración del Dr. Víctor Hugo Paramo de la Secretaria de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, además de las valiosas contribuciones del equipo de trabajo, incluyendo a Patricia Camacho, Miguel Flores, Francisco Hernández, Saúl Rodríguez y Jorge Sarmiento.

El Clean Air Institute agradece al Fondo del Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés), al Fondo Español para América Latina y el Caribe y al Banco Mundial por su generoso apoyo financiero para la realización de este trabajo así como para las actividades relacionadas con su concepción y preparación.

El Clean Air Institute expresa también su aprecio a las contribuciones de todas aquellas organizaciones e individuos que participan en el Programa de Transporte Sustentable y Calidad del Aire. En particular, quisiéramos dar las gracias a todos aquellos que han aportado información relevante para este documento, tanto en eventos como la Conferencia de Transporte y Calidad del Aire llevada a cabo en Rosario, Argentina como en múltiples oportunidades formales e informales.

Los hallazgos, interpretaciones y conclusiones expresadas en este documento están basados en información recopilada por el Clean Air Institute (CAI) y sus consultores, socios y otros participantes a partir de las fuentes indicadas.

Disponible en línea a través de: http://www.cleanairinstitute.org/cops

Para mayor información:
Info@cleanairinstitute.org
The Clean Air Institute
1100 H Street N.W. Suite 800
Washington D.C. 20005, USA

Contenido

1 Introducción 4

2 Metodología General 8

2.1 Estimación de impactos de la eliminación de subsidios sobre consumo de combustibles a nivel nacional utilizando el Modelo de Equilibrio General 9

2.2 Estimación de escenarios de reducción de consumo de combustibles que resultarían la eliminación de subsidios en la ZMVM a partir de datos a nivel nacional 10

2.3 Estimación de escenarios de emisiones en la ZMVM 11

2.4 Estimación de calidad del aire en la ZMVM usando el Modelo MCCM 12

2.5 Estimación de efectos en salud y valuación económica en la ZMVM 13

3 Resultados 22

3.1 Escenarios de consumo de combustibles 22

3.3 Estimación de Emisiones en la ZMVM 34

3.4 Calidad del aire en la ZMVM 36

3.5 Efectos en la salud de la eliminación de subsidios a la energía en la ZMVM 40

4 Conclusiones y recomendaciones de política pública 44

5 Referencias 48

Anexo 1 Tendencias en calidad del aire e impacto en salud en la ZMVM 55

Anexo 2. El modelo de equilibrio general computable para México 61

Anexo 3. Dominios o coberturas geográficas y su resolución 68

Anexo 4. Datos de base para estimación de coste de enfermedad en la ZMVM 75

1 Introducción

El propósito de este estudio es determinar el beneficio para la ZMVM, desde el punto de vista de emisiones, calidad del aire, salud e impactos económicos relacionados con la eliminación de los subsidios a la energía a nivel nacional. La evaluación de esta propuesta de política pública está enmarcada en tendencias internacionales y nacionales que buscan reducir las emisiones de contaminantes tanto locales como globales y un uso más eficiente de los recursos.

Diversos organismos internacionales como el Fondo Monetario Internacional (FMI), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y el Banco Mundial (BM) han expresado su apoyo e interés a favor de la eliminación paulatina de los subsidios a los combustibles (FMI, 2013; OCDE, 2013; BM, 2010). En este sentido, el FMI recomienda una reforma de los subsidios de los energéticos, debido a que éstos son costosos de financiar para los gobiernos, obstaculizando los esfuerzos para reducir los déficits presupuestarios y compitiendo con otros gastos prioritarios, como la salud y la educación. Además, los subsidios promueven el consumo excesivo de los energéticos, agotando los recursos naturales (FMI, 2013). Asimismo, la OCDE ha recomendado a México un impuesto sobre los combustibles y productos energéticos, que realmente reflejen los costos ambientales asociados a su uso y que promuevan el desarrollo de medidas sustentables (OCDE, 2013). Por lo tanto, la eliminación de los subsidios corregiría la señal de los precios, liberaría recursos adicionales y promovería la inversión en investigación y desarrollo y en tecnología (Centro Mario Molina, 2013).

Con argumentos similares, el gobierno mexicano, a través de la Estrategia Nacional de Energía (SENER, 2013) establece que "el sistema tarifario a los energéticos enfrenta un doble reto; dar las señales adecuadas para la toma de decisiones eficientes en la producción y consumo de bienes y servicios del sector… Por ello, es necesario que el sistema tarifario dé las señales adecuadas respecto al costo real de los energéticos…". En este mismo sentido, la diferencia entre los precios internacionales y los domésticos son absorbidos por el Estado, promoviendo la desigualdad social y aumentando el consumo y el impacto ambiental. Por lo tanto, si los agentes económicos asumen el costo real harán un uso más eficiente, mediante el racionamiento y uso de tecnologías sustentables. Sin embargo, sabiendo el efecto negativo que la eliminación de estos subsidios puede tener en el ingreso de algunos grupos, el gobierno propone subsidios focalizados o neutrales, limitados en tiempo y fondo, que ayuden a las familias menos favorecidas. Además de la Secretaría de Energía, otras instancias como la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la Presidencia de la República y el mismo Presidente Enrique Peña Nieto han hecho declaraciones en el mismo sentido.

Por otra parte, un estudio reciente llevado a cabo por el CAI, denominado "Gestión de la Demanda de Transporte: Oportunidades y Retos en Áreas Urbanas de América Latina", identificó a la política de precios a los combustibles como uno de los instrumentos más

relevantes que inciden en la alta demanda de energía en la región. Una política laxa de precios de combustibles y de la energía propicia, entre otras cosas, un mayor uso de automóviles, vehículos menos eficientes y viajes más largos, promoviendo que la población se desplace a vivir a lugares más lejanos. A su vez, lleva a un aumento en las emisiones contaminantes, y a un deterioro de la calidad de vida y de las condiciones de salud pública en las ciudades. En consecuencia, una política de precios que incluya consideraciones ambientales puede influir positivamente en una racionalización de las distancias viajadas, motores más eficientes y una elección de modos de viaje menos contaminantes, reflejándose en un ahorro de energía y una disminución de emisiones a la atmósfera.

De forma paralela, Ibarrarán, Boyd y Elizondo en 2012 llevaron a cabo bajo la supervisión del Banco Mundial, el estudio "Reducción de los subsidios al consumo de energía y análisis de mecanismos alternativos de compensación: El caso de México"). Dicho estudio analiza el impacto económico, distributivo y ambiental que podría producir en México la reducción de los subsidios a la energía. Asimismo, se estudia el efecto de distintas acciones de compensación que podrían financiarse con los recursos ahorrados por la aplicación de esta política. El estudio concluye que la eliminación de subsidios a los energéticos permitiría un ahorro en el consumo de energía en el país, además de beneficios económicos en el mediano plazo.

En este contexto, las ciudades mexicanas están enfrentando enormes desafíos relacionados con las altas tasas de motorización, el aumento en el uso intensivo del automóvil particular, la expansión de las manchas urbanas, servicios de transporte deficientes y condiciones obsoletas del parque vehicular. Ello se refleja en: a) un aumento en el consumo de combustibles fósiles, b) un incremento en emisiones contaminantes, c) serios problemas de contaminación del aire asociados, d) importantes efectos negativos en los índices de mortalidad prematura y morbilidad y e) serios impactos en la baja de productividad, pérdida de competitividad y pérdidas en la economía. Todo ello obstaculiza el desarrollo del país.

La alta quema de combustibles fósiles del sector transporte es también el origen principal de partículas respirables (en las que se encuentra el Carbón Negro) y precursores de Ozono Troposférico, y otros contaminantes del aire. En particular, el Carbón Negro y el Ozono Troposférico[1], tienen severos efectos nocivos sobre la salud también, además de un alto impacto negativo sobre el cambio climático. Por otra parte, en México el sector transporte emite la tercera parte de las emisiones de CO_2 generadas por combustibles fósiles en el país. En los últimos 20 años, las emisiones de CO_2 generadas por el sector transporte han aumentado un 87%, a un ritmo más rápido que otros sectores de la economía (INECC, 2012).

[1] El Carbón Negro y el Ozono Troposférico forman parte de los llamados Contaminantes de Vida Corta con Impacto Climático (SLCPs por sus siglas en inglés)

Como se ha mencionado, la contaminación del aire ha causado miles de muertes prematuras, aumento en las tasas de morbilidad por padecimientos respiratorios y cardiovasculares. La población más vulnerable está conformada por ancianos, niños, enfermos y la población de menores ingresos. La contaminación del aire urbano representa un serio problema de salud ambiental a nivel global. Según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud, 0.8 millones de muertes prematuras y 6.4 millones de años de vida perdidos son atribuibles a la contaminación atmosférica urbana.

En América Latina y el Caribe, al menos 35,000 muertes prematuras y 276,000 años de vida perdidos son atribuibles anualmente a la contaminación atmosférica (Cohen et al. 2005). El INEGI estima que tomando en cuenta únicamente los impactos relacionados con la salud de la contaminación del aire en 2010, ésta tuvo un costo para el país de alrededor del 4% del PIB anual y constituyen el 57% del total de costos ambientales registrados en el país. Mayor información sobre las tendencias de calidad del aire e impactos en salud en la ZMVM es presentada en el Anexo 1.

Además de las consecuencias en la salud pública y la contribución al cambio climático, la situación actual y las tendencias de movilidad apuntan hacia una creciente congestión vial, un aumento en la tasa de accidentes viales y un uso ineficiente de energéticos. En conjunto, ello conlleva a grandes pérdidas en la productividad y competitividad afectando negativamente el desarrollo del país y de sus áreas urbanas.

En particular un uso racional de los recursos energético es de gran importancia sobre todo desde una perspectiva de sustentabilidad ambiental urbana e impactos en salud. Por ello, este estudio tiene como propósito determinar los cambios en el uso de combustibles que podrían resultar de la eliminación de los subsidios a la energía en México a partir de los resultados obtenidos en el estudio eliminación de subsidios de Ibarrarán et al (2012).

Conforme a los lineamientos fijados por el Banco Mundial, este estudio constituye una primera aproximación de carácter general para estimar los posibles impactos de la eliminación de subsidios sobre: a) las emisiones contaminantes, b) los niveles de contaminación del aire en la atmósfera, c) los efectos a la salud evitados y d) los impactos económicos asociados con dichos efectos a la salud. Para ello se ha llevado a cabo una primera evaluación integrada que ha incluido ejercicios de modelación numérica de emisiones y de calidad de aire urbano, llevados a cabo por la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (GDF), para estimar el impacto esperado en la ZMVM. Se ha escogido la ZMVM como zona estudio debido a que cuenta con información detallada de emisiones y calidad del aire, así como con las herramientas de modelación necesarias que permiten llevar a cabo este análisis. Por último, es una de las áreas metropolitanas más grande de América Latina y recientemente ha sido reconocida por la instrumentación de políticas ambientales y de transporte que favorecen una mejor calidad de

vida. Por esto, los resultados de la eliminación de subsidios se analizan con detenimiento para la ZMVM a manera de ilustración de lo que podría suceder en áreas urbanas del país ante un escenario de eliminación de subsidios a la energía

Este documento está estructurado en cuatro partes. La primera es esta introducción. La segunda de ellas, la Metodología General, describe las distintas metodologías que se usan para obtener los impactos de la reducción de subsidios a nivel nacional, y cómo se pasa a resultados para la ZMVM, tanto en consumo de combustibles, emisiones, concentración de contaminantes e impactos en salud. La tercera sección describe los resultados de cada uno de estos análisis y la cuarta parte presenta conclusiones y recomendaciones de política pública.

2 Metodología General

Para poder estimar el beneficio para la ZMVM, desde el punto de vista de emisiones, calidad del aire, salud e impactos económicos relacionados con la reducción de subsidios a la energía, es necesario llevar a cabo una serie de análisis que a su vez combinan distintas metodologías. Esta sección describe la metodología utilizada en cada una de las partes. Esta está estructurada en cinco partes principales, la primera presenta la metodología para estimar el efecto de la eliminación de subsidios a la energía sobre la economía mexicana, a partir del uso de un modelo de equilibrio general. En la segunda parte se describe la metodología para estimar los cambios en el uso de combustibles para la ZMVM a partir de los datos nacionales. La tercera parte describe cómo, a partir de estos datos, se calcularon los cambios en emisiones a la atmosfera. La siguiente parte describe la metodología para simular la concentración de contaminantes en la ZMVM, y por último la quinta y sexta sección describe como se estiman los efectos sobre la salud para la ZMVM y su valoración económica. Ver diagrama figura 1.

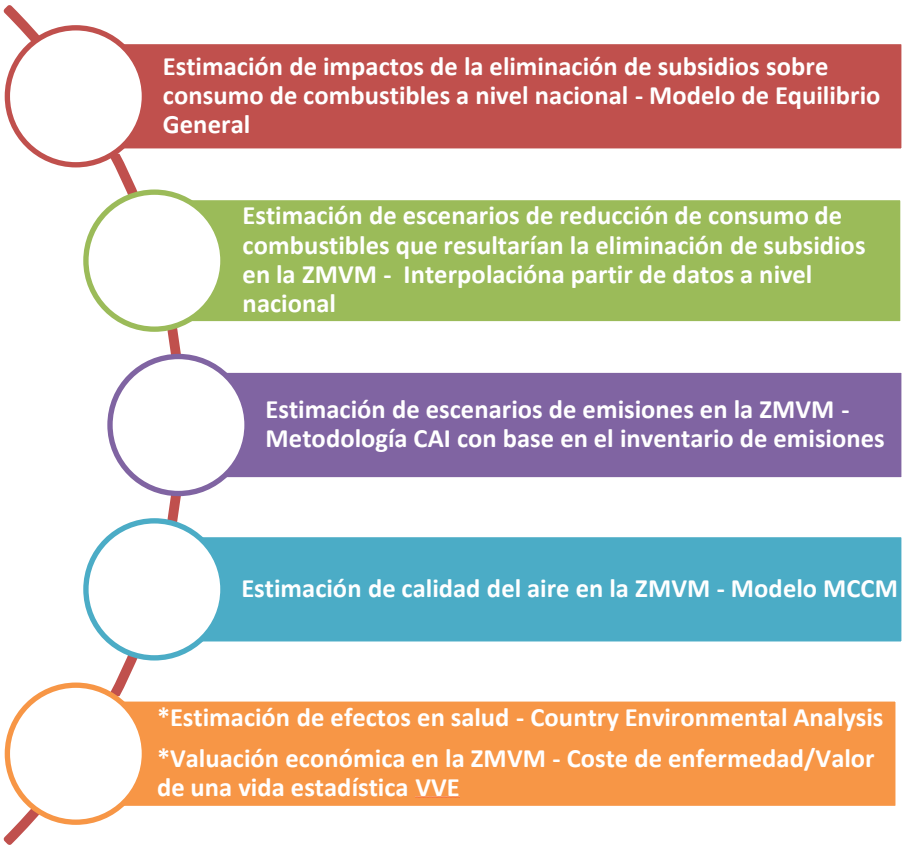


Figura 1 Proceso metodólogico de evaluación integral

2.1 Estimación de impactos de la eliminación de subsidios sobre consumo de combustibles a nivel nacional utilizando el Modelo de Equilibrio General

Para determinar el impacto de la eliminación de subsidios sobre el uso de combustibles se utilizaron los resultados de un estudio finalizado recientemente, el cual fue realizado para el Banco Mundial. Dicho estudio utilizó el modelo de equilibrio general de Boyd-Ibarrarán. Este modelo de la economía mexicana simula el funcionamiento de los mercados. Describe la oferta y demanda de bienes y servicios y de factores de producción y analiza el impacto de cambios en políticas sobre la producción de los distintos sectores, en el consumo de distintos bienes, sobre los diferentes grupos de ingreso y en las principales variables macroeconómicas como Producto Interno Bruto (PIB), los ingresos del gobierno a través de la recaudación y la balanza comercial. El modelo es dinámico en cuanto que las decisiones de un período dependen de las acciones del período anterior, por lo que permite reflejar el efecto gradual de distintas políticas en el tiempo. Por todo esto, permite hacer un análisis valioso del impacto de la posible eliminación de los subsidios a la energía en un sentido amplio, es decir, observando las repercusiones en toda la economía y no solamente dentro de un sector. El modelo se describe en detalle en el Anexo 2.

El modelo está compuesto por cuatro actores: consumidores, productores, el gobierno y el resto del mundo o sector externo. Los productores están organizados en 12 sectores (agricultura, ganadería, pesca, forestal, manufacturas, químicos y plásticos, minería, petróleo y gas natural, refinación, electricidad, transporte y servicios) Los consumidores nacionales están agrupados en cuatro agentes, definidos por el nivel de ingreso, siendo el Agente 1 el 20% más pobre de la población, el Agente 2 el 30% siguiente, el Agente 3 el siguiente 30%, y el Agente 4 el 20% más rico. Catalogar a la población en agentes con distinto nivel de ingreso permite identificar el impacto específico de las políticas sobre los distintos grupos. Por su parte, los consumidores pueden consumir nueve distintos grupos de bienes (alimentos, vivienda, bienes del hogar, servicios, electricidad y gas, autos, gasolina, transporte público y agua). Tanto el gobierno como el sector externo se modelan cada uno como actor separado. El modelo utiliza como punto de partida la Matriz Insumo-Producto elaborada por Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para México en el 2003.

Este tipo de modelos sirven para analizar políticas que se espera tengan repercusiones en toda la economía. La eliminación de subsidios a la energía afectará a distintos sectores productivos y de consumo, por lo que este tipo de modelos son especialmente útiles para analizar los impactos en todos los sectores, en los distintos grupos de consumidores y en las variables macroeconómicas. El modelo da resultados a nivel sectorial, lo cual permite simular políticas de amplio alcance. Todo esto permite hacer un análisis valioso del impacto de la posible eliminación de los subsidios a la energía en un sentido amplio, es decir, observando las repercusiones en toda la economía y no solamente dentro de un sector y para diferentes periodos de tiempo; para este estudio se reportan resultados para 2012, 2018, 2024 y 2030.

Por otro lado la Matriz Insumo-Producto usada como fuente de información para este modelo es a nivel nacional, por lo cual los resultados son de carácter nacional y aún se carece de modelos similares a escala regional que permitan analizar de manera directa el impacto de las políticas a nivel de estados o ciudades específicas. Por ello, se llevaron a cabo interpolaciones que permitieron determinar el efecto de las políticas sobre el consumo de combustibles en la ZMVM. Actualmente no existe un modelo de equilibrio general regional para México ni se tienen matrices de insumo-producto regionales.

Como último punto es necesario enfatizar que los resultados de este tipo de modelos son una guía y una primera aproximación para interpretar el impacto que tendrá la política evaluada en la economía. Por tal motivo los resultados numéricos deben leerse de manera cualitativa, concentrándose, más que en el valor preciso, en la magnitud relativa, el signo y la tendencia que muestran.

2.2 Estimación de escenarios de reducción de consumo de combustibles que resultarían la eliminación de subsidios en la ZMVM a partir de datos a nivel nacional

Una vez analizados los resultados macroeconómicos y sectoriales de la eliminación de subsidios en México, se consideró interesante cuantificar el impacto que esto podría implicar en la concentración de contaminantes en alguna zona urbana relevante. Por su importancia, se eligió a la Zona Metropolitana del Valle de México, que tiene una población de más de 20 millones de habitantes y está conformada por las 16 delegaciones del Distrito Federal y 59 municipios conurbados del Estado de México (SMA-DF 2012).

A partir del modelo de equilibrio general se obtuvo el cambio en la producción sectorial y se estimó la reducción esperada en el consumo de combustibles y de electricidad a nivel nacional. Para determinar las implicaciones en el consumo de combustibles y de electricidad en la ZMVM, se analizó la participación de la población de la ZMVM en el total nacional y el comportamiento de este indicador en el tiempo. También se tomó la participación de la actividad económica de la ZMVM en el PIB nacional y su desarrollo en el tiempo. Dado que estos dos indicadores considerados han variado poco en el tiempo, se consideró conveniente aplicar los mismos cambios porcentuales en el consumo de combustibles resultantes de la eliminación de subsidios a nivel nacional a la ZMVM.

2.3 Estimación de escenarios de emisiones en la ZMVM

Para establecer los escenarios de emisiones en los años de estudio 2012, 2018, 2024 y 2030, se tomó como base en los cuatro escenarios el Inventario de Emisiones de la ZMVM del año 2010. Sobre este punto de partida se aplicaron los porcentajes de reducción/aumento de consumo de combustible para la ZMVM obtenidos del modelo de equilibrio general de acuerdo al combustible dominante en cada sector.

Para estimar el impacto en emisiones de cada uno de los contaminantes se partió de los cambios en el consumo de combustible y del inventario de emisiones de 2010 de la ZMVM. Debido a los tipos de combustible empleados por los distintos sectores, es razonable suponer que el uso predominante de cada combustible se asocia a una determinada fuente como se muestra en la Figura 2.

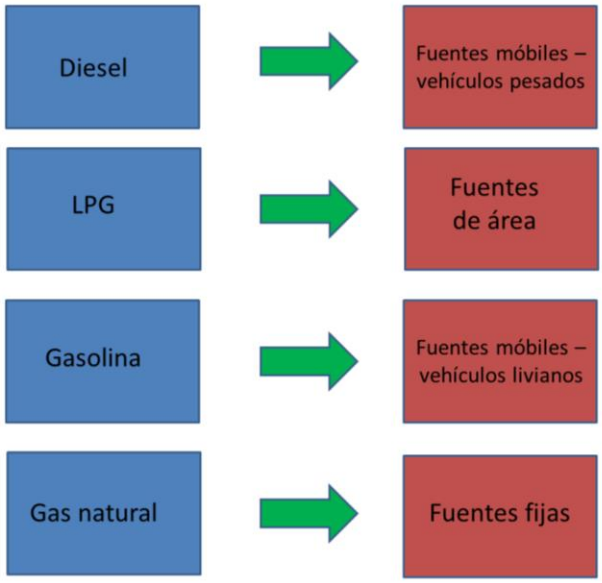


Figura 2. Equivalencias de combustibles con tipos de fuente

La eliminación de subsidios a la energía en general y a los combustibles en particular, afectará de manera distinta a las distintas fuentes, incluso dentro de las mismas categorías. Sin embargo, debido a la naturaleza de los modelos empleados, ésta no es una distinción cuantificable y por consiguiente se asume que los cambios en los consumos se deben a una reducción en la actividad de las fuentes y que la reducción se da de manera homogénea para todas las fuentes dentro de una misma categoría. Lo anterior implica, por ejemplo, que si bien es de esperar que la eliminación del subsidio a la gasolina afecte más a usuarios de vehículos más antiguos que a su vez son los que generan mayores emisiones, el cálculo asume que la reducción de actividad es el mismo para todos los vehículos particulares que usan gasolina. Esta suposición implica que las

estimaciones de reducción de emisiones que aquí se presentan sean conservadoras pero confiables.

Una vez que se asocian los tipos de fuentes a los tipos de combustible, se debe definir el impacto que tiene cada tipo de combustible (o de fuente) sobre el total de emisiones. Esto se hizo de acuerdo a la participación porcentual de cada fuente en el inventario total de emisiones más reciente de la ZMVM que se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Inventario de emisiones en la ZMVM para el año 2010 (kg/día)

	PM10	PM2.5	SO2	CO	NOX	COV	CO_2	BC
Fuentes puntuales	16,132	3,529	20,580	17,851	38,785	387,470	11,899,876	165
Fuentes de área	6,108	4,952	743	60,694	73,450	1,668,581	5,384,628	21
Fuentes móviles	56,102	14,393	1,098	4,251,588	452,136	535,466	22,428,222	1,535
Vegetación y suelos	1,400	296	N/A	N/A	13,770	122,668		
Total	**79,743**	**23,170**	**22,421**	**4,330,133**	**578,141**	**2,714,185**	**39,712,726**	**1,721**

Finalmente, al considerar que en el tiempo no hay cambios en la tecnología de las fuentes que impliquen una reducción en el factor de emisión por unidad de combustible, se puede asumir que la reducción en el uso de combustible implica una reducción equivalente en términos porcentuales en el inventario de emisiones.

2.4 Estimación de calidad del aire en la ZMVM usando el Modelo MCCM

A partir de la estimación del cambio en las emisiones en la ZMVM se hicieron simulaciones con el Modelo Químico y Climático de Multiescala (MCCM, por sus siglas en inglés), utilizado por el Gobierno del Distrito Federal. Este modelo tiene en cuenta:a) los procesos meteorológicos y químicos que ocurren en la atmosfera, b) incluye química asociada a la fase gaseosa, deposición, emisiones antropogénicas y biogénicas, c) acopla los procesos de precipitación y, d) posee una resolución fina (menores a 8Km), lo cual permite identificar problemas locales en un área determinada. Para conocer los pasos y programas necesarios para la modelación se refiere el usuario a la guía del modelo: Manual Multiscale Climatic Chemistry Model MCCM. Dr. Renate Forkel. México, 2003.[2]

Con la finalidad de estimar cómo se modificarían las concentraciones de ozono y de partículas (PM2.5), en la situación actual y a partir de la eliminación de subsidios, se realizaron simulaciones empleando dicho modelo y tomando como línea base el Inventario de Emisiones de

[2] Manual disponible en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/calaire/rep_fin_proy_mccm.pdf

la ZMVM 2010[3]. Esto a su vez permitió determinar los impactos locales a partir de las concentraciones de dichos contaminantes para un día del año (24 horas), considerado con un nivel típico de contaminación.

Este proceso requirió desarrollar 3 coberturas geográficas (dominios) para la simulación: un dominio 1 (D1), con resolución de 50 Km; un dominio 2 (anidado dentro del D1), con resolución de 10 Km; y el Dominio 3 (anidado en el D2 que representa la ZMVM), con resolución de 2 Km.

Para una discusión detallada de los dominios usados en la modelación fotoquímica ver el Anexo 3.

2.5 Estimación de efectos en salud y valuación económica en la ZMVM

Para la estimación del impacto en salud y su valoración económica, como primer paso, se modela la exposición y el impacto basal en salud (población, contaminantes, mortalidad y morbilidad basales, efectos atribuibles). Posteriormente se hace la evaluación del impacto (beneficios) en salud de las reducciones de contaminantes.

Los condicionantes geográficos y físicos que determinan el comportamiento de los contaminantes en la ZMVM han sido descritos con detalle en otras publicaciones (INSP 2009) y serán omitidas aquí. Para los objetivos de esta evaluación, la ZMVM está compuesta de las 16 delegaciones del Distrito Federal más 59 municipios del Estado de México, representando aproximadamente unos 21 millones de personas (INSP 2009, ver Tabla 10).

