



UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA  
METROPOLITANA  
Unidad Cuajimalpa



División  
Ciencias de la  
Comunicación y  
Diseño

DR. SAZCHA MARCELO  
OLIVERA VILLARROEL

CO<sub>2</sub>

**OPCIONES DE POLÍTICA PARA  
TRANSITAR HACIA UNA  
SENDA DE DESARROLLO  
BAJA EN CARBONO.  
MÉXICO**

**OPCIONES DE POLÍTICA PARA  
TRANSITAR HACIA UNA  
SENDA DE DESARROLLO  
BAJA EN CARBONO.  
MÉXICO**

**DR. SAZCHA MARCELO  
OLIVERA VILLARROEL**

Universidad Autónoma Metropolitana – Unidad Cuajimalpa.

Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca



# OPCIONES DE POLÍTICA PARA TRANSITAR HACIA UNA SENDA DE DESARROLLO BAJA EN CARBONO. MÉXICO

DR. SAZCHA MARCELO  
OLIVERA VILLARROEL



UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA  
METROPOLITANA  
Unidad Cuajimalpa



Universidad Autónoma Metropolitana – Unidad Cuajimalpa.  
Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca

Opciones de Política para Transitar hacia una Senda de Desarrollo Baja en Carbono. México

© Sazcha Marcelo Olivera Villarroel

Zenon Peter Campos Quiroga Coordinador.

Diseño de cubierta y edición: Mónica Montiel.

Primera edición diciembre de 2017, Ciudad de Sucre.

© Universidad San Francisco Xavier de Chuquisaca

Calle Junín esq. Estudiantes

Sucre, Bolivia

Tel./Fax. (591)(4) 6441541 / Telf. 6453308

Derechos reservados para todas las ediciones en castellano

ISBN 978-99974-79-13-6

Talleres Gráficos, Editorial AROL.

La presente obra es resultado del apoyo recibido por la División de Ciencias de la Comunicación y Diseño UAM-Cuajimalpa, El Departamento de Teoría y Procesos del Diseño y el Centro de Análisis e Investigación Socio Económica (CAISE) de la Facultad De Ciencias Económicas Y Empresariales – USFX. El libro fue dictaminado positivamente por pares académicos mediante el sistema doble ciego, y evaluado y liberado para su publicación por el Comité Editorial de CAISE.

Queda prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio de impresión, en forma idéntica, extractada o modificada, en castellano o cualquier otro idioma.

## Contenido

Introducción	9
Análisis sectorial de las medidas propuestas	12
Transporte	25
Chatarrización de vehículos de carga y pasajeros con motor diésel	33
Energía eléctrica	38
Vivienda: Sustitución de muebles sanitarios tradicionales por sistemas ahorradores	46
Ahorro total por sustitución de muebles sanitarios	58
Residuos sólidos urbanos	68
Análisis costo-beneficio	73
Bibliografía	83
Anexo de estimaciones	87

## Introducción

El presente estudio analiza una serie de acciones de política pública a nivel local que coadyuvan a disminuir la contaminación atmosférica en la megalópolis de ciudad de México. En estudios previos desarrollados por Gobierno del Distrito Federal (GDF), se identificaron los sectores que más contribuyen a la emisión de GEI en la cuenca atmosférica del valle de México siendo las más importantes: la quema de combustibles fósiles (traducidos en transporte vehicular, calentamiento de agua y preparación de alimentos, entre otros), el consumo de energía eléctrica y la generación de residuos (PACCM, 2014).

En particular, el sector transporte representa para el Gobierno del Distrito Federal una de las principales áreas de oportunidad para la reducción de GEI, ya que tan sólo la suma de las emisiones de los autos y camionetas particulares aportan cerca del 18% del CO<sub>2</sub>-equivalente total emitido en el Distrito Federal (PACCM, 2014).

A partir de esta identificación preliminar de sectores de interés, se desarrolló un análisis comparado entre las políticas de las entidades federales del valle de México y las propuestas a ser analizadas en el estudio, (ver tabla 1). Este análisis se desarrolla a través de la generación de índices de costos beneficio de las medidas y acciones de política a ser estudiadas.

La aplicación de acciones de política pública se encuentran limitadas por la escasez de recursos económicos y las limitaciones políticas de cada región. La generación de indicadores como los índices de costo-beneficio<sup>1</sup> o costo efectividad permiten jerarquizar y priorizar las inversiones públicas que cuenta de por sí con bajos recursos de inversión. Los recursos económicos y políticos de medida ambientales suelen ser escasos y costosos en los actuales esquemas de financiamiento de las grandes ciudades en América Latina.

Los sectores y programas analizados se fundamentaron en la existencia de información que posibilitara la evaluación y análisis de los programas.

---

<sup>1</sup> El análisis coste-beneficio no es sino la formalización de una práctica cotidiana: sopesar las ventajas e inconvenientes de una determinada ALTERNATIVA, sea en sí misma o en comparación con otras."(Azqueta, 2007, p. 162), teniendo como objetivo priorizar las acciones que mejores resultados arrojen a priori y, a su vez permitan escalar las inversiones en los programas para los que existan recursos.

En este sentido los programas analizados no corresponden en todos los casos a las políticas o programas priorizados por los gobiernos municipales y/o estatales de la Ciudad de México. Por lo que esta selección usa como respaldo análisis previos y retroalimentación con el Gobierno del Distrito Federal y la Entidades Públicas relacionadas con programas de medio ambiente en la Megalópolis en la Ciudad de México.

Analizando los índices de costo-beneficio de las diferentes alternativas, se observa que las medidas con un mayor índice de costos beneficio como son la generación de electricidad a partir de biogás generado por el manejo de residuos sólidos, el ahorro de agua y su consumo de energía en bombeo en los muebles sanitarios de los hogares de mayor antigüedad de la ciudad de México, y los impuestos y programas de chatarrización de vehículos diésel, no siempre son las acciones con mejores perspectivas de aplicación política.

(Ver Tabla 1)

Mientras que medidas como la compra de energía en bloque, a pesar de tener índices de costos beneficios menores, pueden tener mayor aceptación por parte de los inversionistas por las condiciones de mercado y las garantías de demanda de largo plazo del mercado de energía en México.

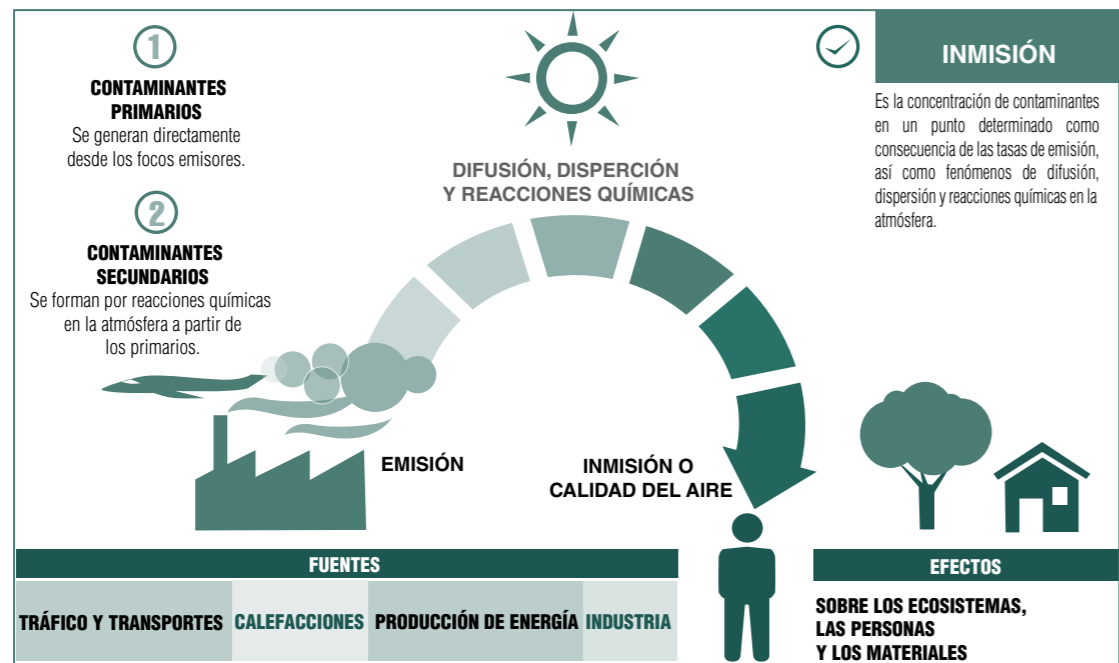
**Tabla 1ª. Recomendaciones y acciones de política a ser evaluadas**

Sector	Tipo de medida(componente principal)	Medida	Consideraciones
Transporte	Fiscal	Impuesto a vehículos por emisiones de CO2	Establecer mecanismos de control y monitoreo vehicular bien establecidos, asociados a programas de calidad del aire. Posibilidad de escalar el impuesto de acuerdo al precio del vehículo, reflejando la actual política fiscal progresiva del Distrito Federal sobre el impuesto a los vehículos.
Transporte	Fondo de inversión	Fondo para la chatarrización de unidades de transporte público	Éxito de programas previos de sustitución de vehículos. Los ingresos por el impuesto a vehículos por emisiones de CO2, integraría el fondo. Se implementarían esquemas de financiamiento internacional y cofinanciamiento. Chatarrizar los vehículos descartados, sustitución de vehículos a gas natural.
Energía	Económica	Compra en bloque de energía a plantas hidroeléctricas.	Emplear la capacidad de compra del gobierno para reducir costos y elegir fuentes más limpias de generación de energía eléctrica. Y por lo tanto disminuir la dependencia de la generación de energía a través de combustibles fósiles.  La aprobación de la legislación secundaria en materia energética, contribuirá a la aparición de un mayor número de generadores de energía.
Vivienda	Tecnológica	Sustitución de WC de 10 litros, por WC de 4 litros a través de financiamiento del equipo ahorrador de WC, condicional a la instalación de medidores.	Actualmente existe poca capacidad para implementar medidas dirigidas y/o vinculadas al consumo/ahorro de agua.  Existe una NAMA para vivienda sustentable en México.  Los actuales instrumentos o líneas de acción vinculados al agua, solo consideran la eficiencia de los equipos de bombeo para reducir el consumo energético en horas punta - valle.
Residuos	Normativo	Regulación de la obligatoriedad del tratamiento y aprovechamiento de residuos	Actualmente existe la NOM-083-SEMARNAT-2003 que regula las condiciones de los depósitos para residuos; la NOM-161-SEMARNAT-2011, sobre la obligatoriedad en el manejo para los grandes productores de residuos.  En la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal, se establecen planes de manejo, pero no la regulación específica sobre el aprovechamiento de los residuos.
Notas metodológicas:			
La selección de políticas, programas o planes a ser analizados deberían incluir a los sectores con mayores emisiones de GEI en la cuenca atmosférica del Valle de México. Así como a los sectores con menores impactos sociales y económicos.			
Lamentablemente no se cuenta con la información necesaria a este nivel de desagregación en los sectores que cumplen los requisitos anteriores. Por lo que se procedió a analizar los sectores que cuentan con mayor información y son más relevantes en la emisión de GEI. Por lo que la priorización socioeconómica y ambiental no siempre coincide con el análisis desarrollado en este estudio. Esto no resta importancia a las medidas analizadas en los índices de costo-beneficio; ya que establece las condiciones de información necesarias para su desarrollo.			

## Análisis sectorial de las medidas propuestas

El proceso de urbanización en América latina se caracteriza por la concentración cada vez mayor de la población en uno o pocos núcleos urbanos, cuyo tamaño aumenta progresivamente (Castells, 2004). Este proceso de concentración trae consigo incrementos en los niveles de consumo y de generación de contaminación a todo nivel, haciendo cada vez más difícil el acceso a recursos como el agua potable y generando procesos de degradación ambiental debido a la falta de tratamiento de aguas negras y residuos sólidos.

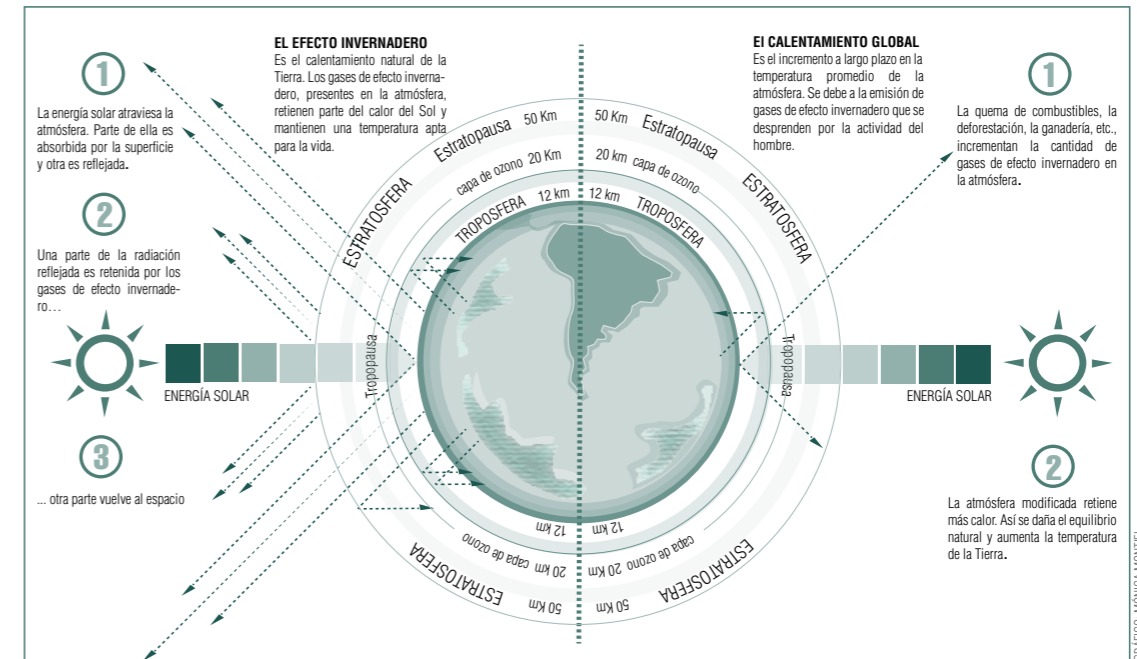
Sin embargo el mayor efecto observable en las grandes urbes latinoamericanas es la contaminación atmosférica causada por los gases de escape de los vehículos particulares, gases de procesos industriales y en general los gases de los procesos propios en la vida diaria de una gran concentración de población.



Fuentes, tipos de contaminantes, procesos y efectos generales en contaminación atmosférica. Fuente: Capítulo 1 del Observatorio DKV Salud y Medio Ambiente 2010: "Contaminación Atmosférica y Salud".

Este proceso de concentración de población se dio en los últimos 50 años de la mano de un crecimiento descontrolado e informal, proceso acelerado durante la última década y que enfrenta a estas urbes ante el problema de la falta de infraestructura de recursos humanos, técnicos y económicos.

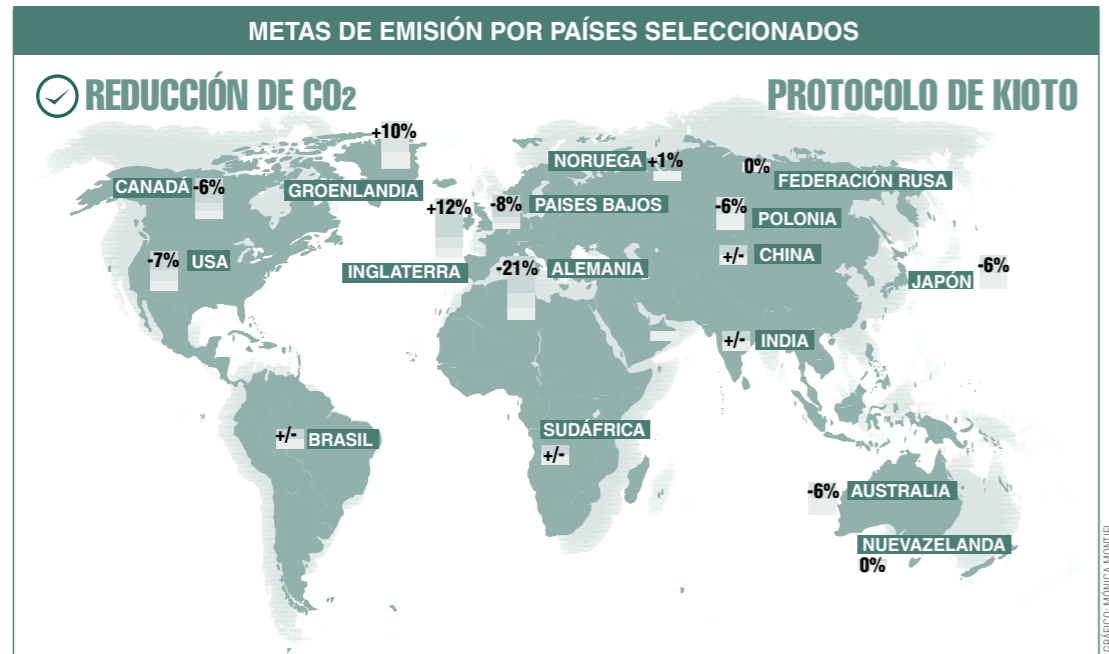
Asociado a esta problemática el contexto político de la toma de decisiones y planificación se lleva a cabo en horizontes de corto plazo y ante procesos de planificación y ejecución que deben enfrentar la falta de recursos y la elección de entre múltiples opciones políticas, programas y acciones que deben enfrentarse día a día en las urbes de América Latina (Sánchez, 2013).



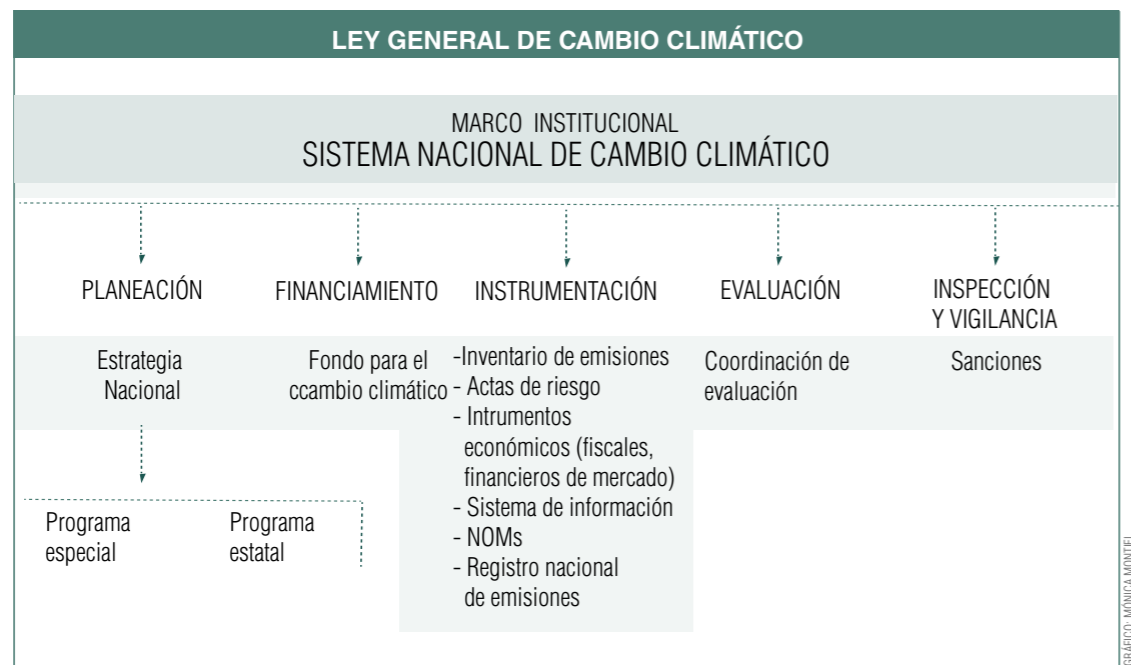
Modificado de sagarpa.gob.mx

Aunado a ello, el cambio climático, como fenómeno global, enfrenta a las urbes de Latinoamérica a cambios y perturbaciones climáticas que empeoran la situación, ya de por sí compleja, de estas concentraciones poblacionales. Inundaciones, deslaves de montañas, olas de calor son cada vez más comunes en nuestras ciudades (Samaniego y Jordán, 2013)

Las políticas y acciones de índole climática enfrentan a las ciudades a una disyuntiva adicional: donde emplear los recursos, ya de por sí escasos. ¿En procesos de adaptación al cambio climático o en mitigar la generación de gases de efecto invernadero (GEI)? La interrelación existente entre los procesos de degradación ambiental propios de las grandes ciudades y la emisión de GEI es grande, lo que hace de las ciudades una de las áreas con mayor emisión de GEI (IPCC, 2012).



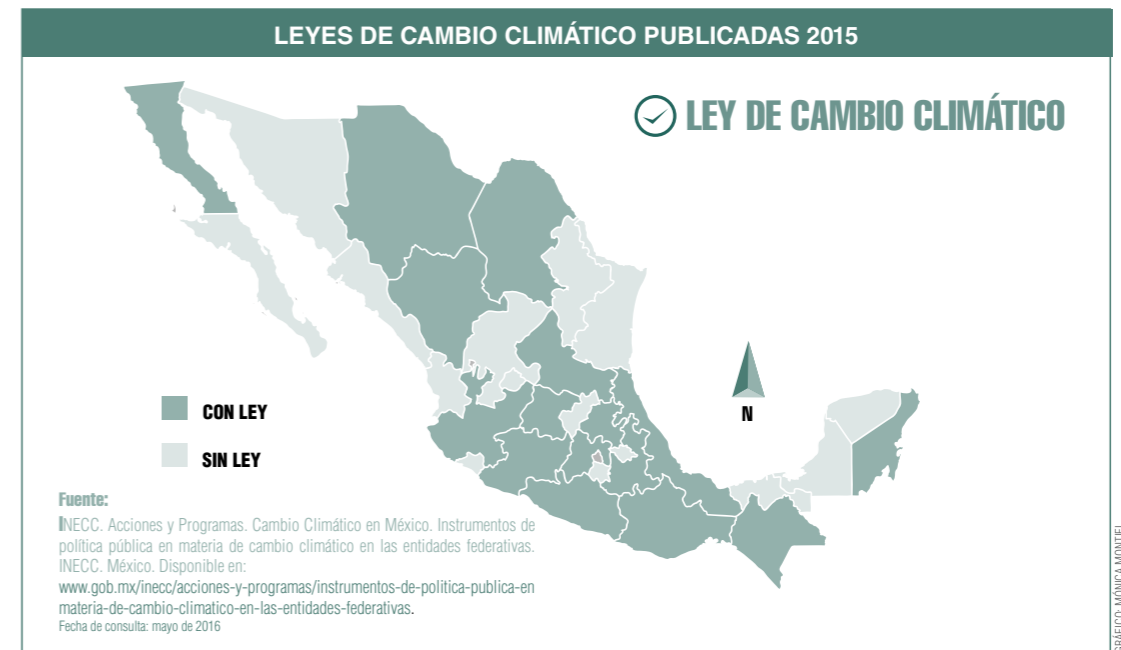
Modificado de: <http://cambioclimaticoglobal.com/wp-content/uploads/2013/08/kyoto-protocol.jpg>, última consulta: diciembre 2017



Modificado de: [http://www.dof.gob.mx/imagenes\\_diaros/2013/06/03/MAT/semarnat3a11\\_Cimg\\_599180.png](http://www.dof.gob.mx/imagenes_diaros/2013/06/03/MAT/semarnat3a11_Cimg_599180.png) última consulta: diciembre 2017

Esta relación abre escenarios de mejora a las condiciones de contaminación local que impacten en beneficios a escala global, brindando una serie de opciones de desarrollo bajas en emisiones de GEI, mismas que podrían

reducir las actuales condiciones de polución ambiental en estas grandes concentraciones de población (PNUD, 2010; EIRD, 2012). En este marco de análisis, el presente estudio revisará una serie de acciones de política pública a nivel local que se diseñaron para generar un proceso de crecimiento económico bajo en emisiones de GEI y que coadyuven a disminuir la polución en la megalópolis de la Ciudad de México<sup>2</sup>.



Modificado de: [www.gob.mx/acciones-y-programas/instrumento-de-politica-publica-en-materia-de-cambio-climatico-en-las-entidades-federativas](http://www.gob.mx/acciones-y-programas/instrumento-de-politica-publica-en-materia-de-cambio-climatico-en-las-entidades-federativas). última consulta: diciembre 2017

El proceso de selección de estas acciones de política pública se basa en el análisis de Sánchez y Graizbord (2014) el cual se resume en la gráfica 1.



Fuente: Sanchez y Graizbord (2014), Adaptado de Low emissions development strategies framework (OCDE, 2010)

<sup>2</sup> El concepto de la megalópolis de Ciudad de México se analiza en el estudio de Sánchez y Graizbord (2014)

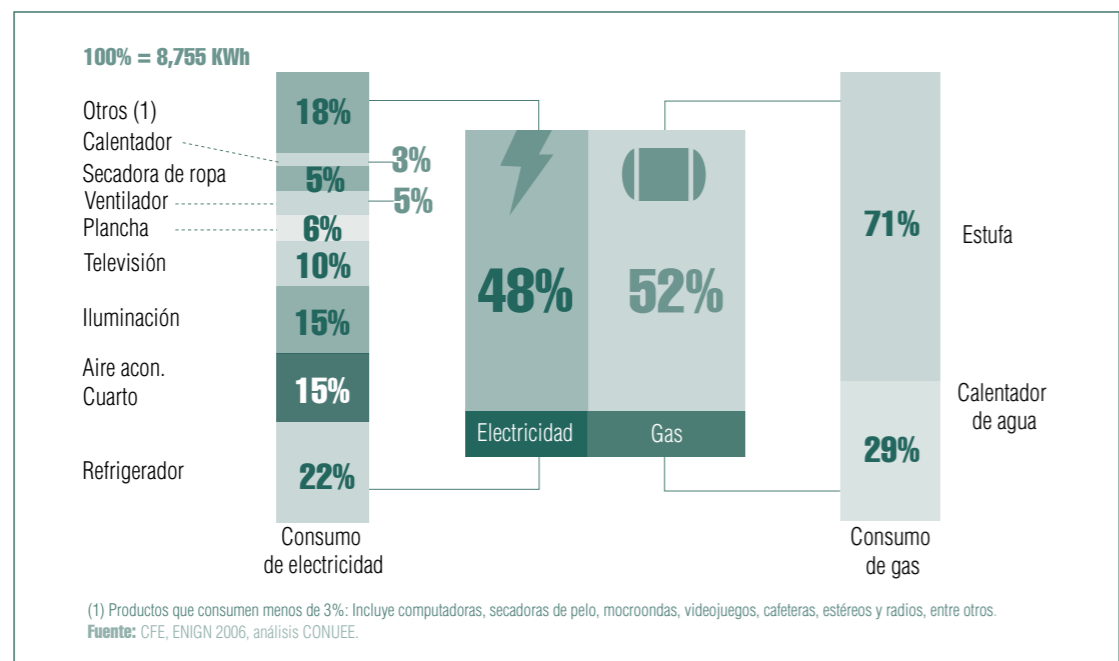


Este marco de análisis permitió reconocer los principales sectores que generan emisiones de GEI y que a su vez hayan sido priorizados por los gobiernos locales de la megalópolis de la Ciudad de México. Es así como los sectores sugeridos como claves para la elaboración de las “Sendas bajo en carbono” son: Agua y Saneamiento, Transporte, Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Edificación. Así, este estudio parte de la distinción entre tres tipos de medidas económicas que pueden ser aplicadas como opciones de política en estos sectores analizados en este estudio:

**Medidas económicas y fiscales:** incidir sobre los costos ambientales de los agentes desincentivando la generación de emisiones.

**Medidas regulatorias:** modificar el comportamiento de los agentes a través de regulación formal e informal (acuerdos voluntarios, información, educación, etc.) así como medidas de planificación.

