

## **Estudios sobre los cobeneficios asociados con una medida de reducción de emisiones en el sector transporte**

---

Reporte final

CONTRATO No.

INE/ADE-036/2010

Por:

M en C Heriberto Castillo González

Preparado para:

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales  
Instituto Nacional de Ecología

16 de noviembre de 2010



## INDICE

Resumen ejecutivo	5
I. Introducción	7
II. Antecedentes	8
III. Objetivo	9
IV. Alcances y consideraciones	9
V. Metodología	14
VI Resultados	26
VII. Discusión de resultados	33
VIII. Bibliografía	35



## **Resumen ejecutivo**

Este estudio, además de permitir la consolidación de las capacidades analíticas del INE en materia de análisis de cobeneficios, permitió avanzar en las tareas que se deben ejecutar para dar cumplimiento a la meta establecida tanto en el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012, como en el Programa Institucional del INE 2008 – 2012 en el sentido de “evaluar los co-beneficios de tres medidas de control de emisiones relativas a los temas de energía y transporte, en el periodo 2006-2012”. En estudios anteriores se evaluaron los cobeneficios de dos medidas de control: a) mejora de la eficiencia en el uso de combustible en vehículos nuevos, y b) uso de bioetanol como oxigenante de la gasolina que se comercializa en las tres grandes zonas metropolitanas del país; por lo que aún quedaba pendiente la evaluación de una medida de control adicional. En este contexto el presente estudio estimó los beneficios, en términos de reducción de emisiones tanto de gases de efecto invernadero como de contaminantes criterio, asociados con la instrumentación de una medida estratégica de reducción de emisiones en el sector transporte. Esta medida fue la renovación acelerada de vehículos ligeros a gasolina, la cual consideró la sustitución anual de 27,000 vehículos con problemas de emisiones por vehículos nuevos con mejor rendimiento de combustible en el periodo 2012-2022 y de 13,500 vehículos cada año entre el 2023 y 2030.



## I. Introducción

---

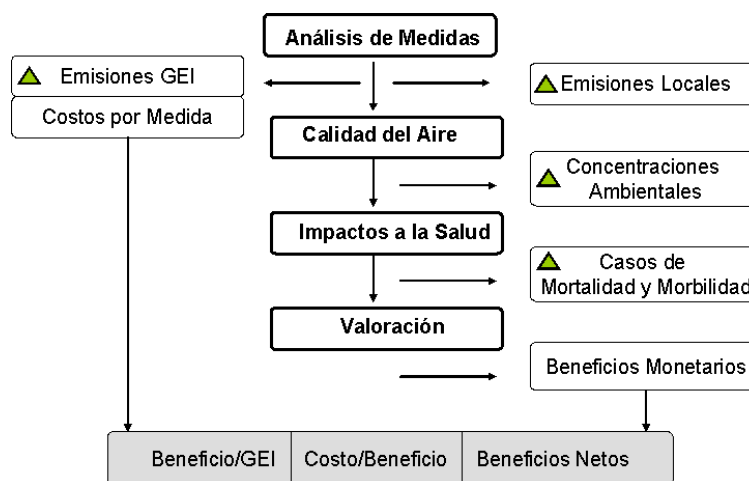
Un cobeneficio puede ser entendido como cualquier beneficio adicional o colateral asociado con la implementación de una medida orientada a la atención de un problema específico. En este contexto, la aproximación más común en cambio climático, que es el área donde se inició el desarrollo e implementación de la metodología de análisis de cobeneficios, es:

*“Si se implementa alguna acción para reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero ¿cuál es el beneficio local concurrente observado en términos de reducción de la contaminación atmosférica y de mejoras en la salud humana?”*

Esta aproximación, sin embargo, no es inflexible y en su aplicación en el área de calidad del aire se ha hecho una ligera modificación para dar prioridad al análisis de medidas de control primordialmente orientadas a mejorar la calidad del aire, de tal forma que los beneficios concurrentes se expresan en términos de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

En cualquier caso, la aproximación metodológica para llevar a cabo el análisis de cobeneficios se resume en la figura 1.

**Figura 1. Aproximación metodológica para el análisis de cobeneficios**



En principio, durante el *Análisis de medidas* se selecciona una fuente de emisión de contaminantes atmosféricos y se caracterizan de manera detallada, en términos de metas

y mecanismos de instrumentación, las medidas de control que se desean evaluar, para posteriormente estimar, de manera simultánea, tanto los costos de instrumentación de las medidas de control como su posible impacto en términos de reducción de emisiones, tanto de gases de efecto invernadero como de contaminantes locales. Una vez que se cuenta con los datos sobre la emisión, éstos se utilizan como insumos para la etapa de *evaluación de los efectos en la calidad del aire*, en la que utilizando modelos matemáticos es posible estimar el impacto de las emisiones sobre la calidad del aire de una zona en particular. Con esta información y con base en resultados de estudios epidemiológicos que permiten relacionar las concentraciones ambientales de los contaminantes con los efectos en la salud humana, se lleva a cabo la *estimación de los impactos en la salud*. Por último, se asigna un valor monetario a los efectos en la salud, que se estima durante la *valoración de los impactos*.

Finalmente, al comparar los costos de instrumentación de las medidas con los beneficios monetarios derivados de los impactos en la salud evitados, se obtiene un indicador del costo – efectividad de la medida objeto de evaluación, por lo que la información generada es de gran utilidad en el proceso de toma de decisiones.

## **II. Antecedentes**

Desde el año 2002, el Instituto Nacional de Ecología (INE), con el apoyo de la EPA, ha venido instrumentando una metodología de análisis que permite estimar los beneficios ambientales y en la salud pública asociados a las estrategias integradas de mitigación de gases de efecto invernadero y mejora de la calidad del aire. Las primeras etapas de este proceso de instrumentación metodológica se enfocaron en el análisis de los cobeneficios asociados a diversas medidas de control de emisiones a nivel local en la Zona Metropolitana del Valle de México. Por ejemplo, en la primera fase se analizaron las oportunidades de reducir simultáneamente las emisiones de contaminantes locales y de gases de efecto invernadero de una forma más costo-efectiva a través de la implementación de medidas integradas. En la segunda fase, se analizaron los cobeneficios de cinco medidas de control de emisiones contenidas en el PROAIRE, cubriendo los sectores transporte, industria y residencial. Finalmente, en la tercera fase se evaluaron los cobeneficios asociados con la implementación del sistema de transporte rápido (BRT) en la ciudad de México.

La cuarta fase, se ha concentrado en el desarrollo de herramientas tanto de modelación de la calidad del aire como de estimación y valoración de los impactos en la salud que permitan evaluar diferentes estrategias de control con cobertura regional o nacional. Como resultado de esta fase, que se ha desarrollado entre 2006 y 2009, el INE cuenta actualmente con herramientas tales como el modelo de la calidad del aire llamado CAMx y el modelo de estimación y valoración de impactos en salud llamado BenMap, usados para evaluar el impacto de dos medidas de control: a) mejora de la eficiencia en el uso de combustible en vehículos nuevos (con cobertura nacional), y b) uso de bioetanol como oxigenante de la gasolina que se comercializa en las zonas metropolitanas del Valle de México, Guadalajara y Monterrey.

El Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012, establece como meta la evaluación de los co-beneficios de tres medidas de control de emisiones relativas a los temas de energía y transporte en el periodo 2006-2012. Para dar cumplimiento a esta meta, el presente estudio plantea el desarrollo de las primeras etapas de evaluación de los cobeneficios asociados a una medida de control de emisiones en el sector transporte, en complemento a las dos medidas evaluadas en el 2008.

### **III. Objetivo**

Estimar los cobeneficios (beneficios locales y globales) asociados con la instrumentación de una medida estratégica de reducción de emisiones en el sector transporte.