Tabla 10. Total población de estudio

ZMVM	Población
59 Municipios VM	11.218.831
16 Delegaciones DF	8.846.752
11 Municipios Hidalgo	1.264.162
TOTAL	21.329.745

Los indicadores de mortalidad general de la ZMVM no han variado sustancialmente desde principios de los años 90 hasta 2010 manteniéndose entre 5.3 y 5.8 por mil habitantes para todas las causas y edades, y cercana a 5 por mil, sin contar causas accidentales. Sin embargo, la mortalidad infantil tiene una clara tendencia a la baja, desde 29 por mil nacidos vivos en 1990 hasta 17 por mil a finales de la última década (INSP2006, INEGI 2011). El perfil de mortalidad se caracteriza por la preponderancia de causas crónico-degenerativas, especialmente

[3] Esta parte del estudio la llevó a cabo la Unidad Departamental de Modelación y SIG de la Dirección General de Gestión del Aire de la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.

enfermedades del corazón, cerebrovasculares y pulmonares, y con especial importancia de diabetes y tumores malignos en población mayor de 65 años de edad.

Los datos de exposición de este análisis provienen del sistema de monitoreo atmosférico de la ciudad de México (SIMAT), en concreto de 37 estaciones de la red automática de monitoreo atmosférico (RAMA) y 12 de la red manual de monitoreo atmosférico (REDMA). La contaminación por material particulado inhalable (PM_{10}) en la ZMVM ha mejorado sustancialmente en la última década. En términos de concentraciones, la reducción fue desde un promedio anual de 175 $\mu g/m^3$ en 1989 hasta 60 $\mu g/m^3$ en el año 2009. Sin embargo, el promedio anual para exposición crónica aún se mantenía por encima del límite de los valores directriz de 2005 de la OMS y de las propias normas nacionales.

Una tendencia mucho más atenuada de mejora se observa para las partículas ultra finas (PM2.5) que se mantienen por encima del valor promedio anual máximo recomendado de 15 $\mu g/m^3$ aunque ha disminuido desde 25 $\mu g/m^3$ en 2004 a menos de 20 $\mu g/m^3$ en el año 2010 (SMA 2012). Ver Figura 13.

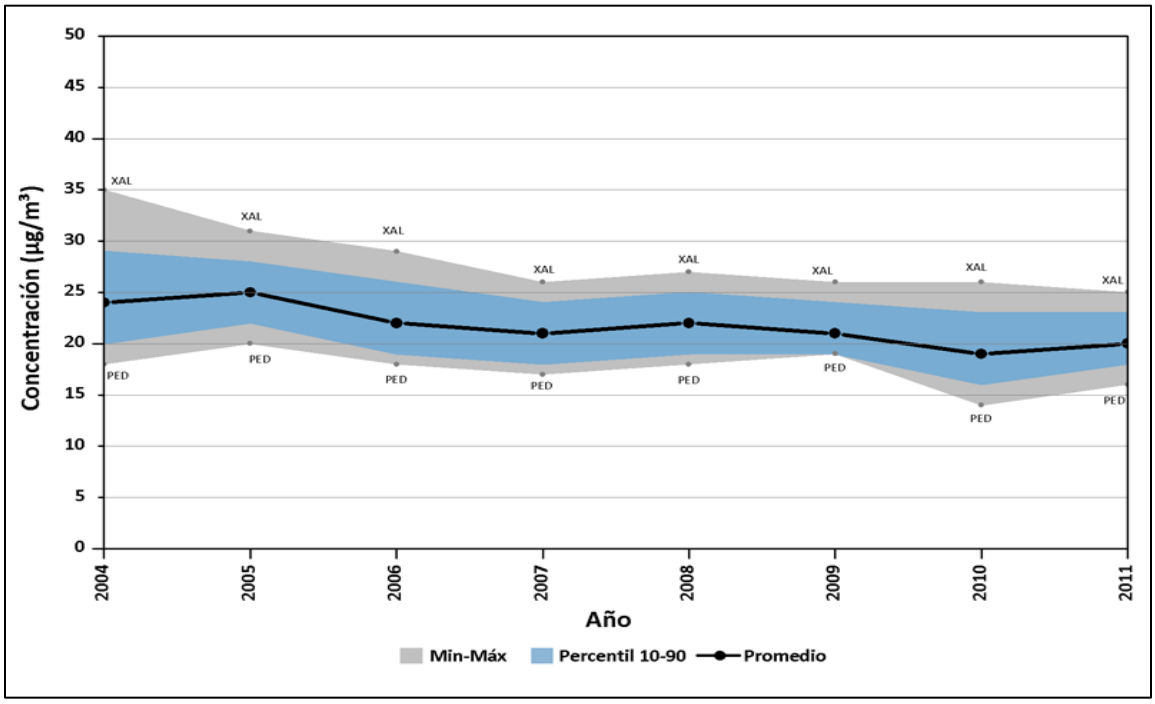


Figura 13 Niveles de exposición a $PM_{2.5}$ en la ZMVM Fuente: SIMAT

Lo mismo sucede con el Ozono, para el que el indicador de exposición crónica aún se mantiene por encima de la norma (0.080 ppm, promedio de 8 horas). Ver Figura 14.

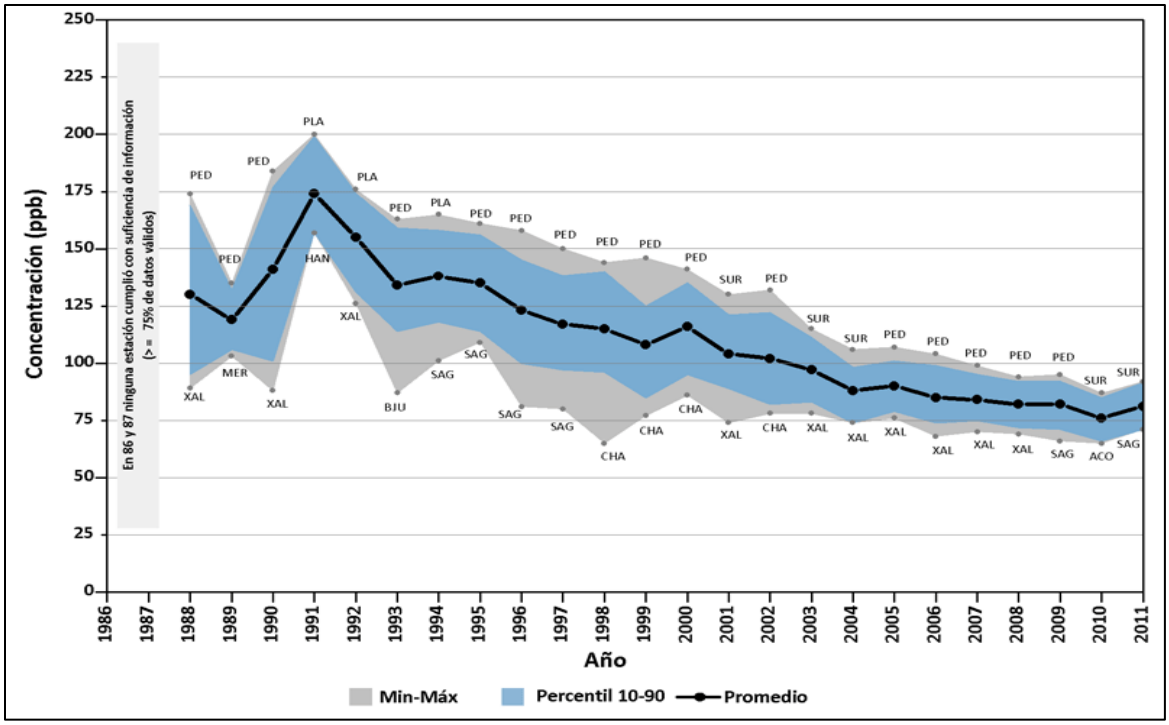


Figura 14 Niveles de exposición a O_3 en la ZMVM Fuente: SIMAT

Tomando el año 2010 como referencia, los valores de concentración promedio anual de PM_{10} y $PM_{2.5}$, así como de máximos en 8 horas de Ozono fueron respectivamente de 51.88 $\mu g/m^3$, 24.36 $\mu g/m^3$ y 0.075 ppm, tan sólo ligeramente por encima de los límites de cumplimiento nacionales en el caso de PM para México, y ligeramente por debajo de la norma en el caso del Ozono. En el año 2010 tan sólo se activó la alarma por pre-contingencia para Ozono en tres ocasiones, en una situación de clara mejora con respecto a décadas anteriores. Reconociendo esta mejora, los valores de concentración están todavía por encima de otros estándares o directrices internacionales, como ilustra la tabla 11.

Tabla 11 Valores de concentración para PM_{10} y O_3

Contaminante	Promedio	Directrices OMS	Directrices EU	Norma México
PM_{10}	Anual	20	40	50
	24 horas	50	50	120
O_3	8 horas	0.05	0.06	0.08
	1 hora	-	-	0.11

Fuente: Elaboración propia con base en INSP (2006)

Respecto de los efectos en salud atribuibles a la contaminación, éstos han sido explorados de manera exhaustiva, tanto a nivel internacional como en México y la ZMVM en otros estudios (ver capítulo introductorio) y no nos ocuparemos aquí de su etiología y características epidemiológicas. Sin embargo, conviene resaltar la relación entre severidad del efecto y la frecuencia observada de los mismos en la población. Así, efectos más severos (E.g. mortalidad

prematura por causas cardiovasculares) son los menos frecuentes, mientras que los relativamente leves son muy frecuentes en la población (ver gráfico 15).

Esta relación tiene importantes implicaciones económicas, dado que incluso los efectos más leves de la contaminación pueden tener un efecto económico medible, que multiplicado por un elevado número de eventos en una numerosa población puede acarrear significativos costes en salud y pérdida de productividad.

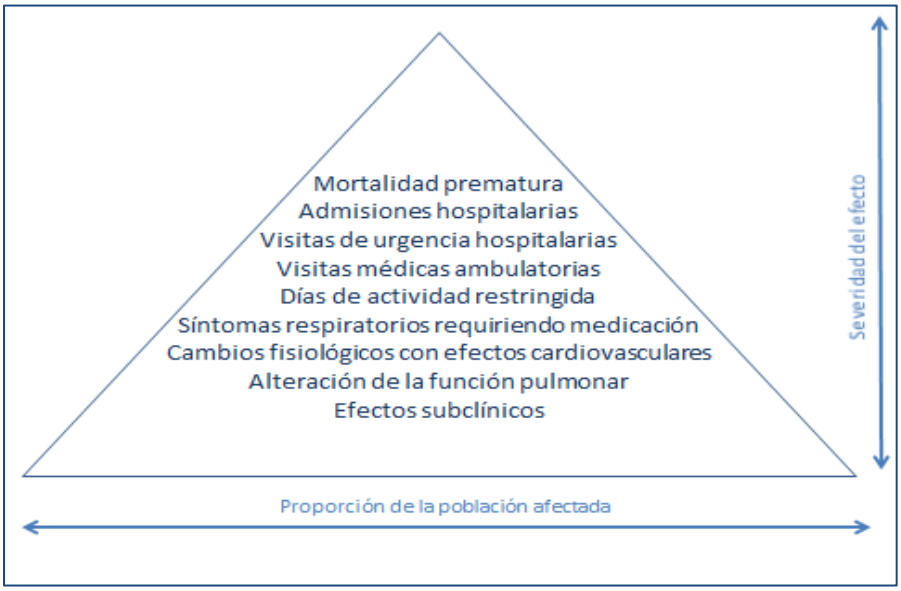


Figura 15. Pirámide de efectos en salud atribuibles a la contaminación atmosférica. Fuente: Adaptado de Organización Mundial de la Salud (WHO 2006)

Los efectos en salud clasificados por la OMS en sus metodologías de evaluación de la carga ambiental de enfermedad a nivel nacional (OMS 2004), así como las primeras evaluaciones exhaustivas al respecto basadas principalmente en las investigaciones de la escuela de salud pública de Harvard, se han convertido en referencia estándar para este tipo de valuaciones económicas. En nuestro caso, adoptaremos la práctica analítica de las evaluaciones ambientales de país realizadas por el Banco Mundial en América Latina (Larsen 2004, 2005; Golub y Sánchez 2012, etc.) cuyas definiciones están listadas en la Tabla 12.

Tabla 12 Efectos en salud clasificados por efecto

Efecto considerado	**Clasificación**	**Descripción**
Mortalidad por causas cardiopulmonares selectas	CIE10	Infecciones respiratorias (J10-J18, J20-J22), infecciones respiratorias de las vías superiores (J00-J06), enfermedad hipertensiva (CIE I10-I13), enfermedad isquémica del corazón (I20-I25), enfermedad inflamatoria del corazón (CIE I30-I33, I38, I40, I42) y enfermedades respiratorias (J30-J98)

Bronquitis crónica	N/A	Definición clínica, espirometría o síntomas (tos o flema la mayor parte de los días, al menos tres meses al años y al menos dos años seguidos)
Admisiones hospitalarias	WHO EBD	Admisiones hospitalarias por causas respiratorias y cardiovasculares (Códigos de mortalidad causas cardiopulmonares) independiente de la edad
Atención de urgencia hospitalaria o ambulatoria	WHO EBD	Atención de urgencia hospitalaria o ambulatoria por causas cardiopulmonares (Ibidem) con o sin necesidad de ingreso del paciente, independiente de la edad
Días de actividad restringida (adultos)	WHO EBD	Absentismo laboral atribuible a síntomas respiratorios que no requieren atención médica, sólo para adultos mayores de 30 años
Infecciones Respiratorias Agudas (niños)	WHO EBD	Infecciones Respiratorias Agudas con o sin atención médica u hospitalización en niños menores de 5 años de edad
Síntomas respiratorios (adultos)	WHO EBD	Síntomas respiratorios en adultos mayores de 30 años sin necesidad de atención médica pero con uso de medicamentos

Fuente: Elaboración propia a partir de OMS 2004, Larsen y Strukova 2005

Para evaluar la situación de base en 2010 se debe determinar la fracción de mortalidad prematura y de morbilidad (enfermedades) atribuible a la contaminación urbana en la ZMVM. Para hacer dicha atribución es necesario partir de estimaciones de riesgo que ilustren la fuerza de la asociación entre la exposición a contaminación y los efectos en salud.

La evidencia epidemiológica muestra consistentemente la mayor severidad y la mayor fuerza de asociación para el material particulado inhalable, tanto PM_{10} como $PM_{2.5}$. En ese respecto, extensas revisiones en las dos décadas pasadas (Ostro 1994, 2004; Pope 1995, 2002, 2007) de estudios norteamericanos y Europeos demostraron un efecto significativo entre concentraciones elevadas de PM e incrementos en mortalidad prematura y diversas enfermedades. Estudios primarios de cohorte han confirmado dichos efectos en diversos grupos de edad ((Brook et al. 2010, Eftim et al. 2008, Samet et al. 2000, 2007a, 2007b). Complementando a esta base de evidencia se han publicado en los últimos años numerosos estudios en países en desarrollo, y en concreto en países de América Latina (Gouveia et al. 2004, Martins et al. 2004, Bell et al. 2006, 2011; O´Neill et al. 2008, entre otros).

En lo que respecta a México, existe suficiente información para construir funciones dosis-respuesta específicas basadas en evidencia local. Sin embargo, por limitaciones de tiempo y presupuesto, para una evaluación aproximada podemos utilizar datos estimados por el Banco Mundial para varios Análisis Ambiental de país en el contexto de América Latina (Larsen y Strukova 2005). La tabla 13 presenta coeficientes dosis-respuesta entre concentración de materia

particulado y determinados efectos en salud; la tabla 14 presenta una estimación de años de vida ajustados por discapacidad (AVADs, o DALYs en su acrónimo inglés) para los mismos efectos seleccionados.

Tabla 13 Coeficientes dosis-respuesta epidemiológicos para material particulado

Efecto anual	**Coeficiente**	**Por 1 µg/m^3 de concentración promedio anual de:**
Mortalidad cardiopulmonar y por cáncer de pulmón (cambio %)	0.8%	$PM_{2.5}$
Bronquitis Crónica (Cambio en incidencia anual)	0.9%	PM_{10}
Admisiones hospitalarias respiratorias (por 100,000)	1.2	PM_{10}
Visitas sala de urgencias (por 100,000)	24	PM_{10}
Días de actividad restringida (por 100,000)	5,75	PM_{10}
Infecciones Respiratorias Agudas (por 100,000)	169	PM_{10}
Síntomas respiratorios (por 100,000)	18,3	PM_{10}

Fuente: Pope et al. (2002) para mortalidad; Ostro (1994) y Abbey et al. (1995) para morbilidad

Tabla 14 DALYs (AVADs)[4] perdidos por categoría de efecto en salud

Efecto en salud	**DALYs perdidos por cada 10,000 casos**
Mortalidad cardiopulmonar y por cáncer de pulmón	75
Bronquitis Crónica (adultos)	22
Admisiones hospitalarias respiratorias	160
Visitas sala de urgencias	45
Días de actividad restringida (adultos)	3
Infecciones Respiratorias Agudas (niños)	65
Síntomas respiratorios (adultos)	0.75

Fuente: Larsen y Strukova (2006)

Establecidas las tasas basales de morbimortalidad por causas susceptibles a la contaminación por materia particulada y la fuerza de la asociación entre los efectos en salud y la exposición se puede derivar una estimación de carga de enfermedad atribuible. Con datos de concentraciones promedio anuales de $PM_{2.5}$ y PM_{10} para 2010 provenientes del SIMAT, la carga de mortalidad y morbilidad aproximada atribuible al material particulado inhalable para el año 2010 está listada en la tabla 15.

[4] Los DALYs o AVADs (años de vida ajustados en función de la discapacidad) representan el número de años que habría podido vivir una persona, perdidos por su defunción prematura, y los años de vida productiva perdidos por discapacidad.

Tabla 15 Carga de mortalidad y morbilidad aproximada atribuible al materia particulado inhalable en la ZMVM en 2010

Efecto en salud	Total casos	Total DALYs
Mortalidad cardiopulmonar	5.901	44.260
Bronquitis Crónica (adultos)	4.688	10.313
Admisiones hospitalarias respiratorias	12.982	208
Visitas sala de urgencias	254.662	1.146
Días de actividad restringida (adultos)	27.750.188	8.325
Infecciones Respiratorias Agudas (niños)	171.350	1.114
Síntomas respiratorios (adultos)	88.317.989	6.624
	TOTAL	71.989

Según el modelo implícito en este trabajo, dichas ganancias se obtendrían mediante una reducción de material particulado atribuible a la eliminación de subsidios al combustible en México. Para asignar un coste económico a esta carga de enfermedad debemos obtener un valor por cada caso listado de mortalidad prematura y morbilidad. Para la morbilidad, calcularemos el coste por caso mediante la técnica del Coste de enfermedad (cost of illness) que incluye tanto los costes médicos del tratamiento de la enfermedad como la pérdida de productividad, además de un proxy de disponibilidad a pagar para evitar la enfermedad en sí. La pérdida de bienestar asociada a la enfermedad es frecuentemente medida por esta disponibilidad a pagar, la cual suele ser bastante mayor que los costes médicos y pérdidas de productividad, reflejando el valor que los individuos asignan al dolor e incomodidades de la enfermedad (Cropper and Oates 1992).

Es posible que existan estudios de disponibilidad a pagar para evitar morbilidad originales de la ZMVM, pero de ser así no están inmediatamente disponibles en la literatura publicada sobre el tema en revistas del sector o por las autoridades. Por tanto, utilizaremos un proxy apropiado basado en un estudio relevante (Alberini and Krupnick 2000). Respecto del cálculo del coste de la mortalidad, existen diversas opciones de valuación, pero nos restringiremos al uso del Valor de una Fatalidad Evitada (o valor de una vida estadística – VVE). Dicho estudio ha sido utilizado frecuentemente por las autoridades ambientales y sanitarias en México (INE, INSP). No usaremos el Enfoque del Capital Humano (es decir, calcular el coste de la mortalidad en función de los ingresos no generados por la mortandad prematura) por representar una infraestimación demasiado grosera para el contexto actual de la ZMVM. El VVE utilizado (entre 5 y 9 millones de pesos Mexicanos aproximadamente) proviene de un estudio de valoración contingente (Hamitt e Ibarrarán 2006) realizado específicamente en México.

Los costes de la mortalidad (VVE) y de morbilidad (coste de tratamiento y pérdida de productividad) por caso listados en la Tabla 16 son la base para la estimación del coste anual total en 2010 en la Tabla 17. Los datos de la primera columna (mínimo) han sido generados mediante la metodología mencionada (Larsen y Strukova 2005) que incluye escenarios típicos de

tratamiento (resumidos en la tabla del anexo 4) y los datos de la segunda columna fueron calculados por el Instituto Nacional de Ecología para su evaluación de la reducción de azufre en gasolinas y diesel (INE 2006).

Tabla 16 Coste unitario estimado – extremo inferior (Pesos Mexicanos)

Efecto en salud	Coste total (DAP) - Mínimo	Coste total (DAP) - Máximo
Mortalidad cardiopulmonar	7.251.757	
Bronquitis Crónica (adultos)	68.244	643240
Admisiones hospitalarias respiratorias	53.446	
Visitas sala de urgencias	2.504	
Días de actividad restringida (adultos)	79	254
Infecciones Respiratorias Agudas (niños)	1.121	
Síntomas respiratorios (adultos)	8,25	

Fuente: estimación de los autores basada en datos locales y en INE (2006)

Con estos costes unitarios, el coste total en salud de la materia particulada en el 2010 en la ZMVM fue de entre 37 y 70 Millardos de Pesos mexicanos (ver tabla 17) respectivamente el 0.92% y el 1.74% del PBI total de la ZMVM en ese año.

Tabla 17 Costes en salud de la materia particulada en la ZMVM en 2010

Efecto en salud	Coste - max	Coste - min
Mortalidad cardiopulmonar	32,42	58,4
Bronquitis Crónica (adultos)	0,32	3,0
Admisiones hospitalarias respiratorias	0,69	0,7
Visitas sala de urgencias	0,64	0,7
Días de actividad restringida (adultos)	2,20	7,0
Infecciones Respiratorias Agudas (niños)	0,19	0,2
Síntomas respiratorios (adultos)	0,73	0,7
Total (000 Millones MXN)	37,19	70,8
Total (% of PBI ZMVM)	0.92%	1.74%

Fuente: estimaciones de los autores

Nota: el intervalo max/min viene dado por distintos valores de una vida estadística (en mortalidad) y por distintas metodologías de contabilidad (en coste de enfermedad) por lo que no es apropiado promediarlos

Este patrón de costes en salud debidos a la contaminación es consistente con la mayoría de las evaluaciones económicas que podemos usar como referencia sobre el impacto en salud de la contaminación urbana (BM 2004-2011, Cesar et al. 2002, INE 2006, etc.) en América Latina. Estos patrones están caracterizados por:

- La mayor parte de la carga de enfermedad atribuible a la contaminación, sobre todo mortalidad, es debida al material particulado inhalable. El Ozono tiene considerables efectos de morbilidad, pero su asociación con mortalidad está menos establecida.
- La mayor parte de los costes económicos atribuibles a la contaminación se deben al coste de la mortalidad, en concreto la disponibilidad a pagar para reducir riesgos ambientales. El coste de la morbilidad representa un porcentaje minoritario, aunque importante en términos de políticas públicas por suponer costes monetarios incurridos (P.ej. gasto hospitalarios).

Por tanto, es razonable asumir en una estimación rápida que la mayor parte de los beneficios económicos debidos a una mejora de salud pública asociada a la eliminación de subsidios a los combustibles en la ZMVM provendrían de una eventual reducción comparativa de concentraciones de Material Particulado y Ozono.

3 Resultados

En la siguiente sección se exponen los resultados obtenidos a partir de los escenarios simulados de eliminación de subsidios a la energía en el estudio del Banco Mundial, se muestran los cambios esperados en el consumo de combustibles para los distintos sectores a nivel nacional y para la ZMVM y los datos resultantes de los cambios en el consumo de combustibles en emisiones y concentraciones de contaminantes para la ZMVM, en particular para ozono y para partículas. El análisis de efectos en salud producto de la política de eliminación de subsidios. En esta sección se reportan las toneladas por año de emisiones de contaminantes criterio que se emitirían bajo el escenario de eliminación del subsidio. Asimismo se muestra de forma más detalla en los anexos, a través de mapas y gráficas, los impactos esperados en calidad del aire por las concentraciones de partículas y ozono. La tercera sección presenta las conclusiones y las implicaciones de política pública que se derivan de este estudio.

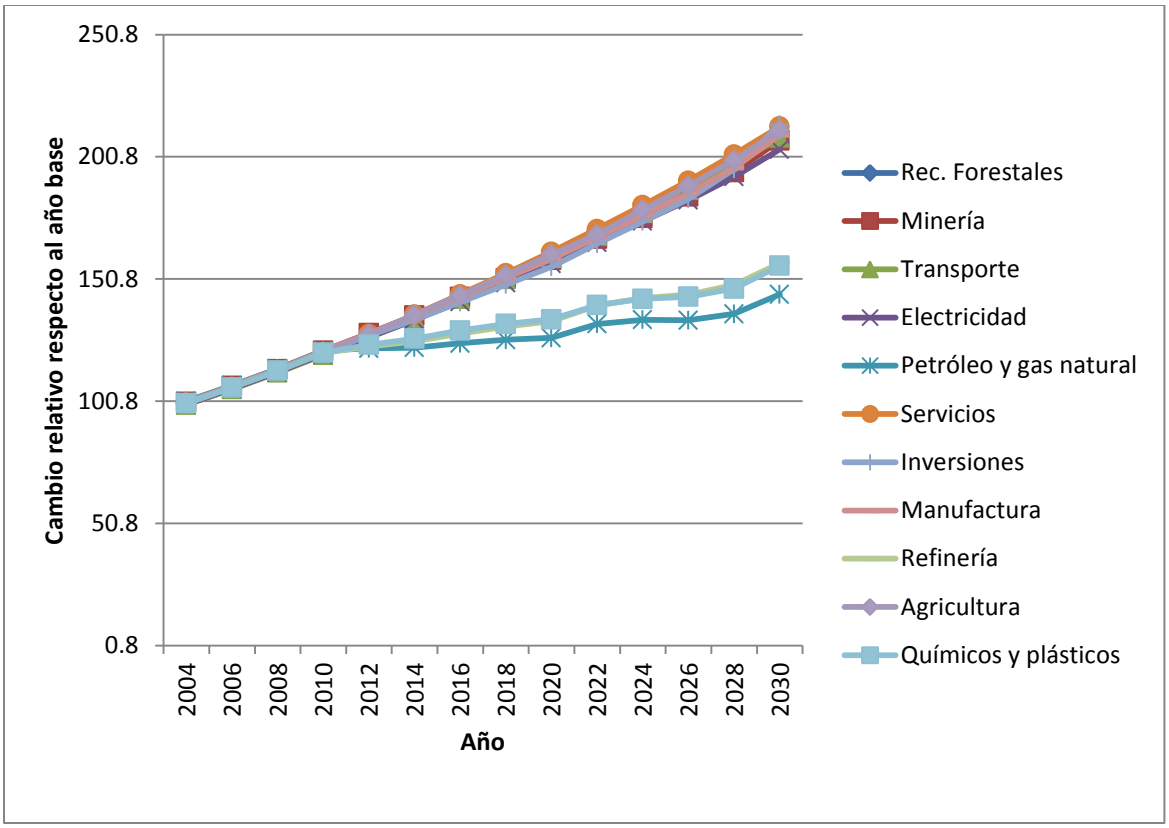
3.1 Escenarios de consumo de combustibles

Como se mencionó en la metodología el uso del modelo de equilibrio general computable diseñado *ex profeso* para la economía mexicana permite analizar el impacto económico, distributivo y ambiental de la reducción de subsidios a la energía. Para ello, primero se construyó el Escenario Base o de Referencia (cuyo fin es solamente para verificar que la modelación es la adecuada y por lo tanto no se discuten los resultados en este documento) y luego el Escenario Tendencial que refleja ya algunos hechos estilizados de la economía (como un menor crecimiento en la producción de petróleo, por ejemplo). Posteriormente se simuló el Escenario de Eliminación de los Subsidios a los Energéticos, que se compara con el Escenario Tendencial para determinar el impacto de esta política.