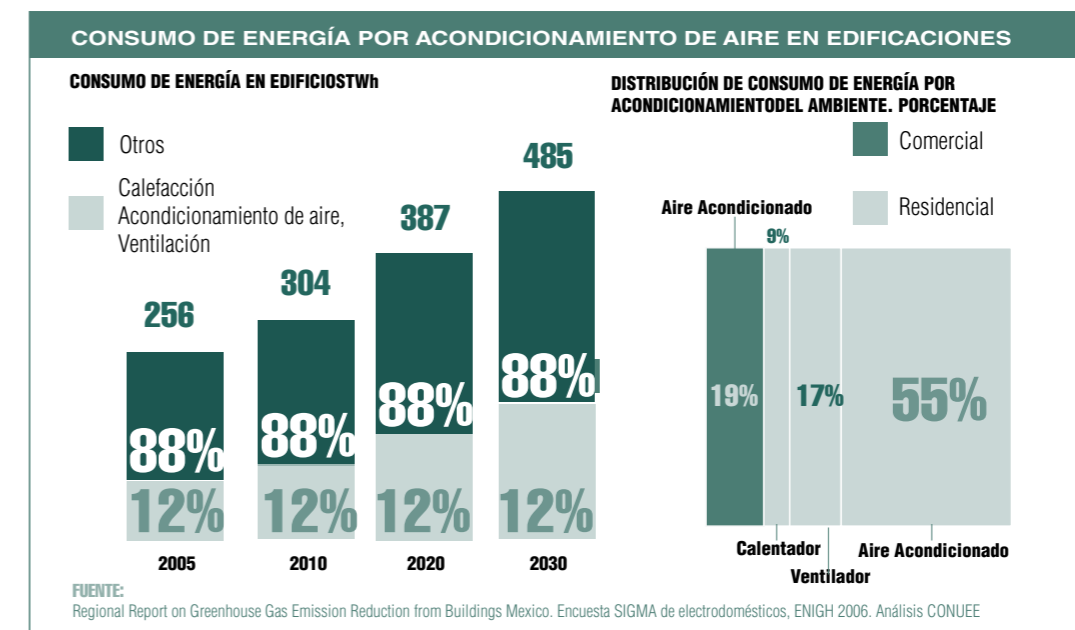
**Medidas tecnológicas:** regular o incentivar el uso de tecnologías más limpias o tecnologías que puedan modificar el sector uso de recursos y servicios ambientales en el sector.



de monitoreo, reporte y verificación que permitan dar seguimiento a los mismos.

Segundo, las medidas de reducción de emisiones de carbono suponen también dilemas respecto de la definición de responsabilidades y de “quién se acredita el éxito” de las políticas implementadas, ya que que un grupo numeroso de ellas dependen de distintos niveles de gobierno y sectores. En este sentido, existe un problema de coordinación intersectorial e interinstitucional donde actores con distintas atribuciones, agendas y presupuestos deben conciliarse. El dilema de coordinación está presente exista o no un programa de acción común (Samaniego et al, 2015).

La coordinación interinstitucional en general es un dilema claramente presente debido a la convivencia de diversas unidades gubernamentales que deben colaborar juntas y, si bien ciertas metrópolis cuentan con instituciones



Modificado de: [http://www.dof.gob.mx/imagenes\\_diarios/2009/11/27/MAT/sener12\\_Cimg\\_1236653.png](http://www.dof.gob.mx/imagenes_diarios/2009/11/27/MAT/sener12_Cimg_1236653.png), última consulta: diciembre 2017

Modificado de: [http://www.dof.gob.mx/imagenes\\_diarios/2009/11/27/MAT/sener12\\_Cimg\\_1236653.png](http://www.dof.gob.mx/imagenes_diarios/2009/11/27/MAT/sener12_Cimg_1236653.png), última consulta: diciembre 2017

Primero, las políticas de reducción de emisiones tienen un objetivo de largo plazo, mientras que enfrentan la necesidad de ser evaluadas en el corto y mediano plazo (Wörten y Consulf, 2013). De ahí la necesidad de que se desarrollen indicadores de corto y mediano plazo, así como los mecanismos

especializadas en estas materias, sus atribuciones efectivas de coordinación tienden a ser limitadas. De ahí que las acciones que definan de manera eficaz a los participantes y sus responsabilidades, los mecanismos de accountability y de monitoreo de resultados, claramente pueden contribuir a mejorar los resultados de las políticas existentes.

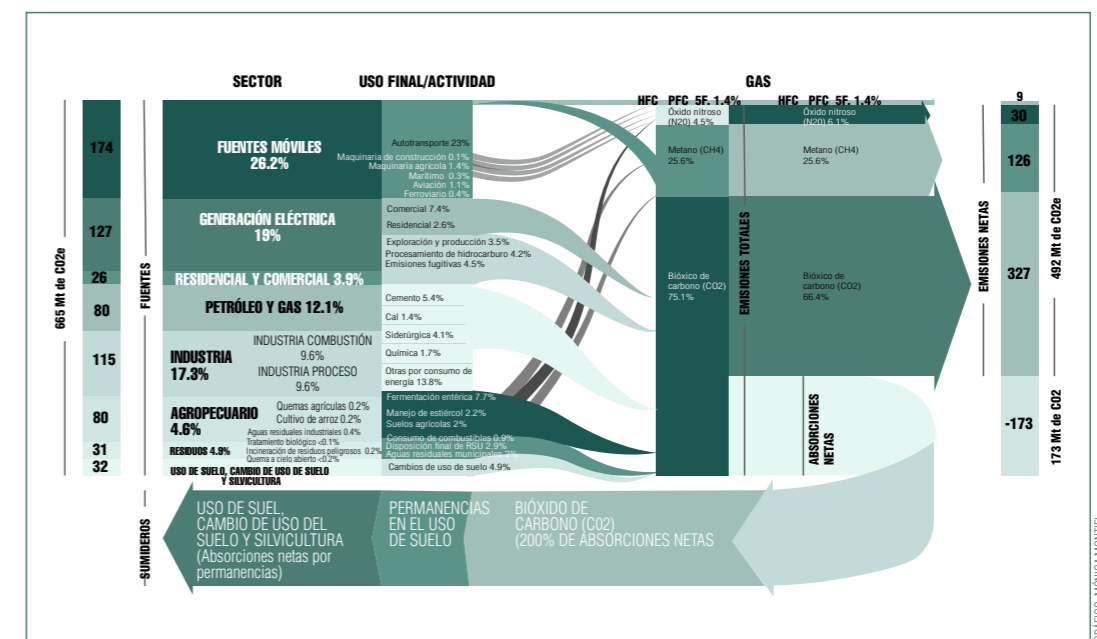
**Tabla 3. Emisiones de GEI generadas por la Comunidad de La Ciudad de México, 2010**

Sector	Emisiones	
	[t CO2-eq/año]	[%]
Residencial	4,019,200	15.32
Casas independientes	3,877,783	14.78
Casas multifamiliares	141,417	0.54
Otras emisiones residenciales	N/A	N/A
Comercial	1,978,725	7.54
Industria	6,210,483	23.67
Generación de electricidad	107,257	0.41
Otras plantas industriales	6,103,226	23.27
Transporte	13,593,716	51.82
Vehículos que circulan por vialidades	12,173,081	46.40
Autos particulares	4,773,493	18.20
Camionetas particulares SUV	1,559,635	5.95
Taxis	1,683,868	6.42
Vagonetas y Combis	98,846	0.38
Microbuses	978,906	3.73
Pick up y vehículos de carga de hasta 3.8 t	528,906	2.02
Tractocamiones	740,905	2.82
Autobuses	1,116,265	4.26
Vehículo de carga de más de 3.8 t	595,752	2.27
Motocicletas	96,505	0.37
Vehículos que no circulan por vialidades	1,420,635	5.42
Terminales de autobuses	4,588	0.02
Operación de locomotoras	3,801	0.01
Operación de aeronaves	1,302,312	4.96
Maquinaria (agrícola y de construcción)	109,934	0.42
Residuos	405,951	1.55
Disposición de residuos sólidos	N/A	N/A
Tratamiento biológico de residuos	N/A	N/A
Incineración y quema a cielo abierto	N/E	N/E
Tratamiento de aguas residuales y descarga	405,951	1.55
Otras emisiones	24,756	0.09
Gases-F* (toneladas de CO2 equivalente para HFC,PFC,SF6)	N/E	N/E
Otras emisiones industriales	N/A	N/A
Agricultura, forestal y uso de suelo	24,252	0.09
Emisiones fugitivas	504	N/S
Total	26,232,831	100

Incluyen las emisiones de la Comunidad y las del Gobierno Federal  
 N/E.- No estimado N/A: No aplica N/S: No significativo \*F = flúorFuente: Registro de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2010, GDF 2012, GDF 2014

Tercero, las medidas para un crecimiento bajo en carbono dependen de las capacidades locales para su implementación y sustento. Son estas capacidades técnicas, financieras, institucionales y políticas las que median la viabilidad de las acciones. Un elemento crucial de las políticas de mitigación es poder aumentar las capacidades locales y reducir las barreras para que nuevos actores adopten medidas innovadoras.

Como se observa en la tabla 1, el mayor aporte de emisiones de GEI la realiza el sector transporte, en particular por los vehículos que circulan por vialidades, debido a que emiten 12.1 millones de toneladas equivalentes de CO2, el sector industrial se encuentra en segundo lugar con 6.2 millones. El sector residencial emite 4 millones de toneladas, de las cuales el 96.5% (3.87 millones) son generadas por las viviendas independientes (PACCM, 2014).



Modificado de: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>, última consulta: diciembre 2017

Los sectores que tiene mayor contribución a la emisión de GEI son la quema de combustibles fósiles (traducidos en transporte vehicular, calentamiento de agua y preparación de alimentos, entre otros), el consumo de energía eléctrica y la generación de residuos (PACCM, 2014). En particular, el sector transporte representa para la Ciudad de México una de las principales áreas de oportunidad para la reducción de GEI, ya que tan sólo la suma de las emisiones de los autos y camionetas particulares aportan cerca del 18% del CO2-equivalente total emitido en en la Ciudad de México (PACCM, 2014).

A partir de esta identificación preliminar de sectores de interés se procedió a desarrollar un análisis a nivel vivienda<sup>3</sup>, del consumo de estos sectores económicos por parte de los habitantes de la zona de estudio. Por ello se llevo a cabo un análisis sectorial que incluye a:

Energía eléctrica.

Transporte (Diésel, gasolinas, gastos en transporte).

Combustibles fósiles (Gas LP, Gas Natural, Diésel, Leña, etc.).

Consumo de Agua.

Recolección de basura.

El consumo de energía eléctrica, se limita al uso de este tipo de energía en la vivienda; el consumo de transporte abarca al de diésel, gasolina magna, gasolina Premium, aceites y lubricantes y, el gasto en transporte escolar; mientras que el consumo de combustibles fósiles, abarca la utilización en la vivienda de diversos combustibles como gas LP, gas natural, diésel, leña y otros combustibles para calentar.

Para el desarrollo del análisis, se tomaron las Encuestas nacional de Hogares (ENIGH) de los años 2008, 2010 y 2012<sup>4</sup>. Se seleccionaron las viviendas correspondientes al espacio geográfico de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Posteriormente se identificó el ingreso per cápita de las viviendas y se calculó el número de residentes por vivienda.

Efectuado el cálculo de la distribución del ingreso por decil, ver (tabla 4), se pudo observar el porcentaje de gasto de las viviendas en los diferentes sectores de interés del estudio. Podemos apreciar que en el caso del sector de transporte, los deciles “V” y “VI” tienen una participación del 30.16 y 17.20 por ciento respectivamente de sus ingresos destinados al consumo de actividades del sector transporte, reforzando el análisis del GDF de la pertinencia del sector tanto por su nivel de emisiones como de importancia en porcentaje del gasto de esta parte de la población de la ciudad (tabla 4, grafico 2).

<sup>3</sup> Es importante mencionar, que hay una diferencia metodológica entre “vivienda” y “hogar” según el INEGI, la vivienda puede agrupar uno o más hogares.

<sup>4</sup> Una vez identificados los rubros de interés, se calcularon los montos totales de consumo por nivel de ingreso para las viviendas seleccionadas de las ENIGH. En esta etapa del análisis, se encontró que no existía la suficiente información estadística para los rubros de consumo de interés en las ENIGH de 2010 y 2012. Por lo que se decidió trabajar con la ENIGH 2008, por contar ésta con información detallada para los niveles de consumo de los sectores seleccionados en el estudio.

Caracterizados los deciles anteriores, por largos desplazamientos desde sus viviendas hasta sus centros de trabajo en medios de transporte propios.

El análisis del gasto en transporte, considera tanto los consumos en aceites y lubricantes como los de gasolinas (magna y premium). En este último rubro, el estudio arrojó que los deciles “VIII” y “X” concentran la mayor parte del consumo de gasolina magna (14.31 y 20.17 por ciento), mientras que para el caso de la gasolina premium el decil “IX” concentra el 23.9 por ciento del consumo de este tipo de combustible (tabla 5).

**Tabla 4 Principales gastos por sector de interés como porcentaje de ingresos**

**Zona Metropolitana del Valle de México**

**Participación por Tipo de Gasto (porcentaje)**

Decil de ingreso	Transporte	Agua	Energía	Energía fósil	Energía eléctrica	Recolección de Basura
I	3.43%	7.29%	7.60%	7.32%	7.95%	6.76%
II	3.45%	6.41%	6.52%	6.61%	6.40%	5.28%
III	7.64%	6.46%	6.37%	5.98%	6.87%	6.08%
IV	7.44%	8.18%	7.02%	7.33%	6.63%	7.14%
V	30.16%	8.82%	8.04%	8.62%	7.32%	9.27%
VI	17.20%	9.84%	9.74%	8.85%	10.83%	8.52%
VII	6.61%	10.32%	9.48%	9.42%	9.55%	10.60%
VIII	7.56%	12.64%	13.24%	13.09%	13.42%	12.50%
IX	4.81%	11.60%	14.96%	14.83%	15.13%	14.59%
X	11.69%	18.44%	17.04%	17.96%	15.90%	19.27%

Elaboración propia con base en ENIGH 2008, INEGI.

A partir de este análisis del gasto en consumo de energía como porcentaje del ingreso de la población del Valle de México, ver anexo I, y junto con la priorización desarrollada por el GDF en su estudio sobre el potencial de reducción de emisiones de GEI que tiene la Zona Metropolitana del Valle de México (2010), se identificaron las posibles acciones de política a ser analizadas y priorizadas en este estudio, como se observa en la tabla 6.

**Tabla 5 Consumos de gasolina magna y premium**

**Zona Metropolitana del Valle de México**

**Consumo de gasolina magna y premium en porcentajes**

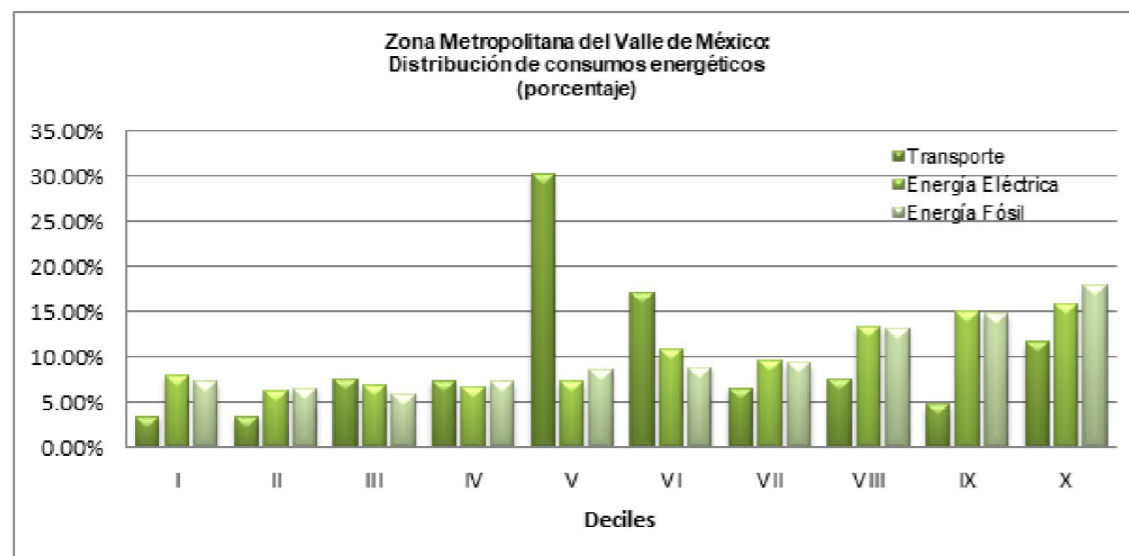
Decil	Gasolina Magna	Gasolina Premium
I	7.92%	15.51%
II	5.58%	5.86%
III	7.20%	4.53%
IV	6.18%	7.16%
V	7.33%	5.75%
VI	8.88%	11.49%
VII	11.08%	6.72%
VIII	14.31%	13.01%
IX	11.35%	23.99%
X	20.17%	5.99%

Elaboración propia con base en ENIGH 2008, INEGI.

Estas acciones incluyen instrumentos regulatorios de orden tecnológico, normativo, económico y fiscal en sectores clave como agua y saneamiento, edificación, energía, residuos sólidos, y movilidad. Los instrumentos de regulación formal consideran tanto instrumentos cuantitativos como instrumentos de mercado, llamados formalmente “Comando y control” e instrumentos basados en incentivos, existiendo a su vez en la aplicación de la política pública una combinación de ambos instrumentos (Samaniego y Jordán, 2013).

Los criterios de selección de las acciones de la tabla 6, se centraron en los aportes de los sectores analizados al total de emisiones de GEI en la Ciudad de México, su innovación a las políticas públicas existentes y la factibilidad técnica de evaluarlas dentro del marco de análisis del estudio.

**Gráfico 2. Distribución de consumos energéticos.**



**Tabla 6 Recomendaciones y acciones de política a ser evaluadas**

Sector	Tipo de medida (componente principal)	Medida	Criterio de selección	Consideraciones
Transporte	Fiscal	Impuesto a vehículos por emisiones de CO2	Innovación	<p>Establecer mecanismos de control y monitoreo vehicular bien establecidos, asociados a programas de calidad del aire.</p> <p>Posibilidad de escalar el impuesto de acuerdo al precio del vehículo, reflejando la actual política fiscal progresiva de La Ciudad de México sobre el impuesto a los vehículos.</p>
Transporte	Fondo de inversión	Fondo para la chatarrización de unidades de transporte público	Ampliación de programa	<p>Éxito de programas previos de sustitución de vehículos.</p> <p>Los ingresos por el impuesto a vehículos por emisiones de CO2, integraría el fondo. Se implementarían esquemas de financiamiento internacional y cofinanciamiento.</p> <p>Chatarrizar los vehículos descartados, sustitución de vehículos a gas natural.</p>
Energía	Económica	Compra en bloque de energía a plantas hidroeléctricas.	Reforma energética	<p>Emplear la capacidad de compra del gobierno para reducir costos y elegir fuentes más limpias de generación de energía eléctrica. Y por lo tanto disminuir la dependencia de la generación de energía a través de combustibles fósiles.</p> <p>La aprobación de la legislación secundaria en materia energética, contribuirá a la aparición de un mayor número de generadores de energía.</p>
Vivienda	Tecnológica	Sustitución de WC de 10 litros, por WC de 4 litros a través de financiamiento del equipo ahorrador de WC, condicional a la instalación de medidores.	Impacto focalizado demanda	<p>Actualmente existe poca capacidad para implementar medidas dirigidas y/o vinculadas al consumo/ahorro de agua.</p> <p>Existe una NAMA para vivienda sustentable en México.</p>
Residuos	Normativo	Regulación de la obligatoriedad del tratamiento y aprovechamiento de residuos	Aplicación de normas existente	<p>Actualmente existe la NOM-083-SEMARNAT-2003 que regula las condiciones de los depósitos para residuos; la NOM-161-SEMARNAT-2011, sobre la obligatoriedad en el manejo para los grandes productores de residuos.</p> <p>En la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y la Ley de Residuos Sólidos de La Ciudad de México, se establecen planes de manejo, pero no la regulación específica sobre el aprovechamiento de los residuos.</p>

Fuente: elaboración propia

## Análisis sectorial de las medidas propuestas

En la siguiente sección, se analiza de manera individual las medidas de mayor interés, por su factibilidad de análisis e importancia, en las emisiones de GEI en el Valle de México.

### Transporte.

El sector transporte y movilidad genera casi el 48% de las emisiones de GEI en el Valle de México, tabla 1. Este cálculo incluye los vehículos residentes del valle, así como los vehículos de carga y de transporte de pasajeros que arriban a la Ciudad de México. Si bien los estudios de manejo y control de emisiones de vehículos se concentran en los vehículos residentes en las ciudades, es importante estar consciente de la influencia de los vehículos de paso por las ciudades, en especial en un valle en el cual la infraestructura carretera pasa indefectiblemente a través de los centros poblados (GDF, 2014).

El sector transporte, al tener fuentes de emisión atomizadas, dificulta la aplicación de políticas de reducción. Políticas que adicionalmente suelen no ser de aceptación política ni social; ya que el sector transporte es parte del motor de desarrollo de la economía. (Islas, 2011)

Las principales estrategias para reducir de manera importante las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector transporte suelen enfocarse en la mayor eficiencia del uso de combustibles, nuevos combustibles, un manejo adecuado del autotransporte público, la no realización de viajes, el aumento de la eficiencia de los viajes privados y los impuestos sobre los combustibles (Dalkmann y Brannigan, 2007).

En la Ciudad de México cerca de cinco millones de vehículos recorren diariamente sus calles, de los cuales el 80% corresponden a vehículos particulares, 7% a unidades de pasajeros y el resto a unidades de carga

**Tabla 7 Beneficios socioeconómicos y climáticos del sector transporte**

Beneficios socioeconómicos y climáticos de implementación de políticas de transporte sustentable.							
Beneficio	Total	Brasil y México	China	Unión Europea	India	Estados Unidos	Beneficios (2010 \$bn)
Muertes evitadas	20,000	4%	31%	1%	64%	0	\$ 87
Ahorro energético	4,700TWh	8%	26%	31%	10%	25%	\$ 237
Emisiones reducidas	2.4Gt CO <sub>2</sub> eq	9%	20%	41%	11%	19%	\$ 132
Elaboración propia con base en <i>Climate-Smart Development Adding up the benefits of actions that help build prosperity, end poverty and combat climate change</i> , World Bank, 2014.							

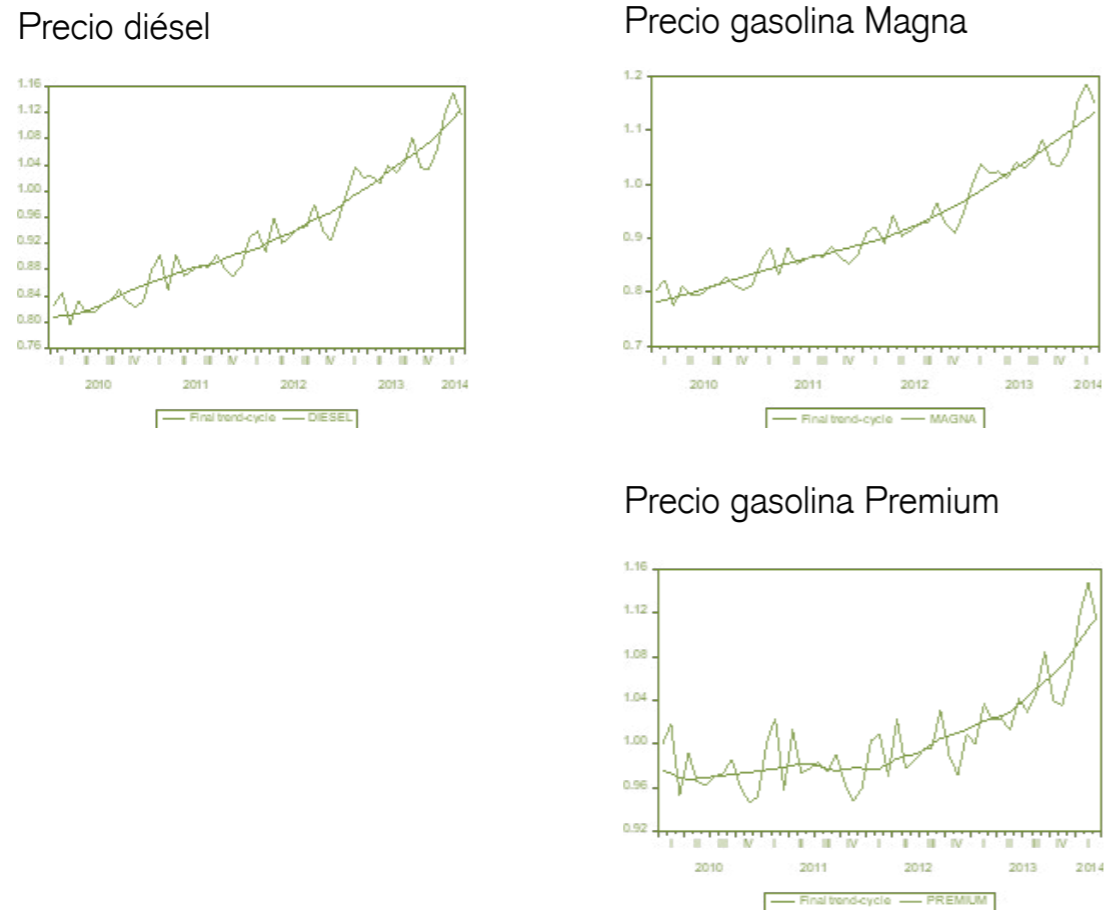
con motores diésel (GDF, 2010). Las principales políticas destinadas a mejorar la movilidad dentro la Ciudad de México, son: incrementar el número y la calidad del transporte público, reducir el número de vehículos en circulación, aumentar la velocidad promedio del parque vehicular, cambiar las modalidades de transporte (PACCM, 2014).

Los principales programas destinados a implementar estas políticas se centran en la restricción al uso de vehículos (programa “Hoy no circula”) cuya finalidad es mandar una señal orientada a la sustitución de vehículos de mayor eficiencia. El programa endureció su nivel de restricciones en junio de 2014 para incrementar los resultados obtenidos desde 1990 (Amaro, 2012).

Adicionalmente a las políticas locales de control del uso de vehículos en Ciudad de México, en el país se observó un incremento en el precio de combustible, gráfico 3, si bien el programa de manejo de precios de combustibles tiene una finalidad de estabilidad de precios a nivel interno. Dicha medida se empalma en la actual coyuntura con la política de menor uso de vehículos particulares.

**Gráfico 3. Evolución de los Precios de combustibles en la Ciudad de México para el autotransporte.**

Expresado en Dólares Americanos constantes



Fuentes: elaboración propia, con base en datos de SENER, Sistema de Información Energética (SIE), Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC), INEGI

En este sentido se propone desarrollar una política impositiva a la emisión de dióxido de carbono de los vehículos de uso particular. Este impuesto tendría como finalidad incrementar la elección de vehículos con menor emisión de CO2 por parte de los consumidores del Valle de México, para ello es necesario identificar cuáles son las características de los vehículos que afectan la emisión de este gas de efecto invernadero.

Para estimar cual es la relación entre las características de vehículos y las emisiones se postula una relación entre la emisión de dióxido de carbono, la antigüedad de los vehículos, la potencia y tamaño de motor. Esta relación se desarrolló con un modelo econométrico expresado en logaritmos, el cual

tuvo un R-cuadro de 0.73. La relaciones expresada en la tabla 8 muestra que a mayor antigüedad del vehículo mayor emisión de CO2, por año de antigüedad se incrementa la emisión de este gas de efecto invernadero; a mayor potencia del motor expresada en caballos de fuerza mayor emisión de CO2; a mayor tamaño de motor mucho mayor emisión de dióxido de carbono. Siendo el tamaño de motor la característica que más influye en la emisión de GEI por parte de los vehículos.