### **IV. Alcances y consideraciones**

En el contexto del objetivo antes señalado el presente trabajo se limitará a la estimación de la reducción de emisiones, de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero, asociada a la instrumentación de una medida de control en el sector transporte.

Esta medida, elegida por la Dirección de Investigación sobre la Contaminación del Aire – DICA, será referida en adelante como “renovación de la flota vehicular en México”, la cual tiene como punto de referencia para su caracterización la medida M36 del Programa

Especial de Cambio Climático 2008 - 2012, la cual lleva por título “Desarrollar cuatro esquemas de financiamiento para atender a diferentes subsectores del sector transporte que hagan posible la renovación de 40,000 vehículos anualmente”. A continuación se describen algunas generalidades importantes de dicha medida de control.

## **Renovación de la flota vehicular en México**

### *Importancia del sector transporte en la contaminación local y global*

El transporte es una actividad fundamental dentro del sistema económico. Los beneficios económicos que genera el transporte de personas y mercancías en una economía han sido ampliamente documentados. Sin embargo, existen también externalidades negativas asociadas al transporte, como es el caso de las emisiones de contaminantes a la atmósfera. Así por ejemplo, la contribución de las emisiones de los vehículos automotores en México a las emisiones totales a nivel nacional es considerable. De acuerdo con el Primer Inventario Nacional de Emisiones de México, 1999, los vehículos automotores contribuyeron con el 31% de las emisiones de óxidos de nitrógeno, 62% de monóxido de carbono y 22% de las emisiones totales estimadas de compuestos orgánicos volátiles. Al mismo tiempo son una fuente importante de emisión de partículas y sobre todo de las partículas más finas, y aunque las emisiones son menores que las de otros contaminantes, sus impactos en la salud son mayores (INE-SEMARNAT, 2006)

En términos de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), el sector transporte es una de las fuentes más importante, tanto a nivel mundial como en México, donde representa el 20% del total nacional, con 144.6 MtCO<sub>2</sub>e emitidas en 2006. Las tendencias globales, que se replican en México, muestran que el consumo de energía y las emisiones de GEI del sector transporte continuarán incrementándose en función del crecimiento económico. Este incremento provoca una mayor demanda derivada de combustibles y de infraestructura. A nivel mundial, este sector es donde más se dificulta el desacoplamiento entre las emisiones de GEI y el crecimiento económico.

Las emisiones de GEI, en 2006, por modalidad de transporte se listan a continuación:

- ❖ Autotransporte (135.0 MtCO<sub>2</sub>e)
- ❖ Ferroviario (1.8 MtCO<sub>2</sub>e)
- ❖ Aéreo (5.4 MtCO<sub>2</sub>e)
- ❖ Marítimo (2.4 MtCO<sub>2</sub>e)
- ❖ Eléctrico (no significativo)

Por otra parte, se estima que las emisiones esperadas de este sector para los años 2020, 2030 y 2050, podrían ser de 168.2 MtCO<sub>2</sub>e, 185.0 MtCO<sub>2</sub>e y 121.7 MtCO<sub>2</sub>e, respectivamente.

#### *El Programa Especial de Cambio Climático*

El Programa Especial de Cambio Climático (PECC) es una iniciativa del Gobierno Federal, elaborado de manera voluntaria y con recursos propios, que muestra el interés de México para contribuir a la solución del problema del cambio climático, una de las mayores amenazas para el proceso de desarrollo, el bienestar humano y la integridad del capital natural.

El PECC es un instrumento de política transversal que compromete a las dependencias del Gobierno Federal con objetivos y metas nacionales vinculantes en mitigación y adaptación para el periodo 2009-2012. Con el PECC se impulsará el desarrollo sustentable, la seguridad energética, los procesos productivos limpios, eficientes y competitivos, y la preservación de los recursos naturales.

En materia de transporte el PECC contempla diversas medidas de control de emisiones tendentes a cumplir objetivos diversos entre los que destaca el **Objetivo 2.2.5** Fomentar la renovación del parque vehicular para contribuir a una mayor eficiencia energética del sector transporte y reducir emisiones de GEI. Para dar cumplimiento a dicho objetivo se definieron las metas 35 y 36, las cuales establecen lo siguiente:

M.35 Reducir la emisión de GEI como resultado de la chatarrización de 15,100 vehículos del autotransporte federal: 1.10 MtCO<sub>2</sub>e /año (en 2012).

M.36 Desarrollar cuatro esquemas de financiamiento para atender a diferentes subsectores del sector transporte que hagan posible la renovación de 40 mil vehículos anualmente.

De estas dos metas, la meta número 36 es la que se utiliza como base en la caracterización de la medida de control de emisiones a la que se le estimarán los cobeneficios asociados en términos de reducción de emisiones tanto locales como globales. En la siguiente sección se describen de manera general, las principales características de la medida objeto de estudio y en la sección de metodología se describe la aproximación metodológica que se usa para estimar los impactos en términos de reducción de emisiones de contaminantes tanto locales como globales.

#### Descripción de la medida de control “Renovación de la flota vehicular”.

##### Contexto:

En la coyuntura de la crisis económica del 2009, el gobierno federal mexicano proponía como un instrumento para reactivar la industria automotriz del país el Programa de Renovación Vehicular (PRODIAT-C)<sup>1</sup> que contaba con un fondo de 500 millones de pesos<sup>2</sup>. El programa ofrecía un apoyo de \$15,000 para la compra de un automóvil nuevo. Éste era otorgado por el distribuidor en forma de un descuento sobre el precio de lista una vez que el automóvil usado del comprador fuera destruido por una empresa registrada en el padrón de empresas avaladas por la Secretaría de Economía (SE). El precio del vehículo nuevo no debía ser mayor a \$215,000 y podía tener una capacidad de hasta 9 personas o cargar hasta 3,200 kg. La meta inicial de la Secretaría de Economía era

---

<sup>1</sup> Publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 21 de julio de 2009

<sup>2</sup> El programa estaba dividido en dos etapas. La primera etapa contempla 250 millones pesos repartidos entre las armadoras de acuerdo con su producción relativa; la segunda etapa, que comenzaría a partir del agotamiento de los fondos de la primera etapa, se asignará a las armadoras de acuerdo con su monto acreditado relativo del primer apoyo de los meses reportados.

renovar 33,333 unidades<sup>3</sup>. La duración del programa dependería del agotamiento de los recursos asignados a éste.

Aunque en un primer momento el PRODIAT-C especificaba que el vehículo usado a destruir debía: tener al menos 10 años de antigüedad; haber sido facturado como vehículo nuevo por un distribuidor en el territorio nacional y encontrarse en condiciones de circular por su propio impulso, el 9 de octubre de 2009 se publicó en el DOF una modificación al programa para que la antigüedad de los vehículos ya no fuera 10 años o más sino que se consideran elegibles para obtener el descuento aquellos vehículos que se encontraran en condiciones para circular por su propio impulso, contaran al menos con asientos, defensas, puertas y el 60 por ciento de cristales, y que cumplieran con cualquiera de las condiciones siguientes:

1. Haber sido facturado como vehículo nuevo por un distribuidor en el territorio nacional;
2. Encontrarse dentro del catálogo de vehículos nuevos en el territorio nacional del PRODIAT; o bien
3. Haber sido importado como vehículo usado antes del 1º de enero de 2008.

Hasta el 26 de marzo de 2010 la SE había emitido 12,848 certificados de destrucción. Las principales beneficiarias de los descuentos han sido General Motors, Nissan y Volkswagen con 35%, 28% y 20% de las ventas en firme realizadas hasta esta fecha..Es decir, que el programa sólo logró retirar el 38.5% de los vehículos que inicialmente se había planteado sacar de circulación. El promedio de edad de los autos destruidos dentro del programa fue de 24.55 años.