Escenario Tendencial

Una vez que el modelo fue calibrado, se hicieron ciertos supuestos en la economía de manera que se refleje la realidad nacional. Así, se asumió cierto estancamiento en la producción de petróleo, creciendo a partir de 2.6 millones de barriles diarios y estabilizándose alrededor de 3.3 millones de barriles diarios y gas natural de 6.2 millones de pies cúbicos a 8.7 millones (SENER 2012). Los principales resultados de este escenario se muestran en la Figura 3. En particular hay un menor crecimiento de ciertos sectores productivos en la medida que usan petróleo y gas natural como insumos para la producción.

Por otra parte, el crecimiento de los bienes de consumo también se ve afectado por la menor disponibilidad de estos energéticos en la economía, en particular el consumo de energía y el de autos y gasolina. Los efectos sobre las importaciones y las exportaciones son pequeños pero sobre todo se ven en los sectores más intensivos en el uso de energía.



Fuente: Banco Mundial 2012.

Figura 3 Crecimiento relativo de distintos sectores bajo el escenario tendencial

La Figura 3 muestra el crecimiento relativo de distintos sectores y de la inversión. Como se observa bajo el Escenario Tendencial, casi todos los sectores crecen al mismo ritmo excepto aquellos fuertemente ligados a la producción de petróleo, que crecen menos. El Escenario Tendencial representa lo que se espera suceda en la economía mexicana si no se implementan políticas adicionales. Este permite establecer una referencia de comparación para determinar el impacto que tendría la implementación de distintas políticas, como en este estudio la eliminación de subsidios a la energía que se describe a continuación.

Escenario de la Eliminación de Subsidios a la Energía a nivel nacional

El objetivo de este escenario es determinar el efecto macroeconómico y sectorial de la eliminación gradual de los subsidies a la energía en México. Los subsidios aquí utilizados fueron obtenidos a través de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP 2012) y se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 Subsidios promedio como porcentaje del precio

Electricidad		**Combustibles**	
Residencial	177%	Diésel Agropecuario	14%
Comercial	14%	Diésel Marino	10%

Servicios	45%	Diésel Transporte	14%
Agropecuario	260%	Gasolina Agropecuario	19%
Industrial	9%	Gasolina Transporte	19%
		Gas LP	40%

Nota: Estos subsidios corresponden al promedio de 2005-2010.
Fuente: Secretaría de Hacienda y Crédito Público, Subsecretaría de Ingresos – Unidad de Política de Ingresos, comunicación electrónica.

Cabe anotar que en el 2007, México destinó más de 4 mil 400 millones de dólares en subsidios a la gasolina y el diesel. En el 2008, este subsidio se elevó a 17 mil 200 millones de dólares.

Tabla 3 Comparación de los subsidios a los combustibles en países de AL (en porcentajes del PIB)

Países	2007 (millones USD)	2008 (millones USD)	2008 (en % del PIB)
Argentina	4033	7892	2.30%
Bolivia	145	450	2.40%
Colombia	2121	4896	2.00%
Ecuador	2489	2923	5.30%
México	4411	17260	1.50%
Total	13199	33421	

Fuente: Campodónico, 2009.

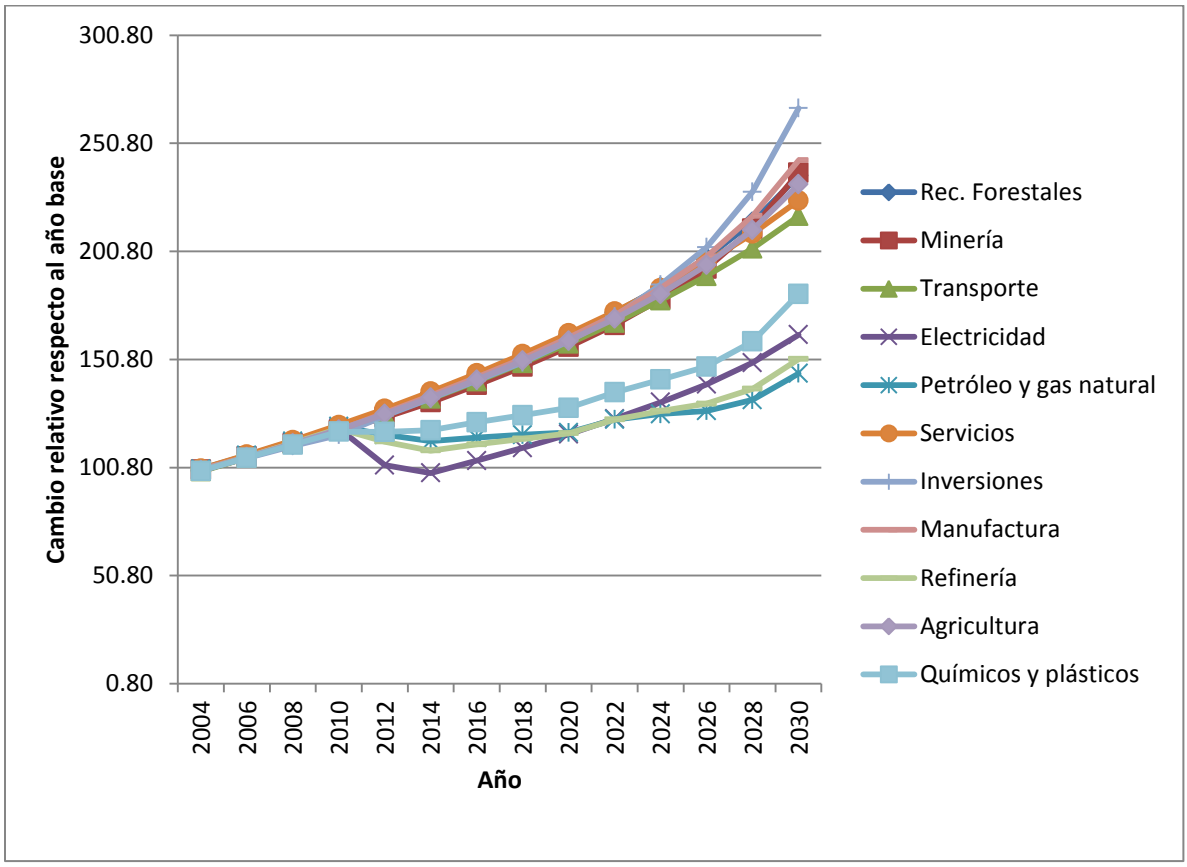
Teniendo en cuenta los datos presentados en la tabla 3 y considerando que el sistema BRT más caro cuesta alrededor de 15.6 millones de dólares por kilometro, el subsidio asignado hubiera podido cubrir 282 km de BRT en el 2007 y 1104 km en el 2008.

Los subsidios a la energía afectan los precios de la electricidad, la gasolina, el diésel y el gas licuado de petróleo (gas LP), que forman parte de la canasta de consumo de todos los grupos de ingreso. Entre 2005 y 2009, los subsidios en México fueron, en promedio, equivalentes a $ 200.4 miles de millones de pesos anuales (SHCP 2010), equivalente a 15 mil millones de USD. En años recientes han aumentado. Solamente los subsidios a la electricidad representan aproximadamente 1% del PIB. Los subsidios a la gasolina son equivalentes al 25% de los ingresos recaudados por el impuesto al valor agregado (IVA) en un año.

En esta simulación, se calcula el impacto de la eliminación del subsidio existente a la gasolina, diésel, gas LP y a la electricidad. Esta eliminación de subsidios también afecta a los consumidores al eliminarse subsidios al transporte público, agricultura, pesca, alumbrado público y a la producción manufacturera. En esta simulación, la eliminación de subsidio comienza paulatinamente en 2012 y se completa en 2018 para evitar cualquier choque repentino a la economía. Además, para concentrarse exclusivamente en los efectos de la sustitución de la

eliminación de subsidios, la política se hace sin neutralidad en el ingreso del gobierno, es decir, que lo que ahorra el gobierno lo gasta según su estructura de gasto actual.

La Figura 4 muestra cómo algunos sectores productivos y la inversión se comportan cuando se eliminan los subsidios a la energía. Esta figura también muestra el crecimiento relativo entre distintos sectores y en la inversión. Como se observa, cuando se eliminan los subsidios a la energía, algunos sectores se ven más afectados que otros y por tanto el crecimiento de los sectores varía mucho. Nótese, sin embargo, que dada la eliminación de los subsidios, la inversión crece de manera muy importante y que esto sentará la base del crecimiento sectorial y económico futuro.



Fuente: Banco Mundial 2012.

Figura 4 Crecimiento relativo de distintos sectores bajo el escenario de eliminación de subsidios

Al comparar los valores obtenidos en el Escenario de Eliminación de Subsidios con los del Escenario Tendencial se obtiene el efecto de la eliminación de los subsidios. Los resultados presentados en las tablas de esta sección deben leerse de la siguiente manera: el valor de cada variable para cada año bajo el escenario de la eliminación de subsidios se compara con el valor obtenido en el mismo año pero en el Escenario Tendencial, así el PIB de 2012 bajo el Escenario de Eliminación de Subsidios se compara con el valor del PIB en el 2012 bajo el Escenario

Tendencial. Las variaciones que se reportan en la tabla y se discuten en el texto corresponden al cambio porcentual entre estos dos valores del PIB para ese año, por ejemplo.

En la Tabla 4 se observan efectos de la eliminación de los subsidios en el corto plazo, que reducen tanto el PIB como la inversión con respecto al Escenario Tendencial; se presentan efectos pequeños pero positivos en el PIB en el mediano plazo, i.e. 0.3% y 0.7% de crecimiento con respecto al Escenario Tendencial en 2018 y 2024 respectivamente, y nulo crecimiento en la inversión en 2018 básicamente pero de 3.3% en 2024. Hacia el final del periodo del análisis, i.e. 2030, hay un crecimiento en el PIB agregado del orden del 1.5%, principalmente explicado por un incremento importante en la inversión por parte del gobierno a partir de los subsidios que ahora se ahorran, y crecimiento en la producción y consumo de los distintos sectores y bienes en el largo plazo al eliminarse distorsiones provocadas por los subsidios. Por otra parte, ese aumento en la inversión lleva a un efecto positivo y progresivo en el bienestar de los distintos grupos de ingreso, solamente afectando de manera negativa al 20% más rico de la población, el Agente 4, que es fuerte consumidora de energía.

Tabla 4 Cambio en resultados de indicadores económicos seleccionados y agregados a nivel nacional, Eliminación gradual de subsidios vs. Escenario Tendencial

Categoría	2012 (%)	2018 (%)	2024 (%)	2030 (%)
PIB	-0.9359	0.3358	0.6884	1.5397
Inversión	-2.8067	-0.0347	3.3236	16.1049
Recursos del gobierno	6.2460	6.4166	5.8566	5.0945
Acervo de capital	—	—	—	7.1322
Bienestar de los Agentes 1 a 4	—	—	—	0.2920
Agente 1	—	—	—	1.0967
Agente 2	—	—	—	1.0063
Agente 3	—	—	—	0.4340
Agente 4	—	—	—	-0.1820
Bienestar del Gobierno	—	—	—	3.5042
Bienestar Agregado (Agentes y Gobierno)	—	—	—	0.8403

Fuente: Banco Mundial 2012.

Nota: — = resultados no reportados para ese año. Agente 1: deciles 1y 2; Agente 2: deciles 3, 4 y 5; Agente 3: deciles 6, 7 y 8; Agente 4: deciles 9 y 10.

Esta recuperación en el crecimiento del PIB es de acuerdo a lo esperado por la inercia propia de la economía, donde hay crecimiento poblacional, y por el crecimiento en la inversión resultante de una mejor asignación de los recursos que eran utilizados para subsidios a la energía, como muestran los resultados anteriores. La inversión de los recursos que antes se daban como subsidios ahora impulsa el crecimiento de algunos sectores que a su vez demandan más bienes y servicios y por tanto hacen que haya crecimiento económico aun mayor que el que existía con los subsidios, principalmente porque los recursos se usan de manera más eficiente.

Cabe destacar que el nivel de Bienestar Agregado (de los consumidores y del gobierno) aumenta debido a una eliminación del subsidio elimina la pérdida de bienestar (o pérdida social) que está asociada a la introducción de un subsidio. Además, dado que demanda de gasolina y la energía son relativamente inelásticas (es decir, desde -0.28 para gasolina y -0.32 para la electricidad residencial[5]), las ingresos para el gobierno por no gastar esos recursos son sustanciales aun cuando las ganancias agregadas son modestas. Esto es coherente con la teoría del equilibrio parcial, donde fijar un impuesto (subsidio) a un bien con demanda inelástica genera (gasta) una gran cantidad de ingresos mientras conduce a una pérdida de bienestar pequeña. Véase, Atkinson y Stiglitz (1980) para una revisión extensa de este planteamiento.

Por el lado de los sectores individuales, los resultados se muestran en la Tabla 5. En esta tabla se presenta el cambio porcentual en el valor de la producción entre el Escenario Tendencial y el Escenario de Eliminación de Subsidios para cada sector productivo y cada año. Con excepción del período inicial (cuando capital y mano de obra se ajustan a la eliminación del subsidio), la mayoría de sectores ven aumentos en su producción durante el análisis. Se observa una caída en la producción en el sector de electricidad, que es el más afectado al eliminar los subsidios, donde según los resultados del modelo la producción de este sector se verá reducido aproximadamente 25.3% en 2030 al eliminar el subsidio en comparación con el Escenario Tendencial. Aunque este número es alto, concuerda con la medida del subsidio eliminado. También se presentan pérdidas importantes en la producción de petróleo, gas natural, productos químicos (que incluyen productos petroquímicos) y en la refinación. Sin embargo, en los demás sectores se presentan aumentos como consecuencia de la inversión de los recursos economizados.

Estos resultados refuerzan que un uso más eficiente de recursos lleva a un mayor crecimiento económico aún cuando se eliminan los subsidios. Aquí es importante tener en cuenta que aunque el crecimiento en algunos sectores se rezaga un poco con respecto al crecimiento del PIB agregado, los sectores de servicios y manufactura representan 55% y 18% del PIB respectivamente y tienen crecimiento positivo incluso en 2018. Esto impulsa de manera importante el crecimiento agregado de la producción a pesar de que algunos sectores se muestren menos dinámicos.

Tabla 5 Cambio en producción a nivel nacional como resultado de la eliminación gradual de subsidios vs. Escenario Tendencial

Sector	**2012 (%)**	**2018 (%)**	**2024 (%)**	**2030 (%)**
Agricultura	-2.1029	-1.4120	1.3247	8.9637
Ganadería	-1.6484	-0.4198	2.5197	10.1736
Forestal	-0.8658	0.3597	3.2738	10.6729

Pesca	-2.0134	-2.2727	-0.9524	2.3622
Petróleo	-5.5083	-8.4084	-6.5328	0.2007
Gas Natural	-5.4565	-8.3945	-6.4797	0.2523
Minería	-3.6179	-2.3143	1.9057	12.7644
Refinación	-9.1142	-14.9005	-12.2972	-3.9018
Transporte	-1.2193	-1.0664	0.4664	4.1557
Electricidad	-24.5343	-35.6061	-32.7927	-25.3132
Químicos y plásticos	-5.5546	-5.7596	-0.5537	14.0324
Servicios	-0.2402	0.2896	1.7343	5.2546
Manufactura	-1.8774	0.0973	4.0762	13.9500

Fuente: Banco Mundial 2012.

El consumo de bienes y servicios aumenta en todos los sectores a excepción de la gasolina y la energía debido a que estos dos sectores recibían grandes subsidios bajo el Escenario Tendencial, mismos que se eliminan bajo este escenario. Estos resultados se muestran en la Tabla 5, donde se observa por ejemplo, que si bien el consumo de alimentos es del orden de 0.4% menor en el 2012 al eliminar los subsidios a la energía con respecto al Escenario Tendencial, en 2030 es 2.1% mayor que en el Escenario Tendencial debido a que los subsidios que el gobierno ya no da se distribuyen de manera más eficiente, llevando un mayor inversión y probablemente a menores precios de los alimentos, aumentando su consumo.

Tabla 6 Cambio en consumo a nivel nacional, Eliminación gradual de subsidios vs. Escenario Tendencial

Categoría	2012 (%)	2018 (%)	2024 (%)	2030 (%)
Alimentos	-0.3580	-0.2945	0.6063	2.1070
Bienes del hogar	-0.5087	-0.4493	0.5024	2.0484
Servicios	-0.5929	-0.4951	0.4027	1.9066
Automóviles	-0.7860	-0.6573	0.3002	1.8484
Electricidad y Gas LP	-8.4621	-12.9987	-11.9806	-10.3041
Transporte público	-0.6107	-0.7806	0.1122	1.5883
Gasolina	-1.8651	-2.8691	-2.1657	-0.4723
Agua	-0.4622	-0.2571	0.6452	2.1641
Vivienda	-0.5644	-0.4711	0.4300	1.9231

Fuente: Banco Mundial 2012.

Por último, excepto para petróleo, productos químicos y productos de refinería, el comercio internacional de la mayoría de los demás productos no se ve afectado por la eliminación de subsidios a la energía. Esto se explica por el hecho de que eliminar los subsidios tiene un efecto en los precios internos, acercando los precios nacionales a los precios internacionales[6].

[6] Estos resultados no se incluyen en el documento pero pueden solicitarse a la autora.

En conclusión, el efecto agregado de eliminación de estos subsidios a nivel nacional y de manera gradual, es negativo en el corto plazo, implicando una caída en el PIB de menos de 1%. Sin embargo, en el largo plazo el efecto es positivo al llevar a un crecimiento del PIB del 1.5% con respecto al Escenario Tendencial en el 2030, aún a pesar de la eliminación de los subsidios dado el uso más eficiente de esos recursos. Los impactos sectoriales son diferenciados, siendo los más afectados los sectores altamente dependientes de combustibles ya sea como insumos para su producción o como producto final. Además, la política de la eliminación de subsidios a la energía es progresiva desde el punto de vista de distribución del ingreso, ya que afecta más a los de ingresos más altos.

Sin embargo, el efecto de la eliminación de subsidios es temporal, provocando una reducción en el crecimiento de los sectores altamente energéticos solo en el corto y mediano plazo, pero en la medida en que se recupera la inversión y el crecimiento económico, estos sectores van teniendo caídas cada vez menores y eventualmente algunos observan crecimiento con respecto al Escenario Tendencial, a pesar de la eliminación de los subsidios.

3.2 Estimación del consumo de combustible a nivel nacional

A partir de los *valores* de consumo de combustibles que resultan de las simulaciones del modelo de equilibrio general, se hace un ajuste para descontar el crecimiento en el tiempo de los precios, y quitar los efectos de la elasticidad y de los subsidios, con el fin de calcular únicamente la *cantidad* consumida a nivel nacional de combustibles para los distintos periodos, tanto para el Escenario Tendencial como para el de Eliminación de Subsidios. Las tasas de crecimiento en el consumo de cada combustible entre periodos se aplicaron después al consumo observado de ese mismo combustible en 2010 para tener proyecciones de consumo futuro (2012, 2018, 2024 y 2030) bajo ambos escenarios. A partir de estos datos de consumo por tipo de combustible para los distintos años, se estimó el consumo evitado para cada tipo de combustible restando el consumo en el Escenario de Eliminación de Subsidios del consumo bajo el Escenario Tendencial. Esta diferencia se denomina *consumo evitado* y se calcula para cada tipo de combustible. Estos consumos evitados, en petajoules, se observan en la Tabla 7.

Tabla 7 Consumo evitado a nivel nacional dada la eliminación de subsidios a la energía, petajoules

	2012	2018	2024	2030
Diésel	16.48262	75.98841	72.8136	62.22353
LPG	57.31525	158.8846	168.8392	174.5443
Gasoline	59.13572	219.8212	212.1962	202.511
Nat Gas	151.6706	226.0774	173.8216	-6.98168

Como se señaló anteriormente, se puede observar en la Tabla 7, el efecto agregado de la eliminación de estos subsidios muestra ser positivo en tanto que reduce el consumo de los

distintos combustibles, cumpliéndose así el objetivo de esta política. Esto está fundamentado en la teoría económica ya que los recursos liberados de los subsidios se dirigen ahora a sectores más productivos de la economía, llevando a un mayor crecimiento. Inicialmente, sin embargo, el crecimiento disminuye ligeramente durante varios años. Esto es debido a que el modelo incluye variables asociadas trabajo y el capital, que necesitan un poco de tiempo para ajustarse a los efectos de una eliminación de subsidio de energía que necesariamente afecta a la economía[7]. Sin embargo, una vez que la economía se adapta a mayores precios, sigue creciendo.

Es importante resaltar el caso del gas natural. A pesar de que el precio del gas natural no está subsidiado, al eliminarse el subsidio de los demás combustibles el consumo de gas natural también cae. Esto se debe a que, por un lado, al eliminarse los subsidios cae la demanda de petróleo para producir combustibles debido a que los precios son más altos y como la producción de gas natural está asociada a la de petróleo como supuesto en el modelo, la producción de gas natural también cae. En segundo lugar, la desaceleración que afecta a la economía como resultado de la eliminación de los subsidios afecta también el consumo de gas natural en un esquema de equilibrio general. Al final, en 2030, el consumo de gas natural cae marginalmente. Esto puede deberse a la interacción de varios de los efectos arriba mencionados, aunados a la caída natural en la extracción de petróleo y por tanto de gas natural.

3.2 Estimación del consumo de combustibles en la ZMVM

Para escalar los resultados del consumo de combustibles derivados del modelo de equilibrio general a nivel nacional a valores de cambios esperados en el consumo de combustibles en la ZMVM, se tomaron datos que justifican que la participación de la ZMVM se ha mantenido relativamente constante con respecto al total nacional en los últimos años. Por ejemplo, como muestra la Tabla 8, la participación de la población de la ZMVM con respecto al total nacional ha sido del orden del 20% del 2000 a la fecha.

Tabla 8 Evolución histórica y escenario programático de la población

Ámbito	**1990**	**1995**	**2000**	**2003**	**2006**	**2010**	**2020**	**2025**
Población a nivel nacional, millones	81.25	91.2	97.48	101.5	105.3	109.8	120	123.2
Población a en ZMVM, millones	14.98	17.3	18.39	18.93	19.53	20.22	21.3	21.72
Población ZMVM con respecto a población nacional, %	18.44	18.97	18.87	18.66	18.55	18.42	17.84	17.63

Fuente: Elaboración propia con información de Pradilla 2005.

Por su parte, la Tabla 9 muestra como la actividad económica de la ZMVM también se ha mantenido relativamente constante con respecto al total nacional.

Tabla 9 Participación de la ZMVM en el PIB Nacional, 2000-2030

Año	Relación ZMVM/Nacional*
2000	29.1%
2010	27.4%
2020	25.8%
2030	24.3%

Fuente: Escobar y Jiménez 2009, pp. 9.

Con esta información se llegó a la conclusión de que es válido considerar que el crecimiento observado en el consumo de combustibles en la ZMVM sea similar a la tasa de crecimiento observado a nivel nacional y se decidió aplicar esa misma tasa.

Tomando como punto de partida en consumo de combustibles observado en la ZMVM en 2010 y aplicando la tasa de crecimiento que se obtuvo para el consumo de cada tipo de combustible a nivel nacional, tanto para el escenario Tendencial como para el de Eliminación de Subsidios, se obtuvieron los valores de consumo evitado indicados en la Tabla 10 para 2012, 2018, 2024 y 2030.

Tabla 10 Consumo evitado en la ZMVM escenario tendencial y de eliminación de subsidios a la energía, petajoules

	2012	2018	2024	2030
Diesel	1.488712	6.863285	6.576535	5.620039
LPG	12.77613	35.41693	37.63591	38.90762
Gasoline	9.589958	35.6481	34.41157	32.84092
Nat Gas	6.418538	9.567353	7.355945	-0.29546

En la Tabla 10 se presenta el consumo evitado esperado de combustibles en la ZMVM dado la eliminación del subsidio a nivel nacional. En la Tabla 11 se muestra el cambio porcentual en el consumo de combustibles entre estos dos escenarios, es decir, las reducciones esperadas en el consumo de combustibles para la ZMVM. Se observa una caída muy importante en el consumo de gas LP, que llega a ser del orden del 30% en 2018 y se mantiene así hasta el final del análisis. El consumo de gasolina en la ZMVM cae 13% en 2018, pero luego recupera aproximadamente tres puntos porcentuales, quedándose en una reducción del 10% al final del análisis. El consumo del diésel se reduce también, pero en menor proporción. Por último, el consumo de gas natural es el que menos cae, aunque se reduce 8.4% en 2018, pero termina siendo marginalmente mayor que en el Escenario Tendencial en el último periodo.

Tabla 11 Cambio porcentual en el consumo de combustibles en la ZMVM

	2012	**2018**	**2024**	**2030**
Diésel	-2.1	-8.6	-7.4	-5.7
Gas LP	-12.3	-30.1	-28.5	-26.5
Gasolina	-3.8	-13.0	-11.9	-9.9
Gas Natural	-5.5	-8.4	-6.5	0.3

Cabe mencionar que al eliminar los subsidios, hay una reducción en el crecimiento de la economía y en el consumo de combustibles dado que este tendrá un mayor precio. Este efecto se va profundizando en tanto la inversión no se recupera, pero después la inversión misma es un factor de crecimiento del uso de combustibles. Esto se observa en la tendencia de recuperación a partir de 2018 y hasta 2030. Para tener mayor claridad, estas tendencias se ilustran en la Figura 5.