**Tabla 8 Estimación de los determinantes de emisiones de CO2 por vehículos particulares en el Valle de México**

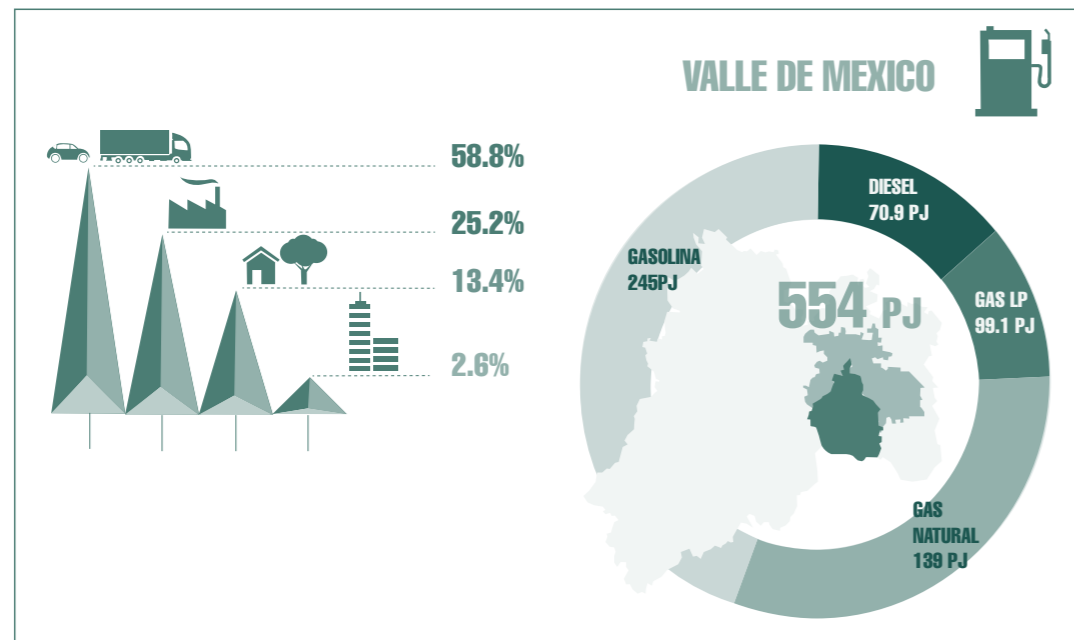
CO2 (g/km)	Estimación mediante GLM
Antigüedad del vehículo en años expresado en logaritmos	0.0577905***
	(0.00902)
Constante	4.96422***
	(0.187)
<b>Observaciones</b>	<b>2337</b>
<b>R-cuadrado</b>	<b>0.753</b>
Error estándar entre paréntesis	
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1	

Una vez identificadas las características más relevantes que se relacionan con la emisión de GEI, se propone que los motores mayores a la mediana del tamaño de los vehículos existentes en el Valle de México paguen por la emisión de CO2 a precios de mercado voluntario<sup>5</sup> por tonelada emitida a la atmósfera, el control de dicha emisión puede realizarse a través de los programas de verificación técnica vehicular existentes en los diferentes Estados del Valle de México.

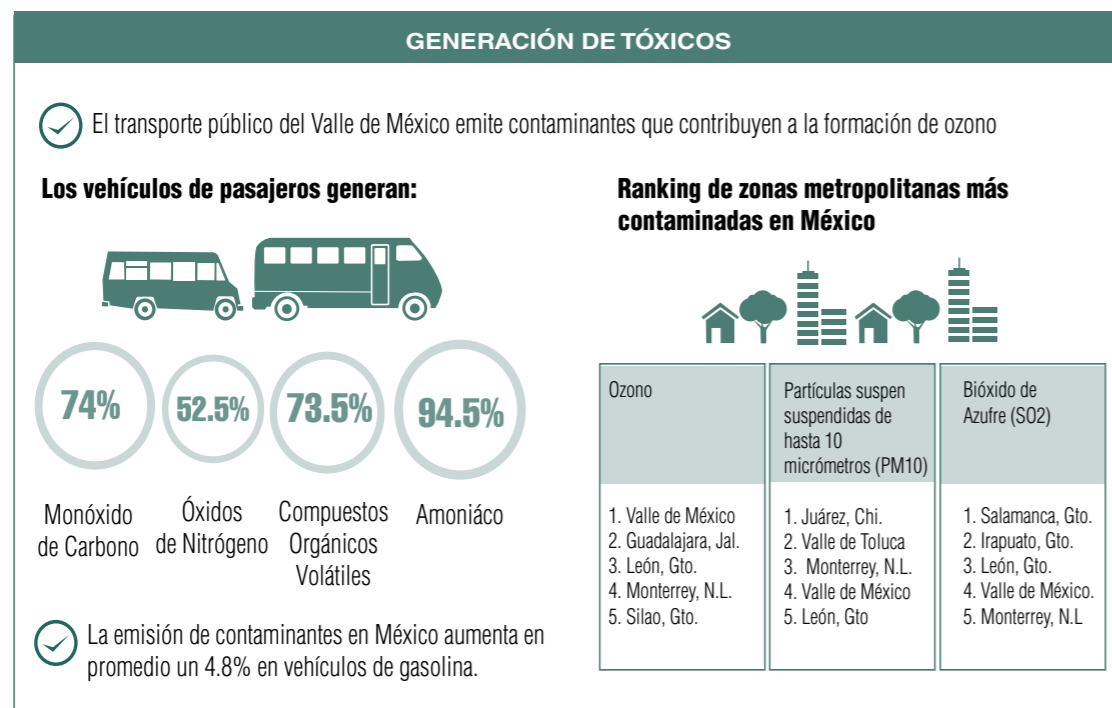
La media del tamaño promedio de motor expresado en litros en el Valle de México es de 2.5 lts., motores mayores a este tamaño podrían pagar la emisión de GEI a la atmósfera o, en su defecto, motores de menor tamaño que emitan más de 258 g/km de CO2 que corresponde a la media de emisiones de los motores de tamaño 2.5 litros (ver tabla en Anexo). El modelo tiene un carácter recaudatorio y disuasorio con la finalidad de impulsar el cambio de

<sup>5</sup> El Estado de los Mercados Voluntarios de Carbono 201 [http://www.forest-trends.org/documents/files/doc\\_4071.pdf](http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_4071.pdf)

vehículos con motores mayores a esta media, si bien la medida es regresiva también puede tener excepciones para vehículos clásicos de más de 15 o 20 años según la actual normatividad de ciudad de México (GDFD, 2012).



Modificado de: <http://www.eoi.es/blogs/merme/page/15/>, última consulta: diciembre 2017.



Modificado de: [http://www.milenio.com/region/Autos-primera-fuente-contaminacion-pais-Mexico-enfermedades-humo-ozono\\_troposferico\\_0\\_338966122.html](http://www.milenio.com/region/Autos-primera-fuente-contaminacion-pais-Mexico-enfermedades-humo-ozono_troposferico_0_338966122.html), última consulta: diciembre 2017.

Desarrollando un modelo de simulación, se espera que los vehículos con motores mayores a 2.5 y menores a 3.0 litros sean los más afectados por dicho impuesto debido al promedio en su costo de mantenimiento.. Generando con ello una recaudación de \$2,889,576USD y una reducción de emisiones de 825,593 toneladas de CO2eq, con un cobro promedio anual por auto de \$165.9 pesos mexicanos (12.76 USD), ver tablas 9 y 10, y un índice costo beneficio de 0.206. En la sección de costo-beneficio de explica la incidencia social de la medida.

Tabla 9 Programa de Impuesto a vehículos por emisiones de CO2.

Propuesta:					
Impuesto a vehículos por emisiones de CO2 y sustitución de parque vehicular					
Concepto		Costo Inversión 20 años USD	Beneficio a 20 años USD	Índice Beneficio-Costo	Toneladas de CO2eq evitadas
Beneficios a 20 años	Tasa de descuento 0.5%	\$1,089,342,261	\$224,946,114	0.206	3,384,890
	Tasa de descuento 5%	\$714,979,339	\$147,641,223	0.206	
	Tasa de descuento 10%	\$488,438,407	\$100,861,158	0.206	
	Tasa de descuento 12%	\$428,535,366	\$88,491,348	0.206	

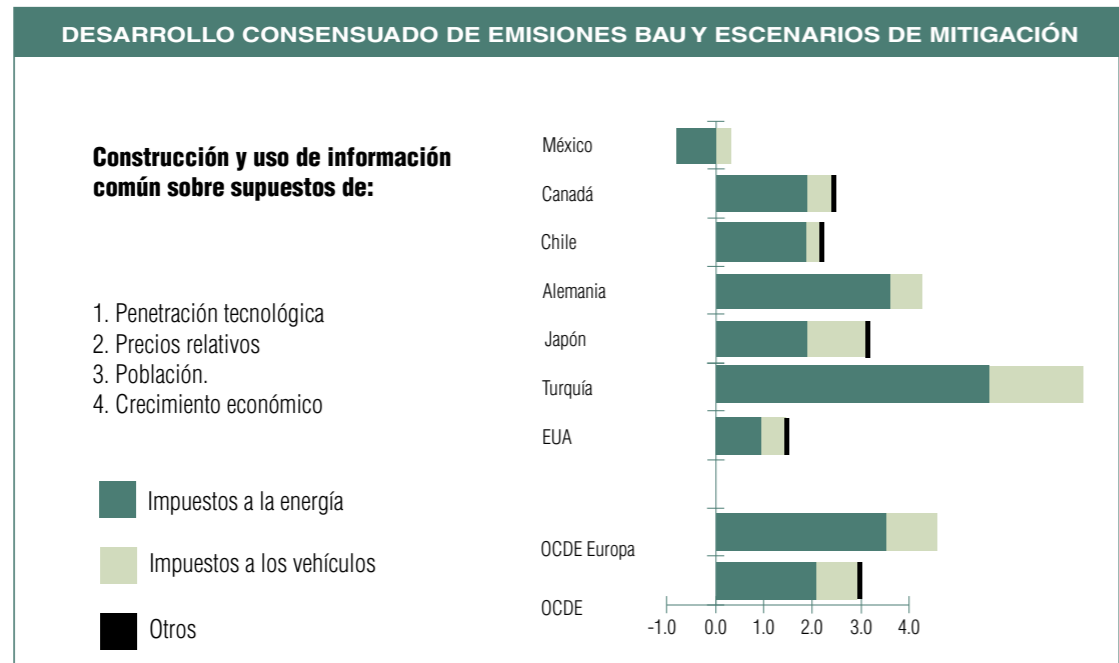
Fuente: elaboración propia

Nota: Para fines comparativos se considera la tasa de descuento vigente en el sector público Mexicano de 10 por ciento

Análisis costo-beneficio del impuesto a emisiones de CO2eq de vehículos.

La estimación costo-beneficio se desarrolla como un indicador para jerarquizar la relevancia y pertinencia de las políticas públicas a ser aplicadas, en el caso del análisis de pertinencia de la implementación de un impuesto para vehículos por emisiones de CO2eq, se procede a analizar la cantidad emisiones de CO2eq incluidas dentro del impuesto y usadas como factor disuasorio para la adquisición de vehículos que emiten menor cantidad de CO2eq en función a su antigüedad, potencia y tamaño del motor. Considerándose este monto como un beneficio del programa al ser un impuesto de tipo recaudatorio. Ver en anexos las tablas de implementación del impuesto por emisiones de CO2eq para motores de 2.5 litros o mayores y, emisiones de 258 grCO2eq/km.





Modificado de:

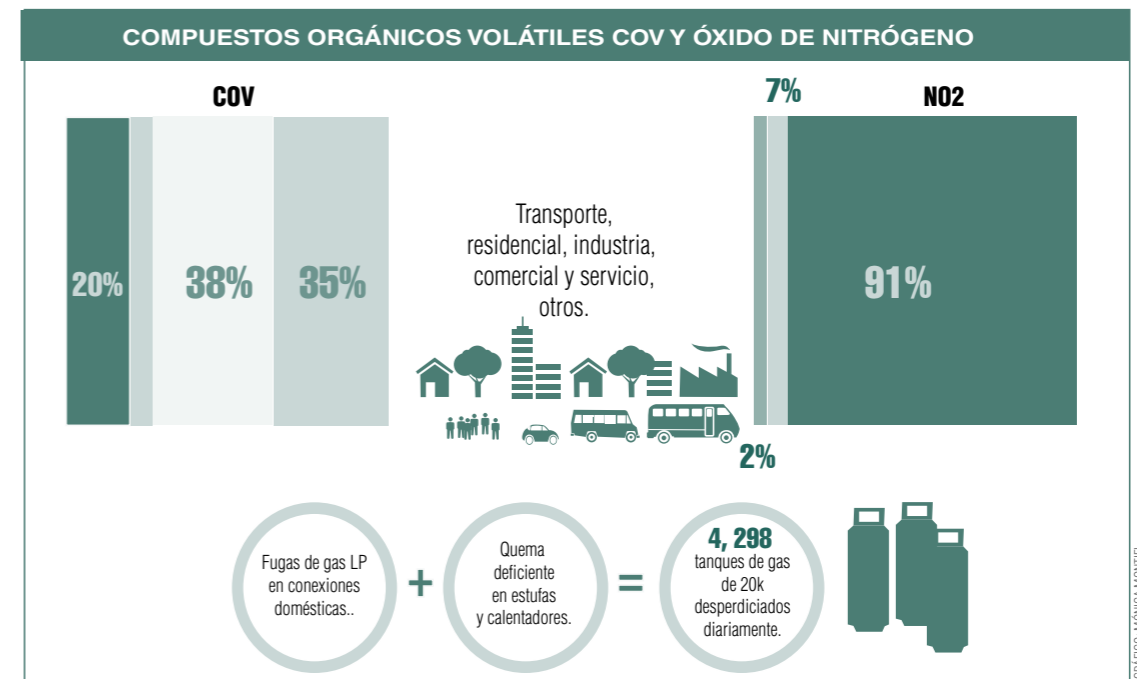
<https://es.slideshare.net/bajoencarbono/iniciativas-financieras-para-catalizar-inversin-de-bajas-emisiones-en-mxico-co2>, última consulta: diciembre 2017.

Los costos privados de implementación del programa se estiman de la sustitución de los vehículos de mayor antigüedad y tamaño de motor medio (2.5 litros) con un precio estimado de \$13,846 USD por vehículo. Lo que da un costo social de \$57,371,792 USD correspondiente a la sustitución de 4,144 vehículos al año, que tendrán un tiempo estimado de vida de diez años, tiempo en el cual los vehículos en la Ciudad de México serán objeto de programas de control y programas específicos como el Hoy no circula. Ver tabla 8. Para una mejor descripción de las estimaciones revisar la sección Anexo.

La inversión necesaria provendrá de los agentes privados al pagar el impuesto de emisiones. Esta es una medida regresiva ya que afectaría a los vehículos de menor tamaño, empleados por familias de ingresos medios y bajos.

## Co-beneficios.

Los co-beneficios asociados a este tipo de medida corresponden a el impacto positivo en la salud pública debido a la mejora en la calidad del aire (Banco Mundial, 2014; IPCC, 2014).



Modificado de:

<http://www.eoi.es/blogs/merme/files/2015/06/GENERACION-DE-EMISIONES.jpg>, última consulta: diciembre 2017.

## Chatarrización de vehículos de carga y pasajeros con motor diésel.

En el Valle de México se estima que existen en funcionamiento más de 85 mil vehículos de carga y transporte de pasajeros con motores diésel y con una antigüedad mayor a los 21 años (GDF, 2010). Los vehículos antiguos de baja eficiencia en el uso de combustibles y altas emisiones de GEI, han sido objeto de programas de chatarrización implementados tanto por la Federación Mexicana, como por el Ciudad de México (Islas, 2011 y Amaro, 2012).

En los últimos ocho años estos programas han logrado sustituir más de 20 mil unidades de transporte a través de fondos de financiamiento, teniendo un éxito parcial debido a la limitación de fondos para la ejecución de los mismos (Amaro, 2012). Cabe remarcar que los fondos de financiamiento solo contemplan un monto para cubrir el enganche o pago inicial al momento de adquirir el vehículo, que es garantía para la adquisición de un vehículo nuevo. Dicho monto será recuperado por el fondo al cumplirse el ciclo de vida del vehículo.

PARQUE VEHICULAR DEL TRANSPORTE DE PASAJE			
TRANSPORTE TURÍSTICO POR TIERRA			
Tipo de vehículo	Total de unidades registradas de 1970 a 2014	Con más de 10 años de antigüedad	Unidades registradas en 2015 por la SCT
<b>Autobús</b>	<b>30, 848</b>	<b>22, 232</b>	<b>612</b>
<b>Minibús</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>0</b>
<b>Total</b>	<b>30, 855</b>	<b>22, 239</b>	<b>612</b>
TRANSPORTE TERRESTRE DE PASAJEROS			
Tipo de vehículo	Total de unidades registradas de 1970 a 2014	Con más de 10 años de antigüedad	Unidades registradas en 2015 por la SCT
<b>Autobús</b>	<b>39, 500</b>	<b>21, 636</b>	<b>1,243</b>
<b>Minibús</b>	<b>240</b>	<b>240</b>	<b>0</b>
<b>Midibús</b>	<b>76</b>	<b>67</b>	<b>0</b>
<b>Total</b>	<b>39, 816</b>	<b>21, 943</b>	<b>1, 243</b>
UNIDADES SUSCEPTIBLES DE CHATARRIZACIÓN SEGÚN SCT			
Tipo de transporte	2015	2016	
<b>Transporte turístico terrestre</b>	<b>22, 239</b>	<b>23,426</b>	
<b>Transporte terrestre</b>	<b>21, 943</b>	<b>23,907</b>	
<b>Total</b>	<b>44, 182</b>	<b>47, 333</b>	

GRÁFICO: MÓNICA MONTEIL

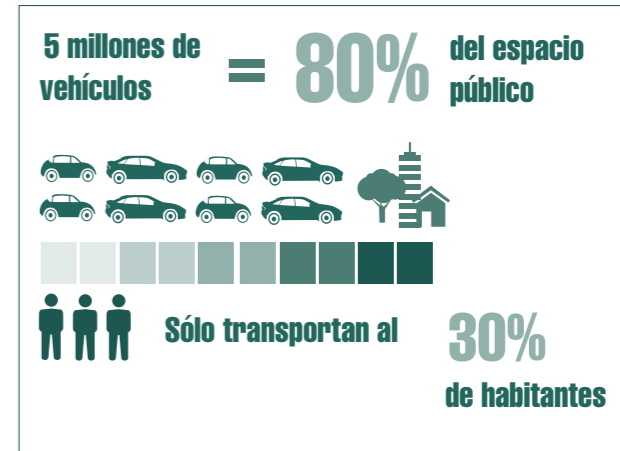
Modificado de:

<http://www.pasajero7.com/intenciones-vs-realidades-chatarrizacion/>, última consulta: diciembre 2017.

MODERNIZACIÓN DEL HOY NO CIRCULA EN CDMX Y EDO MEX. 2014

En 1990 se implementó el programa **HOY NO CIRCULA** para reducir la contaminación de la Zona Metropolitana del Valle de México

Existen más de **5 millones** de vehículos en la ZMVM. Éstos ocupan el **80%** del espacio público y sólo transportan al **30%** de los habitantes



MODERNIZACIÓN DEL PROGRAMA HNC

Con la modernización del programa se fomentan alternativas de movilidad

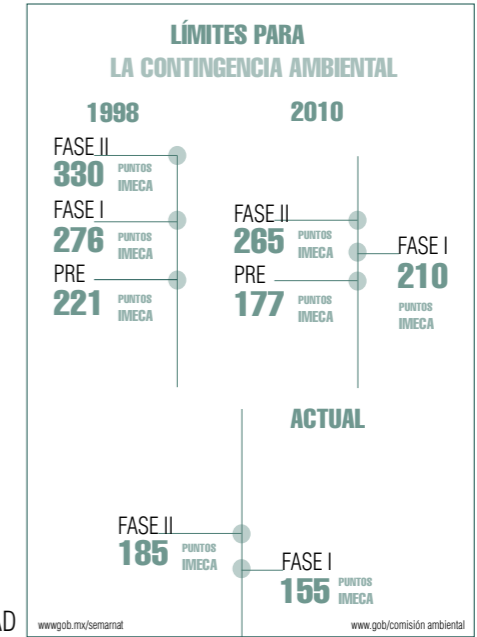
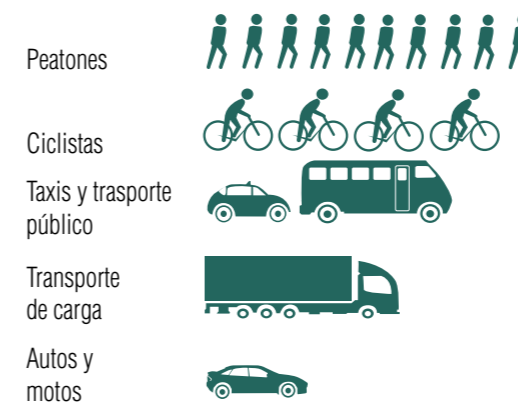


GRÁFICO: MÓNICA MONTEIL

Modificado de:

<http://www.reportajesmetropolitanos.com.mx/HOY%20NO%20CIRCULA.jpg>, última consulta: diciembre 2017

Modificado de:

<http://www.hoynocircula.org/>, última consulta: diciembre 2017

En este sentido, la generación de fondos permanentes para tener activo éste tipo de programas es más que necesario. Por lo que se sugiere utilizar el monto recaudado por el impuesto aplicado a vehículos privados sobre la emisión de CO<sub>2</sub>eq para ser utilizada en apoyar la sustitución de vehículos de transporte público a diésel por vehículos de transporte público a gas natural (ver tabla 10).

En la legislación mexicana es posible etiquetar los impuestos para una finalidad específica, por lo que es factible la negociación entre los gobiernos federal y estatal. La función disuasoria de la propuesta del impuesto podría recaudar un monto anual de \$2,889,576 USD, monto que se sugiere sea destinado a la chatarrización de vehículos de motores diésel para carga y pasajeros de transporte público.

En cuyo caso se lograría sustituir a 771 vehículos de pasajeros con motor diésel a través de un monto de enganche de \$3,750 USD de acuerdo a las características vistas en el modelo, (ver tabla Anexo).

**Tabla 12 Programa de sustitución para vehículos de carga y pasajeros.**

Propuesta:					
Programa de chatarrización para vehículos de carga y pasajeros motores diésel.					
Concepto	Costo Inversión 20 años USD	Beneficio a 20 años USD	Índice Beneficio-Costo	Toneladas de CO <sub>2</sub> eq evitadas	
Beneficios a 20 años	Tasa de descuento 0.5%	\$488,300,991	\$10,260,242	0.021	154,392
	Tasa de descuento 5%	\$320,491,669	\$6,734,211	0.021	
	Tasa de descuento 10%	\$218,944,005	\$4,600,479	0.021	
	Tasa de descuento 12%	\$192,092,285	\$4,036,267	0.021	
Nota: para la estimación de las emisiones evitadas, la información corresponde al ahorro de emisiones por 2,249,015 toneladas de CO <sub>2</sub> eq, SEMARNAT, 2011.					

**MODIFICACIÓN AL PROGRAMA HOY NO CIRCULA ZMVM**

**DEL 05 DE ABRIL AL 30 DE JUNIO DE 2016**

**TODOS LOS HOLOGRAMAS (1,2,0 Y 00)**



**HOY NO CIRCULA**



**VEHÍCULOS EXENTOS**

HOY NO CIRCULA  
PLACAS CON TERMINACIÓN  
**5 Y 6**

COLOR ENGOMADO AMARILLO  
LUNES Y PRIMER SÁBADO DE MES

HOY NO CIRCULA  
PLACAS CON TERMINACIÓN  
**7 Y 8**

COLOR ENGOMADO ROSA  
MARTES Y SEGUNDO SÁBADO DE MES

HOY NO CIRCULA  
PLACAS CON TERMINACIÓN  
**3 Y 4**

COLOR ENGOMADO ROJO  
MIÉRCOLES Y TERCER SÁBADO DE MES

HOY NO CIRCULA  
PLACAS CON TERMINACIÓN  
**1 Y 2**

COLOR ENGOMADO VERDE  
JUEVES Y CUARTO SÁBADO DE MES

HOY NO CIRCULA  
PLACAS CON TERMINACIÓN  
**9 Y 0 Y PERMISO**

COLOR ENGOMADO AZUL  
VIERNES Y QUINTO SÁBADO DE MES

SERVICIOS DE EMERGENCIA

AUTOS HÍBRIDOS, ELÉCTRICOS, GAS NATURAL Y GAS L.P.

TRANSPORTE ESCOLAR Y DE PERSONAL

SERVICIOS FUNERARIOS EN CORTEJO

PLACAS PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD

TRANSPORTES CON RESIDUOS PELIGROSOS

TRANSPORTES DE SERVICIOS URBANOS

PROTECCIÓN CIVIL

SEGURIDAD PÚBLICA

GRÁFICO: MÓNICA MONTEIL

Modificado de [www.gob.mx/comisionambiental](http://www.gob.mx/comisionambiental), última consulta: diciembre 2017.

### Análisis costo-beneficio chatarrización de vehículos motor diésel.

Dicho programa evitará la emisión de 154,392 toneladas de CO<sub>2</sub>eq en un periodo de 20 años, que generarían un beneficio económico para el mismo lapso con una tasa de descuento del 10 por ciento de \$4,600,479 USD (ver tabla 12). Se considera como costo del programa el monto recaudado por el impuesto a emisiones de CO<sub>2</sub>eq a vehículos (costo social), más el costo privado, el costo total del programa para el mismo periodo es de \$218.944,005 USD.

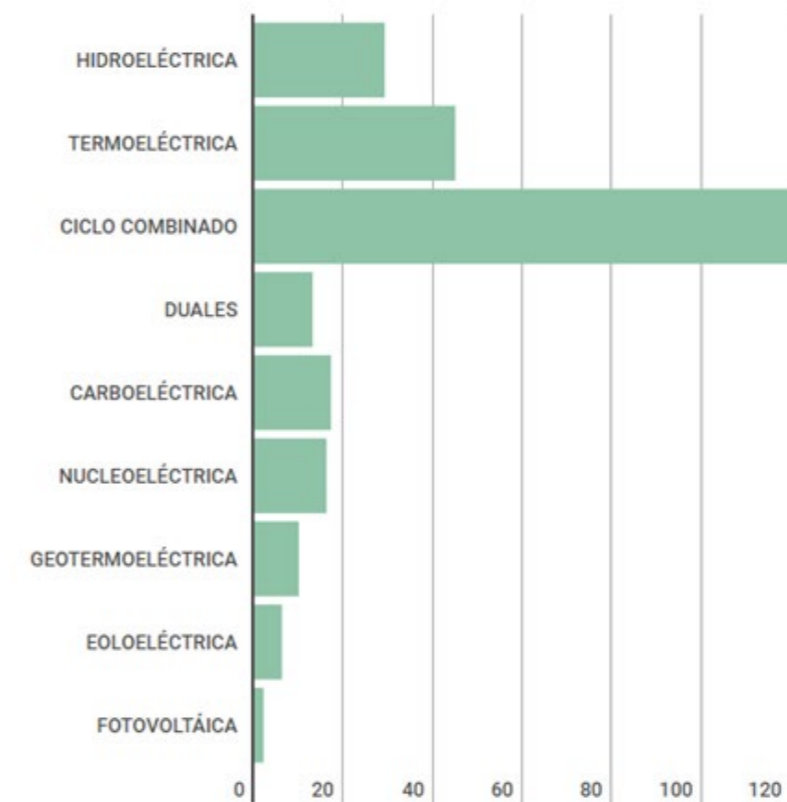
37

El costo-beneficio estimado para este programa es de 0.021 .Y el costo por tonelada de CO<sub>2</sub>eqs de \$0.013 USD ver tabla 7. Estos indicadores se analizan en forma comparada en la última sección del estudio. Para una mejor descripción de las estimaciones revisar la sección Anexo.

Los co-beneficios asociados a este tipo de medida corresponden a los relacionados con la reducción del uso de combustibles fósiles (CEPAL, 2013) como lo son la disminución de enfermedades y muertes prematuras por enfermedades asociadas a las emisiones por combustibles fósiles en transporte y el incremento en la eficiencia de combustible en los motores de combustión interna (Banco Mundial, 2014; IPCC, 2014).

### Energía eléctrica

La actual Reforma Energética aprobada en la República Mexicana faculta la participación en generación de energía eléctrica a entidades de gobierno, inversores privados y asociaciones de carácter mixto. En este sentido se propone que la Ciudad de México genere o compre en bloque, a cualquier proveedor de energía eléctrica, la energía requerida para el sistema de alumbrado público y semáforos de la ciudad con la condición de mejorar el factor de emisión de CO<sub>2</sub>eq por kWh producido (SENER, 2014).



Modificado de:

<https://www.lifeder.com/porcentaje-energia-mexico-carbon/>, última consulta: diciembre 2017.

El actual factor de emisión correspondiente a la Ciudad de México es de 0.669 toneladas de CO<sub>2</sub>eq por 1,000 kWh, siendo éste uno de los más elevados de la República Mexicana, al combinar energías provenientes de plantas carboeléctricas, termoeléctricas, hidroeléctricas y ciclos combinados entre otros (SIE, 2011).

Por lo que se propone estimar la sustitución de la potencia requerida para el alumbrado público de la Ciudad de México -270,000 kWh/año- por un sistema de generación con un factor de emisión menor al actual. Debido a lo anterior se sugiere un factor de emisión de 0.446 por 1,000 kWh a través de un sistema de generación eléctrico de ciclo combinado de gas natural (Agencia Internacional de Energía, 2014).