#### Medida de control

Teniendo como referencia la experiencia antes descrita sobre la instrumentación del programa de renovación vehicular administrado por la SE, en este trabajo se evaluó una medida de control con las siguientes características:

---

<sup>3</sup> Este número resulta de dividir los 500 millones de pesos asignados al PRODIAT-C en sus dos etapas entre los 15,000 pesos del descuento por cada auto nuevo.

1. Reemplazo anual de 27,000 vehículos en el periodo 2012-2022. Esta cifra se determinó a partir del supuesto de contar con un presupuesto de 500 millones de pesos y por año, lo que permitiría otorgar un apoyo por la cantidad de 18,518.00 pesos por cada unidad chatarrizada. Este apoyo es superior al considerado originalmente en el PRODIAT, pero se asumió así de acuerdo con los resultados de un estudio hecho por la Dirección de Economía Ambiental del INE, en el que se establece que para los vehículos de más de 26 años de antigüedad éste financiamiento resulta más atractivo para los beneficiarios potenciales, lo que significaría una mayor probabilidad de éxito en la instrumentación de un programa de esta naturaleza. Es importante destacar, sin embargo, que ello no significa que en esta medida sólo se substituirían unidades de más de 26 años de antigüedad.

Los vehículos objeto de chatarrización tendrían que cumplir con las características señaladas en el PRODIAT. Es decir, aquellos vehículos que se encuentren en condiciones para circular por su propio impulso, que cuenten al menos con asientos, defensas, puertas y el 60 por ciento de cristales. Este supuesto es fundamental en este trabajo para estimar la reducción de emisiones asociadas al programa, ya que para estimar las emisiones evitadas por el retiro de vehículos se hace con base en la distribución por edad y tipo de vehículo retirado de acuerdo con los resultados hasta ahora disponibles del PRODIAT. Igualmente, las emisiones generadas por los vehículos que entran a la circulación en substitución de los vehículos chatarrizados son estimadas con base en las características de los vehículos que se han incorporado a la circulación de acuerdo con el PRODIAT, esto es, se toma en cuenta tanto el tipo de vehículo (auto o camión ligero) y el año modelo. Con estos criterios se estiman tanto los factores de emisión como los datos de actividad.

2. Reemplazo anual de 13,500 vehículos en el periodo 2023-2030. Bajo el mismo esquema que el descrito en el punto anterior.
3. En la estimación del impacto de esta medida sólo se consideraron vehículos con una capacidad de hasta 9 personas o carga de hasta 3,200 kg.

## V. Metodología

### Contaminantes locales

Para estimar el impacto en términos de reducción de emisiones anuales se empleó la aproximación metodológica tradicional que considera el uso de datos de actividad vehicular y factores de emisión:

$$E = NU * DA * FE$$

Donde:

E	=	Emisión total del contaminante de interés (e.g., CO, NO <sub>x</sub> , o HC, etc.)
NU	=	Número total de vehículos de interés (e.g., automóvil, taxi, microbús, pick up, etc.)
DA	=	Actividad vehicular, expresada como la distancia total recorrida por los vehículos de interés en un tiempo determinado y bajo condiciones de circulación conocidos (generalmente se expresa en kilómetros recorridos por día o año)
FE	=	Factor de emisión para el contaminante de interés, para el tipo de vehículo en cuestión y para las condiciones de circulación de los vehículos expresado en unidades de masa (por ejemplo gramos de contaminante emitido) por distancia recorrida (por ejemplo kilómetros).

La fórmula indica que la cantidad total de emisiones de un contaminante determinado es una función de la cantidad de vehículos considerados en el análisis, así como de la distancia total recorrida por cada uno de éstos y de los factores de emisión asociados. Esto es, los elementos clave en la estimación de las emisiones vehiculares son:

- 1) El número de vehículos de cada tipo o categoría.
- 2) La distancia recorrida por unidad de tiempo (día o año) por cada tipo de vehículo.
- 3) Las condiciones de circulación – entre las cuales destacan las velocidades de circulación, aceleraciones, pendientes del camino, uso del aire acondicionado etc; y
- 4) Los factores de emisión asociados a cada contaminante, condición de circulación y tipo de vehículo.

Existen varias formas de derivar estos insumos, cada uno con distintos beneficios y problemas de aplicación. A continuación se describen las fuentes de información usadas para generar cada uno de los insumos empleados en el cálculo.

## **Número de unidades (NU)**

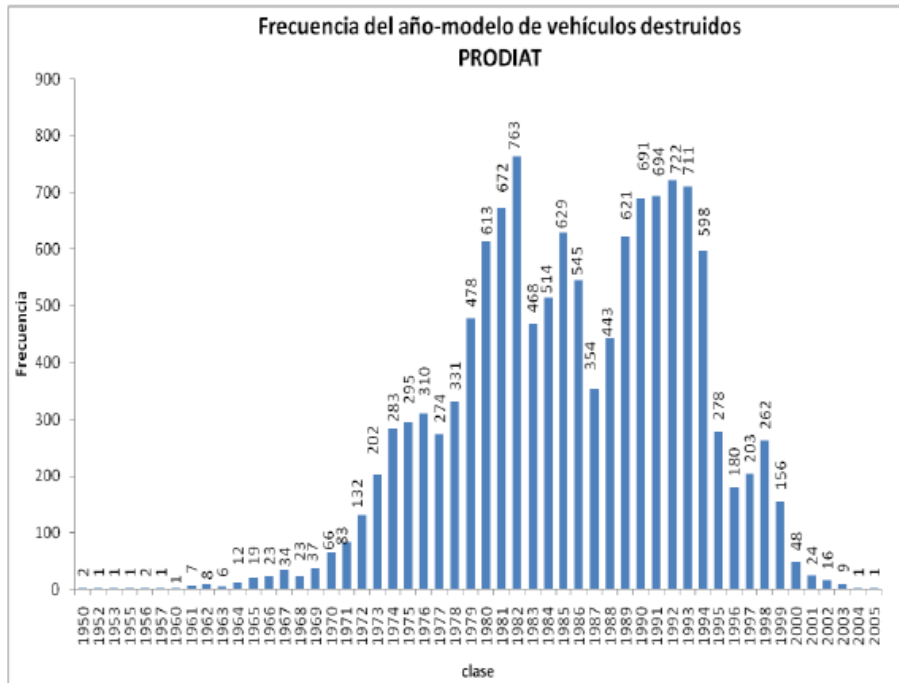
El término “número de unidades” se refiere a la población vehicular activa o en circulación en la zona objeto de estudio. En este caso el número de unidades está determinado por el número de vehículos que se espera reemplazar cada año durante todo el periodo de análisis, el cual es de 27,000 unidades por año entre el 2012 y el 2022 y 13,500 unidades entre el 2023 y 2030. En total, entre el 2012 y el 2030 se reemplazarían 378,000 vehículos.

Es importante destacar que para estimar las emisiones que potencialmente podrían generar estos 378,000 vehículos se parte de la estimación de las emisiones asociadas a los 6,398 vehículos incluidos en la base de datos que se dispuso a la fecha de realización del presente estudio. Esto es, a partir de la base de datos disponible del PRODIAT se estiman las emisiones asociadas a los 6,398 vehículos retirados a la fecha y las emisiones asociadas a los 6,398 vehículos nuevos que los sustituyeron y después de hace una extrapolación lineal para estimar el impacto potencial del recambio de los 378,000 vehículos bajo el esquema de implementación descrito en el párrafo anterior.

En este caso por la naturaleza de la medida de control sólo se distinguirá entre vehículos ligeros (LDGV) y camionetas ligeras (LDGT). Es importante decir que todos los vehículos, tanto los que entran como los que salen de circulación, se asumen a gasolina.