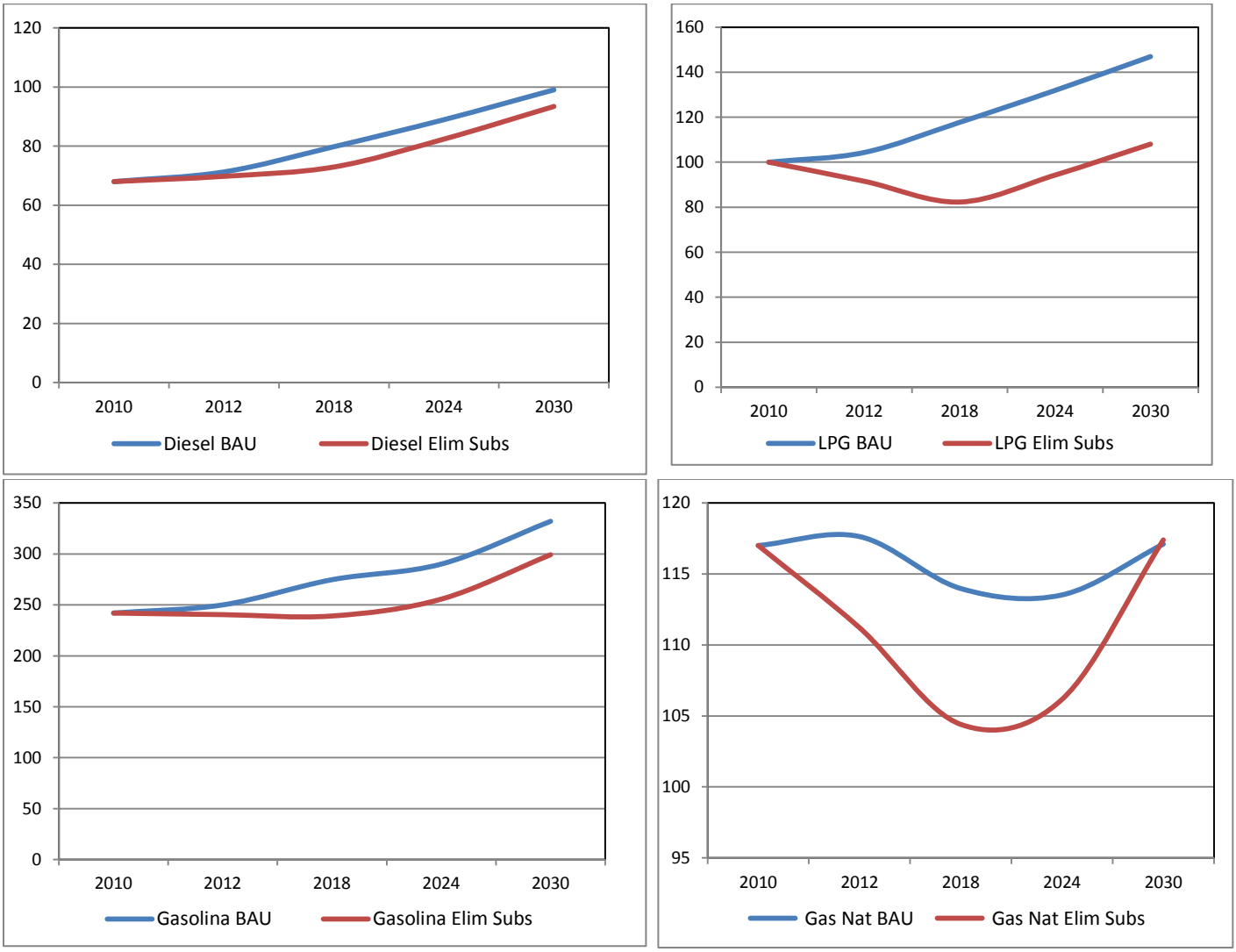


Figura 5. Cambio en el consumo de combustibles en la ZMVM, petajoules por año

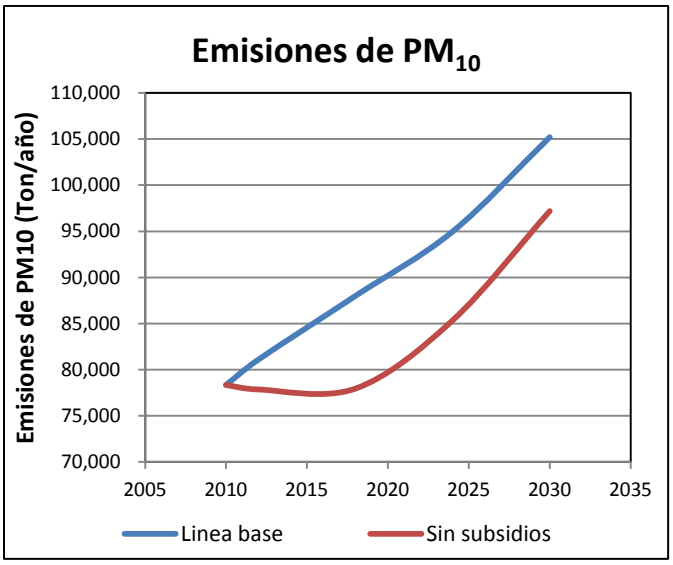
Aún cuando, como se puede observar en la Figura 5, los subsidios que se remueven en este ejercicio son altos, los resultados en cuanto a la reducción en el consumo de combustibles son moderados para algunos tipos de combustible. Esto se debe a la baja elasticidad precio, es decir, a que la cantidad demanda de combustibles reacciona muy poco al cambio en precios debido a que estos combustibles tienen pocos sustitutos.

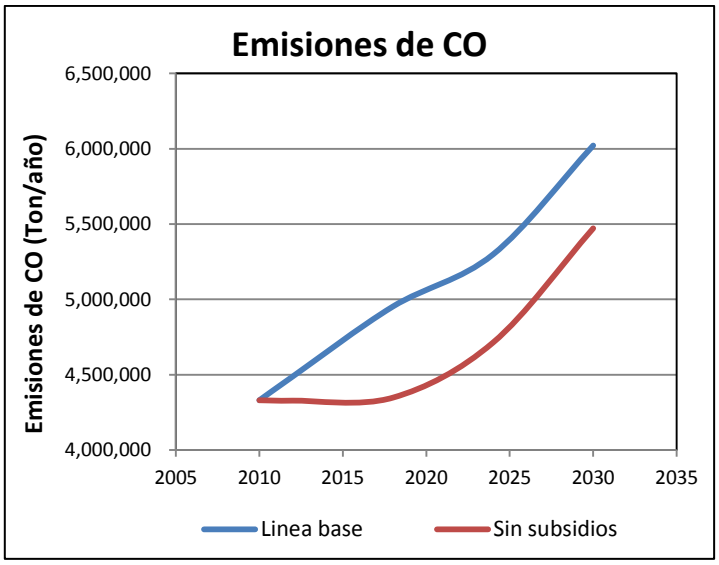
Como se indicó anteriormente, los resultados cuantitativos aquí presentados deben interpretarse de manera cualitativa, es decir, concentrándose, en la magnitud relativa, el signo y la tendencia de los resultados numéricos.

En la siguiente sección se analizan otras ganancias en bienestar que se derivan de la reducción del consumo de combustibles: los beneficios ambientales. El medio ambiente mejora porque el menor consumo de combustibles fósiles lleva a emisiones más bajas de dióxido de carbono, dióxido de azufre, óxido nitroso, monóxido de carbono y a una menor concentración ambiental de partículas y ozono. Lo cual implica un incremento en la calidad de vida que resulta de una mejor calidad del aire y por lo tanto de la salud. En la siguiente sección se estima estos impactos en calidad del aire.

3.3 Estimación de Emisiones en la ZMVM

El menor consumo de combustibles lleva a una reducción de los contaminantes emitidos. A continuación en la Figura 6 se presentan los resultados para cada uno de los contaminantes estudiados.





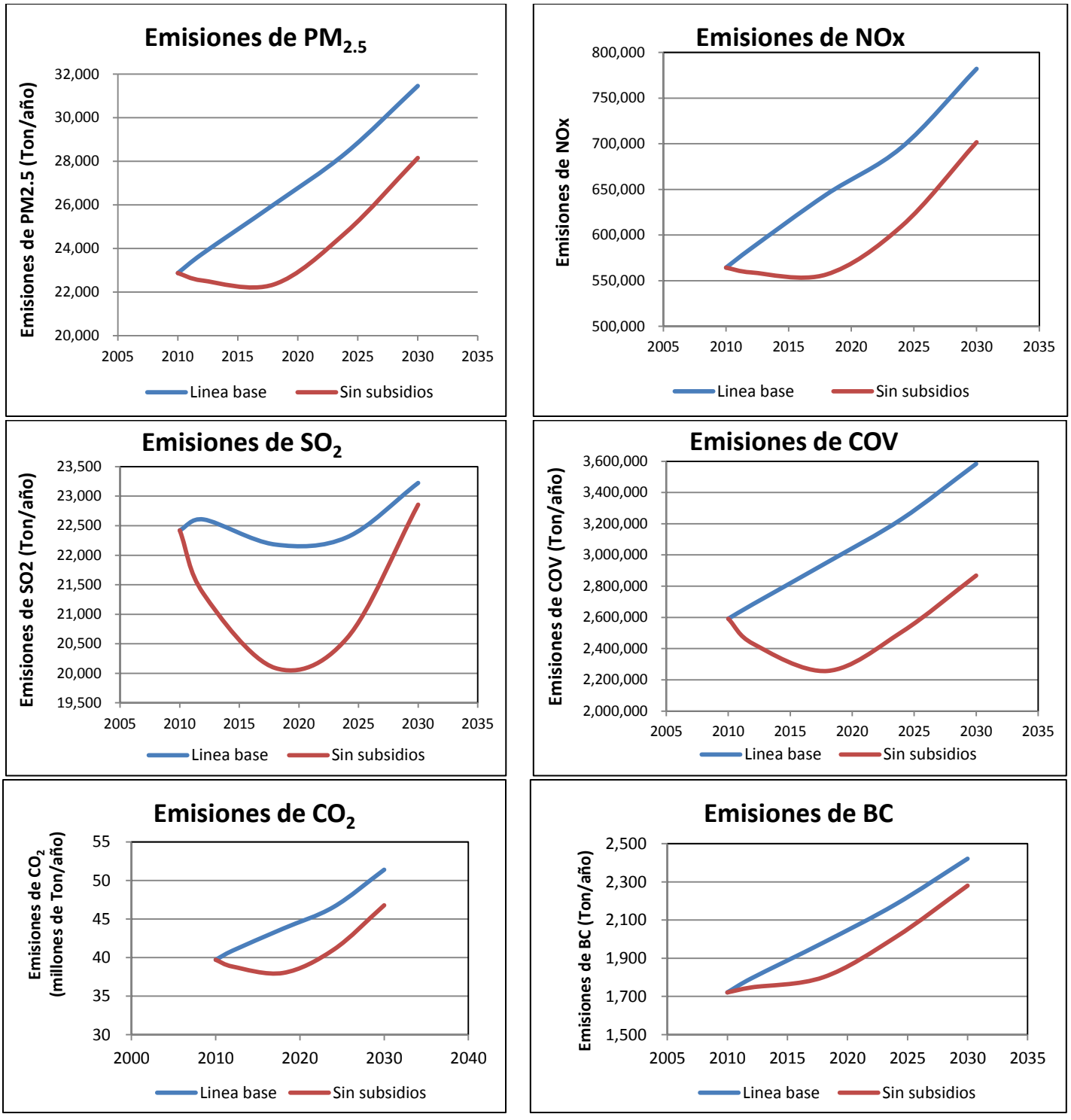


Figura 6 Impacto en emisiones de la reducción de subsidios a los combustibles

Como se puede observar en la Figura 6 en relación al comportamiento general de las emisiones, la medida de eliminación de los subsidios tiene un impacto importante en las emisiones de todos

los contaminantes estudiados. En los siguientes contaminantes: PM_{10}, $PM_{2.5}$, CO, NO_X, CO_2 y BC, se logra incluso un cambio en el comportamiento general y alcanza niveles más bajos que los actuales a pesar de un crecimiento esperado en el número de viajes por razones demográficas y económicas. El cambio más brusco se ve en el óxido de azufre ya que este contaminante se asocia principalmente a las fuentes puntales usuarias de gas natural, que es a su vez el combustible sobre el que esta política tiene un mayor impacto en términos de consumo.

Por otra parte, cabe anotar que en el corto plazo aproximadamente en los próximos 8 años (2012-2020), esta política muestra tener beneficios importantes en términos de emisiones de los contaminantes estudiados, incluyendo en gases efecto invernadero (CO_2 y BC). Sin embargo, en el largo plazo, las emisiones de contaminantes recuperan su tendencia inicial. Lo anterior implica que si bien en un principio la eliminación de los subsidios reduce las emisiones de la zona, lo que ya en sí mismo es un impacto positivo, en el largo plazo es importante considerar otras medidas como impuestos, mejoras tecnológicas, cambios modales o estrategias de reducción en el número de viajes motorizados.

3.4 Calidad del aire en la ZMVM

A partir de la estimación del cambio en el consumo de combustibles en la ZMVM se hicieron simulaciones con el modelo fotoquímico Multiscale Climate Chemistry Model (MCCM), para estimar los cambios en las concentraciones de partículas y de ozono. Esto permite determinar impactos locales en las concentraciones de contaminantes.

Con la finalidad de poder estimar cómo se modificarían las concentraciones de ozono y de partículas producto de la eliminación de subsidios, se realizaron simulaciones de escenarios empleando el modelo MCCM, tomando como base el Inventario de Emisiones de la ZMVM 2010[8]. Para este análisis se tuvo en cuenta una línea base de emisiones para el periodo 2010-2030. A continuación se describe la información utilizada y los resultados de la modelación fotoquímica.

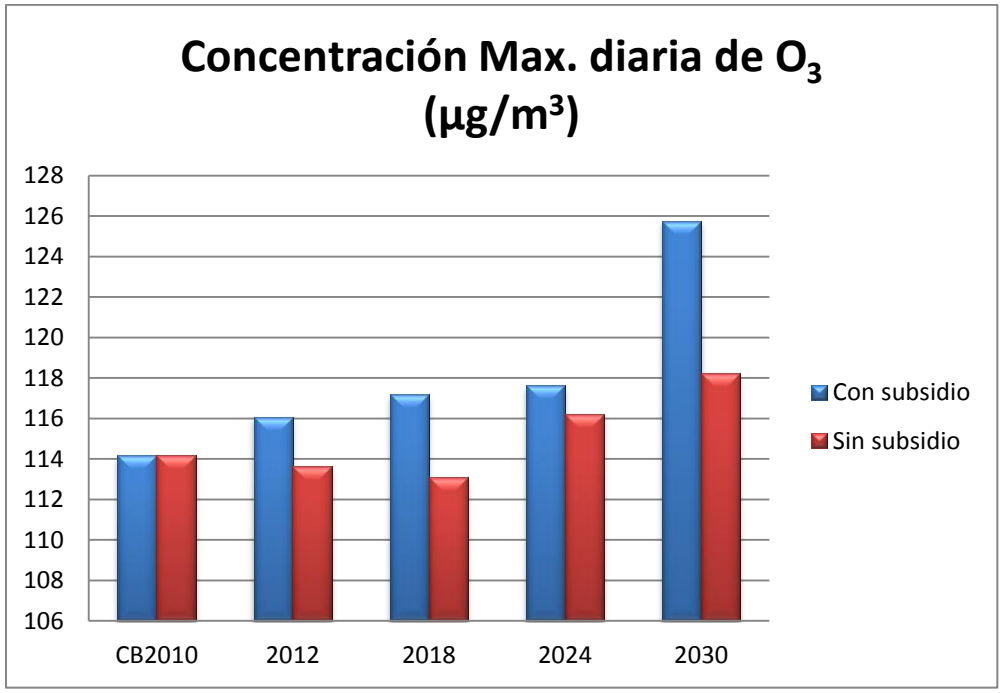
Se realizó la modelación fotoquímica de cinco escenarios, uno correspondiente al año base (2010) y los otros cuatro correspondientes a 2012, 2018, 2024 y 2030. En cada caso se estimaron las concentraciones de contaminantes criterio típicas bajo condiciones meteorológicas de la temporada SECA-CALIENTE, para el 19 de mayo, en la ZMVM. Para una discusión detallada de los dominios usados en la modelación, consúltese el Anexo 3.

Ozono

Como se mencionó previamente, a partir de los resultados en emisiones se hizo el ejercicio de modelación para obtener las concentraciones de ozono en la ZMVM en los distintos periodos del

[8] Esta parte del estudio la llevó a cabo la Unidad Departamental de Modelación y SIG de la Dirección General de Gestión del Aire de la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.

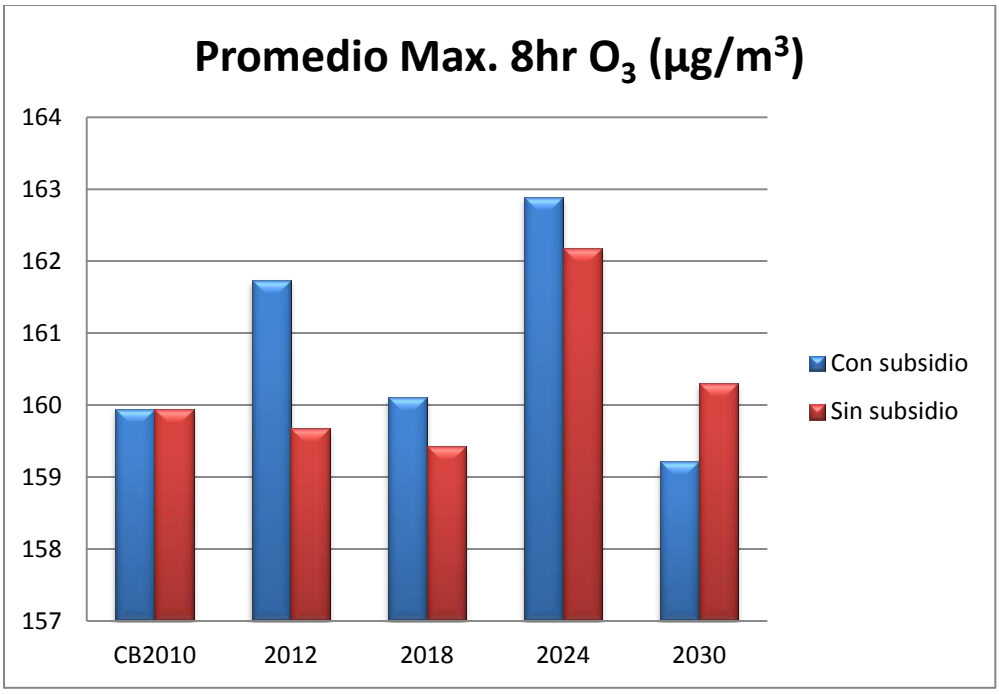
análisis. Como se puede observar las concentraciones de ozono (Figura 7) se reducen al haber un menor consumo de combustibles y por tanto menores emisiones en la ciudad. Cabe resaltar que las variaciones y concentraciones de ozono estimadas siguen un patrón relacionado con las variaciones en las emisiones de sus precursores NOx y COT, determinadas con base en la aplicación o retiro de subsidios a los combustibles. Donde CB corresponde al Caso Base y se presenta el escenario en los diferentes años de evaluación. Los resultados presentados en la siguiente figura corresponden al valor máximo diario para el día de análisis en µg/m^3, obtenido a partir de los valores de isoconcentración en la malla del análisis de nivel agregado.



Fuente: Elaboración propia, SMA-GDF.

Figura 7 Concentración Máxima diaria de Ozono estimada para la ZMVM, 19 de mayo, 15 hrs

Una vez llevado a cabo el análisis a nivel agregado para la ZMVM, se hizo un análisis por estación de monitoreo. Se desagregó la información de ozono para las 35 estaciones, obteniéndose variaciones en la concentración de ozono con lo cual se determinó el promedio máximo para 8 hr, como se muestra en la Figura 8. A partir de estos resultados, se puede concluir que hay un patrón espacial de acumulación de los contaminantes y que esto a su vez puede incidir a lo largo de los años de estudio. Así, mientras la concentración máxima estimada del acumulado de 8 hr de ozono se reduce en el corto plazo debido a la aplicación de la política, esto varia en el 2030. Esto puede estar relacionado con la generación de contaminantes en las zonas aledañas a cada estación y a la meteorología del lugar.



Fuente: Elaboración propia, SMA-GDF.

Figura 8 Concentración de ozono en distintas estaciones de monitoreo, 15 horas del 19 de mayo, bajo distintos escenarios

Es términos generales según los resultados de concentraciones máximas obtenidos del modelo, la implementación de la política tiene un impacto positivo para los distintos años. Sin embargo, se requiere de se requieren de otros análisis más complejos para generar estadísticos anuales.

PM2.5

Al igual que en el ozono, el análisis de este contaminante se centró en las horas en que se observó mayor concentración medida y modelada, es decir, en las concentraciones máximas horarias. Esto ocurrió en el periodo de las 7 a las 9 horas también del día 19 de mayo, periodo en el cual se tiene la mayor contribución de emisiones en días laborales en la ZMVM, principalmente proveniente de automotores.

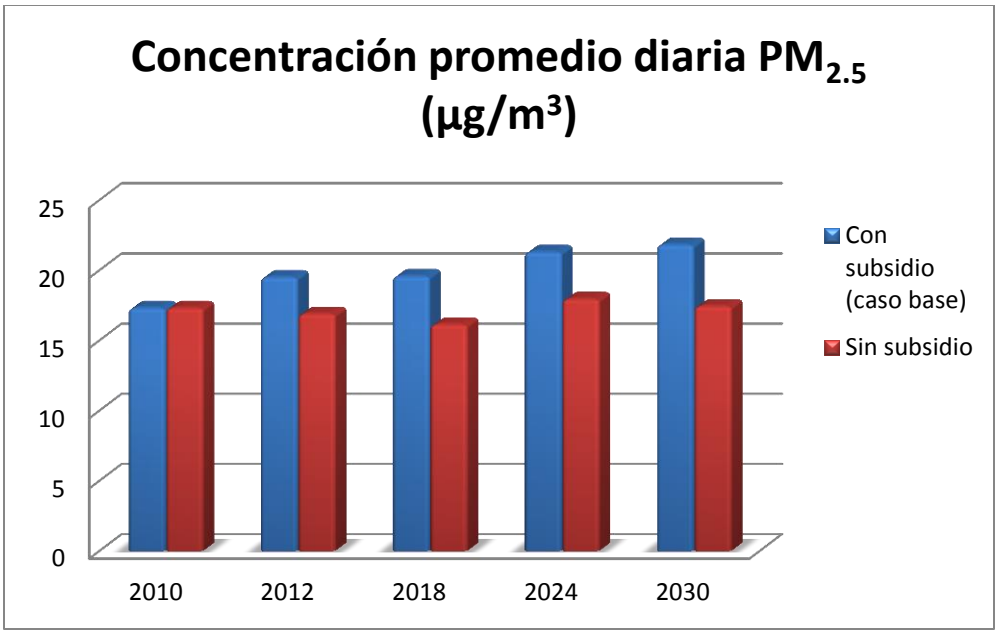


Figura 9 Concentración promedio diaria de PM2.5

Si bien las concentraciones de $PM_{2.5}$ no tienen un patrón igual al mostrado por el ozono, su distribución se aproxima a la distribución de las emisiones de $PM_{2.5}$ para los años simulados. En dicha emisión, el mayor aporte es por las Fuentes de Área (Servicios), seguido por las Fuentes Vehiculares. Ahí se observa que la emisión de $PM_{2.5}$ disminuye hacia el 2018 y luego aumenta de forma sostenida hasta el 2030.

Al parecer el impacto del retiro de subsidios y aumento consecuente de precios en los energéticos se reflejaría de manera inmediata en un menor consumo de combustibles y una disminución en la emisión durante los años siguientes a 2010. Sin embargo es importante resaltar que por ahora las alternativas al uso intensivo de combustibles como la gasolina y el diésel son limitadas, por lo que luego de 2018 se estima que el consumo de combustibles se reactivaría y consecuentemente se presentaría también un aumento en las concentraciones de $PM_{2.5}$ hacia el año 2030. Esto podría cambiar de haber acceso a otras tecnologías a nivel comercial.

La Figura 10 muestra la tendencia en la concentración promedio máxima de $PM_{2.5}$ en la ZMVM bajo los distintos escenarios.

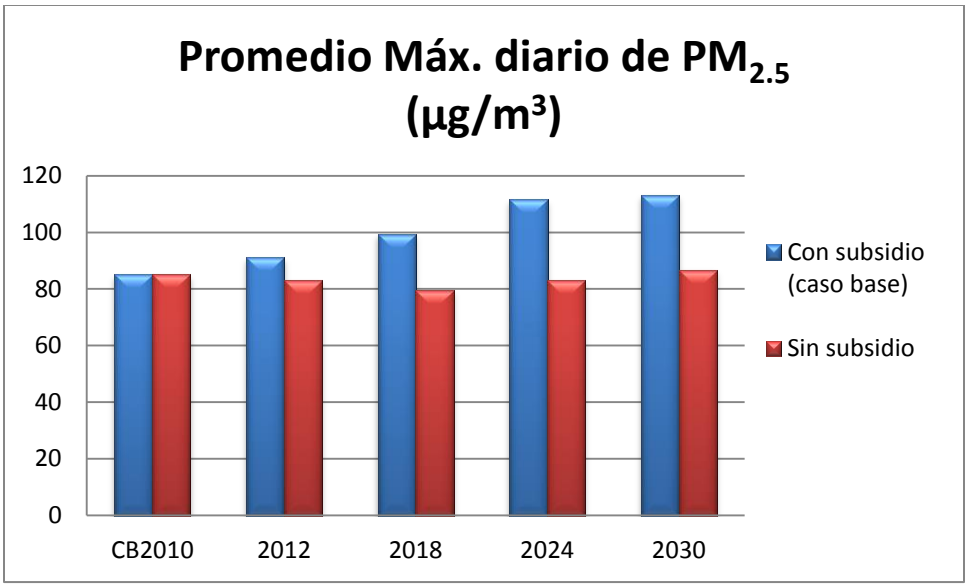


Figura 10 Concentración Promedio Máxima de PM2.5 para las estaciones

A partir del análisis realizado con el modelo MCCM, se observó que es a las 7 AM la hora a la cual se estimaron las concentraciones más importantes de este contaminante. En concreto, para esa hora se estimó que la calidad del aire "Buena" tiene mayor probabilidad de ocurrir al eliminar los subsidios a los combustibles en los escenarios ESC2012, ESC2018, ESC2024 y ESC2030 que en el Caso Base CB2010. Esto lleva a disminuciones en emisiones y mejora en calidad del aire en algunas estaciones.