Dicha sustitución disminuiría las emisiones de CO<sub>2</sub>eq en 102,205 toneladas por año. Este cálculo nos muestra que las emisiones de CO<sub>2</sub>eq se reducirían en un 44 por ciento, comparado con los procesos más contaminantes de plantas carboeléctricas y termoeléctricas en México. Esta estimación técnica debe ser refinada al contemplar el proceso de sustitución de una fuente de

energía más limpia y barata, es decir no sólo calcular la sustitución lineal de fuentes de generación sin considerar el efecto en el cambio de los precios en la energía utilizada y la demanda a futuro de energía (ver tabla 14)

En este caso, además de la disminución de emisiones, se debe ponderar la caída del precio de \$2.5 USD por kWh a \$2.00 USD por kWh. Para ello se desarrolla a continuación un modelo de cointegración de los precios relativos de la energía, el índice trimestral de actividad económica y su relación con el consumo de energía eléctrica en el Valle de México.

### Modelo de consumo de electricidad.

Es bien sabido que la cantidad de energía que demanda una nación o una ciudad determinada está íntimamente ligada con el nivel de actividad de las mismas y con el precio de dicha energía. Por ello, el modelo elaborado para entender la dinámica de comportamiento de la dinámica de electricidad en la Ciudad de México se llevó a cabo tomando en consideración las siguientes variables:

**Tabla 13 Beneficios socioeconómicos y climáticos del sector energético.**

Beneficios socio económicos y climáticos de implementación de políticas para el uso eficiente de la energía							
Beneficio	Total	Brasil México	y China	Unión Europea	India	Estados Unidos	Beneficios (2010 \$bn)
Muertes evitadas	52,000	20%	21%	1%	57%	1%	\$ 240
Ahorro energético	5,700TWh	6%	59%	10%	14%	10%	\$ 287
Incremento en la producción de cultivos	1,002,500 toneladas métricas	1%	32%	38%	6%	22%	\$0.22*
Emisiones reducidas	2.4Gt CO2eq	6%	80%	80%	16%	9%	\$ 237

\*Se traduce en alimento par 3.8 millones de personas.

Fuente: Elaboración propia con base en *Climate-Smart Development Adding up the benefits of actions that help build prosperity, end poverty and combat climate change, World Bank, 2014.*

Ecuación de cointegración:	CointEq1
LOG(Indicador Trimestral de la Actividad Económica Estatal (-1))	-0.749189
	(0.29112)
	[-2.57343]
LOG(Precio de Electricidad(-1))	0.207304
	(0.12943)
	[ 1.60169]
Constante	-12.61076
Muestra (ajustada): 2004Q2 2013Q4	
Nota:En los anexos se presentan las pruebas del modelo. Respectivas	

### Ventas Internas de Electricidad (vtasel)

La serie empleada para esta variable corresponde a las ventas internas de electricidad para la Ciudad de México. Se empleó la serie de tiempo de 2003 a 2013 con periodicidad trimestral. (Sistema de Información Energética (SIE), Secretaría de Energía, 2014).

### Indicador Trimestral de la Actividad Económica Estatal (ITAE)

Es un indicador de la situación económica de las entidades federativas del país, en el corto plazo, con periodicidad trimestral. Se utilizó la serie temporal de 2003 a 2013 para la Ciudad de México. (INEGI, 2014)

### Precio de la Electricidad (ip\_elec)

Medido en centavos por kWh a precios corrientes. La serie empleada para el modelo, es de periodicidad trimestral, con un horizonte de tiempo de 2003 a 2013. (INEGI, 2014)

Tomando en consideración estas tres variables se elaboraron los siguientes dos modelos:

$$\ln(vtasel) = \beta_0 + \beta_1 \ln(itae)$$

$$\ln(vtasel) = \beta_0 + \beta_1 \ln(itae) + \beta_2 \ln(ip\_elec)$$

En la construcción de los modelos se emplearon los logaritmos naturales de las variables, para poder obtener las elasticidades de las ventas de electricidad al nivel de actividad de la Ciudad de México y al nivel de precios promedio. Esto se llevó a cabo con la intención de ver la sensibilidad que muestran las ventas de electricidad a las variaciones en el nivel de actividad (como proxy del ingreso) y del nivel de precios energéticos subyacente.

Una vez definido el modelo, se revisó el comportamiento de las series y se verificó si cada una de las variables elegidas era homogénea en el tiempo (estacionario). Si el proceso no resulta estacionario, se deberá verificar, entonces cuál es el orden de integración que asegure dicha condición (para que la varianza sea constante en el tiempo).

**Tabla 14 Ventas internas de electricidad en la Zona Metropolitana del Valle de México.**

Ecuación de cointegración:	CointEq1
LOG (Ventas electricidad(-1))	1.000000
LOG(Indicador Trimestral de la Actividad Económica Estatal (-1))	-0.749189
LOG(Precio de Electricidad(-1))	(0.29112)
	[-2.57343]
	0.207304
	(0.12943)
	[ 1.60169]
Constante	-12.61076
Muestra (ajustada): 2004Q2 2013Q4	
Nota: En los anexos se presentan las pruebas del modelo. Respectivas	

Además del modelo de vector de cointegración (VEC), se realizó un modelo de vectores autorregresivos (VAR), Ambos modelos mostraron consistencia en las estimaciones, pero se prefirió reportar el modelo VEC porque pudo mostrar las elasticidades y comportamientos de corto y largo plazo del modelo de comportamiento del sector eléctrico en el Valle de México. Cabe remarcar que las estimaciones se restringen a los años 2003-2013. Y las proyecciones son estables a mediano plazo, es decir a no más de una década. Las estimaciones del modelo VAR se presentan en la sección Anexo.

**Tabla 15 Programa de compra de energía en bloque a plantas hidroeléctricas. Incluyendo el cambio del precio relativo en el consumo de energía**

Propuesta: Compra en bloque de energía a plantas de generación de ciclo combinado						
Concepto	Termoeléctrica combustible ligero			Planta de gas ciclo combinado		
	USD	Índice Beneficio-Costo	Toneladas de CO <sub>2</sub> eq evitadas	USD	Índice Beneficio-Costo	Toneladas de CO <sub>2</sub> eq evitadas
Costo Inversión 20 años	\$249,750,000	N.A.		\$157,680,000	N.A.	
Beneficios a 20 años	Tasa de descuento 0.5%	\$2,466,819	0.014	\$6,792,114	0.027	
	Tasa de descuento 5%	\$1,619,073	0.009	\$4,457,939	0.018	2,044,094
	Tasa de descuento 10%	\$1,106,070	0.006	\$3,045,442	0.012	
	Tasa de descuento 12%	\$970,420	0.005	\$2,671,943	0.011	

Fuente: Agencia Internacional de energía, 2014.

Fuente: Centro para Políticas de Aire Limpio (Center for Clean Air Policy), 2000.

Nota: Se supone la operación de las plantas de generación las 24 horas del día, de los 365 días del año.

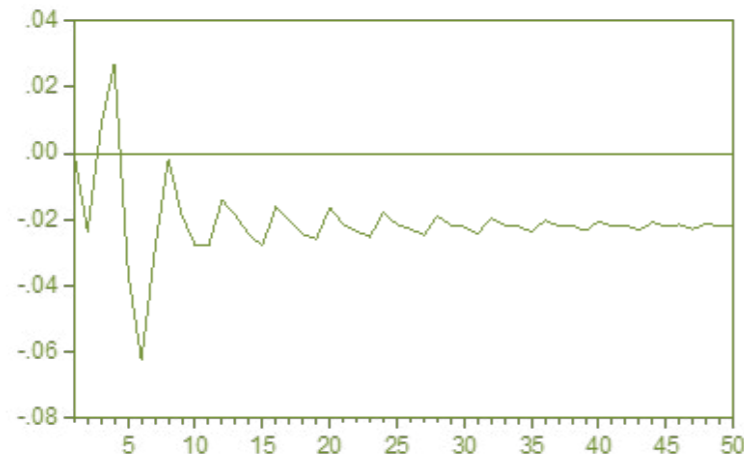
Se considera una potencia de sustitución de 270,000 MWh/año, que corresponde al consumo del sistema de alumbrado público de la Ciudad de México

Se considera que a partir del modelo de impulso-respuesta desarrollado, existe un cambio en los precios de producción, significando un incremento del consumo de energía en la tendencia de largo plazo. En este caso, un cambio de matriz energética de combustóleo a gas natural incrementa la demanda en 8 por ciento al presentarse un cambio relativo en el precio del 20 por ciento.

Como se mencionó anteriormente, un cambio tecnológico que influya en los precios relativos del sistema debe ser incluido con el desarrollo de un modelo de cointegración que muestra la causalidad y la relación intrínseca entre precios y cantidades consumidas. En este caso, un cambio relativo del 20 por ciento en los costos de generación de energía eléctrica, tienen un efecto positivo del 2 por ciento en el consumo de energía para la Ciudad de México. Cabe destacar que los signos en los modelos de cointegración se encuentran invertidos (ver gráfico 4).

**Gráfico 4**

Respuesta del ln(vtasel) a un cambio relativo del 20 por ciento en el costo de generación de energía eléctrica en el precio de la energía eléctrica



### Análisis costo-beneficio.

Analizando los efectos del modelo de cointegración en el modelo de sustitución de tecnología propuesto, se puede concluir que la sustitución de un sistema de generación eléctrico que emplea factores de emisión de CO<sub>2</sub>, menores a los actuales y que disminuye el precio de generación provoca menores emisiones de GEI, pero incrementa el consumo de energía en aproximadamente un dos por ciento. A pesar del efecto compensación, tiene un beneficio neto en la cantidad de emisiones de GEI.

La cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>eq reducidas en un plazo de 20 años sería de 2,044.094 toneladas con un costo por sustitución de \$157,680,000 USD. Por lo que el costo por una tonelada de CO<sub>2</sub>eq reducida por este programa es de \$0.016 USD y, con un índice de costo-beneficio a 20 años con una tasa de descuento del 10 por ciento: 0.0125, que serán analizados en la última sección del estudio. Para una mejor descripción de las estimaciones revisar la sección Anexo.

Los co-beneficios asociados a este tipo de medida, son: ahorro energético, disminución de muertes prematuras por emisiones de contaminantes por generación de electricidad, impacto positivo en el Producto Interno Bruto (PIB), daño evitado en cultivos agrícolas y la creación de empleos. (Banco Mundial, 2014; IPCC, 2014).

Iluminación de lámparas comunes				
Tipo de lámpara	Eficiencia	Duración	Requerimiento De balastro	Observaciones
Incandescente	Muy baja	Muy corta	No	
Vapor de mercurio	Baja	Larga	Sí	
Vapor de sodio de alta presión	Alta	Muy larga	Sí	Muy bajo rendimiento de color (Luz amarilla)
Vapor sodio de baja presión	Muy alta	Muy larga	Sí	Rendimiento de color limitado
Aditivos Metálicos	Alta	Larga	Sí	Buen rendimiento de color (Luz blanca)
Fluorescente	Alta	Larga	No	Mal control de calidad óptica
Luz mixta	Muy baja	Corta	No	
Halógeno	Muy baja	Muy	No	

Fuente: Mitigación del cambio climático a través de un alumbrado público eficiente en México: superando los retos políticos en aras de la eficiencia económica y el equilibrio ambiental. Actas universitarias, Multidisciplinary Scientific Journal/ doi: 10.5174/au.2015.681

## Vivienda: Sustitución de muebles sanitario tradicionales por sistemas ahorradores

El valor del agua significa más que el recorrido de la misma desde su fuente de origen a su punto de destino en nuestros sanitarios. Su valor también incluye la energía necesaria para mover el agua dentro de la ciudad y sacarla de ella, los costos de potabilización y tratamiento antes y después de su uso, todas estas actividades generan una cantidad de emisiones Gases de Efecto Invernadero (GEI) que también tienen que ser evaluados, además del costo de oportunidad que representa usar agua potable de primer uso para esta función trivial y vital la limpieza de nuestros desechos a través de los muebles sanitarios.

El costo de oportunidad del agua en presencia de un escenario de escasez como el que vive la Ciudad de México, se puede medir en los costos incurridos

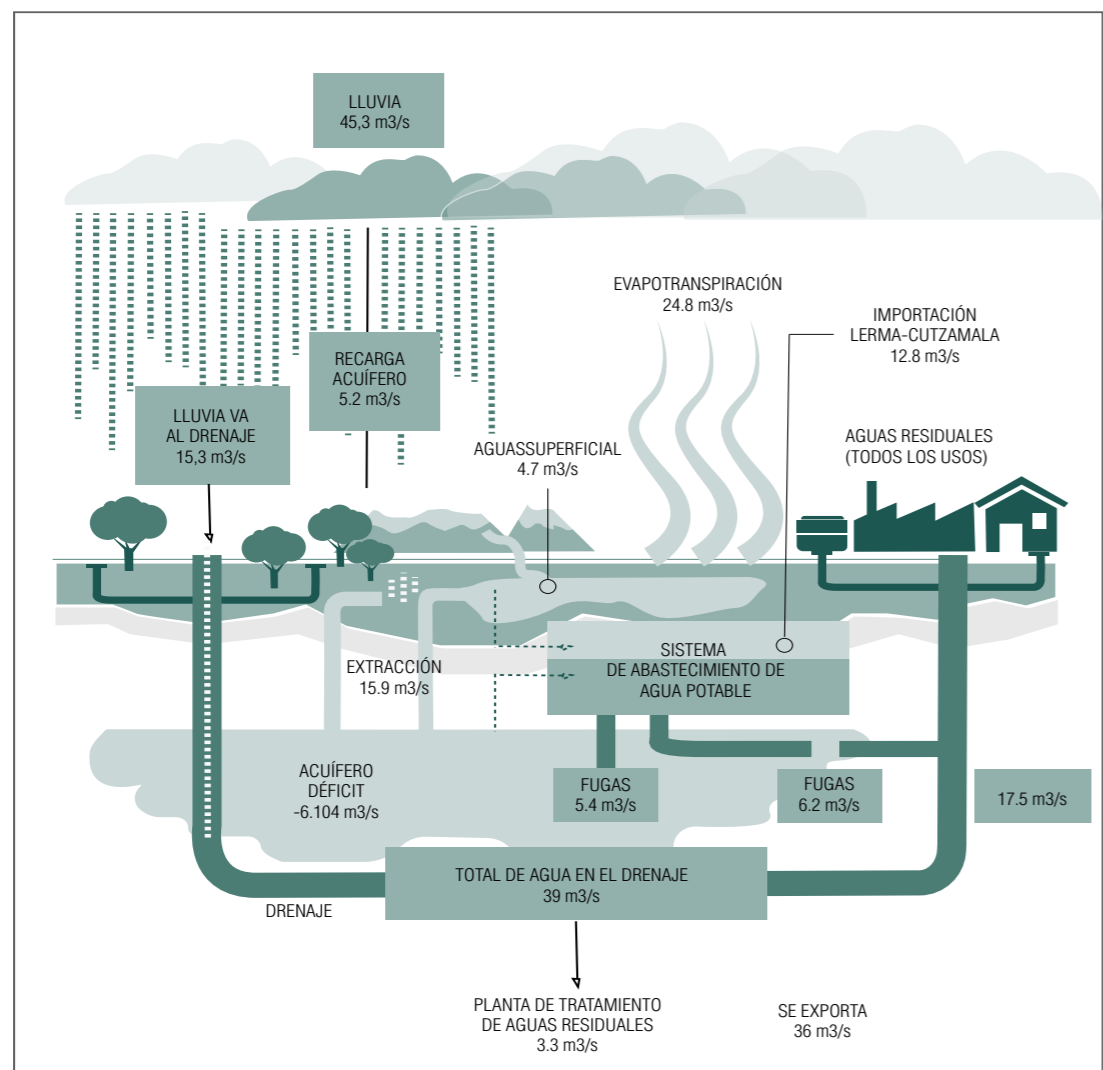


GRÁFICO: MÓNICA MONTEIL

Modificado de: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/03/Agua-en-Mexico-Quienes-desperdician-mas.jpg>, última consulta: diciembre 2017.

en las colonias que sufren su desabasto. En este sentido el presente trabajo abordará el valor del agua usada en los muebles sanitarios de Ciudad de México desde diferentes puntos de vista, que incluyen el movimiento del agua desde su punto de origen en pozos y cuencas fuera del Valle de México hasta su disposición final fuera de la ciudad. Se estimará el valor de las emisiones de GEI provenientes del agua y se tratará de realizar una aproximación al agua de primer uso en la Ciudad de México.

Imagen 1 Región hidrológica del Río Panuco, Distrito Federal.



Fuente: CONAGUA, 2006.

## Situación actual del consumo de agua potable en la Ciudad de México

La Ciudad de México pertenece a la región hidrológico-administrativa Aguas del Valle de México, la cual cuenta con un volumen concesionado de 4,720 millones de metros cúbicos de agua (CONAGUA, 2012). El volumen de agua renovable para la región hidrológico-administrativa Aguas del Valle de México, es de 3,468 millones de metros cúbicos de agua, lo que ha provocado un grado de presión “muy alto” dentro la cuenca del Valle de México del más



del 136 por ciento. Este escenario hace necesaria la importación de agua de otras cuencas hidrográficas conocidas como el sistema Cutzamala.

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el grado de presión hídrico, es el porcentaje que representa el agua empleada en usos consuntivos respecto a su disponibilidad en un país, cuenca o región. Se considera que si el porcentaje es mayor al 40 por ciento se ejerce una fuerte presión sobre el recurso (CONAGUA, 2012).

**Tabla 1 Grado de presión: Aguas del Valle de México**

Distrito Federal: Volúmenes concesionados para usos consuntivos 2012.				
Volumen total	Agrícola	Abastecimiento público	Industria autoabastecida sin termoeléctricas	Termoeléctricas
1,122.70	1.20	1,089.6	31.9	N/A

Fuente: CONAGUA, Sistema Nacional de Información del Agua (SINA).

**Tabla 2 Distrito Federal: volúmenes concesionados de agua para usos consuntivos**

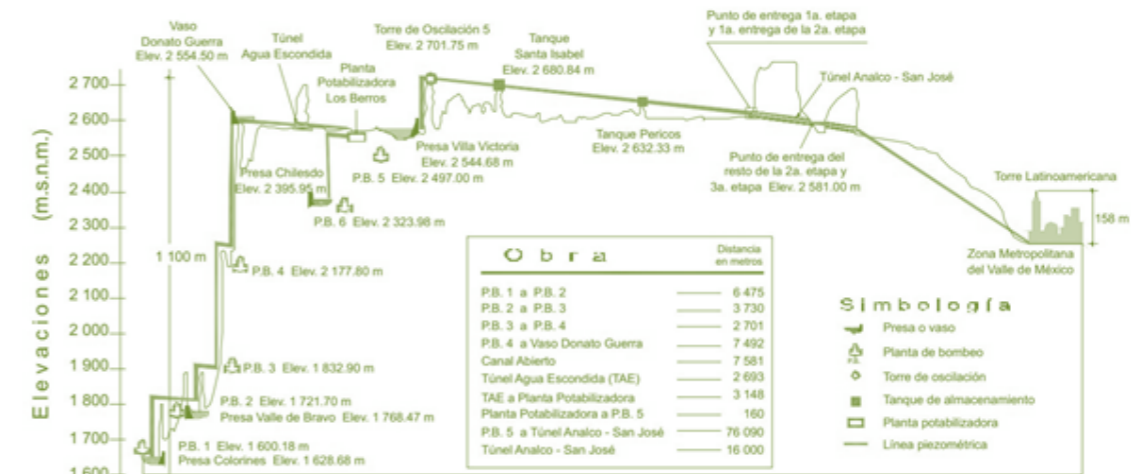
Aguas del Valle de México: Grado de presión 2012.			
Volumen total de agua concesionado (millones de m³)	Agua renovable media (millones de m³)	Grado de presión (%)	Clasificación del grado de presión
4,720	3,468	136.1	Muy Alto

Fuente: CONAGUA, Sistema Nacional de Información del Agua (SINA).

El volumen de agua concesionado para la Ciudad de México fue de 1,122.7 millones de metros cúbicos de agua distribuidos de la siguiente manera: 1,089 millones de metros cúbicos son para abastecimiento público – 97%, 31.9 millones para uso industrial – 2.85 % y; para uso agrícola solo 1.2 millones de metros cúbicos de agua- 0.15%(SINA, 2013).

El consumo per cápita de agua en la Ciudad de México es de 160 litros diarios. Aunque este consumo no es tan elevado como en el resto de país,

**Imagen 2 Circuito del Sistema Cutzamala**



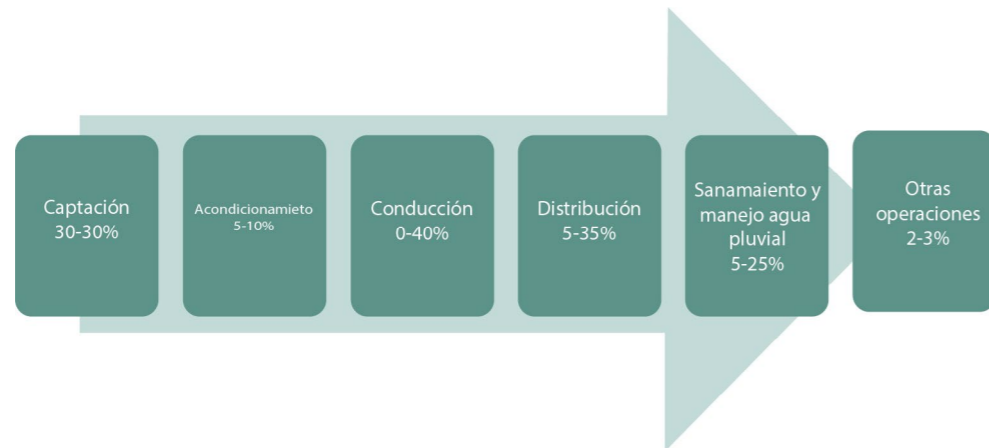
Fuente: CONAGUA, 2006.

dadas las condiciones climáticas del Valle de México, ya que el consumo per cápita promedio nacional es de 360 litros diarios. La necesidad de promover políticas que fomenten un consumo más eficiente de este líquido es grande ya que los análisis y estudios que existen solamente se han enfocado en la eficiencia de los motores empleados para el bombeo de agua para la Ciudad de México (CONAGUA, 2010).

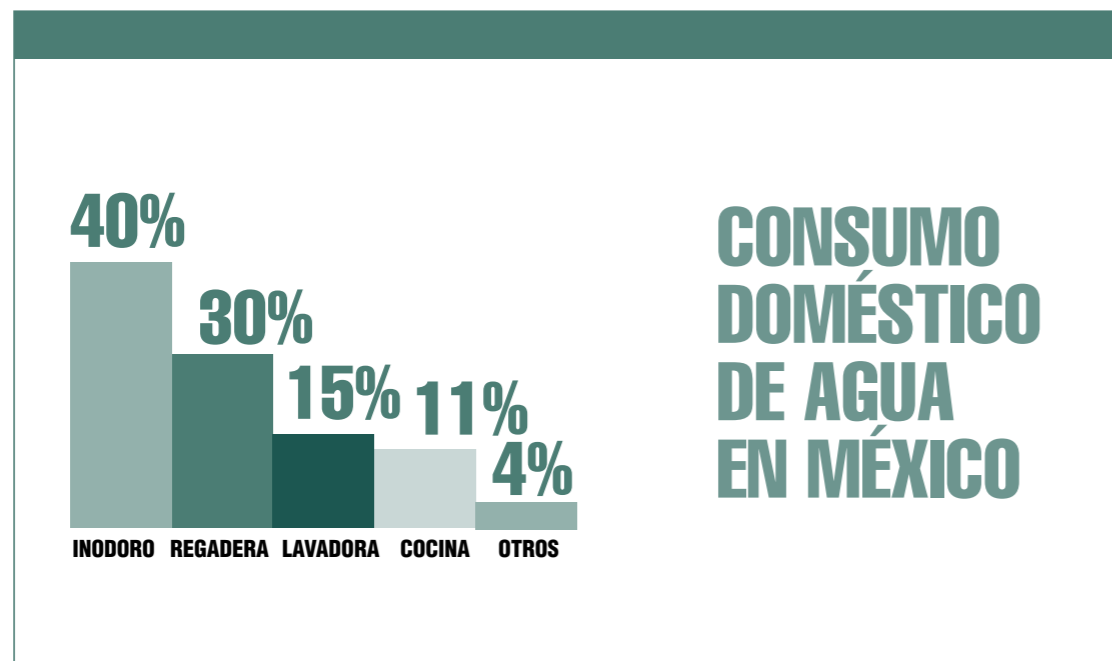
El consumo energético por el bombeo de agua del Sistema Cutzamala consumió en 2008 1,290 GWH de energía eléctrica (CONAGUA, 2008), como se puede observar en el gráfico 1, las etapas de mayor requerimiento energético son la captación (entre un 30 y 60 por ciento del total de la energía requerida por el sistema) y la distribución (5 – 35 por ciento). El Sistema Cutzamala distribuye 15 m³ de agua por segundo, lo que significa 1.3 millones de m³ diarios (CONAGUA, 2010), el sistema provee el agua

potable a once delegaciones dLa Ciudad de México y a once municipios del Estado de México, tiene un recorrido vertical de 1,100 metros y uno horizontal de aproximadamente 140 kilómetros. La energía empleada para poder mover un metro cúbico de agua del sistema supera la cifra de 2,700 kWh al año, en comparación el consumo de energía de un hogar con datos de 2007 por parte de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) fue de 1,660 kWh al año.

**Gráfico 1. Usos de energía por etapas de un sistema de agua potable y residual**



Fuente: CONUEE (2011) Estudio integral de sistemas de bombeo de agua potable municipal.



Fuente: Elaboración propia con información de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana, Baja California.

El consumo de energía en cada una de las diferentes etapas del sistema de agua potable y residual, dependerá de factores como: la calidad del agua, la densidad de población de los destinos a los que se distribuye el agua, factores geográficos (elevación del terreno, localización geográfica), tecnología empleada y pérdidas (fugas). Debido a estos factores, la energía empleada y su eficiencia energética varían dependiendo de las ciudades y/o centros urbanos de destino (Griffths & Wilson, 2009).

**Tabla 16 Beneficios socioeconómicos y climáticos del sector energético en las viviendas**

Beneficios socioeconómicos y climáticos de implementación de políticas para el uso eficiente de la energía en las viviendas							
Beneficio	Total	Brasil y México	China	Unión Europea	India	Estados Unidos	Beneficios (2010 \$bn)
Muertes evitadas	22,000	1%	6%	0%	93%	0%	\$ 87
Ahorro energético	5,400TWh	3%	30%	29%	30%	35%	\$ 272
Emisiones reducidas	1.8Gt CO <sub>2</sub> eq	3%	30%	22%	50%	39%	\$ 99

Elaboración propia con base en Climate-Smart Development Adding up the benefits of actions that help build prosperity, end poverty and combat climate change, World Bank, 2014.

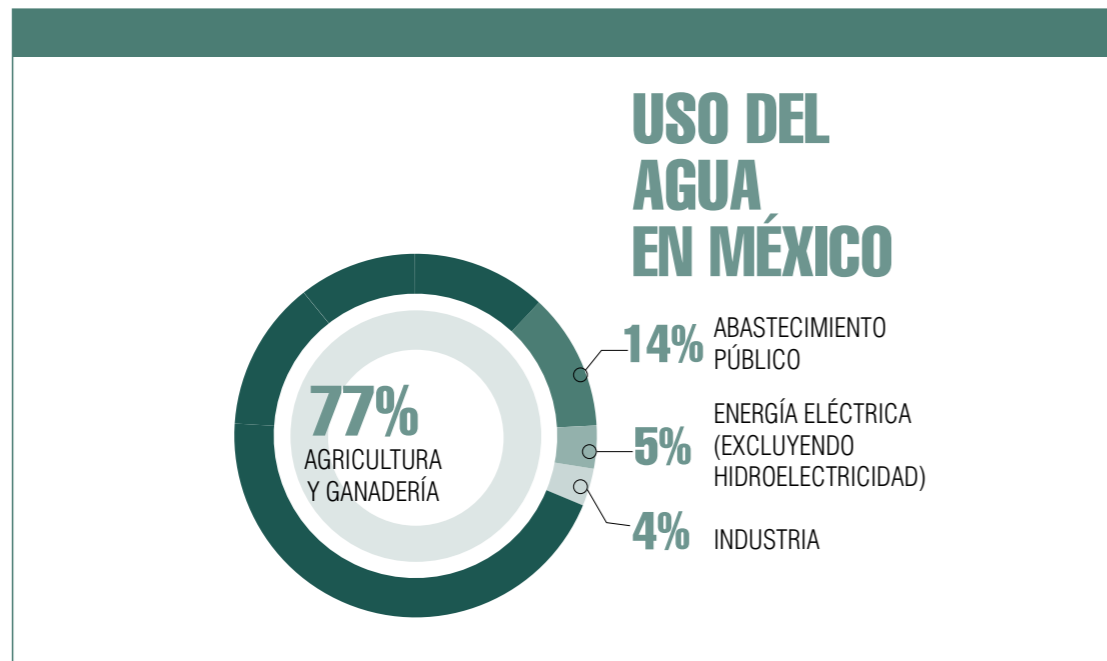
### Valorando el agua de los muebles sanitarios.