Para determinar el número de unidades que saldrían de circulación en cada una de las categorías por año modelo, se usó la base de datos del PRODIAT, disponible al 26 de marzo del 2010, la cual fue proporcionada por la Dirección General de Investigación en Política y Economía Ambiental del INE. En la cual se describe con detalle el tipo de vehículo y año modelo que sale de circulación. La figura 1 ilustra de manera global para todo el país, el patrón de sustitución observado en términos de año modelo, en tanto que en la figura 2 se muestra la distribución de autos destruidos por entidad federativa.

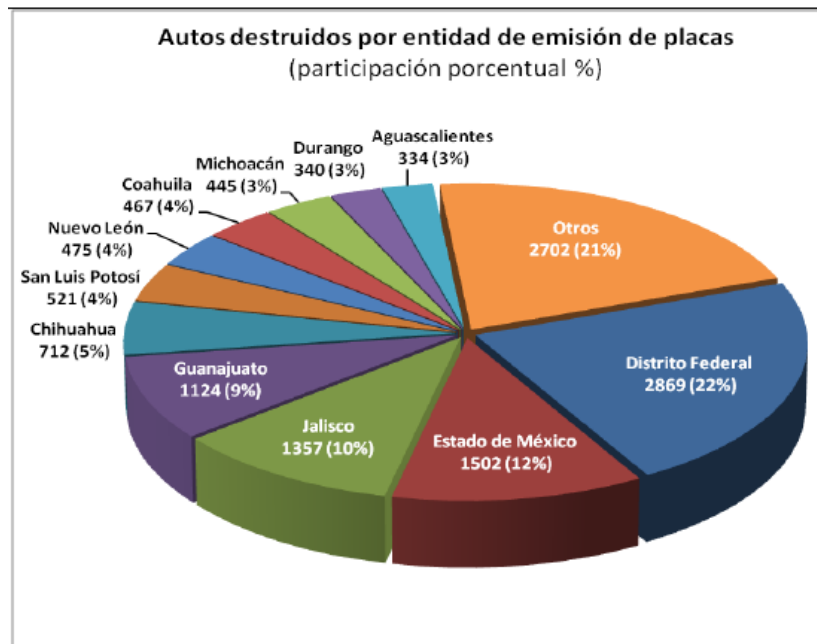
**Figura 1. Número de autos destruidos por año modelo**



Fuente: Secretaría de Economía. Programa para el desarrollo de las industrias de alta tecnología (PRODIAT).

<http://www.economia.gob.mx/swb/work/models/economia/Resource/403/1/images/ReporteSm.pdf>

**Figura 2. Porcentaje de unidades destruidas por entidad federativa**



Fuente: Secretaría de Economía. Programa para el desarrollo de las industrias de alta tecnología (PRODIAT).

<http://www.economia.gob.mx/swb/work/models/economia/Resource/403/1/images/ReporteSm.pdf>

Tomando esta distribución como representativa del patrón de chatarrización de autos usados y manteniéndola constante a través del tiempo se asume, para este trabajo, el siguiente patrón de chatarrización en términos de los antigüedad de los vehículos

<b>Antigüedad</b>	<b>Porcentaje de autos chatarrizados</b>
60	0.02
59	0.00
58	0.01
57	0.01
56	0.00
55	0.01
54	0.02
53	0.01
52	0.00
51	0.00
50	0.01
49	0.05
48	0.06
47	0.05
46	0.09
45	0.15
44	0.18
43	0.26
42	0.18
41	0.29
40	0.51
39	0.65
38	1.03
37	1.57
36	2.20
35	2.30
34	2.41
33	2.13
32	2.58
31	3.72
30	4.77
29	5.23
28	5.94
27	3.64

26	4.00
25	4.90
24	4.24
23	2.76
22	3.45
21	4.83
20	5.38
19	5.40
18	5.62
17	5.53
16	4.65
15	2.16
14	1.40
13	1.58
12	2.04
11	1.21
10	0.37
9	0.19
8	0.12
7	0.07
6	0.01
5	0.01

De estos autos el 90% corresponde a vehículos ligeros a gasolina (LDGV) y el 10% a camionetas ligeras a gasolina. La edad promedio de retiro de los autos fue de 24 años.

En cuanto a los vehículos nuevos que sustituyen a estos vehículos retirados el siguiente cuadro resume la distribución por categoría vehicular y año modelo. Todo esto de acuerdo con los datos reportados en el PRODIAT.

Año modelo	No. de vehículos	Categoría vehicular	
		LDGV	LDGT
2009	1224	829	395
2010	4035	3597	438

#### Datos de actividad (DA)

El término “dato de actividad” se refiere a los kilómetros recorridos por un vehículo (KRV), en un tiempo y espacio determinado, donde además las condiciones de circulación son

conocidas (e.g. velocidades de circulación, aceleraciones, pendientes del camino, uso del aire acondicionado, etc.). Bajo este concepto general, para estimar las emisiones, se necesita determinar los kilómetros totales recorridos en la región por todos los vehículos de cada sub-clasificación en el período de interés.

Como una primera aproximación, se determina el recorrido anual promedio por los vehículos de cada tipo o clase y se multiplica por el número total de vehículos de ese tipo. Por ejemplo, si el recorrido promedio de 10,000 automóviles particulares es de 10,000 kilómetros por año, su KRV será de 100 millones de kilómetros por año. Sin embargo, esta primera aproximación tendrá asociada una gran incertidumbre dado que las emisiones de los vehículos no sólo dependen del número de unidades y del kilometraje que recorre cada uno de ellos, sino que existen factores tales como la velocidad a la que se recorren esos kilómetros y el número de viajes realizados por vehículo, que también inciden en las emisiones generadas por un automóvil.

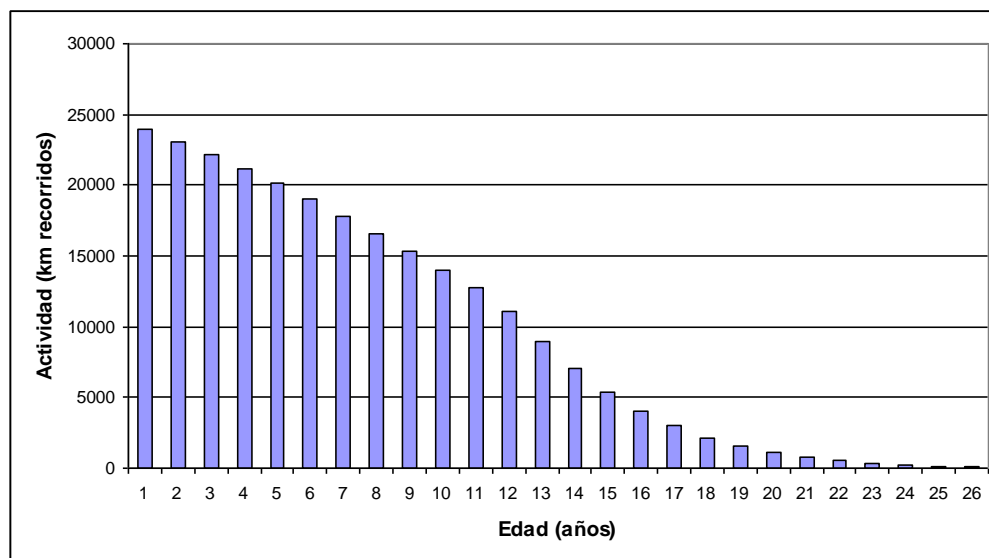
Para llevar a cabo la estimación de un inventario de emisiones vehiculares de una forma confiable y precisa, resulta indispensable estimar la actividad vehicular considerando estos factores.