3.5 Efectos en la salud de la eliminación de subsidios a la energía en la ZMVM

El equipo de calidad del aire de la Secretaría Distrital de Medio Ambiente en el Distrito Federal realizó un modelo para calcular la variación comparativa de $PM_{2.5}$ respecto a un año base (no intervención) comenzando en el año 2010. Los resultados indicaron una reducción neta en las concentraciones de material particulado ultra fino ($PM_{2.5}$) en los escenarios de eliminación de los subsidios. En un área tan extensa y densamente poblada como la ZMVM, las diferencias geográficas en exposición hacen muy difícil la generalización de estimaciones de exposición a contaminantes. La necesidad de utilizar técnicas de modelización rápida no permite una desagregación geográfica adecuada en que la fracción inhalada es condicionada por vientos dominantes, densidad y composición poblacional, cercanía del tráfico y otras variables relevantes. Ello implica la necesidad aún mayor de precaución en la interpretación de la magnitud de los resultados, siendo el signo de los mismos lo importante en este caso.

Sobre la base de los resultados de 2010, y con las estimaciones de incremento poblacional y cambios relativos en exposición a $PM_{2.5}$ se modelaron los principales efectos en salud para los escenarios planteados (eliminación de subsidios en los años 2012, 2018, 2024 y 2030). El

resultado (ver tabla 12 y figura 11) es una reducción neta de la mortalidad cardiopulmonar, casos de bronquitis crónica y de otros efectos en salud atribuibles (admisiones hospitalarias, visitas a salas de urgencias, días de actividad restringida, infecciones respiratorias agudas en niños menores de cinco años de edad, y síntomas respiratorios leves en adultos mayores de treinta años).

Tabla 12. Reducción en mortalidad y morbilidad por la reducción en niveles de contaminación atribuibles a la eliminación de subsidios, con respecto al caso base (no eliminación)

	2010	2012	2018	2024	2030
Mortalidad cardiopulmonar	0	-678	-1,036	-901	-1,157
Bronquitis Crónica	0	-508	-762	-672	-870
Admisiones hospitalarias	0	-1,264	-1,969	-1,687	-2,149
Visitas sala de urgencias	0	-24,800	-38,623	-33,101	-42,166
Días de actividad restringida (adultos)	0	-2,702,420	-4,208,682	-3,606,967	-4,594,762
Infecciones Respiratorias Agudas (niños)	0	-16,687	-25,987	-22,272	-28,371
Síntomas respiratorios (adultos)	0	-8,600,747	-13,394,589	-11,479,565	-14,623,331

Fuente: estimaciones de los autores

Tabla 13: Reducción porcentual en mortalidad y morbilidad atribuible a la contaminación por material particulado, debida a la reducción en niveles de $PM_{2.5}$ atribuibles a la eliminación de subsidios, con respecto al caso base (no eliminación)

	2010	2012	2018	2024	2030
Mortalidad cardiopulmonar	0	-15.93	-21.26	-19.38	-24.47
Bronquitis Crónica	0	-14.35	-19.06	-17.47	-22.21
Otros efectos en salud*	0	-13.00	-18.00	-16.00	-20.00

Fuente: estimaciones de los autores *Incluye los efectos listados en la tabla 18; las reducciones porcentuales son equivalentes por la utilización de un modelo dosis-respuesta lineal, siguiendo las metodologías en (Larsen y Strukova 2005)

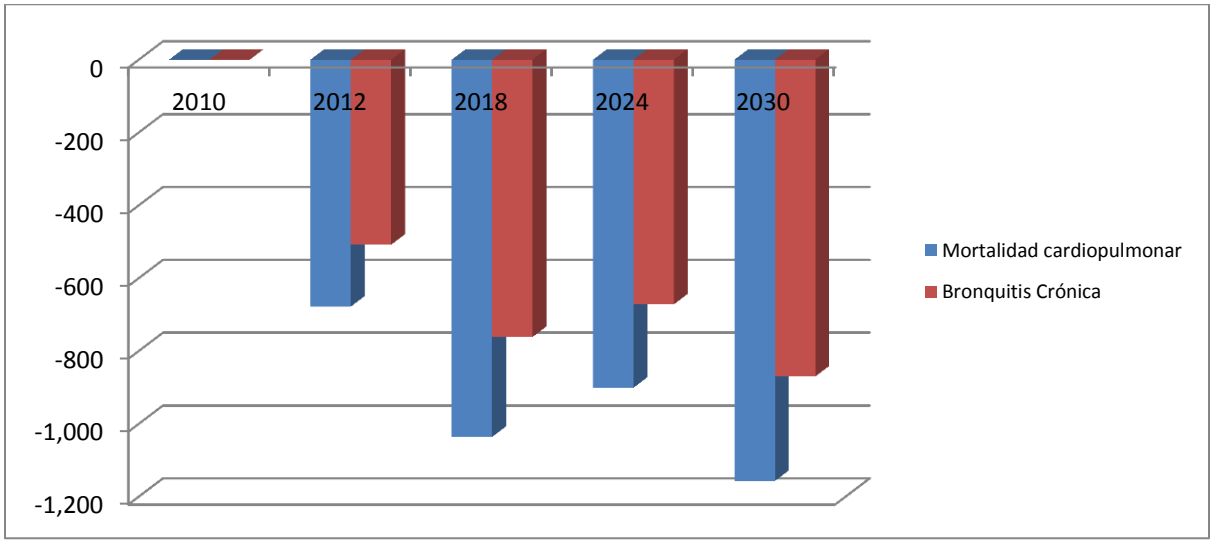


Figura 11. Reducción de mortalidad cardiopulmonar y bronquitis crónica atribuible a la eliminación de subsidios, con respecto al caso base (no eliminación)

Fuente: estimaciones de los autores

Respecto de los costes económicos asociados, estudios comparables han asumido incrementos promedio de precios médicos de un 2% para el cálculo de costes futuros de enfermedad atribuible a la contaminación (Strukova et al. 2012). Bajo este supuesto y las condiciones ofrecidas por el modelo general de este reporte, los costes económicos en salud estimados se listan en la tabla 14 y se representan en la figura 12, y los ahorros potenciales asociados se listan en la tabla 15.

Tabla 14. Evolución de costes económicos en salud asociados a la materia particulada en la ZMVM bajo los escenarios de base y de intervención (sin subsidio)

	2010	2012	2018	2024	2030
Coste max base	70,79	53,50	68,09	71,80	79,93
Coste max sin SS	70,79	45,23	53,98	58,28	60,94
Coste min base	37,19	26,58	33,88	35,69	39,73
Coste min sin SS	37,19	22,41	26,77	28,87	30,15

Fuente: estimaciones de los autores

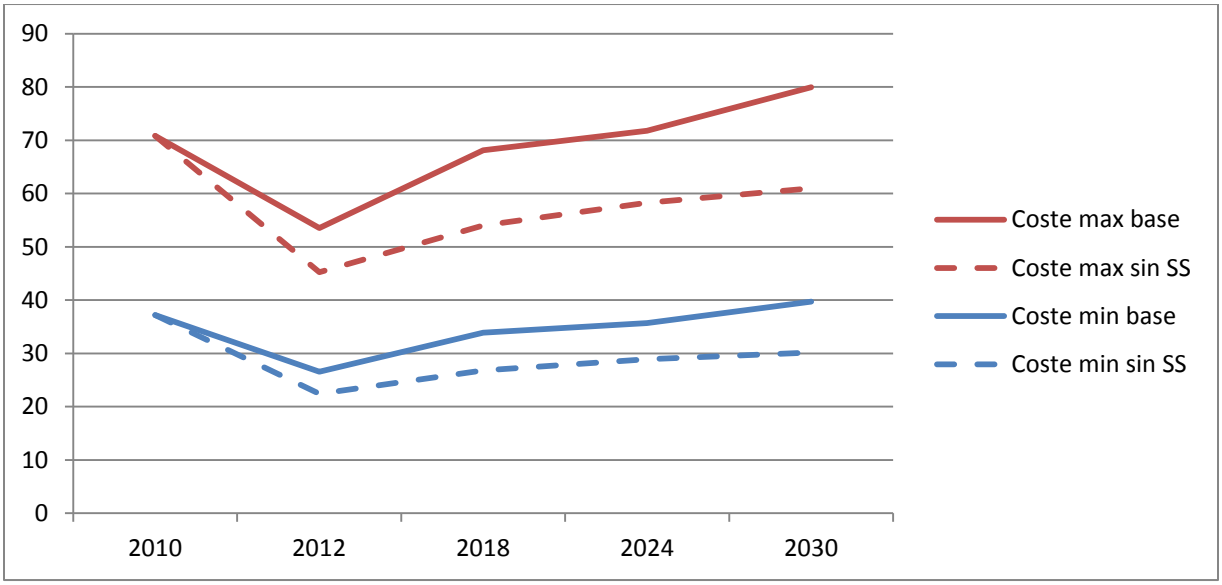


Figura 12. Evolución de costes económicos en salud asociados a la material particulado en la ZMVM bajo los escenarios de base y de intervención (sin subsidio)

Unidades: miles de millones de pesos Mexicanos

Fuente: estimaciones de los autores

Tabla 15. Evolución de ahorro económicos en salud asociados a la intervención (sin subsidio)

	2010	2012	2018	2024	2030
Ahorro en salud (mínimo)	0.00	4.17	7.11	6.82	9.58
Ahorro en salud (máximo)	0.00	8.27	14.11	13.53	18.99

Unidades: miles de millones de pesos Mexicanos Fuente: estimaciones de los autores

Adicionalmente a los resultados presentados aquí, suma contextualizar la importancia en términos de salud y económica de una eventual reducción de las concentraciones de contaminantes. Según el Instituto Nacional de Salud Pública (2009) las reducciones de mortalidad alcanzables en la ZMVM mediante la reducción de las concentraciones de PM_{10} son significativas. Por ejemplo, cumpliendo los parámetros de la Unión Europea (40 $\mu g/m^3$) se evitarían alrededor de entre 840 y 1038 muertes prematuras anuales en la ZMVM. Cumpliendo los parámetros de la OMS y EPA de 20 μg/m3 se evitarían entre 1863 y 2336 muertes prematuras anuales en la ZMVM. Simplemente contabilizando la mortalidad esto podría evitar a la sociedad un coste anual de quince mil millones de Pesos. A estos beneficios habría que sumar los ahorros en costes sanitarios y en costes asociados a la pérdida de productividad que suele acompañar a los efectos respiratorios de la contaminación.

En resumen, en tanto que la eliminación de subsidios pueda suponer una reducción significativa de los niveles de material particulado y ozono en la ZMVM, los beneficios en reducción de mortalidad, morbilidad y costes económicos asociados pueden ser muy significativos. Este principio ha sido corroborado en la ZMVM por una amplia mayoría de los estudios realizados a nivel local (Cesar et al. 2002, INSP 2009, etc.) en adición a este estudio.

Las cifras estimadas en esta evaluación deben ser interpretadas tan sólo de manera orientativa, y con gran precaución. Como se mencionó al inicio del documento. Las razones son múltiples, e incluyen: 1) una deficiente evaluación de exposición, incluso al nivel de estudio ecológico; 2) la ausencia de información detallada y actualizada de morbilidad; 3) los modelos simplificados utilizados para la estimación rápida; y 4) la incertidumbre en los parámetros económicos utilizados, incluyendo tasas de descuento, incremento previsto de precios médicos y disponibilidad a pagar para evitar enfermedad. Con todo, el principio básico se sostiene: en tanto en cuanto eliminar los subsidios pueda reducir la contaminación, existen incentivos económicos desde la perspectiva de salud pública, adicionalmente a los que se puedan obtener de diversos sectores del sistema productivo.

4 Conclusiones y recomendaciones de política pública

La conclusión más importante de este estudio es que la eliminación de subsidios a la energía lleva efectivamente a un menor uso de combustibles, lo cual se sostiene en el corto y mediano plazo. Ello se traduce en menores emisiones, menores concentraciones de ozono y partículas y mejor calidad del aire, teniendo todo esto un impacto positivo en la salud. Aún cuando los efectos en concentración de ozono y partículas sean pequeños, la eliminación de subsidios por sí misma podría mantener o mostrar una pequeña mejora en la calidad del aire que se mantendría en el mediano plazo, aun habiendo crecimiento económico y poblacional, como muestran las simulaciones. Este logro es muy significativo dado que es de esperarse que de seguir con los subsidios a la energía las emisiones aumenten. Además esto tendría un impacto positivo sobre las finanzas públicas y el crecimiento económico, quitando distorsiones en el gasto público que solo llevan a un mayor consumo de energía y a beneficiar a los grupos poblacionales de mayores ingresos. La eliminación de subsidios también liberaría recursos públicos para otros usos y llevará a la reducción de otras emisiones globales que contribuyen al cambio climático, permitiendo a México cumplir sus compromisos internacionales.

Segundo, aún cuando los subsidios que se remueven en este ejercicio son altos, los resultados en cuanto a la reducción en el consumo de combustibles son moderados. Esto se debe a la muy baja elasticidad precio, es decir, a que la demanda de combustibles reacciona muy poco al cambio en precios principalmente porque estos combustibles tienen sustitutos limitados. Por ello, se recomienda la generación de sustitutos, que como se describirá más adelante, que pueden consistir tanto en vehículos automotores como en sistemas de transporte urbano más eficientes en el uso de combustibles y energía y mejores opciones de movilidad de pasajeros y carga.

Una tercera conclusión es que los resultados se pueden discutir partiendo el periodo de análisis en dos partes, uno de 2010 a 2018 y otro de 2024 a 2030. Los resultados más contundentes en cuanto a reducción en la concentración de ozono y de partículas se refiere son entre 2010 y 2018. Este es el periodo en el que se quita el subsidio y la economía tiene que ajustarse básicamente reduciendo el consumo de combustibles. En el periodo posterior las concentraciones repuntan aunque sin llegar a los niveles de 2010. Esto se debe al crecimiento económico que empieza a cobrar fuerza debido a la inversión de esos recursos de manera más eficiente. Dos elementos para la formulación de políticas públicas se pueden obtener a partir de este análisis. Primero, que la eliminación de subsidios tiene un efecto importante en el corto plazo, y segundo que el efecto de aumento en precios de los combustibles (en este caso por la eliminación de subsidios) es pasajero, dado que los usuarios de dichos combustibles se ajustan en el tiempo, aumentando su consumo en el mediano plazo aun cuando los precios hayan aumentado.

En tanto que la eliminación de subsidios pueda suponer una reducción significativa de los niveles de material particulado y ozono en la ZMVM, los beneficios en términos de reducción de mortalidad, morbilidad y el ahorro de los costes económicos asociados pueden ser significativos.

Este principio ha sido corroborado en la ZMVM por una amplia mayoría de los estudios realizados a nivel local, e internacionalmente en multitud de ámbitos urbanos. En general, una convergencia rápida hacia niveles de contaminación seguros para la salud (P.ej. por debajo de las directrices de la OMS) suele resultar costo-beneficiosa, sobre todo contabilizando los beneficios en términos de reducción de mortalidad cardiopulmonar prematura. Desde el punto de vista de la prevención de los efectos de la contaminación sobre la salud y sus implicaciones económicas en la ZMVM se pueden derivar de esta somera evaluación algunas recomendaciones tanto a nivel de herramientas de gestión como a nivel de políticas públicas relevantes:

- Necesidades a nivel de herramientas de gestión
  - En primera instancia, para tener mejores resultados de impacto económico de las políticas públicas es necesario desarrollar un modelo de equilibrio general computable con representación regional para el caso de México. Para ello es importante la generación de las matrices de información económica regionales para así poder construir un modelo regional.
  - Monitoreo epidemiológico a mayor desagregación local para detectar diferencias sistemáticas de exposición y efecto.
  - Estudios epidemiológicos específicos sobre grupos de riesgo (niños, ancianos, enfermos crónicos cardiovasculares y respiratorios, etc).
  - Más estudios de valoración contingente en la ZMVM para obtener valores precisos locales de disponibilidad a pagar para reducir riesgos (Los estudios relacionados con el programa PROCONVE en Sao Paulo es un buen ejemplo).

- Necesidades a nivel de políticas públicas
  - Incorporar el uso sistemático de evaluación económica en salud en políticas con posibles efectos en reducción de la contaminación.
  - Utilizar estudios económicos para asegurar suficientes recursos para investigación epidemiológica de la contaminación en la ZMVM.
  - Continuar con paquetes de políticas que aseguren reducciones rápidas en material particulado.
  - Incrementar la capacidad de las autoridades locales para realizar sus propias evaluaciones en salud y económicas de las políticas de reducción de la contaminación.
  - El análisis realizado en la ZMVM subraya la importancia de fortalecer el acceso y disponibilidad de datos, información y herramientas para la estimación y simulación de emisiones, calidad del aire, efectos a la salud y costos económicos. Incluso en la ZMVM, los recursos para llevar a cabo dichos análisis deben ser fortalecidos como base para una toma de decisiones informada que conlleve a políticas costo efectivas.

A partir de los resultados obtenidos se proponen dos acciones. Primero, que además de la eliminación de subsidios, se vaya introduciendo de manera gradual un impuesto a los combustibles (y a la energía en general) para mantener el efecto de contención del uso de energía y de concentraciones de contaminantes. Segundo, que los recursos ahorrados a partir de la eliminación del subsidio (y los generados a partir de los nuevos impuestos, de ser instrumentados) se destinen para la transición energética, donde el transporte sustentable y las energías renovables cobren mayor importancia y donde se promueva mayor eficiencia en el uso de energía (Islas 2012). En concreto se proponen varios sectores donde se pueden invertir los recursos:

- Se propone también que una cierta proporción de los recursos derivados de la eliminación de subsidios sean destinados al diseño e implementación de sistemas sustentables de transporte público urbano e interurbano de calidad que lo vuelva una alternativa creciente de transporte diario para todos los sectores de la población. Esto deberá estar ligado a la renovación del parque vehicular, en particular el del trasporte público[9].
- Planear centros urbanos alrededor de sistemas de transporte multimodal, constituyéndose así núcleos de población con alta densidad donde existan alternativas reales al sistema de transporte particular; Financiar el desarrollo de ferrocarriles para transitar de un sistema carretero a uno ferroviario tanto para pasajeros como para carga.
- Mejorar combustibles, dando prioridad a acelerar la introducción de gasolina y diesel de ultra bajo contenido de azufre. Ello permitiría reducir de manera importante las emisiones de contaminantes criterio y por lo tanto la concentración de contaminantes en la atmósfera. Además contar con combustibles automotrices de mejor calidad permitirá la introducción de vehículos nuevos con sistemas avanzados de control de emisiones y la retro adaptación de dichos sistemas de control de emisión en una parte del parque vehicular en circulación.
- Reforzar y ampliar la inversión en eficiencia energética en el hogar y en edificios comerciales y de servicios. El subsidio al gas LP es de los más altos, por lo que su eliminación tendrá un efecto importante sobre los consumidores; Fomentar el uso de energía renovable de bajo impacto ambiental que reduzca a su vez la necesidad de fuentes no renovables de energía.

Adicionalmente, teniendo en consideración que el objetivo de una política de precios a los combustibles busca es reducir el consumo de combustibles y por ende reducir las emisiones tanto

[9] En concreto, con respecto al fortalecimiento del sistema de transporte público, se encontró que en 2007, México destinó más de 4 mil 400 millones de dólares en subsidios a la gasolina y el diésel. En el 2008, este subsidio se elevó a 17 mil 200 millones de dólares. Por otra parte se encontró que el sistema de BRT más caro cuesta alrededor de 15.6 millones de dólares por kilómetro, el subsidio asignado hubiera podido cubrir 282 km de BRT en el 2007 y 1104 km en el 2008. Aun cuando podría haber algunas precisiones tanto en el monto del subsidio como en el costo del BRT para México, esto indica un posible uso del subsidio, al menos para el financiamiento parcial de un mejor sistema de transporte público.

locales como globales (mejorar la calidad del aire), se deben instrumentar otras medidas. Por ejemplo, podría considerarse la introducción de impuestos a los combustibles para reducir su consumo. Esto haría que se internalicen las externalidades que causa el uso de combustibles, es decir, que cada quien pague por los costos en contaminación que impone a otros. Así, podrían fijarse impuestos verdes, definidos a partir del costo ambiental que imponga cada combustible. Los recursos generados a partir de esos impuestos podrían usarse para promover el cambio tecnológico hacia una mayor eficiencia energética en la economía; para la creación y diseminación de sustitutos relevantes al uso de energía, por ejemplo a través del desarrollo de un sistema de transporte público de calidad de baja intensidad energética (Litman 2012), o infraestructura que funcione con energía renovable como los calentadores solares; o para el financiamiento de las inversiones necesarias para la mejora futura de los combustibles como se ha venido haciendo con las gasolinas y el diésel.

Por otra parte, el Programa para mejorar la calidad del aire de la ZMVM 2011-2020 (conocido como (PROAIRE), plantea ocho estrategias y una serie de medidas a instrumentar para lograrlo. En concreto hay tres estrategias que se ven reforzadas a partir de la eliminación de subsidios a la energía y de la introducción de impuestos al consumo de combustibles. Estas son:
Estrategia 2. Disminución estructural del consumo energético de la ZMVM
Estrategia 3. Calidad y eficiencia energéticas en todas las fuentes
Estrategia 4. Movilidad y regulación del consumo energético del parque vehicular

En resumen, si el objetivo es reducir el consumo de energía y mejorar la calidad del aire y la salud, se deben instrumentar varias políticas para lograrlo. La eliminación de subsidios a la energía es solamente un paso, pero el uso de estos recursos para el fortaleciendo las estrategias y acciones del PROAIRE, permitirá invertir la inversión en estas medidas que contribuyen a reducir el consumo futuro de energía en México y a una mayor sustentabilidad energética, fiscal y ambiental tanto para el país como en las zonas urbanas que lo conforman. Los impuestos al consumo de energía aquí propuestos podrían sentar la base para una reforma fiscal con un componente ambiental importante.

Cabe resaltar que actualmente México está trabajando en una política cada vez más verde, donde es muy probable que con el propósito de reducir emisiones y otras externalidades se ajusten los precios a los combustibles y al uso de la energía. Esto ha sido manifestado por la Secretaría de Energía, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y la Presidencia de la República.

5 Referencias

- Alberini A, Krupnick AJ (2000) Cost-of-Illness and Willingness-to-Pay Estimates of the Benefits of Improved Air Quality: Evidence from Taiwan Land Economics Vol. 76, No. 1 (Feb., 2000), pp. 37-53
- Arciniegas A., Rodríguez C., Pachón J., Sarmiento H., Hernández L.J. (2006) Estudio de la morbilidad en niños menores a cinco años por enfermedad respiratoria aguda y su relación con la concentración de partículas en una zona industrial de la ciudad de Bogotá. ACTA NOVA; Vol. 3, Nº 2, junio 2006
- Arciniegas, A., Aristizabal, G., & Hernández, L. J. (2009). Asociación entre la Contaminación y la morbilidad por enfermedad respiratoria en tres localidades de Bogotá. Bogotá: Secretaría Distrital de Salud; Hospital del Sur y Hospital de Fontibón.
- Atkinson RW, Anderson HR, Sunyer J, Ayres J, Baccini M, Vonk JM, Boumghar A, Forastiere F, Forsberg B, Touloumi G, Schwartz J, Katsouyanni K. Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions: results from APHEA 2 project. Air Pollution and Health: a European Approach. Am J Respir Crit Care Med. 2001 Nov 15;164(10 Pt 1):1860-6. PubMed PMID: 11734437.
- Atkinson, A. B., and J. B. Stiglitz. 1980. Lectures on Public Economics. London and New York: McGraw-Hill Book Co.
- Ballard, C., D. Fullerton, J. Shoven, and J. Whalley. 1985. A General Equilibrium Model for Tax Policy Evaluation. Chicago: University of Chicago Press.
- Banco Mundial 2012. Mexico: Reducing Energy Subsidies and Analyzing Alternative Compensation Mechanisms, Sustainable Development Department, Latin America and the Caribbean Region, Colombia and Mexico Country Management Unit, Washington DC.
- Ibarrarán, Boyd y Elizondo 2012. Subsidies in the Energy Sector: an Overview. Washington D.C.: Banco Mundial.
- Barraza-Villarreal, A. Sunyer J. Hernández-Cadena, L. Escamilla-Nuñez, M.C. Sierna-Monge, J.J. Ramírez-Aguilar, M. Cortez-Lugo, M. Texcalac, J.L., del Río-Navarro, B. and Romieu, I., Airpollution, airway inflammation, and lung function in a cohort study of Mexico City schoolchildren. *Environmental Health Perspectives*, 116, pp. 832-838.
- Bell ML, Cifuentes LA, Davis DL, Cushing E, Telles AG, Gouveia N. Environmental health indicators and a case study of air pollution in Latin American cities. Environ Res. 2011 Jan;111(1):57-66. Epub 2010 Nov 13.
- Bell ML, Davis DL, Gouveia N, Borja-Aburto VH, Cifuentes LA. Environ Res. 2006 Mar;100(3):431-40. Epub 2005 Sep 19. The avoidable health effects of air pollution in three Latin American cities: Santiago, São Paulo, and Mexico City.