Estimar el costo de manejo del agua requiere un punto de partida, por lo que en el estudio abordaremos la posibilidad de la implementación de una política de ahorro del agua en los muebles sanitarios como caso de análisis y ejemplificación. Se propone desarrollar una política consistente en la sustitución de muebles sanitarios (WC) de 10 litros por descarga, por WC de 4 litros por descarga, con el objetivo de reducir el consumo de agua en las viviendas de más de 20 años de antigüedad y, por lo tanto, disminuir los requerimientos de energía y emisiones de GEI de los sistemas de agua potable que abastecen a la Ciudad de México.

Esta política sólo representa la implementación de la actual normatividad sobre la fabricación de muebles sanitarios vigente en el país y trata de

ejemplificar el potencial de la aplicación de dicha norma, Norma Oficial Mexicana NOM-009-CNA-2001, Inodoros para uso sanitario (CONAGUA, 2010)

Para el análisis de la propuesta se estimó el consumo de agua actual por el uso de WC de litros para la Ciudad de México. Considerando los sistemas de agua potable de Pozos del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM) y el Sistema Cutzamala. La proporción de volumen de abastecimiento de agua para los sistemas de agua son: Pozos SACM 77 por ciento; Sistema Cutzamala 18 por ciento (SMADF, 2010).



Modificado de: <http://www.campomexicano.gob.mx/boletinsiap/imagenes/013-13-grafica-uso-agua.png>, última consulta: diciembre 2017.

Con información del Censo de Población y Vivienda 2010 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), para La Ciudad de México el universo de viviendas habitadas es de 2,362,481. Se tomó como proporción el 50 por ciento de las viviendas habitadas para la sustitución del WC, lo que se traduce en 1,181,241 viviendas habitadas en las que se aplicaría la propuesta de política. Se considera, que el número de descargas diarias per cápita es de seis (INIFED, 2015).

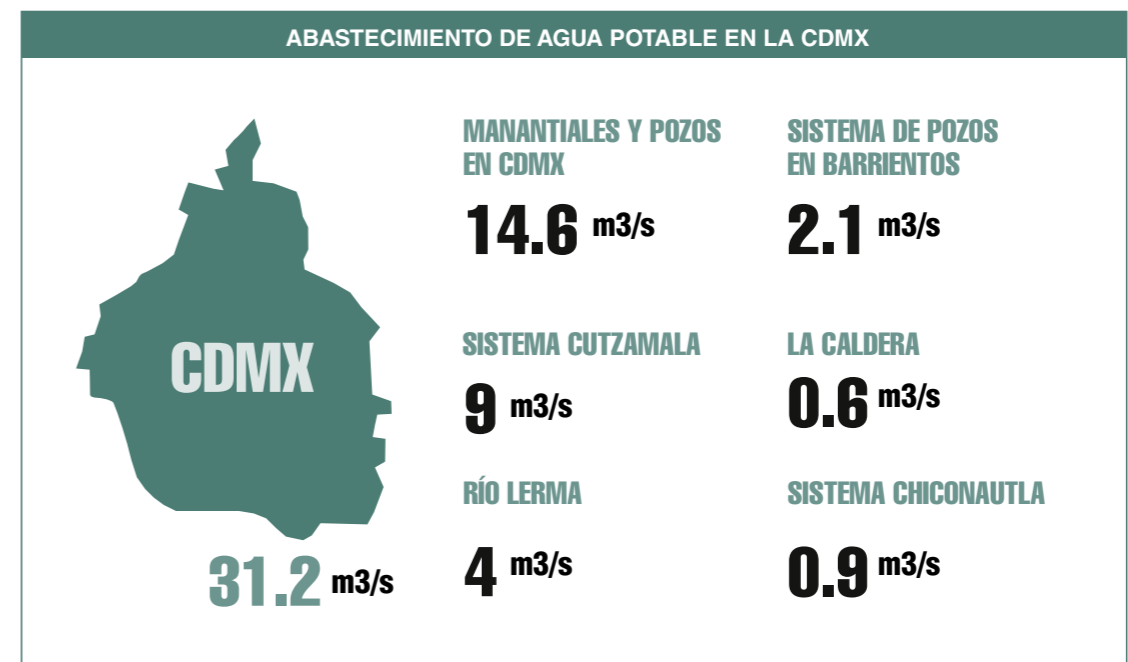
El costo por la sustitución del mueble sanitario, es de \$154 USD. El costo incluye la mano de obra, instalación y mueble sanitario. El costo total por la sustitución del WC, para las viviendas consideradas, sería de \$181,729,308 USD. Es importante mencionar que la vida útil del WC instalado es de 20 años.

**Tabla 17 Programa de sustitución de WC de 10 litros por WC de 4 litros.**

Propuesta: Sustitución de WC de 10 litros, por WC de 4 litros a través de financiamiento del equipo ahorrador de WC, condicional a la instalación de medidores.			
Concepto	USD	Índice Costo-Beneficio	Toneladas de CO <sub>2</sub> eq evitadas
Costo Inversión 20 años	\$181,729,308	N.A.	
Beneficios a 20 años	Tasa de descuento 0.5%	\$417,087,572	2.295
	Tasa de descuento 5%	\$273,751,425	1.506
	Tasa de descuento 10%	\$187,013,390	1.029
	Tasa de descuento 12%	\$164,077,702	0.903
			913,070

El consumo actual estimado anual por el uso de WC de 10 litros por descarga para la Ciudad de México es de 92,515,739,700 litros. De los

Fuente: elaboración propia



Modificado de: [http://www.cuidarelagua.cdmx.gob.mx/images/pdf/infografia\\_abastecimiento\\_agua-01.jpg](http://www.cuidarelagua.cdmx.gob.mx/images/pdf/infografia_abastecimiento_agua-01.jpg), última consulta: diciembre 2017.

cuales, 71,237,119,569 litros corresponden al sistema de Pozos SACM y, 16,652,833,146 del Sistema Cutzamala. Para una mejor descripción de las estimaciones revisar la sección Anexo.

**Tabla 18 Programa de sustitución de WC de 10 litros por WC de 4 litros, ahorro en litros.**

Propuesta: Sustitución de WC de 10 litros, por WC de 4 litros a través de financiamiento del equipo ahorrador de WC, condicional a la instalación de medidores.				
Concepto	Consumo de agua actual estimado <sup>1</sup>	Consumo de agua por implementación de política de sustitución	Ahorro litros por año	Ahorro total litros
Pozos SACM	71,237,119,569	28,494,847,828	42,742,271,741	52,733,971,629
Sistema Cutzamala	16,652,833,146	6,661,133,258	9,991,699,888	

<sup>1</sup> Se estimó el número de descargas diarias por persona del WC en seis; INIFED (2015).  
Fuente: elaboración propia

Implementando la política de sustitución, los sistemas que abastecen de agua potable a la Ciudad de México presentarían un ahorro anual de 52,733,971,629 litros; de los cuales 42,742,271,741 litros correspondería al sistema de Pozos SACM y; 16,652,833,146 litros para el Sistema Cutzamala. El ahorro por consumo de agua, sería del 60 por ciento.

### Ahorro energético por sustitución de muebles sanitarios.

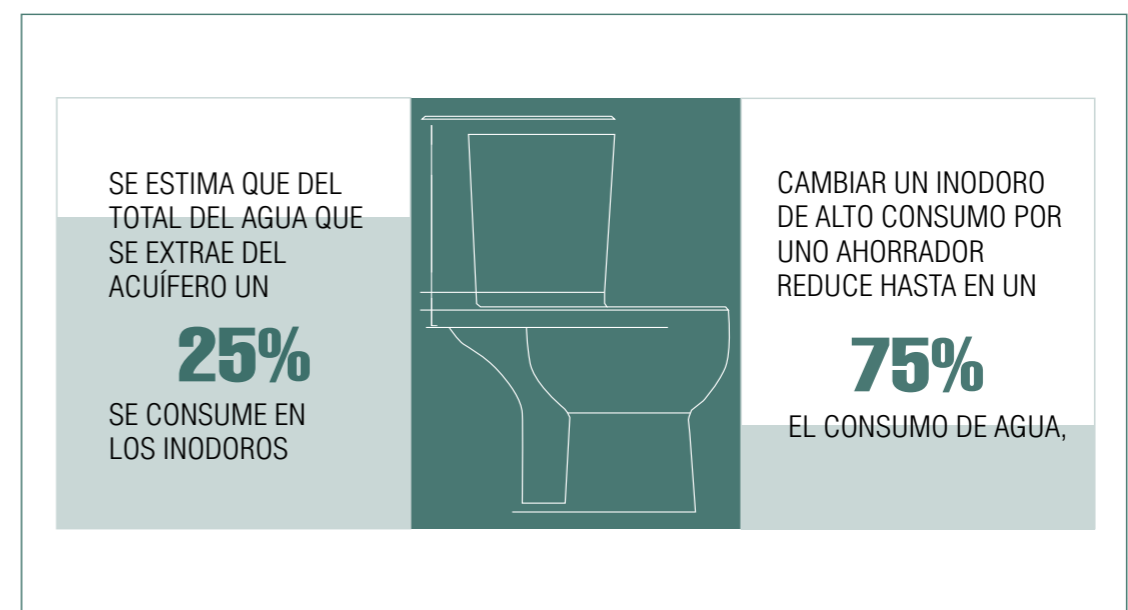
Para la estimación del ahorro energético se consideraron los índices energéticos de bombeo de agua potable para la Ciudad de México (SMADF, 2010). Para el sistema de Pozos SACM, el índice es de 0.533 kWh/m<sup>3</sup>; en el caso del Sistema Cutzamala, este índice es de 4.5412 kWh/m<sup>3</sup>. Considerando lo anterior, los ahorros para cada sistema de abastecimiento de consumo de agua, significarían un ahorro en términos anuales de 68,241,423 kWh.

**Tabla 19 Programa de sustitución de WC de 10 litros por WC de 4 litros, ahorro energético.**

Propuesta: Sustitución de WC de 10 litros, por WC de 4 litros a través de financiamiento del equipo ahorrador de WC, condicional a la instalación de medidores.				
Concepto	Ahorro kWh	Ahorro en USD kWh	Ahorro total kWh	Ahorro total USD
Pozos SACM	22,867,115	1,369,122	68,241,423	21,806,735
Sistema Cutzamala	45,374,308	20,437,614		

<sup>1</sup> Se estimó el número de descargas por persona diarias del WC en seis, INIFED (2015).  
Fuente: elaboración propia.

Para la estimación del ahorro en términos monetarios (USD), se emplearon los costos de energía equivalente para los sistemas de bombeo. El costo fijo es de \$18.04 USD y, el costo por kWh corresponde a 0.099 USD (SMADF, 2010). Considerando lo anterior, el ahorro total en USD por año asciende a \$21,806,735 USD, de los cuales, \$1,369,122 USD corresponden al sistema de Pozos SACM y, \$20,437,614 USD al Sistema Cutzamala.



## Supuestos.

Para las estimaciones del programa de sustitución de WC, se emplearon los siguientes supuestos:

- ° Número de viviendas potenciales- se consideró el 50 por ciento del total de las viviendas como beneficiarias del programa.
  - ° Número de descargas diarias.- se supone un total de seis descargas per cápita de WC al día.
  - ° Porcentaje de volumen de agua.- se considera del total del consumo de agua potable de la Ciudad de México, que el 77 por ciento corresponde al sistema de Pozos SACM y un 18 por ciento proviene del Sistema Cutzamala (SMADF, 2012).
  - ° Índices energéticos.- con base en la SMADF, se tomaron los índices energéticos de bombeo de agua potable. Para el sistema de Pozos SACM, el índice es de 0.535 kWh/m<sup>3</sup>; para el Sistema Cutzamala es de 4.54 kWh/m<sup>3</sup>.
  - ° Costo energético.- para el sistema de Pozos SACM se considera un costo fijo de \$263.34 pesos y un costo por kWh de \$1.447 pesos; para el Sistema Cutzamala se considera un costo fijo de \$234.58 pesos y un costo por kWh de \$1.289 pesos.
  - ° Factor para vivienda kWh por tonelada de CO<sub>2</sub>: Se considera un factor de consumo de electricidad para vivienda de 0.669 toneladas de CO<sub>2</sub> por 1000 kWh.
- Para la estimación de la población con restricciones en el abastecimiento, se consideró un total de 387, 914 familias.
- ° Se consideró una capacidad de 10,000 litros por pipa de agua y un costo para cada una de ellas de \$650 pesos.
  - ° La capacidad de los botellones de agua, corresponda a 19 litros, con un precio promedio de \$20 pesos por cada uno.

### Cuadro 1.- Estimación del ahorro de agua en litros por sustitución de WC de 4 por descarga.

#### Estimación del consumo de agua en viviendas por WC de 10 litros por descarga.

$$\text{Consumo de agua}_{wc10} = \sum [(Viv_n * 0.5) (Des_{wc10} * \text{descargas diarias})]$$

#### Dónde:

**Vivn:** Corresponde al número de viviendas con n habitantes.

**0.5:** Es el factor para determinar las viviendas potenciales a beneficiarse por el programa.

**Deswc10:** Es la cantidad en litros por descarga del WC, en este caso 10 litros.

*Descargas diarias:* es el número de descargas per cápita, corresponde a seis que es el promedio de descargas de una familia promedio en ciudad de México.

#### Estimación del consumo de agua en viviendas por WC de 4 litros por descarga.

$$\text{Consumo de agua}_{wc4} = \sum [(Viv_n * 0.5) (Des_{wc4} * \text{descargas diarias})]$$

#### Dónde:

**Vivn:** Corresponde al número de viviendas con n habitantes, que van desde uno hasta nueve.

**0.5:** Es el factor para determinar las viviendas potenciales a beneficiarse por el programa.

**Deswc14:** Es la cantidad en litros por descarga del WC, en este caso es de 4 litros.

*Descargas diarias:* es el número de descargas per cápita, corresponde a seis.

#### Estimación del ahorro de agua en litros por sustitución de WC de 4 por descarga.

$$\text{Ahorro de agua} = \text{Consumo de agua}_{wc10} - \text{Consumo de agua}_{wc4}$$

#### Estimación del ahorro de agua en litros por sistema de abastecimiento por sustitución de WC de 4 por descarga.

$$\text{Ahorro agua}_{SACM} = \text{Ahorro de agua} * \text{VolAgua}_{SACM}$$

**Dónde:**

**Ahorro aguaSACM:** Es el ahorro en litros por la sustitución de WC de 10 por WC de 4 litros por descarga para el sistema Pozos SACM.

**Ahorro agua:** es el ahorro en litros total estimado.

**VolAguaSACM:** es el porcentaje de abastecimiento del sistema, para este sistema es del 77 por ciento.

$$\text{Ahorro agua}_{\text{Cutzamala}} = \text{Ahorro de agua} * \text{VolAgua}_{\text{SACM}}$$

**Dónde:**

**Ahorro aguaCutzamala:** es el ahorro en litros por la sustitución de WC de 10 por WC de 4 litros por descarga para el Sistema Cutzamala.

**Ahorro agua:** es el ahorro en litros total estimado.

**VolAguaCutzamala:** es el porcentaje de abastecimiento del sistema, para este sistema es de 18 por ciento.

La estimación realizada se expresa en litros y brinda parte del valor del agua al conocer la energía usada para el movimiento de esta cantidad de agua a los hogares de la Ciudad de México y con ello estimar los ahorros en energía de la aplicación de la política propuesta.

## Ahorro energético por sustitución de muebles sanitarios.

Para la estimación del ahorro energético y por la emisión de GEI, se consideró los índices energéticos de bombeo de agua potable para la Ciudad de México (SMADF, 2010), bombeo del sistema de Pozos SACM y del sistema de trasvase de la cuenca del Cutzamala. Para el sistema de Pozos SACM, el índice energético-agua es de 0.533 kWh/m<sup>3</sup>; en el caso del Sistema Cutzamala, este índice energético-agua es de 4.5412 kWh/m<sup>3</sup>.

Considerando lo anterior, los ahorros para cada sistema de abastecimiento de consumo de agua, significarían un ahorro en términos anuales de 68,241,423 kWh. Suponiendo un ahorro de energía por los 6 litros que no

son utilizados por cada descarga de los muebles sanitarios.

Para la estimación del ahorro en términos monetarios (pesos), se emplearon los costos de energía equivalente para los sistemas de bombeo. El costo fijo es de \$234.52 pesos y, el costo por kWh corresponde a 12,87 pesos (SMADF, 2010; Centro Mario Molina, 2010). Considerando lo anterior, el ahorro total en pesos por año asciende a \$283,487,559, de los cuales, \$22,867,115 pesos corresponden al sistema de Pozos SACM y, \$265,688,977 pesos al Sistema Cutzamala.

**Tabla 5 Programa de sustitución de WC de 10 litros por WC de 4 litros, ahorro energético.**

Propuesta: Sustitución de WC de 10 litros, por WC de 4 litros a través de financiamiento del equipo ahorrador de WC, condicional a la instalación de medidores.				
Concepto	Ahorro kWh	Ahorro en pesos kWh	Ahorro total kWh	Ahorro total pesos
Pozos SACM Sistema	22,867,115	17,798,582	68,241,423	\$ 283,487,559
Cutzamala	45,374,308	265,688,977		

<sup>/1</sup> Se estimó el número de descargas por persona diarias del WC en seis, INIFED (2015).

Fuente: elaboración propia.

Las estimaciones realizadas sólo expresan la cantidad de energía ahorrada, por lo que se requiere calcular los ahorros adicionales en la emisión de GEI al no usar esa energía que a su vez se ahorra al no usar los 6 litros en cada descarga de los muebles sanitarios.

## Emisiones evitadas de CO<sub>2</sub>.

Para la estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, se calcularon con base en la estimación del consumo actual (litros), convertido a metros cúbicos

y aplicando el factor del índice energético para cada sistema según corresponda. Posteriormente se empleó el factor de emisiones de energía eléctrica- GEI para las viviendas del Valle de México por kWh/tonelada de CO<sub>2</sub>, este factor es de 0.669 kWh/tonelada de CO<sub>2</sub> (SIE, 2011). Dicho factor corresponde a la cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente emitidas por las fuentes de generación de energía eléctrica usadas en el Valle de México en este caso corresponden a la emisiones de GEI en

---

### Cuadro 2.- Estimación del ahorro energético por sustitución de WC de 4 por descarga.

$$AhorroEnerg_{SACM} = Ahorro\ de\ agua / 1000 * IEBA_{SACM}$$

#### Dónde:

**AhorroEnerg:** Es el ahorro energético en kWh por la sustitución de WC de 10 por WC de 4 litros por descarga para el sistema de Pozos SACM.

**Ahorro aguaSACM:** Es el ahorro en litros del Sistema Cutzamala

**IEBASACM:** Es el Índice Energético de Bombeo de Agua potable, para el sistema de Pozos SACM es de 0.535 kWh/m<sup>3</sup>.

1000: corresponde al factor de conversión de litros a metros cúbicos.

$$AhorroEnerg_{Cutzamala} = Ahorro\ de\ agua / 1000 * IEBA_{Cutzamala}$$

#### Dónde:

**AhorroEnerg:** es el ahorro energético en kWh por la sustitución de WC de 10 por WC de 4 litros por descarga para el Sistema Cutzamala.

**Ahorro aguaCutzamala:** es el ahorro en litros del Sistema Cutzamala

**IEBACutzamala:** es el Índice Energético de Bombeo de Agua potable, para el sistema de Pozos SACM es de 4.54 kWh/m<sup>3</sup>.

1000: corresponde al factor de conversión de litros a metros cúbicos.

---



---

### Estimación del ahorro en USD por sustitución de WC de 4 por descarga.

$$AhorroUSD_{SACM} = AhorroEnerg_{SACM} (IEBA_{SACM} * CostokWh_{SACM}) + Cf_{SACM}$$

#### Dónde:

**Ahorro USDSACM:** es el ahorro en USD por la sustitución de WC de 4 litros para el sistema Pozos SACM.

**AhorroEnergSACM:** es el ahorro energético por la sustitución de WC de 4 litros para el sistema Pozos SACM.

**IEBASACM:** Es el Índice Energético de Bombeo de Agua potable, para el sistema de Pozos SACM es de 0.535 kWh/m<sup>3</sup>

**CostokWhSACM:** Es el costo por kWh para bombeo de agua potable del sistema de Pozos SACM

**CfSACM:** Es el costo fijo por bombeo de agua potable del sistema Pozos SACM

$$AhorroUSD_{Cutzamala} = AhorroEnerg_{Cutzamala} (IEBA_{Cutzamala} * CostokWh_{Cutzamala}) + Cf_{Cutzamala}$$

#### Dónde:

**Ahorro USDCutzamala:** es el ahorro en USD por la sustitución de WC de 4 litros para el Sistema Cutzamala.

**AhorroEnergCutzamala:** es el ahorro energético por la sustitución de WC de 4 litros para el Sistema Cutzamala.

**IEBACutzamala:** Es el Índice Energético de Bombeo de Agua potable, para el sistema Cutzamala es de 4.54kWh/m<sup>3</sup>

**CostokWhCutzamala:** Es el costo por kWh para bombeo de agua potable del Sistema Cutzamala.

**CfCutzamala:** Es el costo fijo por bombeo de agua potable del Sistema Cutzamala.

---

la región de Tula por el sistema de carbo-eléctricas y sistemas de ciclo combinado de la comisión federal de electricidad (SIE, 2011).

Las emisiones estimadas para el consumo actual, ascienden a 76,089 toneladas de CO<sub>2</sub>eq al año, de las cuales 25,497 corresponden al sistema de Pozos SACM y, 50,592 al Sistema Cutzamala. La implementación de

la política de sustitución, significaría una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>eq en un 40 por ciento para los sistemas de bombeo de agua potable. Esta reducción significaría un total de 45,654 toneladas de CO<sub>2</sub>eq por año.

Bajo el escenario de sustitución de WC, las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub>eq a veinte años, ascenderían a 913,070 toneladas, lo que significaría, considerando un precio de \$3.5 USD por tonelada, un monto por emisiones evitadas de CO<sub>2</sub>eq de \$3,195,746 USD para el mismo periodo, en este caso 20 años.

**Tabla 6. Análisis de emisiones evitadas**

Propuesta de sustitución de WC de 10 litros, por WC de 4 litros a través de financiamiento del equipo ahorrador de WC.				
Concepto		Pesos	Índice Beneficio-Costo	Toneladas de CO <sub>2</sub> eq evitadas
Beneficios a 20 años	Costo Inversión 20 años	\$2,362,481,000	N.A.	913,070
	Tasa de descuento 0.5%	\$5,432,445,861	2.299	
	Tasa de descuento 5%	\$3,569,075,955	1.511	
	Tasa de descuento 10%	\$2,441,481,497	1.033	
	Tasa de descuento 12%	\$2,143,317,557	0.907	

Fuente: elaboración Propia

**Cuadro 3.- Estimación emisiones evitadas de CO<sub>2</sub>eq por sustitución de WC de 4 por descarga.**

$$CO_{2\text{evitado}}_{SACM} = \text{AhorroEnerg}_{SACM} * \text{factorCO}_{2\text{vivienda}}$$

**Dónde:**

**CO<sub>2</sub>evitado<sub>SACM</sub>:** Son las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub> en toneladas por la sustitución de WC.

**AhorroEnerg<sub>SACM</sub>:** Es el ahorro energético por la sustitución de WC de 4 litros para el sistema Pozos SACM.

**factorCO<sub>2</sub>vivienda:** es el factor para vivienda kWh por tonelada de CO<sub>2</sub>

$$CO_{2\text{evitado}}_{Cutzamala} = \text{AhorroEnerg}_{Cutzamala} * \text{factorCO}_{2\text{vivienda}}$$

**Dónde:**

**CO<sub>2</sub>evitado<sub>Cutzamala</sub>:** Son las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub> en toneladas por la sustitución de WC.

**AhorroEnerg<sub>Cutzamala</sub>:** es el ahorro energético por la sustitución de WC de 4 litros para el Sistema Cutzamala.

**factorCO<sub>2</sub>vivienda:** es el factor para vivienda kWh por tonelada de CO<sub>2</sub>

## El costo de oportunidad de agua de primer uso: Consumo de agua para una población con restricciones en el abastecimiento de agua potable.

Los costos en que incurre la población que no tiene acceso al agua potable 24 horas al día genera un costo de oportunidad entre el agua usa en los muebles sanitarios en otra parte de la ciudad y las necesidades de cubrir los requerimientos de agua potable de las personas que sufren por la falta de abastecimiento. Se estima que el consumo diario de agua potable para dicha población, sobre todo del oriente de la Ciudad de México, es de 30,589,790 litros. Este abasto es cubierto por pipas de agua y por el consumo de botellones de agua potables lo que da un costo total por consumo de agua de \$10,307,429 pesos. El costo promedio por litro se estimó en \$0.34 pesos.

**Tabla 7 Consumo de agua para una población con restricción de abastecimiento.**

Consumo de Agua en la Ciudad de México, para una zona con restricciones de abastecimiento (diario)				
Consumo de agua potable (litros)	Costo por pipas para abastecimiento (pesos)	Costo por garrafones de agua (pesos)	Costo agua (pesos)	Costo por litro (pesos)
30,589,790	\$ 1,440,823	\$ 8,866,606	\$ 10,307,429	\$ 0.34
Para la estimación, se consideran pipas con capacidad de 10,000 litros; garrafones de agua de 19 litros cada uno.				
Consumo de Agua en la Ciudad de México, para una zona con restricciones de abastecimiento (diario)				
Consumo de agua potable (litros)	Consumo de agua doméstico no consuntivo (litros) cubiertos por pipas de agua	Consumo de agua potable para consumo (litros) cubiertos por agua de garrafón		
30,589,790	22,166,514	8,423,275		
Se consideró un consumo semanal por familia de 400 litros para consumo doméstico no consuntivo y un consumo de 150 litros de agua potable				



**Cuadro 4.- Estimación del consumo de agua por familia para una población con restricciones en el abastecimiento de agua potable.**

$$\text{Consumo de agua}_{fam} = \sum (Fam_n * (CAgNCon + CAgPo))$$

**Dónde:**

**Famn:** Corresponde al número de familias.

**CAgNCon:** Es el consumo de agua no consuntivo, corresponde a 400 litros semanales

**CAgPo:** Es el consumo de agua potable, corresponde a 152 litros semanales.

**Estimación del costo por consumo de agua por familia para una población con restricciones en el abastecimiento de agua potable.**

$$\text{Consumo de agua}_{fam} = \sum \left( Fam_n * \left( \frac{CAgNCon}{CapPipa} * Cpipa \right) + \left( \frac{CAgPo}{CapBot} * Cbot \right) \right)$$

**Dónde:**

**Famn:** Corresponde al número de familias.

**CAgNCon:** Es el consumo de agua no consuntivo, corresponde a 400 litros semanales

**CAgPo:** Es el consumo de agua potable, corresponde a 152 litros semanales.

**CapPipa:** Es la capacidad de una pipa correspondiente a 10,000 litros, para consumo no consuntivo.

**CapBot:** Es la capacidad en litros de los botellones de agua, corresponde a 19 litros para cada uno de ellos.

**Cpipa:** Es el costo por una pipa de 10,000 litros de capacidad, su costo es de \$650 pesos.

**Cbot:** Es el costo por botellón de agua potable, su costo es de \$20 pesos.

**Estimación del costo de oportunidad por consumo de agua.**

$$\text{CostOp}_{agua} = (\text{CostAgra} + \text{Consumo de agua}_{wc10} + \text{CO}_2\text{emisiones})$$

**Dónde:**

**CostOpagua:** Es el costo de oportunidad para el consumo de agua para una población con restricción en el abastecimiento.

**CostAgra:** es el consumo diario de agua en pesos para la población con restricción en el abastecimiento.

**Consumo de aguawc10:** Es el consumo diario de agua en pesos dLa Ciudad de México por descargas de WC de 10 litros.

**CO2emisiones:** es el valor en pesos de las emisiones de CO2 por el suministro de agua empleado para las descargas de WC de 10 litros.

El costo de oportunidad diario del agua potable que incurre esta población para poder acceder al servicio se estimó en \$11,593,345 pesos diarios. Que incluyen tanto el costo directo del agua como el costo en emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes por su traslado fuera del Valle de México. Cuadro 4.

**Ahorro total por sustitución de muebles sanitarios.**

Las estimaciones de ahorro realizadas para la propuesta de sustitución de muebles sanitarios, corresponden al ahorro durante el lapso de un año. Contemplan el ahorro en litros de agua por sistema de abastecimiento de agua potable, el ahorro energético en kWh y pesos, como también las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub>.