En este estudio en particular se hace uso de los siguientes datos de actividad de acuerdo con la antigüedad de los vehículos, los cuales fueron estimados a partir de diferentes estudios realizados por el INE sobre actividad y emisiones vehiculares en ciudades mexicanas (INE-CTS-TSTES, 2008a, 2008b, 2009a, 2009b y 2010).

<b>Antigüedad (asumiendo que todos los autos se retiraron en 2010)</b>	<b>Kilómetros promedio recorridos por año</b>
26 y más	101
25	158
24	240
23	359
22	529
21	768
20	1100
19	1558
18	2178
17	3001
16	4072

15	5424
14	7070
13	8982
12	11078
11	12770
10	14045
9	15320
8	16579
7	17802
6	18978
5	20094

**Figura 3. Datos de actividad (km recorridos) según la antigüedad de los vehículos ligeros**



### **Factores de emisión (FE)**

#### **Contaminantes locales:**

Para estimar las emisiones de contaminantes locales, tanto para la línea base como para el escenario de control, se hace uso de los factores de emisión generados con el modelo MOBILE6 México que ya ha sido usado con anterioridad en el INE para estudios costo – beneficio.

Los factores de emisión empleado se muestran el siguiente cuadro por categoría vehicular, año modelo y contaminante. Es importante destacar que los factores de

emisión mostrados corresponden a los años modelo de los vehículos retirados de circulación, según el registro de los avances del PRODIAT hasta marzo de 2010, la cual consta hasta ese entonces de poco mas de 6,000 vehículos.

#### Factores de emisión para vehículos que salen de circulación

Año modelo	Categoría vehicular	Factores de emisión (Ton/año)				
		HC	CO	NOx	PM10	SO2
1950	LDGV	0.0002196	0.0045693	0.0000563	0.0000024	0.0000044
1952	LDGV	0.0002678	0.0049237	0.0000344	0.0000037	0.0000053
1953	LDGV	0.0002678	0.0049237	0.0000344	0.0000037	0.0000053
1955	LDGV	0.0002196	0.0045693	0.0000563	0.0000024	0.0000044
1956	LDGV	0.0002678	0.0049237	0.0000344	0.0000037	0.0000053
1960	LDGV	0.0002816	0.0053160	0.0000328	0.0000037	0.0000053
1961	LDGV	0.0002196	0.0045693	0.0000563	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002678	0.0049237	0.0000344	0.0000037	0.0000053
1962	LDGV	0.0001996	0.0036811	0.0000584	0.0000024	0.0000044
1963	LDGV	0.0001996	0.0036811	0.0000584	0.0000024	0.0000044
1964	LDGV	0.0002196	0.0045693	0.0000563	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002843	0.0071993	0.0002144	0.0000157	0.0000117
1965	LDGV	0.0002196	0.0045693	0.0000563	0.0000024	0.0000044
1966	LDGV	0.0002196	0.0045693	0.0000563	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002816	0.0053160	0.0000328	0.0000037	0.0000053
1967	LDGV	0.0002196	0.0045693	0.0000563	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002678	0.0049237	0.0000344	0.0000037	0.0000053
1968	LDGV	0.0002196	0.0045693	0.0000563	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002678	0.0049237	0.0000344	0.0000037	0.0000053
1969	LDGV	0.0002196	0.0045693	0.0000563	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002678	0.0049237	0.0000344	0.0000037	0.0000053
1970	LDGV	0.0001996	0.0036811	0.0000584	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002678	0.0049237	0.0000344	0.0000037	0.0000053
1971	LDGV	0.0001996	0.0036811	0.0000584	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002678	0.0049237	0.0000344	0.0000037	0.0000053
1972	LDGV	0.0001996	0.0036811	0.0000584	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002678	0.0049237	0.0000344	0.0000037	0.0000053
1973	LDGV	0.0001996	0.0036811	0.0000584	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002678	0.0049237	0.0000344	0.0000037	0.0000053
1974	LDGV	0.0001996	0.0036811	0.0000584	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002678	0.0049237	0.0000344	0.0000037	0.0000053
1975	LDGV	0.0001996	0.0036811	0.0000584	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002678	0.0049237	0.0000344	0.0000037	0.0000053

1976	LDGV	0.0001996	0.0036811	0.0000584	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002678	0.0049237	0.0000344	0.0000037	0.0000053
1977	LDGV	0.0001996	0.0036811	0.0000584	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002678	0.0049237	0.0000344	0.0000037	0.0000053
1978	LDGV	0.0001996	0.0036811	0.0000584	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002816	0.0053160	0.0000328	0.0000037	0.0000053
1979	LDGV	0.0001996	0.0036811	0.0000584	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0003538	0.0095915	0.0001699	0.0000157	0.0000117
1980	LDGV	0.0001996	0.0036811	0.0000584	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002678	0.0049237	0.0000344	0.0000037	0.0000053
1981	LDGV	0.0001996	0.0036811	0.0000584	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002678	0.0049237	0.0000344	0.0000037	0.0000053
1982	LDGV	0.0001996	0.0036811	0.0000584	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002816	0.0053160	0.0000328	0.0000037	0.0000053
1983	LDGV	0.0001996	0.0036811	0.0000584	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002678	0.0049237	0.0000344	0.0000037	0.0000053
1984	LDGV	0.0001996	0.0036811	0.0000584	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002678	0.0049237	0.0000344	0.0000037	0.0000053
1985	LDGV	0.0001996	0.0036811	0.0000584	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0003538	0.0095915	0.0001699	0.0000157	0.0000117
1986	LDGV	0.0001996	0.0036811	0.0000584	0.0000024	0.0000044
	LDGT	0.0002678	0.0049237	0.0000344	0.0000037	0.0000053
1987	LDGV	0.0002139	0.0044872	0.0001768	0.0000036	0.0000068
	LDGT	0.0003073	0.0063781	0.0001075	0.0000054	0.0000083
1988	LDGV	0.0002231	0.0054879	0.0002770	0.0000052	0.0000100
	LDGT	0.0003813	0.0069361	0.0001882	0.0000074	0.0000121
1989	LDGV	0.0003161	0.0077196	0.0004191	0.0000074	0.0000150
	LDGT	0.0004775	0.0092742	0.0003202	0.0000080	0.0000181
1990	LDGV	0.0002631	0.0087394	0.0005139	0.0000099	0.0000219
	LDGT	0.0004370	0.0110946	0.0004083	0.0000106	0.0000276
1991	LDGV	0.0003040	0.0098766	0.0010425	0.0000139	0.0000325
	LDGT	0.0004510	0.0114498	0.0008917	0.0000158	0.0000404
1992	LDGV	0.0003792	0.0133668	0.0015153	0.0000216	0.0000467
	LDGT	0.0005496	0.0127952	0.0012723	0.0000253	0.0000578
1993	LDGV	0.0005095	0.0182147	0.0020975	0.0000297	0.0000657
	LDGT	0.0007404	0.0173441	0.0017456	0.0000325	0.0000806
1994	LDGV	0.0006890	0.0254156	0.0028459	0.0000403	0.0000935
	LDGT	0.0009513	0.0232437	0.0024520	0.0000433	0.0001157
1995	LDGV	0.0009130	0.0340788	0.0038159	0.0000526	0.0001270
	LDGT	0.0012414	0.0309648	0.0033145	0.0000593	0.0001585
1996	LDGV	0.0011978	0.0462138	0.0050319	0.0000706	0.0001734
	LDGT	0.0013243	0.0362646	0.0037630	0.0000777	0.0002182
1997	LDGV	0.0015382	0.0602222	0.0065246	0.0000930	0.0002292