- Berndt, R. E. and R. Samaniego. 1983. Residential Electricity Demand in Mexico; A Model Distinguishing Access from Consumption. Working Paper, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- Bernstein, M. A., and J. Griffin. 2006. Regional Differences on the Price–Elasticity of Demand for Energy. National Renewable Energy Laboratory, Santa Monica, California.
- BM 2004 – 2011. Sitio web de documentos relativos a los análisis ambientales de país. Disponible online en: http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/ENVIRONMENT/0,,contentMDK:21239844~pagePK:148956~piPK:216618~theSitePK:244381,00.html
- Calderón-Garcidueñas, L. Franco-Lira, M. Torres-Jardon, R. Henriques-Roldán, C. Barragán-Mejía, G. Valencia-Salazar, G. González-Maciel, A. Reynoso-Robles, R. Villarreal-Calderón, R. and Reed, W., 2007. Pediatric respiratory and systematic effects of chronic air pollution exposure: nose, lung, heart, and brain pathology. *Toxicologic Pathology*, 35, pp. 154-162.
- Centro Mario Molina, 2013. Foro México 2013: Políticas Públicas para un Desarrollo Incluyente. D.F., México Enero 2013.
- Cesar et al. (2002). Improving air quality in metropolitan Mexico city: an economic evaluation. The World Bank, Washington, DC, USA.
- CICC (Comisión Intersecretarial de Cambio Climático). 2009. Programa Especial de Cambio Climático 2009–2012. DOF 28/08/2009. México DF.
- Cifuentes LA, Krupnick AJ, O´Ryan R, Toman MA (2005). Urban Air Quality and Human Health in Latin America and the Caribbean. Report for the Inter American Development Bank, Washington, DC.
- Clean Air Institute 2012. Gestión de la Demanda de Transporte: Oportunidades y Retos en Áreas Urbanas de América Latina, Documento de Trabajo. Washington DC.
- Cohen AJ, Ross Anderson H, Ostro B, Pandey KD, Krzyzanowski M, Künzli N, Gutschmidt K, Pope A, Romieu I, Samet JM, Smith K. The global burden of disease due to outdoor air pollution. J Toxicol Environ Health A. 2005 Jul 9-23;68(13-14):1301-7.
- Comisión Ambiental Metropolitana (2002), ―Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010‖, D.F., México.
- CONAMA R.M. (2001). Análisis General del Impacto Económico y Social del Anteproyecto de Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana. Santiago, Chile, Comisión Nacional del Medio Ambiente, Región Metropolitana: 40.
- Cropper M, and Oates W. "Environmental Economics: A Survey." Journal of Economic Literature, June 1992.
- De Medeiros AP, Gouveia N, Machado RP, de Souza MR, Alencar GP, Novaes HM, de Almeida MF. Traffic-related air pollution and perinatal mortality: a case-control study. Environ Health Perspect. 2009 Jan;117(1):127-32. Epub 2008 Sep 22.
- Dockery D.W., Pope C.A. III, Xu X., et al. (1993). An association between air pollution and mortality in six US cities. New England Journal of Medicine, 329:1753–1759

- Eftim SE, Samet JM, Janes H, McDermott A, Dominici F. (2008) Fine particulate matter and mortality: a comparison of the six cities and American Cancer Society cohorts with a medicare cohort. Epidemiology. 2008 Mar;19(2):209-16.
- Escobar, J.L. y Jiménez, J.S., 2009. Urbanismo y sustentabilidad: estado actual del desarrollo urbano de la ZMVM. *Revista Digital Universitaria*, 10(7), pp. 1-22. ISNN 1067-6079 http://www.revista.unam.mx/vol.10/num7/art40/art40.html
- EU (2001) APHEIS Air Pollution and Health: a European Information System Monitoring the Effects of Air Pollution on Health in Europe. Directorate General for Health and Consumers, European Commission, Brussels, Belgium.
- Evans, J., J. Levy, et al. (2002). ―Health benefits of air pollution control. Air quality in the Mexico Megacity. An integrated assessment‖, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Fondo Monetario Internacional, 2013. Energy Subsidy Reform: Lessons and Implications. [En línea] Disponible en: http://www.imf.org/external/np/pp/eng/2013/012813.pdf [Fecha de acceso: 2 de mayo de 2013]
- Forkel, R. and R. Knoche 2006. Regional climate change and its impacts on photooxidant concentrations in southern Germany: Simulations with a coupled regional climate-chemistry model, J. Geophys. Res., 111, No. D12, D12302, doi:10.1029/2005JD006748 (13pp). http://imk-ifu.fzk.de/479.php
- Forkel, R. and R. Knoche 2007. Nested regional climate-chemistry simulations for Central Europe. Comptes Rendus Geoscience 339, 734–746, doi:10.1016/j.crte.2007.09.018. http://imk-ifu.fzk.de/479.php
- García-Ubaque JC, Garcia-Ubaque CA, Vaca-Bohórquez ML (2011) Medical consultation in productive age population related with air pollution levels in Bogota city, Procedia Environmental Sciences, Volume 4, 2011, Pages 165-169, ISSN 1878-0296, 10.1016/j.proenv.2011.03.020.
- Gobierno del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México, Secretaría de Salud t Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2011. Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México. México, D.F.: Comisión Ambiental Metropolitana.
- Golub E. and Sanchez G. (2012). Environmental health in Colombia: An economic assessment of health effects. Report prepared for the World Bank, Washington, DC, USA.
- Gouveia, N., Bremner, S. and Novaes, H. (2004) Association between ambient air pollution and birth weight in São Paulo, Brazil. J Epidemiol Community Health 2004;58:11-17.
- Hammitt JK, Ibarrarán ME. The economic value of fatal and non-fatal occupational risks in Mexico City using actuarial and perceived-risk estimates. Health Econ. 2006 Dec;15(12):1329-35.
- Hernandez-Avila, M. and e. al (1995). Valuacion economica de los beneficios de reducir la contaminacion del aire en la Ciudad de Mexico, Instituto Nacional de Salud Pública, México.
- Holz, J. C. (2000). Estimación de costos unitarios en morbilidad y mortalidad y su aplicación para calcular los beneficios del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la

Región Metropolitana. Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas. Santiago, Chile, Universidad de Chile: 101.

- Ibáñez, A.M. (2003). Benefits and Costs of Environmental Policy in Colombia: A Review of Valuation Studies. June 25, 2003, Bogotá. Prepared for the World Bank.
- Ibarrarán, M. E., and R. G. Boyd. 2006. Hacia el Futuro: Energy, Economics and the Environment in 21st Century Mexico. New York: Springer.
- Ibarrarán, M., E. Guillomen, et al. (2002). Estimate the economic value of reducing health risks by improving air quality in Mexico City: Preliminary Results. México City.
- INE (2006). Estudio de valuación socioeconómica del proyecto integral de calidad de combustibles: reducción de azufre en gasolinas y diésel. Instituto Nacional de Ecología, Ciudad de México.
- INE/INSP 2003. The Local Benefits of Global Air Pollution Control in Mexico City. Final Report of the Second Phase of the Integrated Environmental Strategies. Program in MexicoInstituto Nacional de Ecología, México; Instituto Nacional de Salud Publica, México August 2003
- INEI (2012). http://www.inegi.org.mx/
- INSP (2009). Estado del conocimiento sobre los efectos en la salud asociados a la contaminación del aire en la población de la Zona Metropolitana del Valle de Mexico. Instituto Nacional de Salud Pública, Cuernavaca, Mexico.
- Integrated Environmental Strategies (IES) in São Paulo, Brazil (June 2004) by Flavio Cotrim Pinheiro, Luiz Tadeu Siqueira Prado, Alfésio Luis Ferreira Braga, Luiz Alberto Amador Pereira, Simone El Khouri Miraglia, Paulo Hilário Nascimento Saldiva, György Miklós Böhm, Maria de Fátima Andrade, Odon Roman Sanchez-Ccoyllo, Regina Maura de Miranda, Ramon Arigoni Ortiz and Ronaldo Serôa da Motta.
- Islas J.M., 2012. Elementos para la transición energética hacia un uso creciente de las energías renovables en México, en J.L. Calva (coordinador) Crisis energética mundial y futuro de la energía en México. Juan Pablos Editor. ISBN 9786077110484.
- J.C. García-Ubaque, C.A. Garcia-Ubaque, M.L. Vaca-Bohórquez, Medical consultation in productive age population related with air pollution levels in Bogota city, Procedia Environmental Sciences, Volume 4, 2011, Pages 165-169, ISSN 1878-0296, 10.1016/j.proenv.2011.03.020. (http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029611000466)
- Katsouyanni K, Samet JM, Anderson HR, Atkinson R, Le Tertre A, Medina S, Samoli E, Touloumi G, Burnett RT, Krewski D, Ramsay T, Dominici F, Peng RD, Schwartz J, Zanobetti A; HEI Health Review Committee. Air pollution and health: a European and North American approach (APHENA). Res Rep Health Eff Inst. 2009 Oct;(142):5-90. PubMed PMID: 20073322.
- Larsen B. (2004). Cost of environmental damage in Colombia: A Socio-Economic and Environmental Health Risk Assessment. World Bank, Washington DC, USA.

- Larsen B. and Strukova E. (2005). PERU COST OF ENVIRONMENTAL DAMAGE: An Analysis of Environmental Health and Natural Resources. Report prepared for the World Bank, Washington, DC, USA.
- Litman, T. 2012, Transport Elasticities: Impacts on Travel Behavior, GIZ-SUTP Technical Document #11, http://www.sutp.org/index.php/en-dn-tp
- Martins, M.C.H., Fatigati, F.L., Ve´ spoli, T.C., Martins, L.C., Pereira, L.A.A., Martins, M.A., Saldiva, P.H.N., Braga, A.L.F. (2004). Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health effects in elderly people: an analysis of six regions in Sao Paulo, Brazil. J. Epidemiol. Community Health 58, 41–46.
- Mugica, V. Figueroa, J.J. y Hernández, A., 2010. Evaluación y Seguimiento del Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010. México, D.F.: UAM-Azcapotzalco.
- O'Neill MS, Bell ML, Ranjit N, Cifuentes LA, Loomis D, Gouveia N, Borja-Aburto VH. Air pollution and mortality in Latin America: the role of education. Epidemiology. 2008 Nov;19(6):810-9.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), 2013. Evaluaciones de la OCDE sobre el desempeño ambiental: México 2013. México: OECD Publishing.
- Ostro B, Sanchez JM, Aranda C, Eskeland GS. Air pollution and mortality: results from a study of Santiago, Chile. J Expo Anal Environ Epidemiol. 1996 Jan-Mar;6(1):97-114. PubMed PMID: 8777376.
- Ostro, B. (1994). Estimating the Health Effects of Air Pollution: A Method with an Application to Jakarta. Policy Research Working Paper, World Bank.
- Ostro, B. (2004). Outdoor Air Pollution - Assessing the environmental burden of disease at national and local levels. Environmental Burden of Disease, Series, No. 5. Geneva: WHO.
- Pope C.A. III, Burnett R.T., Thun M.J. et al. (2002). Lung cancer, Cardiopulmonary mortality, and Long-term exposure to fine particulate air pollution. Journal of the American Medical Association, 287: 1132–1141.
- Pope C.A. III, Thun M.J., Nambudiri M.M. et al. (1995). Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US adults. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 151: 669–674.
- Pope CA III (2007) Mortality effects of longer term exposures to fine particulate air pollution: review of recent epidemiological evidence. Inhalant Toxicol. 19(suppl I):S33–S38.
- Pope, C. and Dockery, D.W., 2006. Health effects of the particulate air pollution: lines that connect. *Journal of Air and Waste Management Assoc.*, 56, pp. 709-742.
- Pradilla, E., 2005. Zona Metropolitana del Valle de México: Megaciudad sin proyecto. *Ciudades*, 9, pp. 83-104.
- PROCONVE Analysis Part II: The Impact of PROCONVE on Air Pollution Health Effects in São Paulo: 1991-1994 and 1997-2000 (February 2003) by Alfésio Luís Ferreira Braga, Luiz Alberto Amador Pereira, Simone El Khouri Miraglia, Gleice Margarete de Souza Conceição, Paulo Hilário Nascimento Saldiva, and György Miklós Böhm

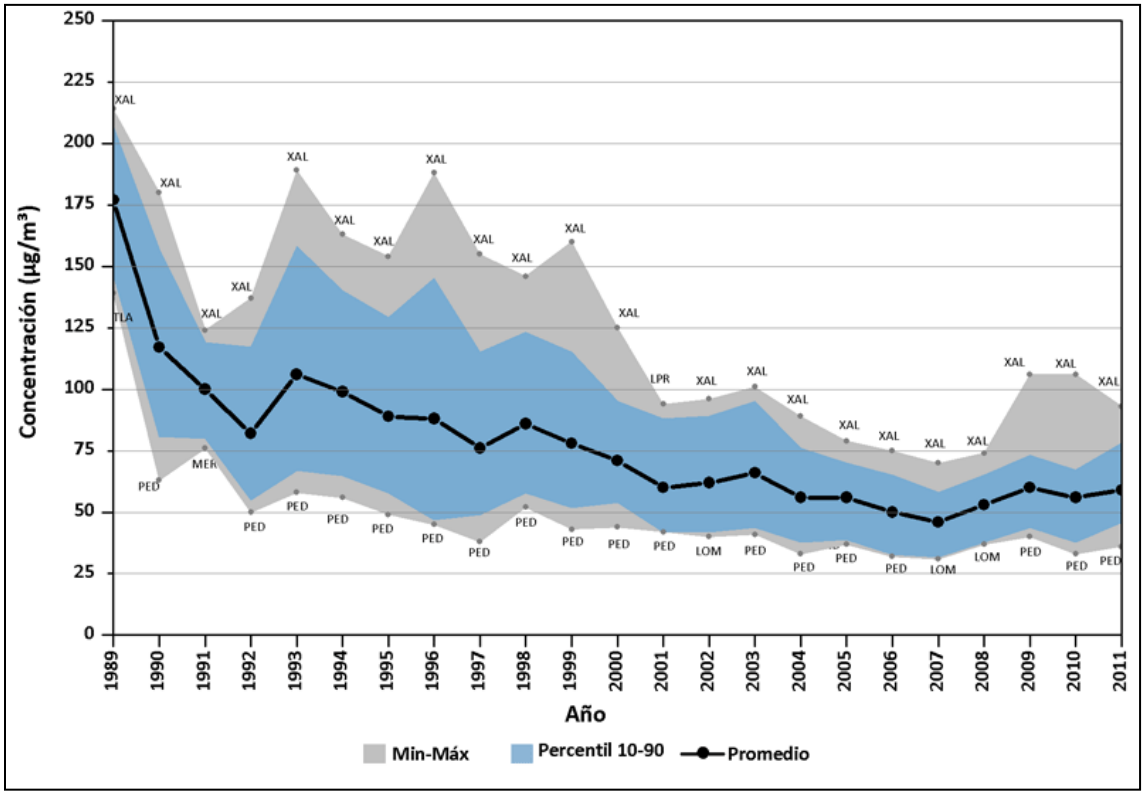
- PROCONVE Analysis Part III: The Economic Impact of PROCONVE on Air Pollution Health Effects in São Paulo, Brazil: A Benefit Transfer Exercise (February 2002) by Ramon Arigoni Ortiz and Ronaldo Serôa da Motta
- Program for Control of Air Pollution from Mobile Sources (PROCONVE) Analysis — Part I, Introduction (February 2003) by Flavio Cotrim Pinheiro
- Reyes Martínez, O., R. Escalante, and A. Matas. 2010. La demanda de gasolinas en México: efectos y alternativas ante el cambio climático. *Economía: teoría y práctica* 32.2010: 83–111. México, DF, ISSN 0188-8250, ZDB-ID 14333053.
- Robert MA, VanBergen S, Kleeman MJ, Jakober CA.(2007). Size and composition distributions of particulate matter emissions: part 1--light-duty gasoline vehicles.J Air Waste Manag Assoc. 2007 Dec;57(12):1414-28.
- Romieu, I. Ramírez-Aguilar, M. Sierna-Monge, J.J. Moreno-Macias, H. del Río-Navarro, B.E. David, G. Marzec, J. Hernández-Ávila, M. and London, S., 2006. GSTM1 and GSP1 and respiratory health in asthmatic children exposed to ozone. European Respiratory Journal, 28(5), pp. 953-959.
- Samet J, Krewski D. (2007a) Health effects associated with exposure to ambient air pollution. J Toxicol Environ Health A. 2007 Feb 1;70(3-4):227-42.
- Samet JM, Dominici F, Curriero FC, Coursac I, Zeger SL. (2000) Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. cities, 1987-1994.N Engl J Med. 2000 Dec 14;343(24):1742-9.
- Samet JM. (2007b) Traffic, air pollution, and health. Inhal Toxicol. 2007 Sep;19(12):1
- Samoli E, Nastos PT, Paliatsos AG, Katsouyanni K, Priftis KN. Acute effects of air pollution on pediatric asthma exacerbation: evidence of association and effect modification. Environ Res. 2011 Apr;111(3):418-24. PubMed PMID: 21296347.
- Samoli E, Peng R, Ramsay T, Pipikou M, Touloumi G, Dominici F, Burnett R, Cohen A, Krewski D, Samet J, Katsouyanni K. Acute effects of ambient particulate matter on mortality in Europe and North America: results from the APHENA study. Environ Health Perspect. 2008 Nov;116(11):1480-6. Epub 2008 Jun 26. PubMed PMID: 19057700; PubMed Central PMCID: PMC2592267.
- Samoli E, Zanobetti A, Schwartz J, Atkinson R, LeTertre A, Schindler C, Pérez L, Cadum E, Pekkanen J, Paldy A, Touloumi G, Katsouyanni K. The temporal pattern of mortality responses to ambient ozone in the APHEA project. J Epidemiol Community Health. 2009 Dec; 63(12):960-6. Epub 2009 Jul 30. PubMed PMID: 19648130.
- Secretaría de Energía (SENER), 2013. Estrategia Nacional de Energía 2013-2027. México D.F.: SENER.
- SENER (Secretaría de Energía de México). 2012. "Estrategia Nacional de Energía 2012–2026." México DF.
- SMA (2001). Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010. Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México.

- SMA (2010). Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2011-2020. Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México.
- SMA-DF 2012, Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México: Contaminantes Criterio 2010. Secretaria de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. México.
- SMA-DF 2012, Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México: Gases de Efecto Invernadero y Carbono Negro 2010. Secretaria de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. México.
- Tovalin, H. Herbarth, O. Sierra-Vargas, M. P. Strandberg, B. Blanco, S. Vega ,L. Sioutas, C. Hicks, J. Marroquín, R. Acosta, G. Guarneros, M. Hernández, V. Estrada-Muñiz, E. Olivares, I. Pérez, D. Torres-Ramos, Y., Ulrich, F. Hudson, R. Reyes, E. Rodríguez, T., Elizondo, G. and Cantellano, E., 2010. Air pollutants exposure and health effects: A multi-pollutant approach during the MILAGRO-MCMA2006 campaign. In: *Air Pollution: Health & Environmental Impacts*, edited by: Gurjar, B. R., Molina, L. T., Ojha, C. S. P. Taylor & Francis, pp. 203–228.
- WHO (2006). Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide. Copenhagen, Denmark World Health Organization.

Anexo 1 Tendencias en calidad del aire e impacto en salud en la ZMVM

Breve descripción de la calidad del aire y su impacto en la salud en la ZMVM

La calidad del aire ha tendido a mejorar en los últimos años en la ZMVM, como muestra el PROAIRE 2011-2020. Sin embargo, la concentración de ozono y de partículas menores a 10 micras aun excede la Norma Oficial Mexicana GDF. La exposición a altas concentraciones de estos contaminantes provoca la alteración de funciones pulmonares, algunos tipos de cáncer y asma, así como aumento de demanda por servicios hospitalarios y mayores tasas de mortalidad (para mayor detalle, ver Pope y Dockery 2006). En estudios específicos sobre niños arrojan afectaciones en la salud como polimorfismos genéticos (Romieu et al. 2006), daños en el sistema respiratorio (Calderón-Garcidueñas et al. 2007) y retraso en el crecimiento pulmonar (Barraza-Villarreal et al. 2008). El estudio de Tovalin et al. (2010), muestra que los niños de menor edad pueden presentar dificultades al respirar, reducción en la función olfativa, estrés oxidativo e inflamación, dependiendo de los niveles y tiempo de exposición. Por los efectos que causan, es importante controlarlos.



Fuente: SIMAT

Figura 1.1 Niveles de PM_{10} en aire ambiente en la ZMVM

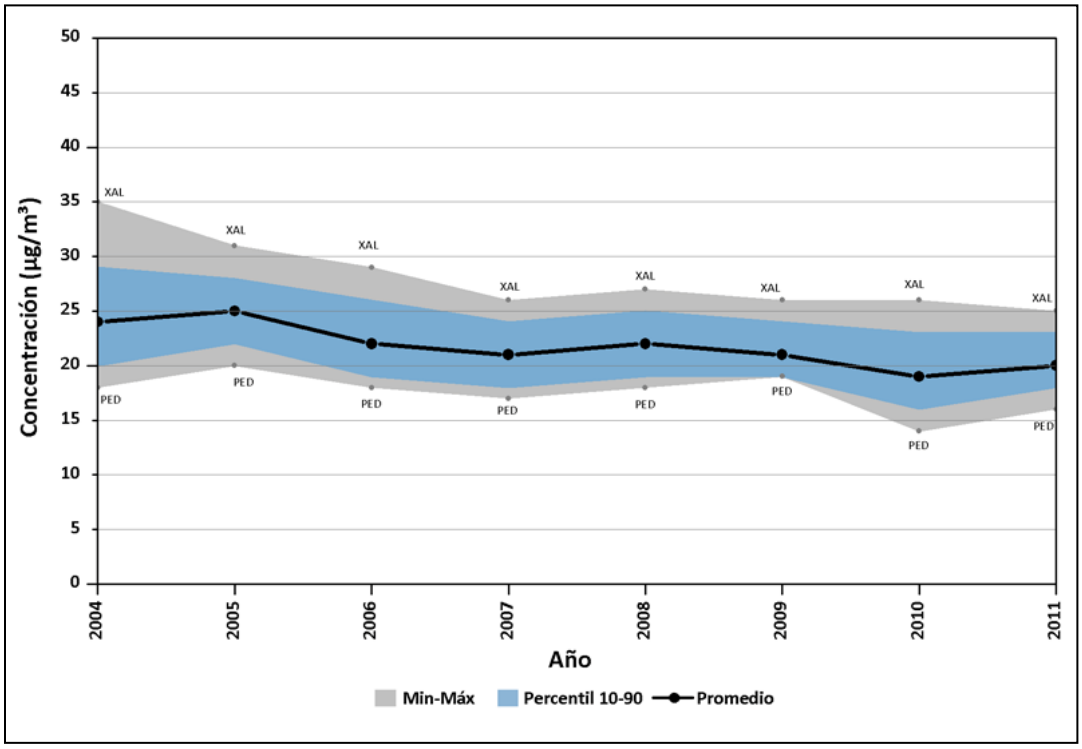


Figura 1.2 Niveles de $PM_{2.5}$ en aire ambiente en la ZMVM

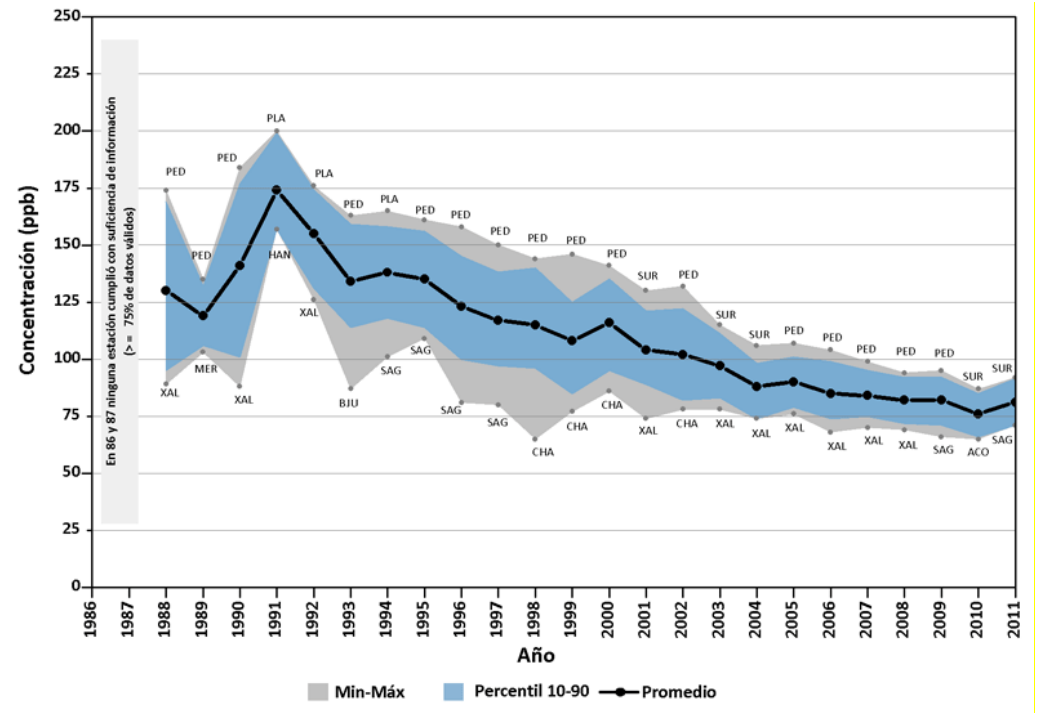
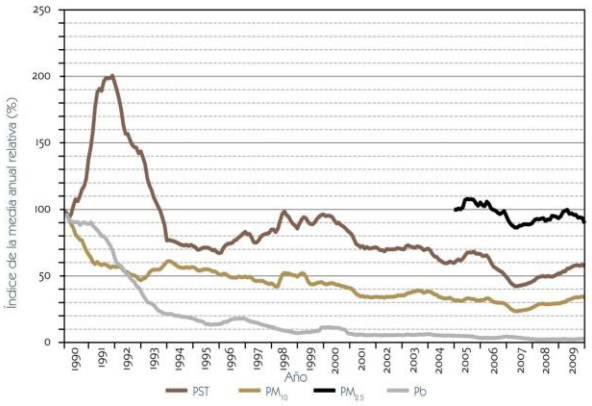
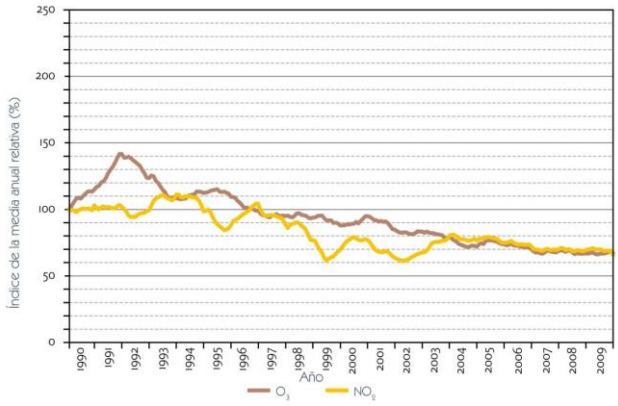


Figura 1.3 Niveles de O_3 en aire ambiente en la ZMVM

a) Partículas



b) Ozono

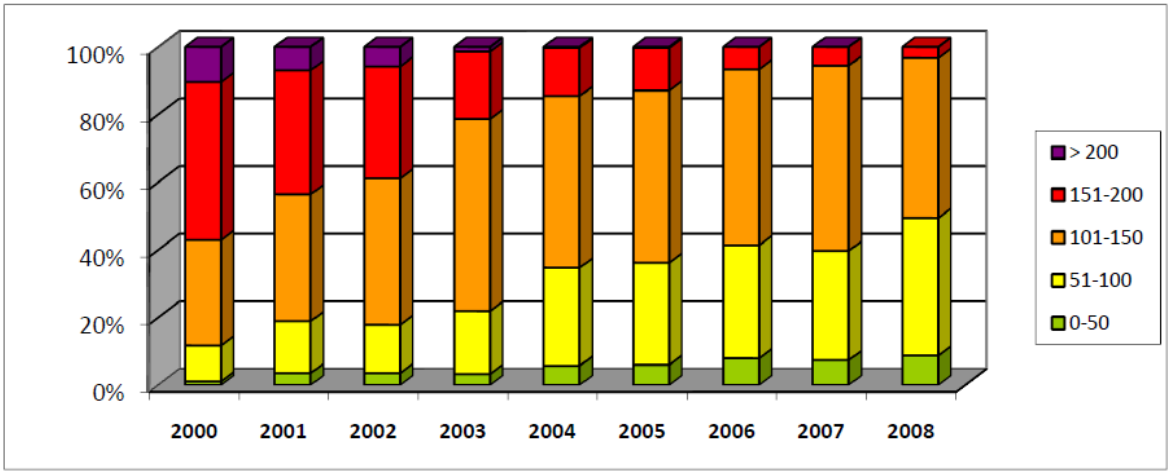


Fuente: GDF et al 2011.