**Tabla 8 Consumo de agua para una población con restricción de abastecimiento.**

Ciudad de México				
Sustitución de WC de 10 lts por WC de 4lts				
Ahorro energético y emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas al año				
Sistema	Ahorro litros	Ahorro kWh	Ahorro pesos	Toneladas CO <sub>2</sub> evitadas
Pozos SACM	42,742,271,741	22,867,115	\$17,798,582	15,298
Sistema Cutzamala	9,991,699,888	45,374,308	\$265,688,977	30,355
<b>Ahorro Total</b>	<b>52,733,971,629</b>	<b>68,241,423</b>	<b>\$283,487,559</b>	<b>45,654</b>

Fuente: Elaboración propia.

El ahorro total en litros para la propuesta se estimó en 52,733,971,629 litros de agua. El ahorro energético por el ahorro en consumo de agua, se estimó en 68,241,423 kWh el ahorro en pesos del ahorro energético, se estimó en \$283,487,559 pesos.

Las emisiones evitadas se estimaron en 45,654 toneladas de CO<sub>2</sub> al año, es decir, por cada litro ahorrado en la descarga de muebles sanitarios se ahorra 0.0054 pesos, que si bien en forma individual es un ahorro marginal, en forma global para la sociedad representaría una suma cuantiosa de recursos que podrían destinarse a manejar de manera más eficiente los recursos hídricos del Valle de México.

Cabe mencionar que la implementación de este programa requiere de inversión privada atomizada, es decir, se debe modificar casa por casa los muebles sanitarios y para poder hacerlo son necesarios subsidios del Gobierno de la Ciudad de México. Con estas acciones se esperaba que disminuyera el consumo de agua potable de la ciudad en su conjunto y con ello se incrementen los beneficios sociales de un mejor manejo del recurso agua, sobre todo para los hogares que sufren escasez crónica en las áreas periurbanas de la Ciudad de México. Adicionalmente se generarían co-beneficios asociados a este tipo de medida que corresponden a ahorro energético, ahorro en el traslado de agua, mejoras en la salud pública y en la calidad del aire (Banco Mundial, 2014; IPCC, 2014).

El alto costo por el suministro de agua a la Ciudad de México, su alto consumo en descargas de muebles sanitarios y por lo tanto la cantidad de emisiones de GEI, hacen imperativo replantear la política respecto al uso del agua para la Ciudad de México. La necesidad disminuir los costos de suministro a través de un consumo más eficiente de este vital líquido y, asegurar su disponibilidad a aquellos individuos que viven en zonas con restricciones en el abastecimiento.

El análisis presentado nos permite observar el alto impacto por el uso del agua en muebles sanitarios con capacidad de descarga de diez litros<sup>1</sup>, a su vez, la diferencia en el costo energético por sistemas de abastecimiento

<sup>1</sup> El consumo anual de agua por la descarga de muebles sanitarios con capacidad de diez litros, se estimó en 87,889,952,715 litros.

(Pozos SACM y Sistema Cutzamala) y la cantidad de emisiones de GEI que conlleva el uso de este volumen de agua en la Ciudad de México<sup>2</sup>.

Implementaciones de otras medidas que reduzcan el consumo de agua en especial de la cuenca del Cutzamala representan ahorros monetarios, energéticos y ambientales que deben ser considerados y analizados en forma sistémica y considerando la mayor cantidad de externalidades y procesos intervinientes en el uso de recursos estratégicos como el agua.

La propuesta de análisis de este trabajo pretende mostrar un planteamiento de analítico que trata de cubrir las externalidades más importantes del uso de agua y por lo tanto valorar el agua en todo su recorrido a través de la ciudad de México desde su origen en el subsuelo o en otras cuencas hasta su disposición fuera de la ciudad, incluyendo el uso de energía para su movimiento y la emisión de GEI que genera este proceso. Si bien el análisis y su estimación tratan de cubrir la mayor cantidad de aspecto técnico de este proceso, se reconoce que costos adicionales como los de la disposición final del agua en otras cuencas no ha sido contemplado en el estudio y se espera poder estimar dicho costo en otros análisis de este fenómeno vital como es el uso del agua en las grandes ciudades.

## Costo – beneficio.

La estimación costo-beneficio se desarrolla como un indicador para jerarquizar la relevancia y pertinencia de las políticas públicas a ser aplicadas, en el caso del análisis de pertinencia de la sustitución de muebles sanitarios se procede a analizar la cantidad emisiones de CO<sub>2</sub>eq evitadas en el bombeo y distribución de agua potable. Dicha cantidad de emisiones se evalúan a precio de mercado, generando el beneficio económico obtenido de la no emisión de GEI.

Los costos del programa incluyen la sustitución de los muebles sanitarios su instalación y administración del programa considerando sólo los costos globales de dicha acción. Esto quiere decir que las estimaciones desarrolladas

<sup>2</sup> Las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub> en un horizonte de 20 años por la implementación del programa de sustitución son: 913,070 toneladas.

no consideran los problemas de atomización del programa de sustitución, es decir este programa se debe aplicar vivienda por vivienda y considerar los costos de reconstrucción para viviendas ya existentes.

Después de estas consideraciones el índice costo- beneficio del programa es de 1.029 (ver tabla 13), Este monto indica el nivel de inversión y pertinencia de política que serán analizados en comparación con los demás programas analizados en la última sección del estudio. Para una mejor descripción de las estimaciones revisar la sección Anexo.

## Incidencia social

Inversión privada atomizada y subsidios del Ciudad de México de la Ciudad de México. Se considera una medida regresiva de bajo impacto, ya que se necesita una inversión dirigida a los sectores poblacionales de ingresos más bajos que reduzca el consumo de agua potable a futuro y, por lo tanto, disminuyendo su gasto familiar en este concepto.

## Co-beneficios.

Los co-beneficios asociados a este tipo de medida corresponden a ahorro energético, ahorro en consumo de agua, mejoras en la salud pública y en la calidad del aire. (Banco Mundial, 2014; IPCC, 2014).

## Residuos Solidos Urbanos.

La generación de residuos es inherente a toda actividad humana, ya sea desde la generación de desechos por consumo de alimentos y otro tipo de bienes, hasta el desecho de productos intermedios fruto de la generación de otros bienes de consumo. La generación de residuos a su vez emite GEI lo que se suma y empeora la situación producida por otras fuentes de emisión. La emisión de GEI por los residuos urbanos no se limita al año de generación de los bienes porque ésta va arrastrando pasivos ambientales de generación de emisiones de GEI por décadas (GIZ, 2014).

**Tabla 20 Beneficios socioeconómicos y climáticos para el uso integral de residuos.**

Beneficios socioeconómicos y climáticos de implementación de políticas para el uso integral de residuos sólidos					
País	Muertes evitadas	Creación de Empleo	Impacto en el PIB \$bn	Pérdidas evitadas de cultivos (toneladas)	Reducción de CO <sub>2</sub> eq
México*	1,526	26,865	\$8.1	335,806 - 671,613	2.74 - 192 Mt
	- 2,992	- 67,161	- \$21.5		
Brasil	2,500	44,000	\$13.3	550,000	158 - 315 Mt
	- 4,900	- 110,000	- \$35.2	- 1,100,000	

Fuente: Elaboración propia con base en Climate-Smart Development Adding up the benefits of actions that help build prosperity, end poverty and combat climate change, World Bank, 2014.

\*Para el caso de México los beneficios consideran los mismos factores de impacto que para el caso de Brasil

Estas emisiones pasivas y activas generaron, según estimaciones del GDF, cerca del 17.4 por ciento de las emisiones de CO<sub>2</sub>eq en el Valle de México. Por lo que se propone el desarrollo de un sistema de captura de biogás emanado por los residuos sólidos de la ciudad para ser utilizado en la generación de energía eléctrica a partir de metano –biogás–.

El metano (CH<sub>4</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) son los principales constituyentes de los gases que se desprenden de la degradación de residuos en un relleno sanitario, la estimación de emisiones se realiza con el modelo de LANDGEM Versión 3.02<sup>3</sup> (U.S. EPA, 2008).

El modelo calcula las emisiones contaminantes provenientes de los rellenos sanitarios por medio de la introducción de información estadística sobre cantidad y composición de los residuos alimentados y con el año de apertura y de cierre. Así mismo, el modelo contiene parámetros de tasa de generación de metano y de degradación de la materia.

La cantidad de residuos almacenados en los rellenos sanitarios se presentan en la Tabla 21

3 El modelo de emisión LandGEM es una herramienta automatizada para estimar la tasa de emisión de contaminantes provenientes de los rellenos sanitarios. Los gases que estima son: metano, dióxido de carbono y compuestos orgánicos no metánico. <http://www.epa.gov/ttnatc1/products.html>, noviembre de 2008

**Tabla 21 Indicadores de actividad en el Relleno Sanitario Prados de la Montaña**

Sitio de Disposición		Año de Apertura	Año de Clausura	Cantidad Dispuesta [ton/año]
Álvaro Obregón, D.F.	Prados de la Montaña	1987	1994	5,635,019
Nezahualcóyotl, Estado de México	Bordo Poniente Etapa I	1985	1992	3,323,000
	Bordo Poniente Etapa II	1986	1991	3,049,475
	Bordo Poniente Etapa III	1992	1994	5,819,892
	Bordo Poniente Etapa IV	1995	En uso	56,471,536
	Bordo poniente Etapa 1 a Etapa 4			68,663,903

Fuente: Elaborada con datos de 1) Dirección General de Servicios Urbanos, D. D. F (s.f). Clausura del relleno sanitario Prados de la Montaña: primera experiencia mexicana apegada a una rigurosa normatividad, D. F México. Consultado en Febrero de 2009 de: [www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/mexico/03529e14.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/mexico/03529e14.pdf)

Del total de residuos sólidos generados y acumulados en la Ciudad de México, se consideran para el análisis 5,635,019 toneladas de basura, correspondientes a los residuos generados a lo largo de un año y acumulados por 10 diez años en los bordos poniente de Ciudad de México.

La estimación de emisiones de GEI utiliza La ecuación de degradación de primer orden, para el cálculo de generación anual de biogás, la cual fue modificada por la *United States Environmental Protection Agency*, (US EPA) en el Modelo LandGEM versión 3.02 en el 2005. Esta ecuación se presenta a continuación (Alexander, A., Burklin, C., Singleton, A., 2005)

$$Q_{LFG} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=0.1}^1 2kL_0 \left[ \frac{M_i}{10} \right] (e^{-kt_{ij}})(MCF)(F)$$

Donde:

QLFG = Flujo máximo esperado de biogás (m³/año).

i = Incremento de tiempo de 1 año.

n = (año del cálculo) - (año inicial de disposición de residuos).

j = Incremento de tiempo en 0.1 años.

k = Índice de generación de metano (1/año).

L0 = Generación potencial de metano (m³/Mg).

Mi = Masa de residuos dispuestos en el año i (Mg).

tij = Edad de la sección j de la masa de residuos Mi dispuestos en el año i (años decimales).

MCF = Factor de corrección de metano.

F = Factor de ajuste por incendios.

Los cálculos desarrollados nos permiten estimar que la cantidad de basura generada en la Ciudad de México podrían producir 2,738,619 toneladas de CO2eq.

**Tabla 22 Programa de Regulación de la obligatoriedad del tratamiento y aprovechamiento de residuos**

Propuesta: Regulación de la obligatoriedad del tratamiento y aprovechamiento de residuos			
Concepto	USD	Índice Beneficio-Costo	Toneladas de CO <sub>2</sub> eq evitadas
Costo Inversión 20 años	\$41,977,050	N.A.	54,772,385
Tasa de descuento 0.5%	\$181,997,589	4.336	
Tasa de descuento 5%	\$119,452,371	2.846	
Tasa de descuento 10%	\$81,603,933	1.944	
Tasa de descuento 12%	\$71,595,867	1.706	

**Tabla 23 Programa de Regulación de la obligatoriedad del tratamiento y aprovechamiento de residuos**

Propuesta: Regulación de la obligatoriedad del tratamiento y aprovechamiento de residuos						
Concepto	Costo USD por tonelada <sup>1</sup>	Generación anual de residuos sólidos Distrito Federal (tons) <sup>2</sup>	Costo anual por manejo de residuos USD	Emisión anual de Metano CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup>	Emisión anual de Metano CH <sub>4</sub> toneladas <sup>3</sup>	Emisión anual toneladas de CO <sub>2</sub> eq
Recolección	264	5,635,019	1,487,645,016	182,574,616	130,410	2,738,619
Transferencia	15		84,525,285			
Disposición Final	80		450,801,520			
<b>Total</b>	<b>359</b>		<b>2,022,971,821</b>			

/1 Fuente: Colegio de la Frontera, 2010.  
 /2 Fuente: Inventario de residuos sólidos 2012 dLa Ciudad de México, Secretaría del Medio Ambiente dLa Ciudad de México. La generación diaria de residuos sólidos en La Ciudad de México es de 12,740 toneladas. No Incluye la disposición de residuos en bordos cerrados.  
 /3 Se utiliza un factor de 4.334 CO<sub>2</sub> equivalente por tonelada de residuos. Secretaría del Medio Ambiente dLa Ciudad de México.  
 /4 La proporción de desechos orgánicos es del 50 por ciento del total de la generación de residuos, Environmental Protect Agency, 2013.

**Tabla 24 Programa de Regulación de la obligatoriedad del tratamiento y aprovechamiento de residuos, emisiones evitadas de CO<sub>2</sub>eq**

Propuesta: Generación de Biogás a partir de residuos sólidos ejemplo Monterrey						
Concepto	Capacidad de generación MW año	Costo de la planta USD	Costo por MWh año	Consumo total de Metano toneladas	Emisiones evitadas CO <sub>2</sub> eq tons	Factor energético CH <sub>4</sub> por MW
Planta de Biogás	12.72	21,835,750	1,716,647	67,837	1,424,583	0.000187507
Planta Biogás México	24.45	41,977,050	1,716,647	130,410	2,738,619	

Fuente: elaboración propia con datos de GDF, EPA y GIZ

El metano obtenido por el proceso de captura de biogás en los bordos poniente de Ciudad de México podría generar 130,410 toneladas de metano al año. Las cuales tienen la capacidad de generar 24.45 MWh/año con un costo de inversión de \$41,977,050 USD (ver tabla 24).

Dicha generación de energía evitaría la emisión de 54,772,385 toneladas de CO<sub>2</sub>eq, a un costo por tonelada de \$1.30 USD, por implementar la política. Con un índice de costo-beneficio de 1.944 utilizando una tasa de descuento del diez por ciento en un horizonte de 20 años, que será analizado en la última sección del estudio. Para una mejor descripción de las estimaciones revisar la sección Anexo.

### Incidencia social

Inversión conjunta entre el Ciudad de Méxicocode la Ciudad de México y Organismos de Cooperación Internacional. Beneficios directos a obreros y personas ocupadas en la recolección de residuos independientes (pepenadores).

#### Co-beneficios.

Los co-beneficios asociados a este tipo de medida, corresponden a ahorro energético, ahorro en consumo de agua potable, disminución de muertes prematuras por enfermedades asociadas a las emisiones de contaminantes y por generación de electricidad, así como también un impacto positivo en el PIB y el daño evitado en cultivos agrícolas (Banco Mundial, 2014; IPCC, 2014)

### Análisis Costo-beneficio.

La aplicación de acciones de política pública se encuentran limitadas por la escasez de recursos económicos y las limitaciones políticas de cada región. La generación de indicadores como los de costo-beneficio o los de costo-efectividad, tienen como objetivo priorizar las acciones que mejores resultados arrojen *a priori* y, a su vez permitan escalar las inversiones en los programas para los que existan recursos. Es decir, no siempre se pueden aplicar las políticas más efectivas, sino aquellas que menos requerimientos políticos y económicos exijan (OCDE, 2013).

El análisis costo-beneficio presentado a continuación muestra tres indicadores: el primero, la cantidad inversión requerida por tonelada de CO<sub>2</sub>eq no emitida a la atmósfera, que nos indica el monto de inversión requerida por unidad de análisis, en este caso CO<sub>2</sub>eq. El segundo descriptor muestra la factibilidad de aplicación de la política de acuerdo a las limitaciones de la región de análisis. Por último, el tercer descriptor índice de costo-beneficio, nos habla de los programas propuestos en orden jerárquico según su beneficio por unidad de inversión requerida.

En este caso, de las cinco políticas analizadas, la acción con mayor costo-beneficio es la producción de energía eléctrica a partir de la captura de biogás generado por los residuos sólidos de la Ciudad de México. Dicha política resolvería en gran medida el manejo actual de los residuos sólidos en el Valle de México, requiriendo montos de inversión significativos al incluir a más de una Entidad Federativa en su proceso de aplicación y operación.

El biogás es una mezcla conformada principalmente por CH<sub>4</sub> (50%-70%) y CO<sub>2</sub> (25%-40%), que se genera por el proceso biológico de biodigestión anaerobia, que consta de una serie de reacciones bioquímicas en la que residuos orgánicos son degradados o consumidos por un conjunto de microorganismos.

COMPONENTES	CONCENTRACIÓN
METANO (CH <sub>4</sub> )	50-75 % (VOL)
DIÓXIDO DE CARBONO (CO <sub>2</sub> )	25-45 % (VOL)
VAPOR DE AGUA (H <sub>2</sub> O)	2-7 % (VOL)
ÁCIDO SULFÚRICO (H <sub>2</sub> S)	20-20 000 ppm
NITRÓGENO (N <sub>2</sub> )	< 2 % (VOL)
OXÍGENO (O <sub>2</sub> )	< 2 % (VOL)
HIDRÓGENO (H <sub>2</sub> )	< 1 % (VOL)

GRÁFICO: MÓNICA MONTEIL

La acción de los microorganismos produce calor, mismo que se usa para mantener el proceso en su temperatura ideal (35 °C). En el proceso también se generan efluentes líquidos y sólidos que pueden ser utilizados como fertilizante orgánico.

La segunda medida con mayor índice costo-beneficio, es la sustitución de muebles sanitarios de alta capacidad por aquellos de sistema de descarga modernos con menor capacidad. Dicha política requiere montos de inversión por unidad de CO<sub>2</sub>eq sensiblemente menores a los demás programas, pero al afectar viviendas particulares con costos políticos y operativos elevados, tiene una probabilidad de ejecución limitada. La atomización de la aplicación de la política, hace de la misma un sistema complejo que requiere la participación de diferentes niveles de gobierno y la voluntad participativa de los usuarios beneficiados.

La tercera política analizada es la generación de fondos de garantía para la sustitución de vehículos antiguos con motor diésel por vehículos de carga y transporte de pasajeros modernos. Si bien el costo-beneficio del programa es elevado, la falta de fondos impide su aplicación por lo que esta medida sólo puede ser implementada a través de la captura de fondos públicos o privados destinados a dicho objetivo, o bien a través

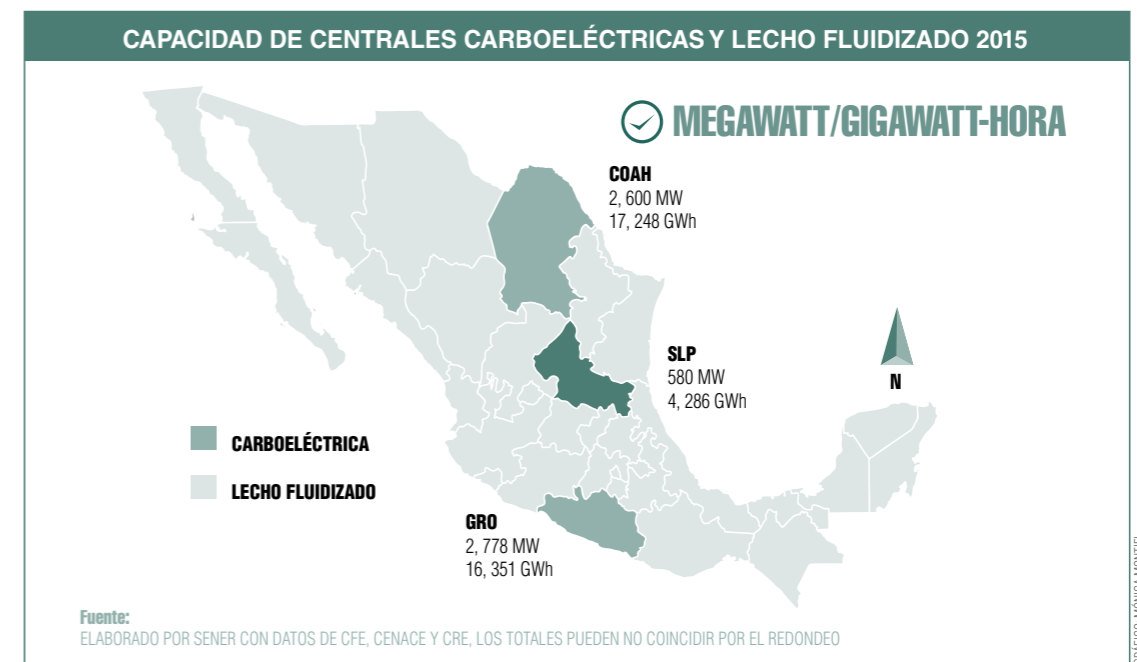
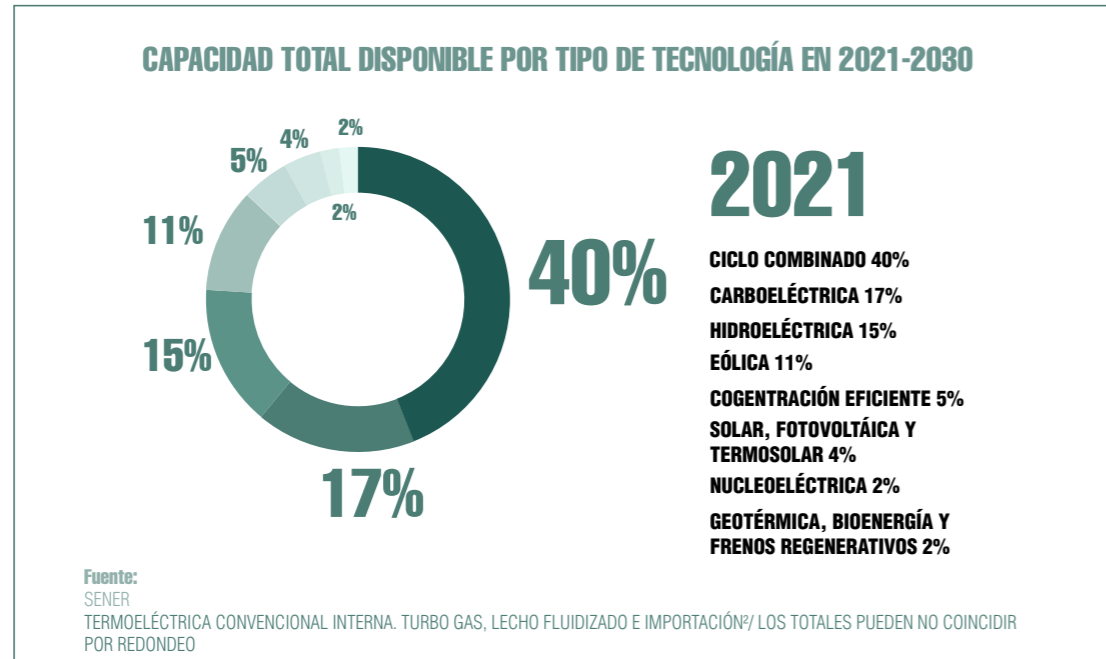


GRÁFICO: MÓNICA MONTEIL

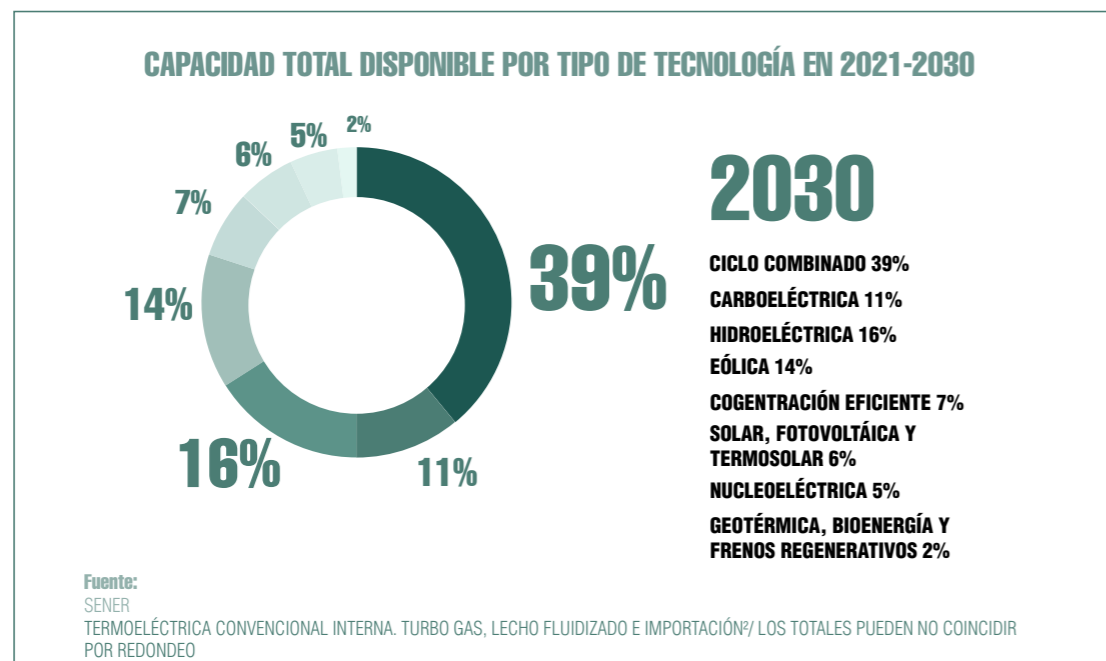


Modificado de. <http://base.energia.gob.mx/prodesen/PRODESEN2016/PRODESEN-2016-2030.pdf>, última consulta: diciembre 2017.

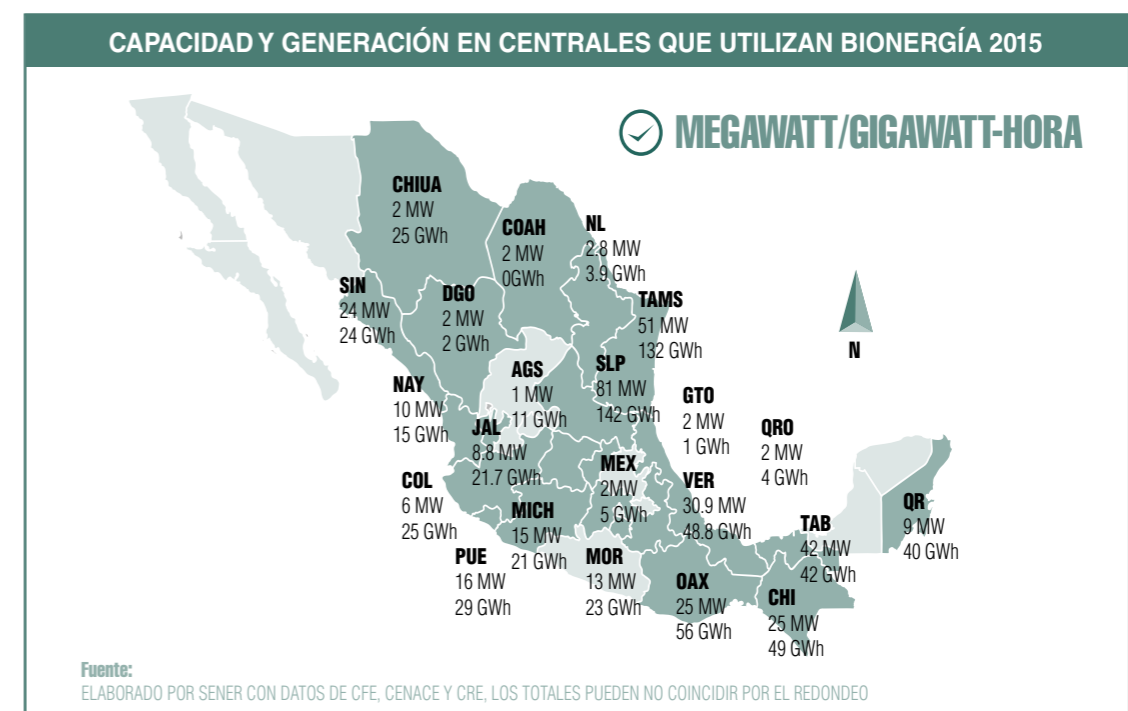
de la generación de un impuesto específico que alimente este fondo. Siendo este el caso que propone el presente estudio, por lo tanto la cuarta medida con mayor costo-beneficio el impuesto a vehículos por emisiones de CO<sub>2</sub> generaría los recursos necesarios para la implementación del fondo de garantía.