	LDGT	0.0015449	0.0442648	0.0038750	0.0001015	0.0002943
1998	LDGV	0.0019395	0.0826034	0.0083183	0.0001204	0.0002988
	LDGT	0.0018530	0.0549008	0.0042635	0.0001287	0.0003774
1999	LDGV	0.0023530	0.1014609	0.0101649	0.0001530	0.0003779
	LDGT	0.0024004	0.0756894	0.0050492	0.0001636	0.0004845
2000	LDGV	0.0029117	0.1380468	0.0113541	0.0001886	0.0004641
2001	LDGV	0.0029572	0.1144824	0.0070414	0.0002175	0.0005421
2002	LDGV	0.0029818	0.1154841	0.0071438	0.0002392	0.0005936
	LDGT	0.0028169	0.0903515	0.0064822	0.0002558	0.0007620
2003	LDGV	0.0027374	0.0976938	0.0066641	0.0002609	0.0006475

#### Factores de emisión para vehículos que entran en circulación a manera de reemplazo

Año modelo	Categoría vehicular	Factores de emisión (Ton/año)				
		HC	CO	NOx	PM10	SO2
2009	LDGV	0.00110525	0.01873716	0.00392201	0.00040367	0.00101290
	LDGT	0.00018917	0.01757679	0.00098460	0.00042899	0.00131528
2010	LDGV	0.00084607	0.01118957	0.00370304	0.00040367	0.00101290
	LDGT	0.00015938	0.01299342	0.00089820	0.00042899	0.00131528

#### Gases de efecto invernadero:

Para el caso de las emisiones de gases de efecto invernadero, se hizo un estimado de consumo de combustible bajo las consideraciones de cada escenario y a esta información se aplicó el factor de emisión recomendado por el IPCC, específicamente para las emisiones de CO<sub>2</sub>.

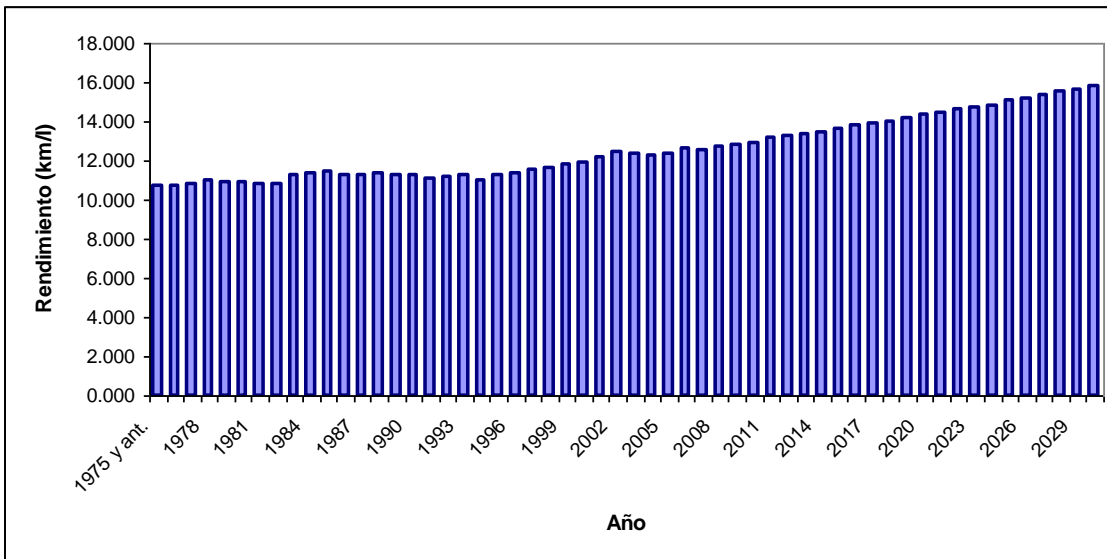
Los datos históricos de rendimiento que se usan en esta estimación de emisiones de gases de efecto invernadero son los mostrados en el siguiente cuadro, los cuales fueron usados con anterioridad en un modelo econométrico desarrollado por la Facultad de economía de la UNAM para estimar la demanda de gasolinas a nivel nacional en México. Estos datos a su vez provienen tanto de reportes generados por el Programa PREMCE pródigo por la Secretaría de Energía a finales de la década de los ochentas. EL PREMCE es definido como el promedio de rendimiento mínimo de combustible por empresa, durante un año modelo calculado a partir de la sumatoria de los productos de los volúmenes proyectados de venta para cada modelo de automóvil, por la suma de los

rendimientos combinados de combustible de cada modelo, dividido entre el volumen total proyectado de venta de automóviles) como de estimaciones propias hechas en el INE.

Año modelo	Rendimiento estimado (Km/lt)
1975 y ant.	10.703
1976	10.700
1977	10.807
1978	11.028
1979	10.936
1980	10.907
1981	10.857
1982	10.847
1983	11.260
1984	11.399
1985	11.440
1986	11.309
1987	11.251
1988	11.382
1989	11.238
1990	11.241
1991	11.059
1992	11.216
<b>1993</b>	<b>11.299</b>
1994	11.037
1995	11.266
1996	11.392
1997	11.503
1998	11.667
1999	11.860
2000	11.937
2001	12.218
2002	12.422
2003	12.338
2004	12.307
2005	12.404
2006	12.655
2007	12.579
2008	12.706
2009	12.814
2010	12.921
2011	13.137

2012	13.244
2013	13.352
2014	13.460
2015	13.675
2016	13.783
2017	13.891
2018	13.998
2019	14.214
2020	14.321
2021	14.429
2022	14.644
2023	14.752
2024	14.860
2025	15.075
2026	15.183
2027	15.398
2028	15.506
2029	15.613
2030	15.829

**Figura 4. Crecimiento tendencial y proyección del rendimiento de combustible de los vehículos ligeros nuevos**



## **Gases de efecto invernadero**

Por otra parte, para estimar las emisiones generadas tanto por los vehículos que salen de circulación como por los que entran, es una práctica común hacerlo a través del uso de factores de emisión que requieren el conocimiento previo del consumo de combustible y del poder calorífico de éste. En este sentido, conviene decir que el consumo de combustible se estima a través de la información obtenida sobre actividad vehicular (kilómetros recorridos por año) y la eficiencia o rendimiento de combustible definido para cada categoría vehicular por año modelo. Una vez que se ha estimado este consumo de combustible es necesario obtener su poder calorífico equivalente. En este sentido el poder calorífico de un barril de gasolina, expresado en terajoules, es de 0.005542 Tj/barril de acuerdo con la información disponible en Balance nacional de energía 2008, el cual esta disponible para su consulta en la siguiente dirección electrónica: [http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/Balance\\_2008.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/Balance_2008.pdf)

Una vez obtenido el equivalente en unidades energéticas de la gasolina consumida por cada tipo de vehículo se aplica el factor de emisión de CO<sub>2</sub> recomendado por el IPCC, el cual es mostrado en el siguiente cuadro:

**Cuadro. Factores de emisión de CO<sub>2</sub>**

Referencia	Factor de emisión	Rango de incertidumbre	
		Bajo	Alto
IPCC	69,300 kg CO <sub>2</sub> /TJ	67,500 kg CO <sub>2</sub> /TJ	73,000 kg CO <sub>2</sub> /TJ

Fuente: "Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 1996" de IPCC. Disponible en [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2\\_Volume2/V2\\_3\\_Ch3\\_Mobile\\_Combustion.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf)

## **VI. Resultados:**

### **Contaminantes locales**

El siguiente cuadro resume los resultados obtenidos en términos de las emisiones de contaminantes locales que son generadas tanto por los autos que salieron de circulación como por los que entraron para sustituirlos. Aunque estos datos corresponden al impacto que tuvo el reemplazo de 6,389 vehículos en un periodo de un año, es claro que el programa de reemplazo acelerado de autos viejos puede tener un impacto adverso en

términos de emisiones, ya que si bien se trata de autos con mejores tecnologías el impacto benéfico de este hecho se ve superado por las diferencias tan significativas que se registran en la cantidad de kilómetros al año que recorre un auto nuevo en comparación con un auto viejo.