Figura 1.4 Tendencias en la concentración de PM y de ozono en la ZMVM

El ozono ha estado por arriba de la norma desde que inició su medición en 1985 y, aun en 2009 el 49% de los días superó la norma establecida. El promedio anual de la concentración de partículas, en concreto las PM2.5, en 2008 y 2009, estuvo por arriba de la norma. El uso de combustibles fósiles tiende a exacerbar este problema, dado que son fuente de contaminantes secundarios como el propio ozono y de partículas PM2.5. Las tendencias observadas en la ZMVM entre 1990 y 1999 para partículas y para ozono se muestran en la Figura 1.1.

A pesar de estas tendencias anuales que han mejorado, aun se sigue estando por arriba de la norma. En concreto, el sistema de IMECAS establece que se debe estar por debajo de 100 para estar dentro de la norma. Como muestra la Figura 1.2, aun cuando el número de días en que se cumple con la norma ha aumentado, al menos la mitad de los días se excede la norma de ozono en la ZMVM.



Fuente: Múgica et al., 2010

Figura 1.5 Frecuencia de días conforme a la calidad del aire por O_3 en la ZMVM (IMECAS)

La Tabla 1.1 muestra el número de días por arriba de la norma para ozono y para partículas $PM_{2.5}$. La información para partículas, en concreto $PM_{2.5}$ es muy escasa y su medición empezó apenas en 2004.

Tabla 1.1 Excedencia de normas de calidad del aire para contaminantes criterio, O_3 y $PM_{2.5}$

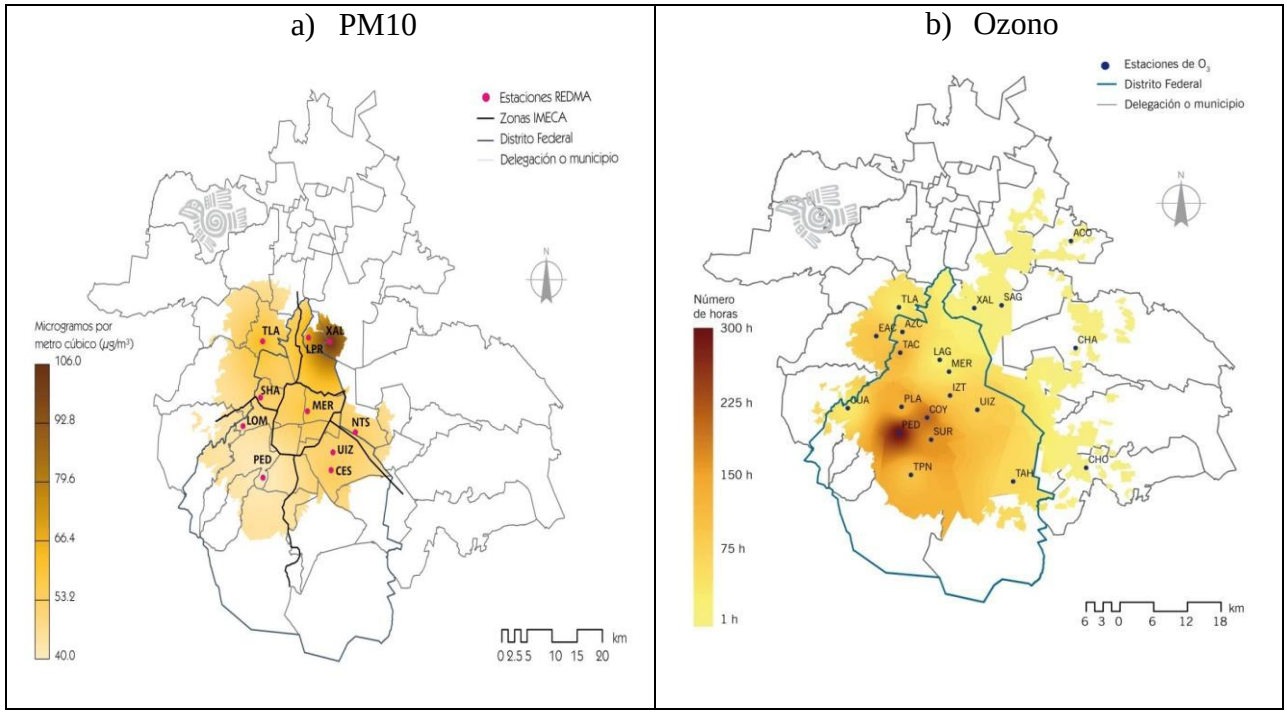
Contaminante	O_3		$PM_{2.5}$	
Año	Días	%	Días	%
2003	285	78	D/I	D/I
2004	239	65	0	0
2005	233	64	2	3
2006	214	59	1	2
2007	220	60	0	0
2008	185	51	0	0

D/I: datos insuficientes.
Fuente: Múgica et al., 2010.

Por otra parte, la exposición a estos dos contaminantes y el efecto que esto tenga sobre la salud depende de la distribución espacial del contaminante, de la población que esté en contacto con estos gases toxico, la edad de la población y sus condiciones iniciales de salud (Monn, 2000). Dado que medir exposición es complejo, se parte de la concentración de los contaminantes criterio obtenidas a partir de las estaciones de las redes de monitoreo ambiental. Esto permite estimar el riesgo para la población que habita en ese lugar (aunque no de aquella que se encuentra ahí como consecuencia de sus actividades diarias).

Los resultados presentados en PROIARE muestran el nivel de riesgo que enfrentan los habitantes de la ZMVM dada la distribución de los contaminantes, del lugar de residencia de la población de acuerdo a datos censales, y como consecuencia de la edad de las personas que están

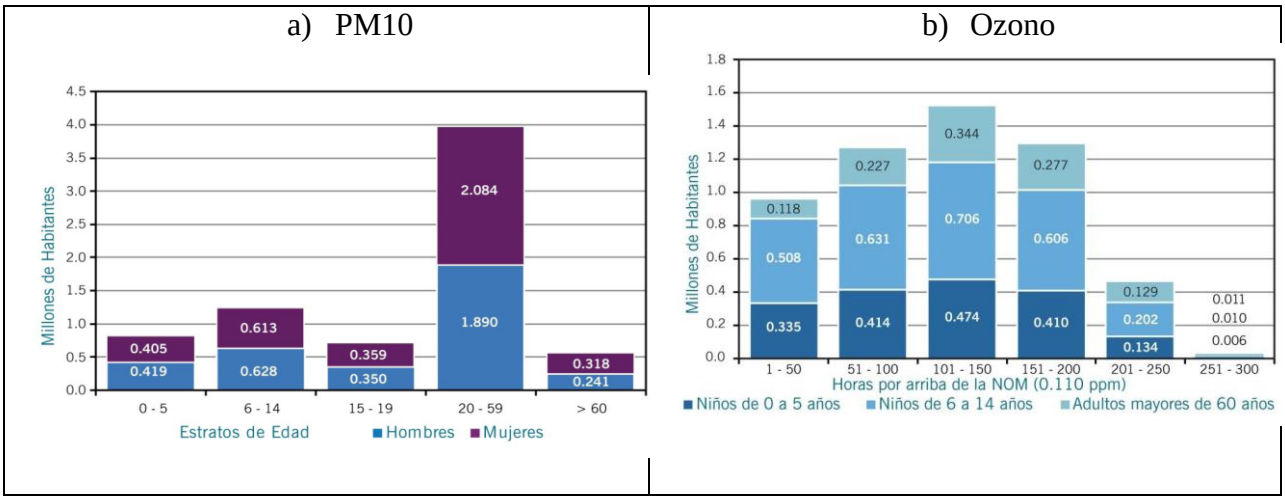
registradas en ese domicilio. En cuanto a PM10, la distribución de su concentración es como se muestra el panel (a) de la Figura 1.3. La región noreste de la ZMVM es la más afectada. Dada la distribución de la población dentro de la zona metropolitana, el 36% de los habitantes (2.6 millones) de los que viven en zonas con más riesgo de exposición a partículas PM10, son grupos vulnerables constituidos por niños y adultos mayores. En el panel (b) se muestra que la zona suroeste es la más afectada por el ozono. Sin embargo, aproximadamente el 61% de los habitantes que viven en el área de cobertura de la red de monitoreo ambiental, es decir, caso 10 millones de personas viven en zonas donde la concentración de ozono excede la NOM más de 100 horas al año. Cuando se analiza la población en riesgo por intervalos de horas, todos los habitantes de la ZMVM están expuestos.



Fuente: Comisión Ambiental Metropolitana 2011.

Figura 1.6 Distribución de la concentración promedio de contaminantes en la ZMVM, 2009

La población expuesta a altas concentraciones de PM10, por grupos de edad y género, se muestran en el panel (a) de la Figura 1.4. Del 36% que vive en zonas de mayor riesgo a partículas, 0.8 millones son niños menores a 5 años, 1.2 millones son niños entre 6 y 14 años, y 0.6 millones son adultos mayores a 60 años. El panel (b) muestra que los niños y los adultos mayores son más afectados por las altas concentraciones de ozono.



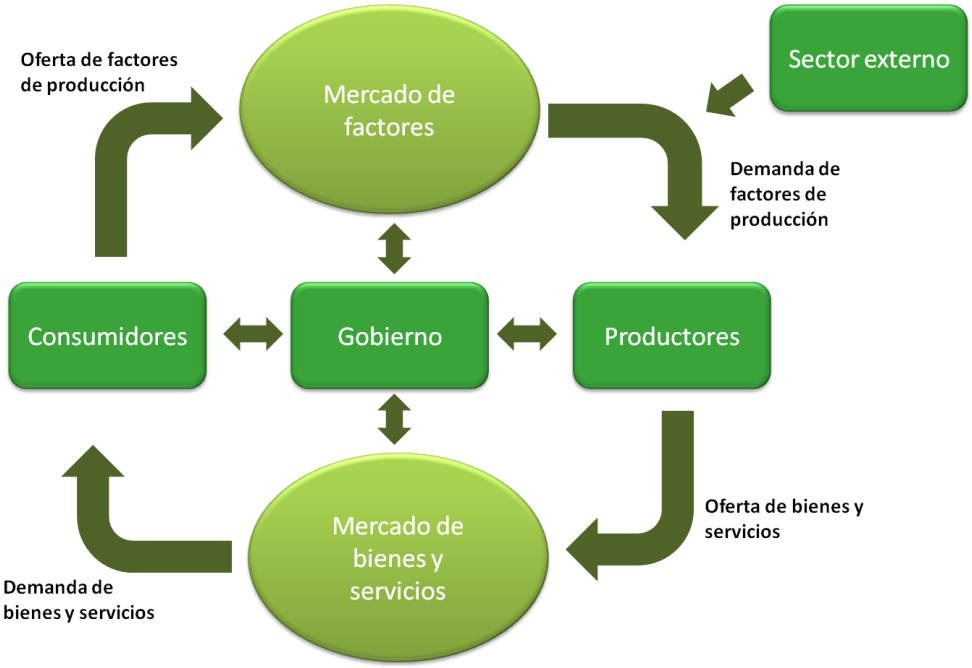
Fuente: Comisión Ambiental Metropolitana 2011.

Figura 1.7 Población expuesta a altas concentraciones de contaminantes por grupo de edad

En conclusión, amplios grupos de población vulnerable están expuestos a altas concentraciones de ozono y de partículas. Esto lleva a problemas de salud asociados a una reducción de la calidad de vida de las personas. Es importante introducir medidas que permitan reducir la concentración de los contaminantes mencionados que provocan dichos impactos en salud.

Anexo 2. El modelo de equilibrio general computable para México

El modelo de equilibrio general computable que se usó en este estudio se describe en la Figura 2.1, donde se muestra el flujo circular de la economía. Como se mencionó al inicio de este documento, la economía cuenta con 4 actores, que son los consumidores, los productores, el gobierno y el sector externo. Los consumidores ofrecen sus recursos al mercado de factores, a partir del cual los productores (las empresas) y el gobierno los contratan pagándoles por sus servicios. Estos pagos constituyen a su vez los ingresos de los consumidores que pueden usar para la compra de bienes y servicios. Por su parte, las empresas, a partir de materias primas y de factores comprados a las economías domésticas, al gobierno o al sector externo, producen bienes y servicios que ofrecen en el mercado de bienes y servicios, y que a su vez pueden ser adquiridos por los consumidores, el gobierno o exportados. El gobierno además de consumir bienes y servicios y de participar en el mercado de factores contratando trabajo y capital y ofreciendo energía, como en el caso de México, también recauda impuestos, da subsidios y transferencias a los consumidores, productores y al sector externo. Por último el sector externo puede comprar insumos y bienes finales de la economía mexicana (bienes que México exporta) o puede venderle a la economía, reflejándose en las importaciones.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.1 Funcionamiento del modelo

El modelo utiliza como punto de partida la Matriz Insumo-Producto elaborada por Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para México en el 2003. Esto es relevante ya que refleja la combinación de factores que se usan en los distintos sectores para producir bienes y servicios, mostrando así la tecnología con la que se producía en México en ese año. Así, las

simulaciones toman como base el potencial de la economía mexicana dadas sus condiciones tecnológicas representadas en la matriz más actualizada con que cuenta el país.

Dado que los efectos de la eliminación de subsidios se incorporan paulatinamente en la economía y que su efecto es persistente en el tiempo, es importante incorporar el tiempo explícitamente dentro del contexto del modelo. De ahí que el modelo empleado sea un modelo dinámico que cubre hasta el año 2030. Se resuelve primero para un año particular y después se proyecta una senda de crecimiento sostenido (*steady state growth path*), donde todos los sectores crecen a la misma tasa. Una vez que se introducen estas modificaciones, la tasa de crecimiento de los distintos sectores varía.

Para correr el modelo y hacer las simulaciones, se emplea un software que permite resolver sistemas de ecuaciones no lineales denominado GAMS/MPSGE desarrollado por Rutherford. Específicamente, este paquete permite resolver el modelo dinámico de equilibrio general computable.

Los actores

El modelo está compuesto por cuatro actores como se mencionó anteriormente: consumidores, productores, el gobierno y el resto del mundo o sector externo, cada uno tiene una función distinta. Los productores están organizados en 12 sectores (agricultura, ganadería, pesca, forestal, manufacturas, químicos y plásticos, minería, petróleo y gas natural, refinación, electricidad, transporte y servicios), y los consumidores nacionales están agrupados en cuatro agentes, definidos por el nivel de ingreso. Los consumidores pueden consumir bienes de nueve distintos grupos (alimentos, vivienda, bienes del hogar, servicios, electricidad y gas, autos, gasolina, transporte público y agua). Tanto el gobierno como el sector externo se modelan cada uno como actor separado.

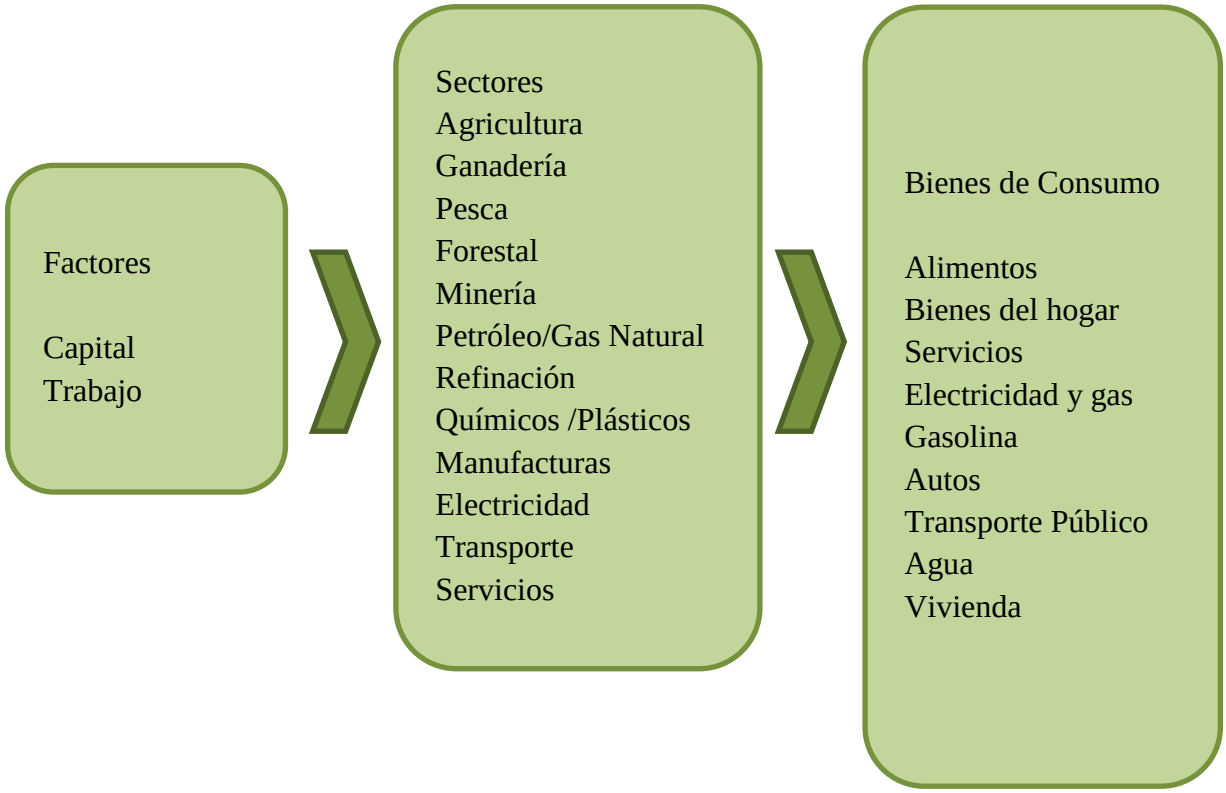
Los productores

El modelo con el que se cuenta es a nivel nacional y tiene doce sectores productivos que producen trece bienes dado que el petróleo y el gas se producen dentro de un mismo sector. Todos los bienes y servicios son producidos por medio de una función de producción, la cual incluye como insumos capital y trabajo. Los ingresos del trabajo y del capital corresponden a los consumidores que a su vez son los dueños de esos factores de producción.

Al resolverse el modelo, en cada período los productores maximizan sus ganancias en un ambiente de mercado competitivo. La maximización de ganancias, basada en la tecnología de la producción descrita, genera la oferta de productos y demandas de factores para cada sector de la producción y el mercado de factores en el modelo. Los precios de productos e insumos se determinan en el modelo. Los impuestos están incluidos en los precios. También se pueden simular otras estructuras de mercado, como el monopolio, que es el relevante en el caso del

sector energético en México, tanto para la producción de petróleo como de electricidad. En este sentido, el modelo contempla que hay empresas estatales que no enfrentan competencia en el sector energético, y que al ser grandes, tienen una influencia importante en la economía.
Los productos de consumo final se elaboran a partir de insumos intermedios. Los productos agrícolas, por ejemplo, se transportan a plantas procesadoras donde se añaden químicos y agua y se les aplican procesos de cocción y empaque antes de que puedan consumirse como alimentos.

De ahí que se use una matriz para pasar de insumos producidos (granos, transporte, productos químicos, energía tanto como productos refinados como electricidad, plásticos) a bienes de consumo final (alimentos procesados). Lo anterior se hace a través del uso de funciones de producción anidadas, es decir relaciones entre insumos y producto final que tienen una estructura tal que permiten sustituir los insumos entre sí a distintas tasas. Por ejemplo, se puede sustituir capital por trabajo en cierta medida, o agua por energía en distinta proporción, de tal manera que se tenga el mismo nivel de producción. Esto es, se permite establecer diferentes niveles de sustitución de los insumos considerados. En el caso particular de la producción, esto permite la sustitución entre trabajo y capital principalmente.



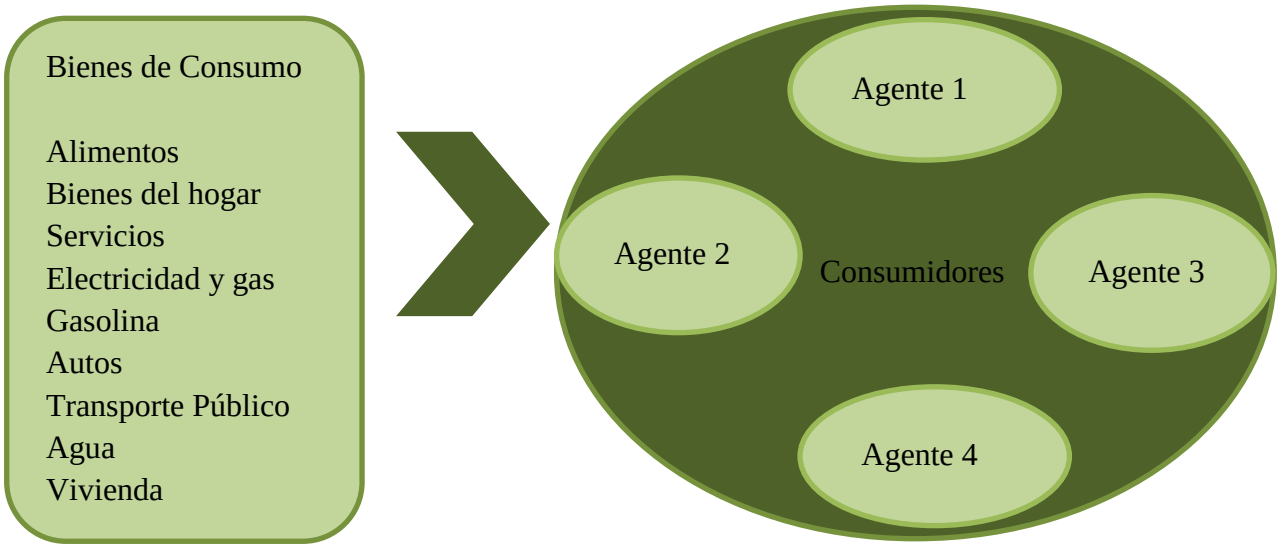
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.2 Proceso productivo y transformación en bienes de consumo

Uno de los insumos más importantes en la economía mexicana es el petróleo y gas natural. Dado que el petróleo es un recurso natural no renovable, en el modelo se introduce el estancamiento en el crecimiento de este recurso. Esto es crucial porque cambia la senda de crecimiento esperado para la economía de manera muy importante.

Los consumidores

Por el lado de la demanda, el modelo refleja el comportamiento de los consumidores nacionales y extranjeros (quienes también pueden invertir a través de sus ahorros), así como el del gobierno. Los consumidores adquieren bienes de consumo producidos por los productores, como lo muestra la Figura 2.3. Los consumidores nacionales se dividen en cuatrocategorías o agentes de acuerdo con el nivel de ingreso en el hogar. Cada decil corresponde a 10% de la población, así el Agente 1 está constituido por el 20% más pobre, el Agente 2, por el 30% que le sigue, el Agente 3 por el 30% de mayor ingreso relativo y el Agente 4 por el 20% más rico. Además, el modelo cuenta con nueve bienes de consumo que también se muestran en la Figura 2.3.



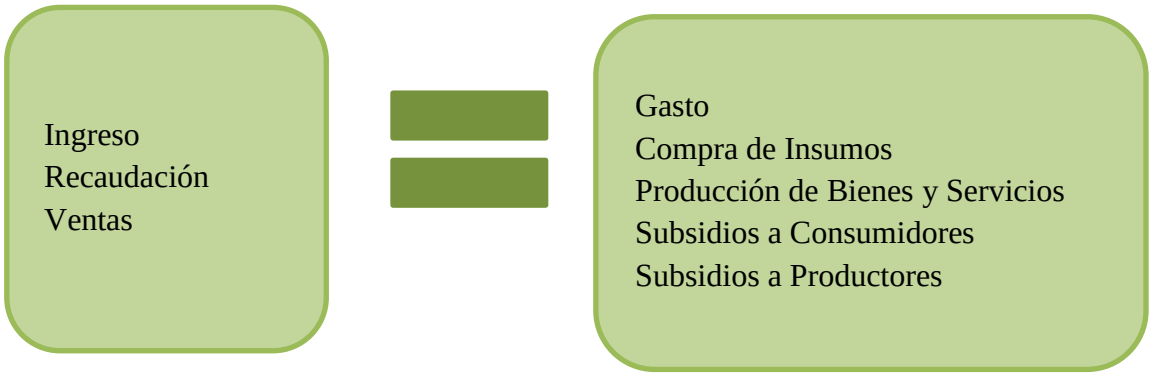
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.3 Caracterización del consumo

El gobierno

Este actor se modela con una función de gasto similar a las funciones del gasto del hogar (es decir, basada en una función de utilidad de elasticidad de sustitución constante). Los ingresos están dados por la recaudación de todos los impuestos y aranceles y las ventas de aquellos bienes y servicios producidos por el modelo. El gobierno gasta su ingreso en bienes y servicios de varios sectores de producción discutidos anteriormente. Consistente con el trato de Ballard et al (1985), se propone una elasticidad de sustitución entre insumos de la función de utilidad del

gobierno. Esto permite que el gobierno responda ante cambios en precios de los bienes que compra. El gobierno gasta también su ingreso en contratar trabajo. Todos estos argumentos representan las compras y pagos a los empleados del gobierno que son necesarios para llevar a cabo sus funciones. El gobierno también redistribuye el ingreso a través de un conjunto de subsidios que puede decidir dar a grupos de consumidores o a sectores productivos en particular, gastando toda la recaudación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.4. Ingresos y gastos del gobierno

Los impuestos se expresan de forma *ad valorem* e incluyen impuestos al ingreso personal, al trabajo, al capital, al valor agregado y aranceles a las importaciones. En general, es recomendable tomar todo el ingreso del gobierno independientemente de su origen y enviarlo directamente al sector gubernamental para gasto.

El sector externo

El comercio internacional se modela por medio de un agente o consumidor extranjero. Cada uno de los sectores productivos exporta al agente extranjero a cambio de importaciones. Bajo este escenario, el nivel agregado de importaciones crece de acuerdo a la tasa de crecimiento del estado estacionario, pero el nivel de importaciones individuales puede variar en respuesta a los cambios en los precios relativos. Las exportaciones son endógenas y se asume que siguen un crecimiento constante. Sin embargo, también son sensibles a los cambios en los precios y pueden modificarse cuando los sectores individuales se vean afectados. Por otro lado, los pagos de transferencia, son endógenos y se definen dentro del modelo. Estos montos se ajustan automáticamente para garantizar que hay equilibrio en la economía, es decir no hay excedentes en el modelo.

El tipo de cambio es determinado por la interacción de capital disponible para uso externo, bienes exportables y el nivel endógeno de importaciones. Se toma el supuesto de Armington, que establece el grado de sustitución imperfecta entre bienes producidos en el exterior y los bienes producidos en el país. Una característica importante de este análisis es la incorporación de

precios internacionales flexibles y que cambios en precios y en cantidades intercambiadas se reflejan a través de ajustes en la balanza comercial, es decir, observándose cambios en importaciones y exportaciones cuando hay cambian los precios de los bienes finales. El modelo asume que México es tomador de precios en el mercado mundial.