Lamentablemente el pacto fiscal Federal, adoptado también por las Entidades Federativas, limitaría la aplicación de esta política a arreglos institucionales en el mediano plazo.

La última política analizada a través del indicador costo-beneficio es la compra o generación de energía en bloque para el sistema de alumbrado público de la Ciudad de México. Si bien es la medida con menor indicador de costo-beneficio, la demanda cautiva y la estabilidad de los precios de la energía eléctrica en México, hacen de esta opción un área interesante de atracción de inversiones para el sector público, privado o mixto. Lo anterior se traduce que, bajo el actual esquema de la reforma energética, ésta es un área de oportunidad para los diferentes tipo de inversionistas en México.



Modificado de. <http://base.energia.gob.mx/prodesen/PRODESEN2016/PRODESEN-2016-2030.pdf>, última consulta: diciembre 2017.



Modificado de. <http://base.energia.gob.mx/prodesen/PRODESEN2016/PRODESEN-2016-2030.pdf> pp 229, última consulta: diciembre 2017

De las medidas analizadas, la de mayor factibilidad es la regulación del tratamiento de residuos sólidos urbanos. No sólo por el contar con el índice costo-beneficio más alto (1.944), sino también por los co-beneficios asociados a esta medida como los son las mejoras en salud pública, el aumento en el suministro de energía eléctrica, la creación de empleos derivados de la inversión, la disminución en la contaminación de suelo y agua, además de tener un impacto positivo en el PIB. La segunda medida con mayor factibilidad es la propuesta para la implementación del fondo de chatarrización para sustitución de vehículos de transporte público pasajeros y de carga de motores diésel a gas natural; que tiene un índice costo-beneficio de 1.612, además que en años anteriores ha demostrado su éxito en la Ciudad de México.



Tabla 25 Análisis Costo Beneficio de las acciones de reducción de emisiones de GEI propuesta

Sector	Tipo de medida (componente principal)	Medida	Costo por ton de CO <sub>2</sub> eq USD	Índice Beneficio-Costo	Toneladas de CO <sub>2</sub> eq evitadas	Factibilidad Social	Co-Beneficios	Incidencia Social de la Inversión
Transporte	Fondos de subsidio	Fondo de chatarrización para sustitución vehículos de carga y pasajeros de motores diésel a gas natural.	0.0130	0.021	154,392	El éxito de programas anteriores de sustitución de vehículos diésel a gas natural, implica la factibilidad de poder realizar el programa.	Reducción del uso de combustibles fósiles (CEPAL, 2013). Disminución de enfermedades y muertes prematuras por enfermedades asociadas a las emisiones por combustibles fósiles en transporte; incremento en la eficiencia de combustible en los motores de combustión interna (Banco Mundial, 2014; IPCC, 2014)).	La inversión necesaria corresponde a la recaudación del impuesto de emisiones de CO <sub>2</sub> a vehículos (impuesto etiquetado). Es una medida redistributiva hacia la sustitución de las unidades de transporte público.
Residuos	Normativo	Regulación de la obligatoriedad del tratamiento y aprovechamiento de residuos	1.3048	1.944	54,772,385	Se requieren montos de inversión elevados, consideraciones técnicas por los pasivos ambientales existentes. Y coordinación de los actores políticos en los niveles que se requiera.	Mejoras en la salud pública, creación de empleos, incremento del suministro de energía eléctrica, impulsar PIB; disminución en la contaminación del aire, suelo y agua; seguridad energética (Banco Mundial, 2014).	Inversión conjunta entre el Ciudad de México de la Ciudad de México y Organismos de Cooperación Internacional. Beneficios directos a obreros y personas ocupadas en la recolección de residuos independientes (pepenadores).

Vivienda	Tecnológica	Sustitución de WC de 10 litros, por WC de 4 litros a través de financiamiento del equipo ahorrador de WC, condicional a la instalación de medidores.	0.0050	1.03	913,070	Las intervenciones son atomizadas por lo que los costos de implementación del programa pueden ser superiores a los estimados.	Ahorro energético, ahorro en consumo de agua potable disminución de muertes prematuras por enfermedades asociadas a las emisiones de contaminantes por generación de electricidad; impacto positivo en el PIB; daño evitado en cultivos agrícolas (Banco Mundial, 2014; IPCC, 2014)	Inversión privada atomizada y subsidios del Ciudad de México de la Ciudad de México. Se considera una medida regresiva de bajo impacto, ya que se necesita inversión dirigida a los sectores poblacionales de ingresos más bajos, disminuyen el consumo de agua potable a futuro, por lo tanto disminuyendo su gasto familiar en este concepto.
Transporte	Fiscal	Impuesto a vehículos por emisiones de CO <sub>2</sub>	0.0144	0.206	3,384,890	Bajo el actual esquema de pacto fiscal existente a nivel Federal y local, nuevos impuestos no son factibles de aplicarse en el corto y mediano plazo.	Mejoras en la salud pública y en la calidad del aire (Banco Mundial, 2014; IPCC, 2014).	La inversión necesaria proviene de los agentes privados, al pagar el impuesto de emisiones. Es una medida regresiva ya que afecta a los vehículos de menor tamaño, empleados por familias de ingresos medios y bajos.
Energía	Económica	Compra en bloque de energía a plantas hidroeléctricas, cambio tecnológico de quema de combustóleo a ciclos combinados	0.0165	0.012	2,044,094	Bajo la Reforma Energética, la opción de ingreso de nuevos oferentes al sector de generación en México, incluyendo inversión del GDF, hace de esta opción la más factible en términos económicos y políticos.	Ahorro energético, disminución de muertes prematuras por emisiones de contaminantes por generación de electricidad; impacto positivo en el PIB; daño evitado en cultivos agrícolas; creación de empleos. (Banco Mundial, 2014; IPCC, 2014)	La inversión es privada o asociada con inversión pública. La medida al disminuir los costos de generación de energía eléctrica, tiene como efecto un incremento en la demanda en el largo plazo, por lo tanto la medida es de carácter progresivo.

**Bibliografía.**

- Alexander, A., Burklin, C., Singleton, A. (2005). LANDFILL GAS EMISSIONS MODEL. (LandGEM) VERSION 3.02 USER'S GUIDE. Washington , DC: United States Environmental Protection Agency (EPA)
- Banco Mundial, indicadores de Cambio Climático:
- Castells, M. (2004), Local y Global: la gestión de las ciudades en la era de la información. 7ª edición, Madrid: United Nations for Human Settlements (Habitat).
- Castro, C., Loría, E., & Mendoza, M. Á. (1997). Eudoxio: modelo macroeconómico de la economía mexicana. México: Facultad de Economía, UNAM.
- Charemza, W. W., & Deadman, D. F. (1997). New Directions in Econometric Practice. Londres: Edward Elgar.
- Climate Change 2014:Impacts, Adaptation, and Vulnerability, IPCC Working Group II Contribution to AR5, IPCC 2014
- Climate-Smart Development Adding up the benefits of actions that help build prosperity, end poverty and combat climate change, World Bank, 2014.
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), 2011 Estudio integral de sistemas de bombeo de agua potable municipal.
- Cuthberson, K., Hall, S. G., & Taylor, M. (1992). Applied Econometric Techniques. The University of Michigan Press.
- Dalkmann, H and C., Brannigan (2007) Transport and Climate Change, Sourcebook Module 5e, GTZ, Eschborn.
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1981). Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Econometrica* 49, 1057-1072.
- El estado de los Mercados Voluntarios de Carbón 2013, Forest Trends' Ecosystem Marketplace y Bloomberg New Energy Finance
- Encuesta Nacional de Ingreso Gasto de los Hogares (ENIGH), 2008, 2010, 2012. Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI).
- Engle, R. F., & Granger, C. W. (1987). Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. *Econometrica*, Vol. 55, No. 2, 251-276.
- Estadísticas del agua en México edición 2012, Comisión Nacional del Agua.
- Estadísticas del agua en México edición 2010, Comisión Nacional del Agua.
- Estadísticas del agua en México edición 2008, Comisión Nacional del Agua.
- Greene, W. H. (1999). Análisis Económico. Madrid: Prentice Hall.
- Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2010, Secretaría del Medio Ambiente dLa Ciudad de México.
- Informe sobre Desarrollo Humano 2010 (2010), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Naciones Unidas.
- Inventario de Residuos Sólidos dLa Ciudad de México 2012, Secretaría del Medio Ambiente dLa Ciudad de México.

- Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors,. *Journal of Economic Dynamics and Control*, Elsevier, vol. 12(2-3),, 231-254.
- Landfill Gas Emissions Model (LandGEM), (2014), United States Environmental Protection Agency.
- Maddala , G. S., & Kim, I. (1998). *Unit Roots, Cointegration, and Structural Change*. Cambridge University Press.
- Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, (2012). Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Manual explicativo de vivienda ecológica, 2014. Instituto del Fondo Nacional de Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT).
- Maravall, A. (1988). A Note on Minimum Mean Squared Error Estimation of Signals with Unit Roots. *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 12.
- Maravall, A., & Planas, C. (1998). Signal Extraction in Non-Invertible Models. Documento del Grupo de Trabajo en Ajuste Estacional, Eurostat.
- Measuring, Reporting and Verifying Climate Finance International state of play and future perspectives (2014), Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Eschborn.
- Mendoza G., M. Á. (2003). El análisis de multiplicadores en los Modelos de Corrección de Error: Una nota metodológica. México: Working paper, Facultad de Economía, UNAM.
- Plataforma Regional para la Reducción del Riesgo de Desastres en las Américas (EIRD), 2012 Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR).
- Phillips, P. C., & Perron, P. (1988). Testing for a Unit Root in Time Series Regression. *Biometrika* 75, 335–346.
- Ruist, E. (2000). Temporal Aggregation of an Econometric Equation. Working Paper, Stockholm School of Economics.
- INIFED (2015). Normas técnicas y especificaciones para estudios Sanitarios. [http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/normateca/INIFED/03\\_Normatividad\\_T%C3%A9cnica/02\\_Normas\\_y\\_Especificaciones\\_para\\_Estudios/05\\_Volumen\\_5\\_Instalaciones\\_de\\_Servicio/Volumen\\_5\\_Tomo\\_II.pdf](http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/normateca/INIFED/03_Normatividad_T%C3%A9cnica/02_Normas_y_Especificaciones_para_Estudios/05_Volumen_5_Instalaciones_de_Servicio/Volumen_5_Tomo_II.pdf)
- Samaniego, J.L., Montero, L, Ruiz-Tagle, M.T., (2015), *Sendas de desarrollo bajas en carbono en ciudades metropolitanas en América Latina CEPAL*, Documentos de Proyectos. Santiago de Chile.
- Secretaría del Medio Ambiente de La Ciudad de México (2014). Programa de Acción Climática Ciudad de México 2014-2020, Ciudad de México.
- Samaniego, J. y Jordán R. (2013). Estrategias de desarrollo bajo en carbono en megaciudades de América Latina. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas.
- Sistema de Información Energética (SIE), 2014. Secretaría de Energía (SENER).
- Spanos, A. (1986). *Statistical foundations of econometric modelling*. Cambridge University Press.
- Varian, H. (1997). *Microeconomía intermedia. Un enfoque actual*. Antoni Bosh editores.
- Villarreal, F. (2005). Elementos teóricos del ajuste estacional de series económicas usando X12-ARIMA y TRAMO/SEATS. *Estudios estadísticos y prospectivos* 38.

## Anexo de Estimaciones.

En este anexo, se presentan los cálculos realizados para cada una de las medidas descritas en el informe anterior. Se incluyen los supuestos empleados, las estimaciones de emisiones de CO<sub>2</sub>eq y los costos y beneficios para cada una de ellas.

Estimación: Impuesto a emisiones de CO<sub>2</sub>eq de vehículos.

Para la estimación de esta medida, con información del modelo econométrico desarrollado; éste arroja con información del GDF, la cantidad de 304,344 vehículos que tienen un motor mayor a 2.5 litros de cilindrada o que emiten más de 258 gCO<sub>2</sub>/km. De igual forma, se estimó con el modelo econométrico la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> en toneladas de CO<sub>2</sub> por año para los vehículos; el promedio estimado fue de 3.65 toneladas de CO<sub>2</sub> por vehículo al año. Con los datos anteriores, se realizó la estimación de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>:

*Toneladas de CO<sub>2</sub> total = total de vehículos \* toneladas de CO<sub>2</sub> promedio emitidas por año*

### Sustituyendo con los datos del modelo:

Con la estimación de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> anuales de los vehículos emisores, se calculó el valor en USD, tomando el valor por tonelada de CO<sub>2</sub> de \$3.5 USD en el mercado voluntario.

La estimación del cobro promedio del impuesto por vehículo, se realizó considerando las emisiones de CO<sub>2</sub> en toneladas por vehículo promedio, multiplicándolo por \$3.5 USD, el precio por tonelada de CO<sub>2</sub> en el mercado voluntario:

Sustitución de parque vehicular.

*vehículos sustituidos por año = total de vehículos \* factor GDF) / 10 años*

WLa estimación para la sustitución del parque vehicular, se realizó con base en el número de total de vehículos que tienen un motor mayor a 2.5 litros o emiten más de 258 gCO<sub>2</sub>/km y tomando el factor de 0.18 correspondiente a la proporción de vehículos que el GDF ha empleado en los programas de sustitución de parque vehicular. El programa de sustitución contempla su acción en un plazo de 10 años para la proporción de autos considerada para el programa.

$$\text{Cobro en USD impuesto CO}_2 = \text{tons CO}_2 \text{ promedio por vehículo} * \text{valor ton de CO}_2$$

La inversión necesaria por año para la sustitución del parque vehicular se estimó con base en el precio promedio de un vehículo con motor de 2.2 litros de cilindrada, dicho precio es de \$180,000 pesos: Para fines prácticos, se tomó el precio en USD, dividiendo el precio en pesos entre el tipo de cambio promedio peso-dólar (\$13.00 pesos por dólar). La estimación de la inversión necesaria anual para la sustitución del parque vehicular es:

$$\text{inversión anual para sustitución} = \text{costo por sustitución modelo 2 2lts} * \text{autos sustituidos por año}$$

El índice costo/beneficio se calculó utilizando el valor en USD de CO<sub>2</sub> total y dividiéndolo entre el monto de inversión anual para sustitución:

$$\text{Costo - beneficio} = \frac{\text{Valor en USD de CO}_2}{\text{Inversión anual para sustitución}}$$

Tabla 26 Automóviles sujetos al impuesto por emisiones de CO<sub>2</sub>

Año	Automóviles	Factor	Automóviles sujetos a impuesto	Emisiones CO <sub>2</sub> eq	Beneficio USD
1	57,549	1	57,549	209,836	734427.11
2	57,549	0.95	54,671	199,345	697705.755
3	57,549	0.9025	51,938	189,377	662820.467
4	57,549	0.857375	49,341	179,908	629679.444
5	57,549	0.81450625	46,874	170,913	598195.471
6	57,549	0.77378094	44,530	162,367	568285.698
7	57,549	0.77378094	44,530	162,367	568285.698
8	57,549	0.77378094	44,530	162,367	568285.698
9	57,549	0.77378094	44,530	162,367	568285.698
10	57,549	0.77378094	44,530	162,367	568285.698
11	57,549	0.77378094	44,530	162,367	568285.698
12	57,549	0.77378094	44,530	162,367	568285.698
13	57,549	0.77378094	44,530	162,367	568285.698
14	57,549	0.77378094	44,530	162,367	568285.698
15	57,549	0.77378094	44,530	162,367	568285.698
16	57,549	0.77378094	44,530	162,367	568285.698
17	57,549	0.77378094	44,530	162,367	568285.698
18	57,549	0.77378094	44,530	162,367	568285.698
19	57,549	0.77378094	44,530	162,367	568285.698
20	57,549	0.77378094	44,530	162,367	568285.698
<b>TOTAL AUTOS</b>	<b>1,150,977</b>		<b>928,326</b>	<b>3,384,890</b>	<b>11,847,114</b>

| Tabla 27 Estadística descriptiva del parque vehicular analizado.

Propuesta: Impuesto a vehículos por emisiones de CO <sub>2</sub> y sustitución de parque vehicular					
Estadística Descriptiva del Parque Vehicular					
Concepto	Media	Mediana	Moda	Max	Min
Potencia	249	211	170	700	60
Tamaño	3	2.5	2	8.4	1
CO <sub>2</sub> (g/km)	275	258	257	627	119

Tabla 10 Impuesto a vehículos por emisiones de CO<sub>2</sub>eq, emisiones totales y pago en USD.

Propuesta: Impuesto a vehículos por emisiones de CO <sub>2</sub> y sustitución de parque vehicular					
IMPACTO DE LA MEDIDA					
Parque vehicular en el DF de vehículos de más de 2.5l por motor o 258 grCO <sub>2</sub> /km de contaminación	Tons CO <sub>2</sub> emitidas al año por vehículo promedio	Reducción de emisiones en Tons CO <sub>2</sub> total	Pago en pesos	Recaudación generada por la medida en USD	Cobro promedio pesos
230,195	3.65	825,593	37,564,494	2,889,576	165.9

**Fuente:** elaboración propia con base en datos de SENER (Sistema de Información Energética. SIE), Ciudad de México.

Tabla 11 Impuesto a vehículos por emisiones de CO<sub>2</sub>eq, Índice Costo-Beneficio

Propuesta: Impuesto a vehículos por emisiones de CO <sub>2</sub> y sustitución de parque vehicular				
Total de autos sustituidos por año	Costo por sustitución modelo 2.2 litros USD	Inversión anual por sustitución	Índice Costo-beneficio	Costo por tonelada de CO <sub>2</sub>
4,144	13,846.2	57,371,792	0.050365	0.0144

Nota: los cálculos se amplían en anexos

**Fuente:** elaboración propia con base en datos de SENER (Sistema de Información Energética. SIE), Ciudad de México.

## Estimación: Chatarrización de vehículos de carga y pasajeros con motor diésel

La estimación de este programa, se llevó a cabo con base en información en primer término de la propuesta de impuesto a emisiones de CO<sub>2</sub> a vehículos. Ya que monto de dinero para el programa de chatarrización, estaría dado por el monto en USD del valor de CO<sub>2</sub> total del impuesto a emisiones de CO<sub>2</sub>. Dicho monto es de \$4,818,392 USD (costo económico) y se considera un costo promedio por vehículo (enganche) para sustitución de \$3,750 USD. El número de vehículos beneficiados se estimó de la siguiente forma:

$$vehículos\ beneficiados = \frac{Valor\ en\ USD\ de\ CO_2}{Costo\ promedio\ por\ vehículo\ para\ sustitución}$$

El beneficio anual en USD por emisiones de CO<sub>2</sub>eq, se estimó de la siguiente forma:

$$beneficio\ anual\ por\ emisiones\ de\ CO_2 = (emisiones\ evitadas\ por\ vehículo * vehículos\ beneficiados) * \$3.5$$

El índice costo/beneficio se calculó utilizando el valor en USD del beneficio a veinte años por emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas y dividiéndolo entre el monto del costo económico del fondo.

$$Costo - beneficio = \frac{beneficio\ en\ USD\ de\ CO_2\ evitadas}{costo\ económico\ del\ fondo}$$

Tabla 28 Número de autos sustituidos por año por fondo de chatarrización

Propuesta:				
Programa de chatarrización para vehículos de carga y pasajeros motores diésel.				
Año	Número de autos sustituidos por año	Emisiones evitadas CO2eq	Costo económico social	Beneficio por CO2eq evitado
1	196	9,571	734,427	33,499
2	186	9,093	697,706	31,824
3	177	8,638	662,820	30,233
4	168	8,206	629,679	28,721
5	160	7,796	598,195	27,285
6	152	7,406	568,286	25,921
7	152	7,406	568,286	25,921
8	152	7,406	568,286	25,921
9	152	7,406	568,286	25,921
10	152	7,406	568,286	25,921
11	152	7,406	568,286	25,921
12	152	7,406	568,286	25,921
13	152	7,406	568,286	25,921
14	152	7,406	568,286	25,921
15	152	7,406	568,286	25,921
16	152	7,406	568,286	25,921
17	152	7,406	568,286	25,921
18	152	7,406	568,286	25,921
19	152	7,406	568,286	25,921
20	152	7,406	568,286	25,921
<b>Total</b>	<b>3,159</b>	<b>154,392</b>	<b>11,847,114</b>	<b>540,371</b>

### Estimación: Programa de compra de energía en bloque a plantas hidroeléctricas.

Para la estimación de este programa, se utilizó como factor de potencia instalado para las plantas de generación 270,000 MWh/año. Esta potencia, corresponde al consumo de energía eléctrica del sistema de alumbrado público de La Ciudad de México.

$$factor\ de\ potencia\ instalado = 270,000\ MWh / año$$

La estimación del costo de inversión total en USD para cada tecnología, se realizó de la siguiente forma:

$$Costo\ de\ inversión\ total\ en\ USD_a = costo\ de\ inversión\ por\ MW\ instalado_a * factor\ de\ potencia\ instalado$$

Las emisiones anuales en toneladas de CO2eq se estimaron con el factor de emisión de CO2eq/MWh correspondientes por tipo de tecnología y con base en la Agencia Internacional de Energía y el Centro de Políticas de Aire Limpio (*Center for Clean Air Policy*). Para la planta de energía termoeléctrica de combustible pesado y la planta de gas ciclo combinado, además se considera el incremento en el consumo de energía en el largo plazo de 8 por ciento debido al cambio en la matriz energética de combustóleo a gas natural.

La estimación de las emisiones anuales de CO2eq es:

$$toneladas\ anuales\ de\ CO_{2,eq} = factor\ de\ emisión * factor\ de\ potencia\ instalado$$

Para las plantas de combustóleo ligero y gas natural, el cálculo es:

$$toneladas\ anuales\ de\ CO_{2,eq} = (factor\ de\ emisión * factor\ de\ potencia\ instalado) * 1.08$$

Las emisiones de CO2eq evitadas al año, se estimó:

$$emisiones\ evitadas\ de\ CO_{2,eq}\ año = (toneladas\ anuales\ de\ CO_{2,eq\ tecnologíaA} - toneladas\ anuales\ de\ CO_{2,eq\ combustible\ pesado})$$

La disminución de CO<sub>2</sub>eq/año en términos porcentuales se calculó de la siguiente forma:

$$\% \text{disminución de CO}_2\text{eq / año} = \frac{\left( \text{toneladas anuales de CO}_2\text{eq}_{\text{tecnología A}} - \text{toneladas anuales de CO}_2\text{eq}_{\text{combustible pesado}} \right)}{\text{toneladas anuales de CO}_2\text{eq}_{\text{combustible pesado}}}$$

El beneficio por emisiones evitadas de CO<sub>2</sub>eq en USD, en un horizonte de 20 años (vida útil de la planta de generación) y con un valor por tonelada de CO<sub>2</sub>eq en el mercado voluntario de \$3.5 USD, se estimó de la siguiente forma:

$$\text{beneficio por emisiones evitadas de CO}_2\text{eq / año USD} = (\text{emisiones evitadas} * \$3.5\text{USD}) * 20 \text{ años}$$

La estimación del costo por tonelada de CO<sub>2</sub>eq en USD, se realizó de la siguiente forma:

$$\text{costo por tonelada de CO}_2\text{eq USD} = \frac{(\text{toneladas anuales de CO}_2\text{eq} * 20 \text{ años})}{\text{Costo de inversión total en USD}}$$

El índice costo/beneficio se calculó utilizando el valor en USD del beneficio a veinte años por emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas y dividiéndolo entre el monto del costo económico del fondo.

$$\text{Costo - beneficio} = \frac{\text{beneficio por emisiones evitadas de CO}_2\text{ en USD}}{\text{costo de inversión total en USD}}$$

## Estimación: Programa de Regulación de la obligatoriedad del tratamiento y aprovechamiento de residuos

El programa de regulación de la obligatoriedad del tratamiento y aprovechamiento de residuos, se estimó en primer término los costos por manejo de residuos con base en información del Colegio de la Frontera Norte (2010) y con datos de generación de residuos sólidos para La Ciudad de México (SMADF, 2012). El costo anual por manejo de residuos se estimó:

$$\text{Costo anual USD} = \sum \{ (C_{rec} * ton_{resid}) + (C_{tranf} * ton_{resid}) + (C_{disp} * ton_{resid}) \}$$

Dónde:

C<sub>rec</sub>: es el costo de recolección por tonelada de residuos en dólares.

C<sub>tranf</sub>: es el costo de transferencia por tonelada de residuos en dólares

C<sub>disp</sub>: es el costo de disposición final por tonelada de residuos en dólares.

La estimación de las emisiones anuales de metano, se estimó con base en el modelo de emisiones anuales de metano generadas (metros cúbicos) por un relleno sanitario:

$$QCH_4 = (L_0)(R)(e^{-kc} - e^{-kt})$$

Dónde:

QCH<sub>4</sub>: es la tasa de generación de metano.

L<sub>0</sub>: es el potencial de generación de metano por desperdicios

R: es la tasa promedio anual de aceptación de desperdicios.

e: base de logaritmo natural.

K: es la tasa de generación del año n-1

C: es el tiempo transcurrido desde el cierre del relleno.

T: es el tiempo transcurrido desde la colocación inicial de desperdicios.



La conversión de las emisiones de metano en metros cúbicos a toneladas, se empleó un factor de 1,400, que corresponde al número de metros cúbicos de CH<sub>4</sub> en una tonelada de metano.

$$CH_4 \text{ ton anuales} = \frac{CH_4 \text{ m}^3 \text{ anual}}{1,400}$$

Las emisiones anuales en toneladas de CO<sub>2</sub>eq se estimaron con base en las emisiones anuales de CH<sub>4</sub> en toneladas, se empleó un factor de 21, que corresponde al factor de equivalencia entre metano y el CO<sub>2</sub>eq:

$$CO_2eq \text{ ton anuales} = CH_4 \text{ ton anuales} * 21$$

## Generación de biogás a partir de residuos sólidos.

La propuesta de generación de biogás a partir de residuos sólidos, se estimó con base en información del Proyecto Monterrey (PM). El PM tiene una capacidad bruta generación de 12.72 MW/año con una inversión de \$21,835,750 USD, con un consumo de 67,837 toneladas de CH<sub>4</sub> al año. El costo por MW/año es \$1,716,647 USD.

El factor energético de metano por MW se calculó:

$$CH_4 / MW = \frac{\text{capacidad de generación MW año}}{\text{consumo de toneladas de CH}_4}$$

El valor del factor energético es de 0.000187.

Las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub>eq, se estimaron con la fórmula de "CO<sub>2</sub>eq ton anuales".

$$CO_2eq \text{ ton anuales} = CH_4 \text{ ton anuales} * 21$$

Para la planta de biogás para la Ciudad de México, se estimaron tanto la inversión y el costo por MW/año con base en el PM. Por lo cual, el factor energético permanece constante.

El consumo de CH<sub>4</sub> en toneladas anuales para la planta de biogás de la Ciudad de México, corresponde a las emisiones anuales en toneladas de CH<sub>4</sub> por manejo de residuos sólidos. Con el consumo anterior y el factor energético de metano por MW se estimó la capacidad de generación bruta necesaria para la planta de biogás del D.F.

$$\text{Capacidad generación MW / año} = CH_4 \text{ ton anuales} * CH_4 / MW$$

$$\text{Capacidad generación MW / año} = 130,410 * 0.000187$$

$$\text{Capacidad generación MW / año} = 24.45$$

Para determinar la inversión necesaria para la planta de biogás de la Ciudad de México, se consideró un costo por MW/año de \$1,716,647 USD y una capacidad de generación bruta de 24.45 MW/año:

$$\text{Costo planta USD} = \text{Capacidad generación MW / año} * \text{costo por MW año}$$

$$\text{Costo planta USD} = 24.45 \text{ MW / año} * \$1,716,647 \text{ MW año}$$

$$\text{Costo planta USD} = \$41,977,050$$

Tabla 28 Número de autos sustituidos por año por fondo de chatarrización

<b>Propuesta:</b>				
<b>Programa de chatarrización para vehículos de carga y pasajeros motores diésel.</b>				
<b>Año</b>	<b>Número de autos sustituidos por año</b>	<b>Emisiones evitadas CO<sub>2</sub>eq</b>	<b>Costo económico social</b>	<b>Beneficio por CO<sub>2</sub>eq evitado</b>
1	196	9,571	734,427	33,499
2	186	9,093	697,706	31,824
3	177	8,638	662,820	30,233
4	168	8,206	629,679	28,721
5	160	7,796	598,195	27,285
6	152	7,406	568,286	25,921
7	152	7,406	568,286	25,921
8	152	7,406	568,286	25,921
9	152	7,406	568,286	25,921
10	152	7,406	568,286	25,921
11	152	7,406	568,286	25,921
12	152	7,406	568,286	25,921
13	152	7,406	568,286	25,921
14	152	7,406	568,286	25,921
15	152	7,406	568,286	25,921
16	152	7,406	568,286	25,921
17	152	7,406	568,286	25,921
18	152	7,406	568,286	25,921
19	152	7,406	568,286	25,921
20	152	7,406	568,286	25,921
<b>Total</b>	<b>3,159</b>	<b>154,392</b>	<b>11,847,114</b>	<b>540,371</b>

Tabla 29. Pozos SACM Ahorro en litros por vivienda.