	Emisión (ton/año)				
	HC	CO	NOx	PM10	SO2
<b>Autos nuevos</b>	<b>5.2</b>	<b>91.9</b>	<b>20.6</b>	<b>2.6</b>	<b>6.8</b>
<b>Autos destruidos</b>	<b>2.7</b>	<b>87.7</b>	<b>6.5</b>	<b>0.1</b>	<b>0.3</b>
<b>Diferencia</b>	2.5	4.2	14.1	2.5	6.5

El impacto proyectado al periodo 2012-2030 considerando el reemplazo anual de 27,000 unidades, con la misma estructura de edad antes descrita, en el periodo 2012-2022 y de 13,500 unidades anualmente en el periodo 2023-2030 es resumido en los siguientes cuadros:

### Emisiones generadas por autos que salen de circulación

#### a) impacto desagregado por año

Año	Emisiones (ton/año)				
	HC	CO	NOx	PM10	SO2
2012	22.0	388.4	87.1	11.0	28.7
2013	22.0	388.4	87.1	11.0	28.7
2014	22.0	388.4	87.1	11.0	28.7
2015	22.0	388.4	87.1	11.0	28.7
2016	22.0	388.4	87.1	11.0	28.7
2017	22.0	388.4	87.1	11.0	28.7
2018	22.0	388.4	87.1	11.0	28.7
2019	22.0	388.4	87.1	11.0	28.7
2020	22.0	388.4	87.1	11.0	28.7
2021	22.0	388.4	87.1	11.0	28.7
2022	22.0	388.4	87.1	11.0	28.7
2023	11.0	194.2	43.5	5.5	14.4
2024	11.0	194.2	43.5	5.5	14.4
2025	11.0	194.2	43.5	5.5	14.4
2026	11.0	194.2	43.5	5.5	14.4
2027	11.0	194.2	43.5	5.5	14.4
2028	11.0	194.2	43.5	5.5	14.4
2029	11.0	194.2	43.5	5.5	14.4
2030	11.0	194.2	43.5	5.5	14.4

**b) impacto acumulado**

Año	Emisiones (ton/año)				
	HC	CO	NOx	PM10	SO2
2012	22	388	87	11	29
2013	44	777	174	22	57
2014	66	1165	261	33	86
2015	88	1553	348	44	115
2016	110	1942	435	55	144
2017	132	2330	522	66	172
2018	154	2719	609	77	201
2019	176	3107	696	88	230
2020	198	3495	784	99	259
2021	220	3884	871	110	287
2022	242	4272	958	121	316
2023	253	4466	1001	126	330
2024	264	4660	1045	132	345
2025	275	4855	1088	137	359
2026	286	5049	1132	143	374
2027	297	5243	1175	148	388
2028	308	5437	1219	154	402
2029	319	5631	1262	159	417
2030	330	5826	1306	165	431

**Emisiones generadas por autos que entran en circulación****a) impacto desagregado por año**

	Emisiones (ton/año)				
	HC	CO	NOx	PM10	SO2
2012	11.4	370.6	27.5	0.4	1.3
2013	11	370.6	27.5	0.4	1.3
2014	11	370.6	27.5	0.4	1.3
2015	11	370.6	27.5	0.4	1.3
2016	11	370.6	27.5	0.4	1.3
2017	11	370.6	27.5	0.4	1.3
2018	11	370.6	27.5	0.4	1.3
2019	11	370.6	27.5	0.4	1.3
2020	11	370.6	27.5	0.4	1.3
2021	11	370.6	27.5	0.4	1.3
2022	11	370.6	27.5	0.4	1.3
2023	6	185.3	13.7	0.2	0.6
2024	6	185.3	13.7	0.2	0.6
2025	6	185.3	13.7	0.2	0.6
2026	6	185.3	13.7	0.2	0.6
2027	6	185.3	13.7	0.2	0.6
2028	6	185.3	13.7	0.2	0.6
2029	6	185.3	13.7	0.2	0.6
2030	6	185.3	13.7	0.2	0.6

**b) impacto acumulado**

	Emisiones (ton/año)				
	HC	CO	NOx	PM10	SO2
2012	11.4	370.6	27.5	0.4	1.3
2013	23	741	55	1	3
2014	34	1112	82	1	4
2015	46	1482	110	2	5
2016	57	1853	137	2	6
2017	68	2224	165	3	8
2018	80	2594	192	3	9
2019	91	2965	220	3	10
2020	103	3336	247	4	11
2021	114	3706	275	4	13
2022	126	4077	302	5	14
2023	131	4262	316	5	15
2024	137	4447	330	5	15
2025	143	4633	343	5	16
2026	148	4818	357	5	16
2027	154	5003	371	6	17
2028	160	5189	385	6	18
2029	165	5374	398	6	18
2030	171	5559	412	6	19

**Diferencia de emisiones entre autos que entran en circulación y autos que salen de circulación**

	Emisiones (ton/año)				
	HC	CO	NOx	PM10	SO2
2012	11	18	60	11	27
2013	21	35	119	21	55
2014	32	53	179	32	82
2015	42	71	238	42	110
2016	53	89	298	53	137
2017	63	106	358	63	165
2018	74	124	417	74	192
2019	85	142	477	85	220
2020	95	160	536	95	247
2021	106	177	596	106	275
2022	116	195	655	116	302
2023	121	204	685	121	316
2024	127	213	715	127	330
2025	132	222	745	132	343
2026	137	231	775	137	357
2027	143	240	804	143	371
2028	148	248	834	148	385
2029	153	257	864	153	398
2030	158	266	894	158	412

En general, lo que se aprecia es que el impacto benéfico que podría esperarse que tuviera la sustitución de vehículos con mejores tecnologías de control de emisiones y rendimiento de combustible por vehículos viejos con tecnologías obsoletas se desvanece en la medida que los vehículos nuevos tiene una mayor actividad que los vehículos que salen de circulación. Esto obedece fundamentalmente a que mientras la mejora en las tecnologías de control de emisiones tiene un progreso muy lento, la reducción en los kilómetros que recorre un auto con respecto a su edad es bastante más acelerada.

### **Gases de efecto invernadero**

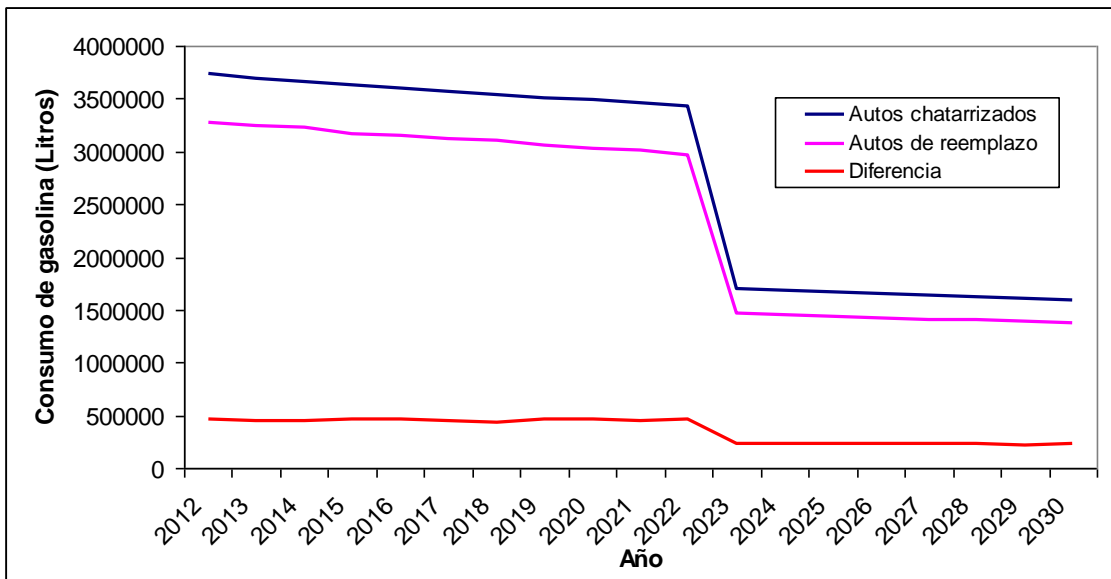
Las emisiones de gases de efecto invernadero se estimaron para dos escenarios diferentes. En el primero se asume que los vehículos nuevos que sustituyen a los vehículos chatarrizados mantienen el nivel de actividad (kilómetros recorridos por año) que éstos últimos, de tal manera que el único cambio significativo en la evaluación es la mejor eficiencia de combustible que tienen los vehículos nuevos, la cual va incrementando en el tiempo a razón de 1% cada año respecto al año inmediato anterior a partir del 2012. Los resultados de esta evaluación, en términos de ahorros de combustible y emisiones evitadas de CO<sub>2</sub>, son mostrados en el siguiente cuadro y figura.