Fuentes de información

El modelo está actualmente calibrado para 2008 usando diferentes fuentes. Del INEGI se obtuvo la Matriz Insumo-Producto del 2003; la información sobre los gastos del consumidor en bienes finales por categoría de ingreso a partir de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares; la información sobre importaciones y exportaciones, el gasto del gobierno y las estadísticas ambientales. En cuanto a las demás fuentes de información utilizadas, a reserva de su descripción a detalle en las referencias, provienen del Banco de México, de la Secretaría de Hacienda así como de fuentes internacionales como el Fondo Monetario Internacional (FMI) y el Banco Mundial. Por último, la elasticidad precio de la demanda de petróleo y electricidad así como las elasticidades de sustitución entre insumos para los distintos sectores productivos se tomaron de la literatura especializada, misma que se cita en cada caso.

Variables determinadas por el modelo

Las variables determinadas en el modelo son el Producto Interno Bruto agregado y sectorial, la inversión, la acumulación de capital, la producción por sector, el consumo por sector y de los hogares, importaciones, exportaciones, ingresos del gobierno vía recaudación, gastos presupuestales del gobierno, impacto en bienestar de los distintos grupos de ingreso, desempleo y emisiones de CO_2 a partir del consumo de combustibles.

Incertidumbre, análisis de sensibilidad y limitaciones del modelo

Aún cuando este modelo permite hacer simulaciones complejas en cuanto a distintas políticas que pueden modificar la situación inicial de la economía, la calidad de los resultados dependerá básicamente de la precisión del modelo y de la información con que se le alimente. Este es un modelo sumamente intensivo en información. Requiere información precisa sobre los posibles efectos de las distintas políticas y algunos parámetros, como el cambio tecnológico, se tienen que proyectar en el tiempo. Asimismo, para modelar el consumo, es necesario hacer supuestos sobre preferencias de los consumidores por un lado, y por otro contar con los patrones de consumo de hogares de distinto nivel de ingreso considerando el gasto del hogar en los bienes de consumo utilizados en el modelo por decil para luego agregarlo por agente, tomando datos de la Encuesta Nacional de Gasto e Ingreso de los Hogares. Estos parámetros también pudieran verse modificados en el tiempo.

Además de la información ya descrita que conforma la estructura del modelo, se tienen que hacer supuestos sobre muchos parámetros, como se describió a lo largo del documento. Esto es, hay que hacer estimaciones o incorporar estimaciones ya hechas de elasticidades precio y sustitución,

tomar tasas de crecimiento económico y poblacional, así como de depreciación de capital y de extracción de petróleo y gas natural. Cada valor incorporado puede variar, y por ende es conveniente analizar la sensibilidad de los resultados del modelo ante distintos valores de los parámetros más relevantes. Este análisis de sensibilidad se hace para ver qué tan robustos son los resultados a distintos parámetros, aunque no se reportan como parte de los resultados.
En cuanto a la estructura del modelo, mientras más agregado sea el modelo, menor realismo, pero por otra parte, al aumentar el número de sectores, mayor complejidad y mayor dificultad computacional para la resolución del modelo. Por otra parte, el modelo sólo da resultados a nivel sectorial, muchas veces no siendo apto para modelar impactos muy específicos o políticas que afecten solo a una parte de un sector. Por último, dado que la Matriz Insumo-Producto es a nivel nacional, no se pueden hacer análisis de impacto regional con este modelo.

Como último punto es necesario enfatizar que los resultados cuantitativos del modelo deben interpretarse de manera cualitativa, es decir, concentrándose, más que en el valor preciso, en la magnitud relativa, el signo y la tendencia de los números resultantes.

Anexo 3. Dominios o coberturas geográficas y su resolución

Las simulaciones de los escenarios descritos en la sección "Insumos de información y discusión de resultados" se realizaron utilizando el Modelo Químico y Climático de Multiescala (MCCM). Este proceso requirió desarrollar 3 coberturas geográficas (dominios) para la simulación (Figura 3.1): Un Dominio 1 (D1), con resolución de 50 Km; un Dominio 2 (anidado dentro del D1), con resolución de 10 Km; y el Dominio 3 (anidado en el D2 que representa la ZMVM), con resolución de 2 Km.

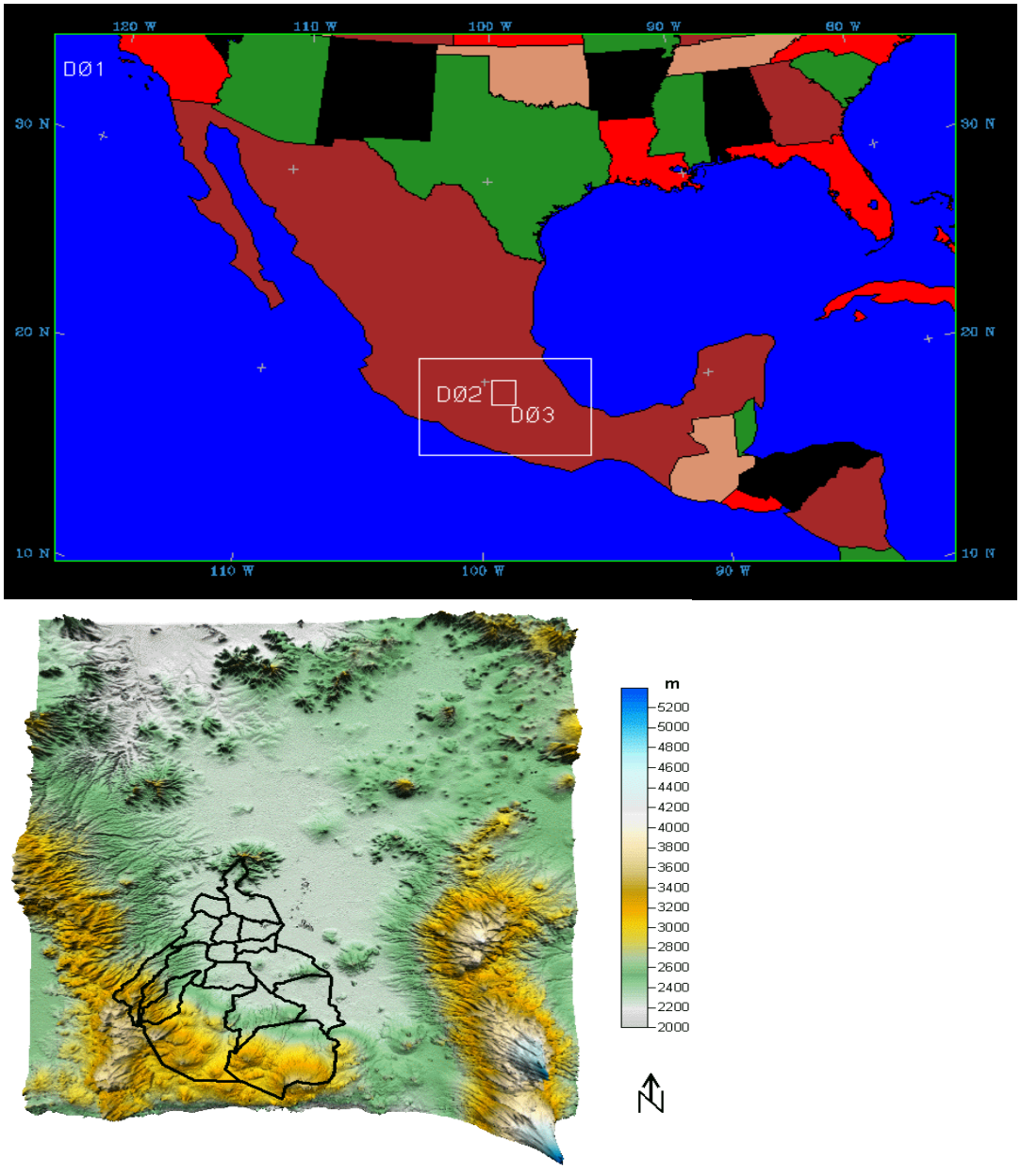


Figura 3.1. Arriba anidamiento de los tres dominios para modelación y abajo vista de la topografía y división política del Dominio 3 (ZMVM)

Tabla 3.1 Resolución vertical empleada en la modelación de escenarios

Nivel sigma completo	Presión (mb)	Altitud (m) o espesor de nivele sigma medios
1.000	1,013.250	0.000
0.999	1,012.337	3.828
0.989	1,003.204	46.093
0.960	976.720	197.622
0.930	949.323	430.350
0.890	912.793	713.928
0.850	876.263	1,047.214
0.800	830.600	1,436.472
0.750	784.938	1,886.319
0.700	739.275	2,357.284
0.650	693.613	2,851.724
0.600	647.950	3,372.428
0.550	602.288	3,922.740
0.500	556.625	4,506.713
0.450	510.963	5,129.337
0.400	465.300	5,796.856
0.350	419.638	6,517.237
0.300	373.975	7,300.894
0.250	328.313	8,161.829
0.200	282.650	9,119.565
0.150	236.988	10,202.605
0.100	191.325	11,455.211
0.050	145.663	12,952.404
0.000	100.000	14,839.797

Resolución vertical de los dominios.

La resolución vertical empleada en los escenarios fue de 24 capas atmosféricas completas y 23 capas medias (Tabla 3.1). Las estimaciones efectuadas por el modelo numérico son interpoladas dentro de cada capa sigma completa, y los valores estimados se reportan en cada capa sigma media. Como se puede apreciar en la Figura 4.2, el espesor de las capas disminuye conforme decrece la altitud, lo cual da por resultado una gran resolución en la capa superficial.

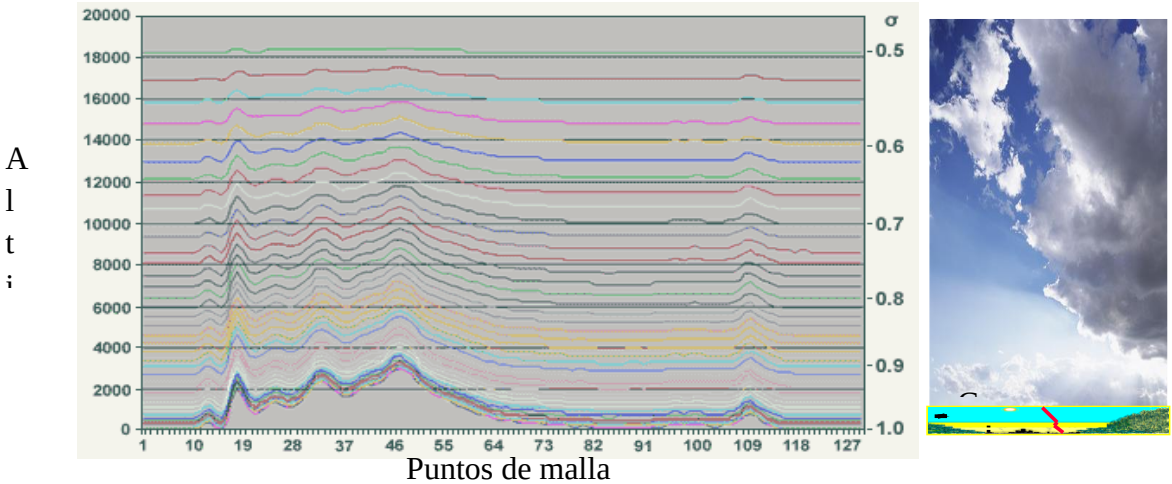


Figura 3.2. Esquematización de la distribución vertical de las capas en que fue dividida la atmósfera, para las modelaciones de los escenarios

Información meteorológica para inicializar MCCM

La información de meteorología sinóptica para determinar las condiciones meteorológicas iniciales y de frontera (CMIF) cada 6 horas, se obtuvo de la página electrónica http://rda.ucar.edu/. A partir de la misma, se interpolaron horizontalmente las CMIF para las coberturas de los dominios 1, 2 y 3 mediante la aplicación del preprocesador REGRID. Posteriormente se realizó la interpolación vertical de las CMIF de cada dominio, para las capas citadas en la Tabla 3.1, utilizando el preprocesador INTERP. Cabe señalar que para el dominio 2, la preparación de las CMIF se realizó interpolando éstas a partir la salida de MCCM del dominio 1; y sucesivamente, para obtener las CMIF del dominio 3, éstas se interpolaron a partir de la salida de MCCM del dominio previo. Las dos últimas interpolaciones se desarrollaron mediante la aplicación del preprocesador NESTDOWN.

Distribución del inventario de emisiones para generar la línea base

La información de emisiones utilizada está basada en el inventario de emisiones 2010 (IE), preparado por la Dirección de Programas de Calidad del Aire e Inventario de Emisiones de la Secretaría del Medio Ambiente – G.D.F en unidades de Kilogramo por día. Dicho IE para modelaje fotoquímico fue distribuido temporalmente y geográficamente como se menciona enseguida.

Apoyándose en la información de aforos vehiculares y utilizando líneas geo-referenciadas para representar las avenidas, se realizó la distribución geográfica de emisiones de fuentes móviles en tramos de líneas representando con éstos las vialidades primarias y secundarias (Figura 3.3). Las emisiones de fuentes móviles estimadas por tramo se distribuyeron temporalmente con base en información de 31 estaciones de aforos vehiculares. Esta distribución temporal y la posterior distribución de emisiones en celdas del dominio 3, se realizó con el Sistema de Procesamiento de Emisiones a la Atmósfera (SPEA).

Las emisiones de fuentes de área o servicios fueron calculadas por Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) geo-referenciadas (Figura 3.4). La distribución temporal con SPEA se realizó utilizando patrones temporales determinados a partir la información recabada en las Licencias Ambientales Únicas y Cédulas de Operación Anual del 2008. Después las emisiones calculadas por AGEB fueron distribuidas geográficamente en celdas del dominio 3 aplicando SPEA.

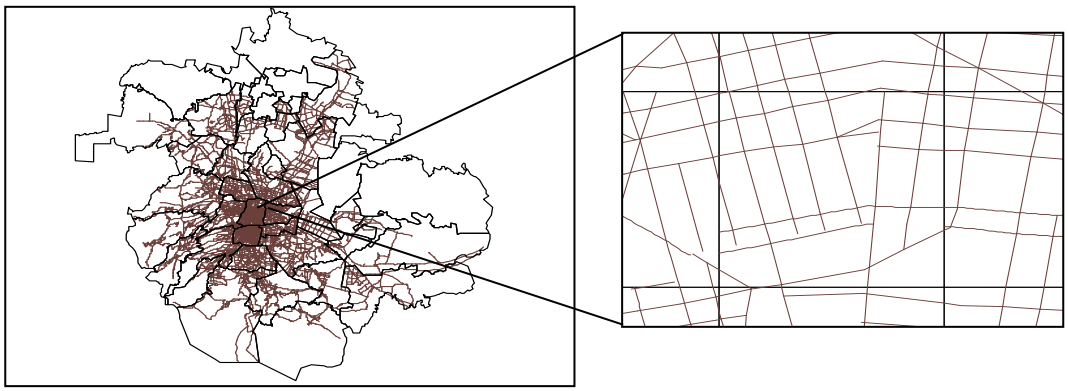


Figura 3.3 Tramos utilizados para la distribución de emisiones de fuentes móviles y distribución de los mismos en celdas del dominio 3 (derecha)

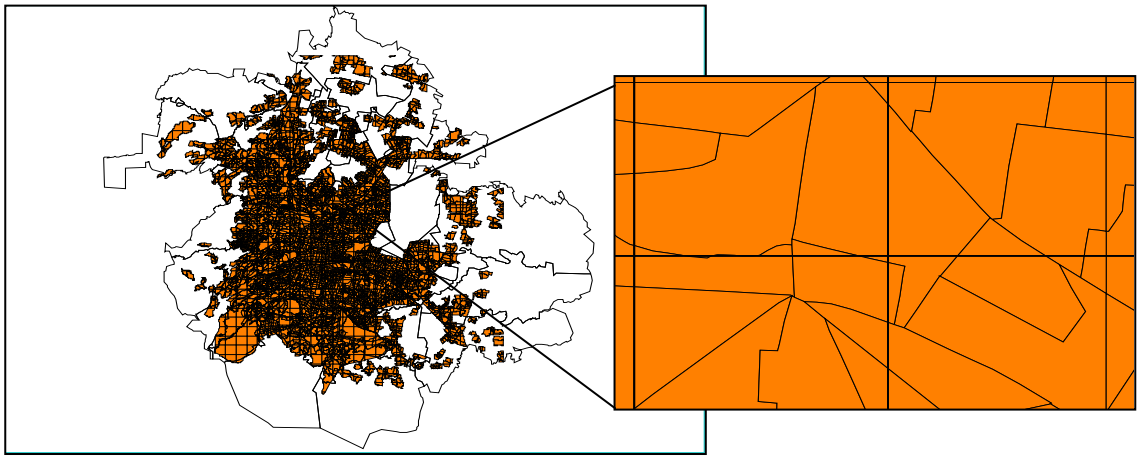


Figura 3.4 Representación de AGEB (polígonos irregulares color naranja) y distribución de éstos en celdas del dominio 3 (derecha)

Las emisiones de fuentes puntuales fueron estimadas por industria y ubicadas geográficamente con coordenadas correspondientes a la localización de la chimenea principal de cada empresa (Figura 3.5). La distribución temporal de las emisiones correspondientes se efectuó con información de las Licencias Ambientales Únicas y Cédulas de Operación Anual del 2010, y se aplicaron patrones temporales para cada contaminante (SO_2, NOx, PM_{10}, $PM_{2.5}$, COT y CO). Posteriormente a la distribución temporal, se desarrolló con SPEA la distribución de emisiones industriales en celdas.

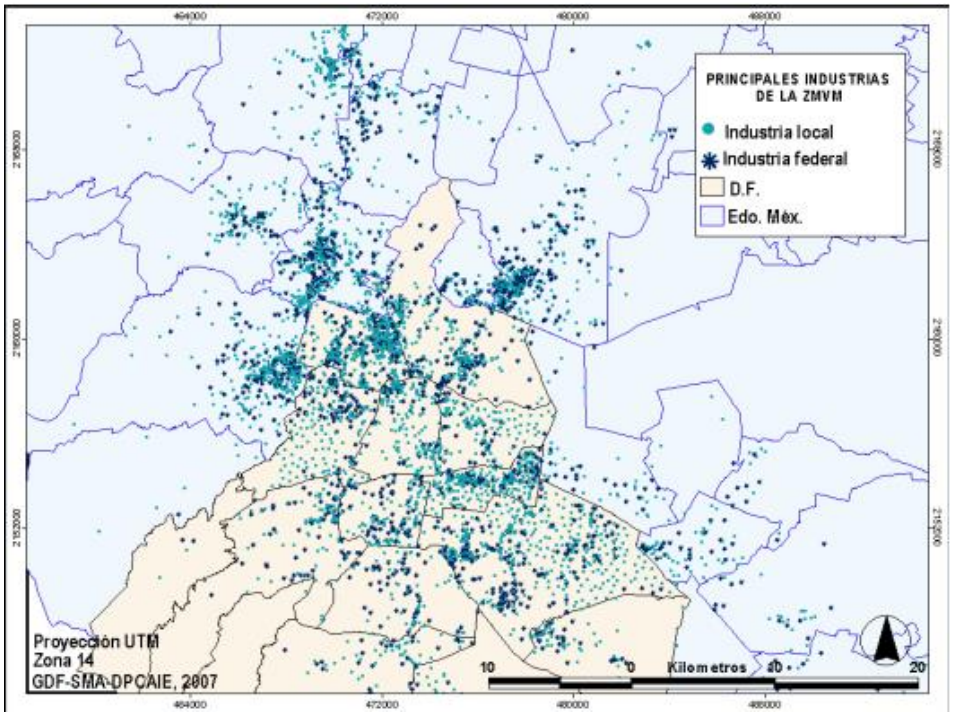


Figura 3.5. Ubicación geográfica de las principales industrias establecidas en la ZMVM

Cabe mencionar que en el caso de las emisiones de COT; además de las distribuciones temporal y geográfica; se desarrolló y utilizó una base de datos con 96 perfiles de emisión y 551 compuestos para realizar la caracterización de éstos en compuestos químicos mediante el SPEA. Utilizándose para ello los perfiles de emisión asociados a cada giro mostrado en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Giros utilizados para realizar la caracterización de COT

Industria	**Servicios**	**F. Móviles**
Industria de la carne	Combustión industrial (GN)	Vehículos a diésel
Elaboración de productos lácteos	Combustión comercial-institucional (GLP)	Vehículos a gasolina
Elaboración de conservas alimenticias	Combustión comercial-institucional (GN)	
Beneficio y molienda de cereales y otros productos agrícolas	Combustión habitacional (GLP)	Vehículos a GLP
Elaboración de productos de panadería	Combustión habitacional (GN)	Vehículos a GN
Molienda de Nixtamal y fabricación de tortillas	Operación de aeronaves	Partículas de caminos
Fabricación de aceites y grasas comestibles	Locomotoras (foráneas/ patio)	
Fab. de cocoa, chocolate y artículos de confitería	Terminales de Autobuses de pasajeros	
Elaboración de otros productos alimenticios para consumo humano	Recubrimiento de superficies Industriales	
Elaboración de alimentos preparados para animales	Pintura automotriz	
Industria de la bebida	Recubrimiento de superficies arquitectónicas (pintura vinílica)	
Industria del tabaco	Recubrimiento de superficies arquitectónicas	

	(pintura acrílica)	
Industria textil de fibras duras y cordelería de todo tipo	Pintura de tránsito	
Hilado, tejido y acabado de fibras blandas.	Limpieza en superficie industrial	
Confección con materiales textiles	Lavado en seco (Percloroetileno)	
Fab. de tejidos de punto	Lavado en seco (Gas nafta)	
Confección de prendas de vestir	Artes gráficas	
Industria del cuero, pieles y sus productos	Aplicación de asfalto	
Industria del calzado. Excluye de hule y/o plástico	Productos de cuidado personal	
Fab. de productos de aserradero y carpintería	Productos misceláneos	
Fab. de envases y otros productos de madera y corcho	Productos de consumo doméstico	
Fab. y reparación de muebles principalmente de madera	Uso doméstico y comercial de pesticidas	
Manufactura de celulosa, papel y sus productos	Uso comercial y doméstico de pinturas en aerosol	
Imprentas, Editoriales e industrias conexas	Productos para el cuidado automotriz	
Petroquímica básica	Uso comercial y doméstico de adhesivos y selladores	
Fab. de sustancias químicas básicas	Distribución y almacenamiento de gasolina	
Industria de las fibras artificiales y/o sintéticas	Carga de combustibles en aeronaves	
Industria farmacéutica	Distribución y almacenamiento de GLP	
Fab. de otras sustancias y productos químicos	Fugas de GLP en instalaciones	
Industria del coque	HCNQ en la combustión de GLP	
Industria del hule	Panaderías	
Elaboración de productos de plástico	Esterilización en hospitales	
Alfarería y cerámica (Excluye materiales de construcción)	Rellenos sanitarios	
Fab. de materiales de arcilla para la construcción	Tratamiento de aguas residuales	
Fab. de vidrio y productos de vidrio	Incendios en estructuras	
Fab. de cemento, cal, yeso y otros productos	Almacenamiento masivo de gasolina	
Industria básica del hierro y del acero	Incendios Forestales	
Industrias básicas de metales no ferrosos	Amoniaco doméstico	
Fundición y moldeo de piezas metálicas, ferrosas y no ferrosas		
Fab. de estructuras metálicas, tanques y calderas industriales		
Fab. y reparación de muebles metálicos		
Fab. de otros productos metálicos.		
Fab. y reparación de maquinaria (Incluye maquinaria agrícola)		
Fab. y reparación de maquinaria (Incluye armamento)		
Fab. y/o ensamble de máquinas de oficina y procesamiento informático		
Fab. y/o ensamble de maquinaria, equipo y accesorios eléctricos		

Fab. y/o ensamble de equipo electrónico de radio, TV y de uso medico		
Fab. y/o ensambles de aparatos y accesorios de uso doméstico.		
Industria automotriz		
Fab., reparación y/o ensamble de equipo de transporte y sus partes		
Fab., reparación y/o ensamble de instrumentos y equipo de precisión		
Otras industrias manufactureras		
Generación y transmisión de energía eléctrica		

Posteriormente a la caracterización de COT, los compuestos químicos emitidos por cada fuente fueron agregados en clases del mecanismo químico Regional Acid DepositionModel 2, implantado en MCCM para resolver fotoquímica, reacciones térmicas de química orgánica/inorgánica y formación de aerosoles. Finalmente, los archivos salida de SPEA (con emisiones en Kg/h) fueron formateados mediante los sistemas RUNAREA para emisiones a nivel de piso (área y móviles) y RUNPOINT para fuentes elevadas (industrias con chimeneas). Con lo que la información de emisiones quedo en unidades de ppm·m/min para las clases del mecanismo de reacción Regional Acid Deposition Model 2 y fue procesada por MCCM. Cabe mencionar que sólo se realizó modelación fotoquímica del dominio 3, debido a que únicamente para ésta última cobertura se tuvo información de emisiones.

Anexo 4. Datos de base para estimación de coste de enfermedad en la ZMVM

	Base	Fuente
Datos de coste para todos los efectos:		
Coste de hospitalización (pesos al día)	5078	Instituto Mexicano del seguro social (2012)
Coste de atención de urgencias (pesos): urbano	1133	
Coste de visita médica (pesos, consulta privada)	482	
Coste del tiempo perdido por enfermedad (pesos al día)	257	Basado en salario promedio en la ZMVM
Bronquitis crónica:		
Duración promedio de enfermedad (años)	20	Basado en Shibuya et al. (2001)
Porcentaje de pacientes hospitalizados al año	1.5%	Basado en Schulman et al. (2001) y Niederman et al. (1999)
Duración promedio de hospitalización (días)	10	
Promedio visitas al doctor por paciente por año	1	
Porcentaje de pacientes con visita de urgencia intra- o extra hospitalaria al año	15%	
Días de trabajo perdidos estimados (incluyendo trabajo doméstico) al año por paciente	2.6	Estimación basada en Larsen (2004)
Incremento real anual del coste económico de los servicios en salud y del valor del tiempo productivo (salarios reales)	2%	Estimación basada en Larsen (2004)
Tasa de descuento anual	3%	Aplicada por la OMS para efectos en salud
Admisiones hospitalarias:		
Duración promedio hospitalización (días)	6	Estimación basada en Larsen (2004)
Número promedio de días perdidos por enfermedad (tras hospitalización)	4	
Visitas a sala de urgencias:		
Número promedio de días perdidos por enfermedad	2	
Días de actividad restringida:		
Promedio días perdidos por la enfermedad por diez casos	2.5	
Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs) en niños menores de cinco años de edad:		
Número estimado de visitas al doctor	1	
Tiempo total destinado al cuidado por adulto (días)	1	Estimación basada en Larsen (2004)