Vivienda: Sustitución de WC de litros por WC de 4 litros

Entidad Federativa	Municipio	1 ocup	2 ocup	3 ocup	4 ocup	5 ocup	6 ocup	7 ocup	8 ocup	9o mas ocup	Ahorro lts diarios
Ciudad de México	Azcapotzalco	173,735	597,865	1,026,236	1,478,696	1,010,186	557,338	271,171	163,992	235,883	5,515,102
Ciudad de México	Coyoacán	272,474	974,219	1,596,589	2,247,482	1,471,932	758,835	339,764	187,055	276,549	8,124,898
Ciudad de México	Cuajimalpa de Morelos	53,527	192,016	361,954	631,295	516,839	324,823	170,464	89,702	129,979	2,470,600
Ciudad de México	Gustavo A. Madero	424,352	1,539,569	2,784,779	4,194,091	3,112,055	1,750,185	834,663	486,874	675,467	15,802,035
Ciudad de México	Iztacalco	143,922	499,653	882,120	1,318,918	957,310	569,979	267,678	168,205	292,391	5,100,175
Ciudad de México	Iztapalapa	477,519	1,900,428	3,862,865	6,329,418	4,915,934	2,875,506	1,514,870	903,228	1,414,427	24,194,196
Ciudad de México	La Magdalena Contreras	78,295	272,044	519,168	885,931	670,755	362,328	178,614	107,775	155,301	3,230,212
Ciudad de México	Milpa Alta	25,239	107,969	233,056	448,898	407,415	238,752	122,536	71,518	93,306	1,748,688
Ciudad de México	Álvaro Obregón	272,058	940,179	1,660,539	2,584,114	1,906,859	1,056,215	509,743	304,587	493,471	9,727,766
Ciudad de México	Tláhuac	85,960	346,056	730,519	1,326,513	1,073,804	588,108	283,978	171,753	256,964	4,863,654
Ciudad de México	Tlalpan	213,735	798,918	1,472,389	2,413,081	1,692,930	912,182	440,568	256,798	377,214	8,577,815
Ciudad de México	Xochimilco	99,889	393,319	812,598	1,459,125	1,141,094	659,376	349,175	217,325	332,557	5,464,457
Ciudad de México	Benito Juárez	397,255	1,063,755	1,188,356	1,212,972	581,288	253,971	94,789	46,459	60,748	4,899,593
Ciudad de México	Cuauhtémoc	441,760	1,131,946	1,424,198	1,682,604	1,055,647	581,455	268,842	147,360	199,709	6,933,520
Ciudad de México	Miguel Hidalgo	269,688	758,863	974,303	1,195,564	745,252	401,912	177,159	104,005	128,981	4,755,726
Ciudad de México	Venustiano Carranza	198,988	630,796	1,070,727	1,453,692	1,027,927	600,166	285,627	175,523	250,228	5,693,674
<b>Total</b>		<b>3,628,396</b>	<b>12,147,597</b>	<b>20,600,395</b>	<b>30,862,395</b>	<b>22,287,227</b>	<b>12,491,131</b>	<b>6,109,640</b>	<b>3,602,159</b>	<b>5,373,176</b>	<b>117,102,114</b>

Tabla 30 Pozos SACM Ahorro energético kWh

Entidad Federativa	Municipio	1 ocup	2 ocup	3 ocup	4 ocup	5 ocup	6 ocup	7 ocup	8 ocup	9o mas ocup	Ahorro kwh diario
Ciudad de México	Azcapotzalco	92.95	319.86	549.04	791.10	540.45	298.18	145.08	87.74	126.20	<b>2,950.58</b>
Ciudad de México	Coyoacán	145.77	521.21	854.18	1,202.40	787.48	405.98	181.77	100.07	147.95	<b>4,346.82</b>
Ciudad de México	Cuajimalpa de Morelos	28.64	102.73	193.65	337.74	276.51	173.78	91.20	47.99	69.54	<b>1,321.77</b>
Ciudad de México	Gustavo A. Madero	227.03	823.67	1,489.86	2,243.84	1,664.95	936.35	446.54	260.48	361.37	<b>8,454.09</b>
Ciudad de México	Iztacalco	77.00	267.31	471.93	705.62	512.16	304.94	143.21	89.99	156.43	<b>2,728.59</b>
Ciudad de México	Iztapalapa	255.47	1,016.73	2,066.63	3,386.24	2,630.02	1,538.40	810.46	483.23	756.72	<b>12,943.89</b>
Ciudad de México	La Magdalena Contreras	41.89	145.54	277.75	473.97	358.85	193.85	95.56	57.66	83.09	<b>1,728.16</b>
Ciudad de México	Milpa Alta	13.50	57.76	124.68	240.16	217.97	127.73	65.56	38.26	49.92	<b>935.55</b>
Ciudad de México	Álvaro Obregón	145.55	503.00	888.39	1,382.50	1,020.17	565.08	272.71	162.95	264.01	<b>5,204.35</b>
Ciudad de México	Tláhuac	45.99	185.14	390.83	709.68	574.48	314.64	151.93	91.89	137.48	<b>2,602.05</b>
Ciudad de México	Tlalpan	114.35	427.42	787.73	1,291.00	905.72	488.02	235.70	137.39	201.81	<b>4,589.13</b>
Ciudad de México	Xochimilco	53.44	210.43	434.74	780.63	610.49	352.77	186.81	116.27	177.92	<b>2,923.48</b>
Ciudad de México	Benito Juárez	212.53	569.11	635.77	648.94	310.99	135.87	50.71	24.86	32.50	<b>2,621.28</b>
Ciudad de México	Cuauhtémoc	236.34	605.59	761.95	900.19	564.77	311.08	143.83	78.84	106.84	<b>3,709.43</b>
Ciudad de México	Miguel Hidalgo	144.28	405.99	521.25	639.63	398.71	215.02	94.78	55.64	69.00	<b>2,544.31</b>
Ciudad de México	Venustiano Carranza	106.46	337.48	572.84	777.73	549.94	321.09	152.81	93.90	133.87	<b>3,046.12</b>
<b>Total</b>		<b>1,941.19</b>	<b>6,498.96</b>	<b>11,021.21</b>	<b>16,511.38</b>	<b>11,923.67</b>	<b>6,682.76</b>	<b>3,268.66</b>	<b>1,927.15</b>	<b>2,874.65</b>	<b>62,649.63</b>

Tabla 31 Pozos SACM, Ahorro en pesos

Entidad Federativa	Municipio	1 ocup	2 ocup	3 ocup	4 ocup	5 ocup	6 ocup	7 ocup	8 ocup	9o mas ocup	Ahorro pesos diario
Ciudad de México	Azcapotzalco	335.30	510.96	688.37	875.77	681.73	494.17	375.65	331.26	361.04	<b>2,547.52</b>
Ciudad de México	Coyoacán	376.19	666.83	924.60	1,194.17	872.97	577.62	404.06	340.81	377.88	<b>3,628.41</b>
Ciudad de México	Cuajimalpa de Morelos	285.51	342.87	413.25	524.80	477.40	397.87	333.94	300.49	317.17	<b>1,286.58</b>
Ciudad de México	Gustavo A. Madero	439.09	900.98	1,416.71	2,000.40	1,552.25	988.21	609.03	464.99	543.10	<b>6,808.03</b>
Ciudad de México	Iztacalco	322.95	470.28	628.69	809.59	659.83	499.41	374.20	333.01	384.44	<b>2,375.67</b>
Ciudad de México	Iztapalapa	461.11	1,050.44	1,863.21	2,884.78	2,299.36	1,454.28	890.75	637.43	849.15	<b>10,283.79</b>
Ciudad de México	La Magdalena Contreras	295.77	376.01	478.36	630.26	541.14	413.40	337.32	307.98	327.66	<b>1,601.19</b>
Ciudad de México	Milpa Alta	273.79	308.06	359.86	449.26	432.08	362.22	314.09	292.96	301.98	<b>987.59</b>
Ciudad de México	Álvaro Obregón	376.02	652.73	951.08	1,333.60	1,053.10	700.79	474.46	389.49	467.72	<b>4,292.27</b>
Ciudad de México	Tláhuac	298.94	406.67	565.90	812.74	708.07	506.92	380.95	334.47	369.77	<b>2,277.71</b>
Ciudad de México	Tlalpan	351.86	594.23	873.16	1,262.76	964.50	641.14	445.81	369.70	419.57	<b>3,815.99</b>
Ciudad de México	Xochimilco	304.71	426.24	599.89	867.66	735.94	536.43	407.96	353.35	401.07	<b>2,526.54</b>
Ciudad de México	Benito Juárez	427.87	703.91	755.52	765.71	504.09	368.53	302.60	282.58	288.50	<b>2,292.59</b>
Ciudad de México	Cuauhtémoc	446.30	732.16	853.20	960.22	700.55	504.16	374.69	324.37	346.05	<b>3,134.98</b>
Ciudad de México	Miguel Hidalgo	375.04	577.64	666.86	758.50	572.00	429.80	336.71	306.42	316.76	<b>2,233.01</b>
Ciudad de México	Venustiano Carranza	345.75	524.60	706.80	865.41	689.07	511.91	381.64	336.04	366.98	<b>2,621.48</b>
<b>Total</b>		<b>1,766.10</b>	<b>5,294.48</b>	<b>8,795.36</b>	<b>13,045.54</b>	<b>9,493.99</b>	<b>5,436.76</b>	<b>2,793.75</b>	<b>1,755.24</b>	<b>2,488.74</b>	<b>48,763.24</b>

Tabla 32 Sistema Cutzamala, Ahorro en litros.

Entidad Federativa	Municipio	1 ocup	2 ocup	3 ocup	4 ocup	5 ocup	6 ocup	7 ocup	8 ocup	9o mas ocup	Ahorro lts diarios
Ciudad de México	Azcapotzalco	40,613	139,761	239,899	345,669	236,147	130,287	63,391	38,336	55,142	1,289,245
Ciudad de México	Coyoacán	63,695	227,740	373,229	525,385	344,088	177,390	79,425	43,727	64,648	1,899,327
Ciudad de México	Cuajimalpa de Morelos	12,513	44,887	84,613	147,576	120,820	75,933	39,849	20,969	30,385	577,543
Ciudad de México	Gustavo A. Madero	99,199	359,899	650,987	980,437	727,493	409,134	195,116	113,815	157,901	3,693,982
Ciudad de México	Iztacalco	33,644	116,802	206,210	308,318	223,787	133,242	62,574	39,321	68,351	1,192,249
Ciudad de México	Iztapalapa	111,628	444,256	903,007	1,479,604	1,149,179	672,196	354,126	211,144	330,645	5,655,786
Ciudad de México	La Magdalena Contreras	18,303	63,595	121,364	207,101	156,800	84,700	41,754	25,194	36,304	755,114
Ciudad de México	Milpa Alta	5,900	25,240	54,481	104,937	95,240	55,812	28,645	16,718	21,812	408,784
Ciudad de México	Álvaro Obregón	63,598	219,782	388,178	604,079	445,759	246,907	119,161	71,202	115,357	2,274,023
Ciudad de México	Tláhuac	20,094	80,896	170,771	310,094	251,019	137,480	66,384	40,150	60,070	1,136,958
Ciudad de México	Tlalpan	49,964	186,760	344,195	564,097	395,750	213,237	102,990	60,031	88,180	2,005,204
Ciudad de México	Xochimilco	23,351	91,945	189,958	341,094	266,749	154,140	81,625	50,803	77,741	1,277,406
Ciudad de México	Benito Juárez	92,865	248,670	277,798	283,552	135,886	59,370	22,158	10,860	14,201	1,145,359
Ciudad de México	Cuauhtémoc	103,269	264,611	332,929	393,336	246,775	135,924	62,846	34,448	46,685	1,620,823
Ciudad de México	Miguel Hidalgo	63,044	177,396	227,759	279,482	174,215	93,954	41,414	24,313	30,151	1,111,728
Ciudad de México	Venustiano Carranza	46,517	147,459	250,300	339,824	240,295	140,298	66,770	41,031	58,495	1,330,989
<b>Total</b>		<b>848,196</b>	<b>2,839,698</b>	<b>4,815,677</b>	<b>7,214,586</b>	<b>5,210,001</b>	<b>2,920,005</b>	<b>1,428,228</b>	<b>842,063</b>	<b>1,256,067</b>	<b>27,374,520</b>

Tabla 33 Sistema Cutzamala, Ahorro en kWh..

Entidad Federativa	Municipio	1 ocup	2 ocup	3 ocup	4 ocup	5 ocup	6 ocup	7 ocup	8 ocup	9o mas ocup	Ahorro kWh diarios
Ciudad de México	Azcapotzalco	184.43	634.68	1,089.43	1,569.75	1,072.39	591.66	287.87	174.09	250.41	<b>5,854.72</b>
Ciudad de México	Coyoacán	289.25	1,034.21	1,694.91	2,385.88	1,562.57	805.56	360.69	198.57	293.58	<b>8,625.22</b>
Ciudad de México	Cuajimalpa de Morelos	56.82	203.84	384.24	670.17	548.67	344.83	180.96	95.23	137.98	<b>2,622.74</b>
Ciudad de México	Gustavo A. Madero	450.48	1,634.37	2,956.26	4,452.36	3,303.69	1,857.96	886.06	516.86	717.06	<b>16,775.11</b>
Ciudad de México	Iztacalco	152.78	530.42	936.44	1,400.14	1,016.26	605.08	284.16	178.56	310.40	<b>5,414.24</b>
Ciudad de México	Iztapalapa	506.92	2,017.45	4,100.74	6,719.18	5,218.65	3,052.58	1,608.15	958.85	1,501.53	<b>25,684.06</b>
Ciudad de México	La Magdalena Contreras	83.12	288.80	551.14	940.49	712.06	384.64	189.61	114.41	164.86	<b>3,429.13</b>
Ciudad de México	Milpa Alta	26.79	114.62	247.41	476.54	432.50	253.45	130.08	75.92	99.05	<b>1,856.37</b>
Ciudad de México	Álvaro Obregón	288.81	998.07	1,762.79	2,743.24	2,024.28	1,121.26	541.13	323.34	523.86	<b>10,326.79</b>
Ciudad de México	Tláhuac	91.25	367.37	775.50	1,408.20	1,139.93	624.32	301.46	182.33	272.79	<b>5,163.15</b>
Ciudad de México	Tlalpan	226.90	848.11	1,563.06	2,561.68	1,797.18	968.35	467.70	272.61	400.44	<b>9,106.03</b>
Ciudad de México	Xochimilco	106.04	417.54	862.64	1,548.98	1,211.36	699.98	370.68	230.71	353.04	<b>5,800.95</b>
Ciudad de México	Benito Juárez	421.72	1,129.26	1,261.53	1,287.67	617.08	269.61	100.63	49.32	64.49	<b>5,201.31</b>
Ciudad de México	Cuauhtémoc	468.96	1,201.65	1,511.90	1,786.22	1,120.65	617.26	285.40	156.43	212.01	<b>7,360.48</b>
Ciudad de México	Miguel Hidalgo	286.30	805.59	1,034.30	1,269.19	791.14	426.66	188.07	110.41	136.92	<b>5,048.58</b>
Ciudad de México	Venustiano Carranza	211.24	669.64	1,136.66	1,543.21	1,091.23	637.12	303.22	186.33	265.64	<b>6,044.29</b>
<b>Total</b>		<b>3,851.83</b>	<b>12,895.64</b>	<b>21,868.95</b>	<b>32,762.88</b>	<b>23,659.66</b>	<b>13,260.33</b>	<b>6,485.87</b>	<b>3,823.98</b>	<b>5,704.05</b>	<b>124,313.17</b>

Tabla 35 Pozos SACM, Emisiones evitadas CO2eq.

Entidad Federativa	Municipio	1 ocup	2 ocup	3 ocup	4 ocup	5 ocup	6 ocup	7 ocup	8 ocup	9o mas ocup	Toneladas CO2 diarias	Ton CO2 anuales
Ciudad de México	Azcapotzalco	0.06	0.21	0.37	0.53	0.36	0.20	0.10	0.06	0.08	1.97	720.5
Ciudad de México	Coyoacán	0.10	0.35	0.57	0.80	0.53	0.27	0.12	0.07	0.10	2.91	1,061.4
Ciudad de México	Cuajimalpa de Morelos	0.02	0.07	0.13	0.23	0.18	0.12	0.06	0.03	0.05	0.88	322.8
Ciudad de México	Gustavo A. Madero	0.15	0.55	1.00	1.50	1.11	0.63	0.30	0.17	0.24	5.66	2,064.4
Ciudad de México	Iztacalco	0.05	0.18	0.32	0.47	0.34	0.20	0.10	0.06	0.10	1.83	666.3
Ciudad de México	Iztapalapa	0.17	0.68	1.38	2.27	1.76	1.03	0.54	0.32	0.51	8.66	3,160.7
Ciudad de México	La Magdalena Contreras	0.03	0.10	0.19	0.32	0.24	0.13	0.06	0.04	0.06	1.16	422.0
Ciudad de México	Milpa Alta	0.01	0.04	0.08	0.16	0.15	0.09	0.04	0.03	0.03	0.63	228.4
Ciudad de México	Álvaro Obregón	0.10	0.34	0.59	0.92	0.68	0.38	0.18	0.11	0.18	3.48	1,270.8
Ciudad de México	Tláhuac	0.03	0.12	0.26	0.47	0.38	0.21	0.10	0.06	0.09	1.74	635.4
Ciudad de México	Tlalpan	0.08	0.29	0.53	0.86	0.61	0.33	0.16	0.09	0.14	3.07	1,120.6
Ciudad de México	Xochimilco	0.04	0.14	0.29	0.52	0.41	0.24	0.12	0.08	0.12	1.96	713.9
Ciudad de México	Benito Juárez	0.14	0.38	0.43	0.43	0.21	0.09	0.03	0.02	0.02	1.75	640.1
Ciudad de México	Cuauhtémoc	0.16	0.41	0.51	0.60	0.38	0.21	0.10	0.05	0.07	2.48	905.8
Ciudad de México	Miguel Hidalgo	0.10	0.27	0.35	0.43	0.27	0.14	0.06	0.04	0.05	1.70	621.3
Ciudad de México	Venustiano Carranza	0.07	0.23	0.38	0.52	0.37	0.21	0.10	0.06	0.09	2.04	743.8
<b>Total</b>		<b>1.30</b>	<b>4.35</b>	<b>7.37</b>	<b>11.05</b>	<b>7.98</b>	<b>4.47</b>	<b>2.19</b>	<b>1.29</b>	<b>1.92</b>	<b>41.91</b>	<b>15,298.1</b>



Tabla 36 Sistema Cutzamala, Emisiones evitadas CO2eq.

Entidad Federativa	Municipio	1 ocup	2 ocup	3 ocup	4 ocup	5 ocup	6 ocup	7 ocup	8 ocup	9o mas ocup	Toneladas CO2 diarias	Ton CO2 anuales
Ciudad de México	Azcapotzalco	0.12	0.42	0.73	1.05	0.72	0.40	0.19	0.12	0.17	3.92	1,429.6
Ciudad de México	Coyoacán	0.19	0.69	1.13	1.60	1.05	0.54	0.24	0.13	0.20	5.77	2,106.2
Ciudad de México	Cuajimalpa de Morelos	0.04	0.14	0.26	0.45	0.37	0.23	0.12	0.06	0.09	1.75	640.4
Ciudad de México	Gustavo A. Madero	0.30	1.09	1.98	2.98	2.21	1.24	0.59	0.35	0.48	11.22	4,096.2
Ciudad de México	Iztacalco	0.10	0.35	0.63	0.94	0.68	0.40	0.19	0.12	0.21	3.62	1,322.1
Ciudad de México	Iztapalapa	0.34	1.35	2.74	4.50	3.49	2.04	1.08	0.64	1.00	17.18	6,271.7
Ciudad de México	La Magdalena Contreras	0.06	0.19	0.37	0.63	0.48	0.26	0.13	0.08	0.11	2.29	837.3
Ciudad de México	Milpa Alta	0.02	0.08	0.17	0.32	0.29	0.17	0.09	0.05	0.07	1.24	453.3
Ciudad de México	Álvaro Obregón	0.19	0.67	1.18	1.84	1.35	0.75	0.36	0.22	0.35	6.91	2,521.6
Ciudad de México	Tláhuac	0.06	0.25	0.52	0.94	0.76	0.42	0.20	0.12	0.18	3.45	1,260.8
Ciudad de México	Tlalpan	0.15	0.57	1.05	1.71	1.20	0.65	0.31	0.18	0.27	6.09	2,223.6
Ciudad de México	Xochimilco	0.07	0.28	0.58	1.04	0.81	0.47	0.25	0.15	0.24	3.88	1,416.5
Ciudad de México	Benito Juárez	0.28	0.76	0.84	0.86	0.41	0.18	0.07	0.03	0.04	3.48	1,270.1
Ciudad de México	Cuauhtémoc	0.31	0.80	1.01	1.19	0.75	0.41	0.19	0.10	0.14	4.92	1,797.3
Ciudad de México	Miguel Hidalgo	0.19	0.54	0.69	0.85	0.53	0.29	0.13	0.07	0.09	3.38	1,232.8
Ciudad de México	Venustiano Carranza	0.14	0.45	0.76	1.03	0.73	0.43	0.20	0.12	0.18	4.04	1,475.9
<b>Total</b>		<b>2.58</b>	<b>8.63</b>	<b>14.63</b>	<b>21.92</b>	<b>15.83</b>	<b>8.87</b>	<b>4.34</b>	<b>2.56</b>	<b>3.82</b>	<b>83.17</b>	<b>30,355.4</b>

## Modelo de Vectores Auto-regresivos (VAR) de demanda de electricidad.

La elección de variables endógenas y exógenas es una decisión subjetiva por lo que, si hay verdadera simultaneidad entre un conjunto de variables, no debiera hacerse ninguna decisión a priori entre su naturaleza exógena o endógena, para lo cual Sims (1980) propone la elaboración de un Modelo de Vectores Autoregresivos (VAR), en el cual todas las variables son estimadas de forma endógena y con valores rezagados de cada una de las variables involucradas.

Bajo esta lógica se estimó un modelo VAR, para predecir la dinámica de comportamiento de la electricidad en la Ciudad de México, el cual se llevó a cabo tomando en consideración las siguientes variables:

- Ventas Internas de Electricidad (vtasel);
- Indicador Trimestral de la Actividad Económica Estatal (ITAEE): Es un indicador de la situación económica de las entidades federativas del país, en el corto plazo;
- Precio de la Electricidad (ip\_elec): Medido en centavos por kWh a precios corrientes.

Tomando en consideración estas tres variables se elaboró el siguiente modelo:

$$\ln(vtasel) = \alpha + \sum_{j=1}^k \beta_j \ln(itaee)_{t-j} + \sum_{j=1}^k \gamma_j \ln(ip\_elec)_{t-j} + u_{1t}$$

$$\ln(itaee) = \alpha + \sum_{j=1}^k \beta_j \ln(vtasel)_{t-j} + \sum_{j=1}^k \gamma_j \ln(ip\_elec)_{t-j} + u_{2t}$$

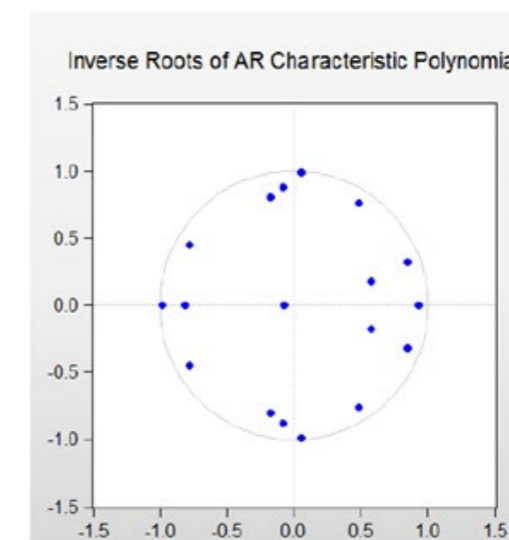
$$\ln(ip\_elec) = \alpha + \sum_{j=1}^k \beta_j \ln(vtasel)_{t-j} + \sum_{j=1}^k \gamma_j \ln(itaee)_{t-j} + u_{3t}$$

## Pruebas

Roots of Characteristic Polynomial  
 Endogenous variables: LOG(VTASEL) LOG(ITAEE) L...  
 Exogenous variables: C  
 Lag specification: 1 6  
 Date: 07/13/14 Time: 11:18

Root	Modulus
0.059671 + 0.992430i	0.994222
0.059671 - 0.992430i	0.994222
-0.977058	0.977058
0.927216	0.927216
0.843234 - 0.323401i	0.903123
0.843234 + 0.323401i	0.903123
0.485155 - 0.757184i	0.899280
0.485155 + 0.757184i	0.899280
-0.776864 + 0.446588i	0.896079
-0.776864 - 0.446588i	0.896079
-0.075105 + 0.874854i	0.878072
-0.075105 - 0.874854i	0.878072
-0.166088 + 0.799387i	0.816459
-0.166088 - 0.799387i	0.816459
-0.812279	0.812279
0.572377 + 0.180363i	0.600121
0.572377 - 0.180363i	0.600121
-0.064275	0.064275

No root lies outside the unit circle.  
 VAR satisfies the stability condition.



**Correlación.**

VAR Residual Serial Correlation LM T...  
 Null Hypothesis: no serial correlation ...  
 Date: 07/13/14 Time: 11:23  
 Sample: 2003Q1 2013Q4  
 Included observations: 38

Lags	LM-Stat	Prob
1	14.80586	0.0964
2	5.331526	0.8045
3	10.82436	0.2879
4	16.16539	0.0635
5	16.41698	0.0587
6	18.42158	0.0306
7	15.71582	0.0731
8	14.19210	0.1157
9	16.29657	0.0609
10	3.447916	0.9439
11	10.29355	0.3272
12	7.315910	0.6043

Probs from chi-square with 9 df.

**Covarianza.**

VAR Residual Normality Tests  
 Orthogonalization: Residual Covariance (Urzua)  
 Null Hypothesis: residuals are multivariate normal  
 Date: 07/13/14 Time: 11:26  
 Sample: 2003Q1 2013Q4  
 Included observations: 38

Component	Skewness	Chi-sq	df	Prob.
1	-0.095280	0.067205	1	0.7955
2	-0.121337	0.108989	1	0.7413
3	-0.220395	0.359584	1	0.5487
Joint		0.535777	3	0.9110

Component	Kurtosis	Chi-sq	df	Prob.
1	3.207284	0.304328	1	0.5812
2	4.080711	3.556629	1	0.0593
3	2.413604	0.436604	1	0.5088
Joint		4.297562	3	0.2311

Component	Jarque-Bera	df	Prob.
1	0.371533	2	0.8305
2	3.665618	2	0.1600
3	0.796188	2	0.6716
Joint	25.51360	25	0.4339

**Heterocedasticidad**

VAR Residual Heteroskedasticity Tests: No Cross Terms (only levels and squares)  
 Date: 07/13/14 Time: 11:27  
 Sample: 2003Q1 2013Q4  
 Included observations: 38

Joint test:

Chi-sq	df	Prob.
216.3409	216	0.4807

Individual components:

Dependent	R-squared	F(36,1)	Prob.	Chi-sq(36)	Prob.
res1*res1	0.883299	0.210247	0.9642	33.56536	0.5849
res2*res2	0.893729	0.233608	0.9542	33.96170	0.5659
res3*res3	0.956570	0.611814	0.7907	36.34964	0.4524
res2*res1	0.849839	0.157208	0.9838	32.29387	0.6456
res3*res1	0.794999	0.107723	0.9957	30.20997	0.7399
res3*res2	0.995002	5.529600	0.3268	37.81006	0.3866



CO2

CO2

CO2

DISEÑO DE PORTADA: MÓNICA MONTEIL



**UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA  
METROPOLITANA**  
Unidad Cuajimalpa



ISBN: 978-99974-79-13-6



9 789997 147913 6