**Ahorros de gasolina y emisiones evitadas de CO<sub>2</sub>**  
**Escenario 1. sin cambio en la actividad vehicular**

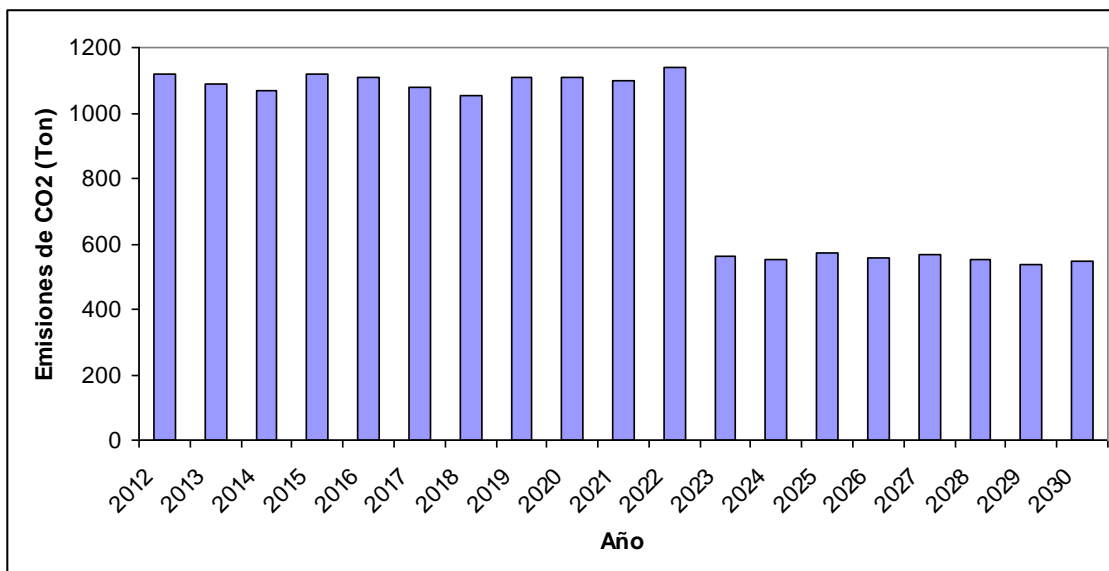
Año	Consumo de gasolina (Litros)		Ahorro de gasolina	Emisiones evitadas de CO <sub>2</sub> (Toneladas)	
	Autos chatarrizados	Autos de reemplazo		Anuales	Acumuladas
2012	3737733	3273462	464271	1121	1121
2013	3698468	3247063	451405	1090	2212
2014	3662967	3221086	441880	1067	3279
2015	3634007	3170360	463647	1120	4399
2016	3604563	3145592	458971	1109	5508
2017	3568607	3121208	447400	1081	6588
2018	3534230	3097198	437032	1056	7644
2019	3509074	3050271	458803	1108	8752
2020	3485474	3027337	458138	1107	9859
2021	3460187	3004745	455442	1100	10959
2022	3431209	2960557	470652	1137	12096

2023	1701504	1469474	232030	560	12656
2024	1687919	1458825	229094	553	13210
2025	1673995	1437985	236010	570	13780
2026	1658602	1427786	230815	558	14337
2027	1642083	1407817	234265	566	14903
2028	1626549	1398041	228508	552	15455
2029	1611423	1388399	223023	539	15994
2030	1595738	1369509	226229	546	16540

**Figura 5. Consumo de gasolina estimado en el periodo de análisis tanto para autos retirados de circulación como de los que entran a sustituirlos (Escenario 1)**



**Figura 6. Emisiones evitadas de CO2 por instrumentación de la medida en el escenario 1**



En el segundo escenario evaluado se asume que todos los vehículos nuevos que sustituyen a los vehículos chatarrizados (27,000 unidades entre 2012 y 2022 y 17,500 entre 2023 y 2030), tienen una actividad de 21,278 km en su primer año y después disminuye a una razón de aproximadamente 3% cada año. Estos datos se derivaron de los estudios desarrollados por el INE en los últimos años en diversas ciudades mexicanas para caracterizar tanto la flota vehicular como su actividad. Los resultados derivados de este escenario son mostrados en el siguiente cuadro y figura.

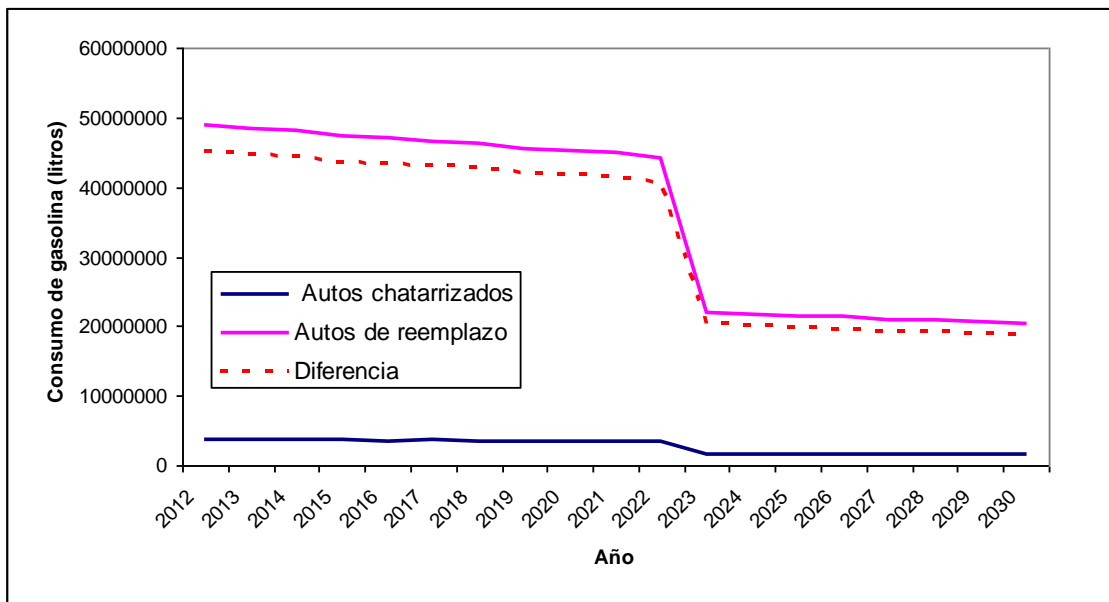
**Ahorros de gasolina y emisiones evitadas de CO<sub>2</sub>**

**Escenario 2. Con cambios en la actividad vehicular de los autos nuevos**

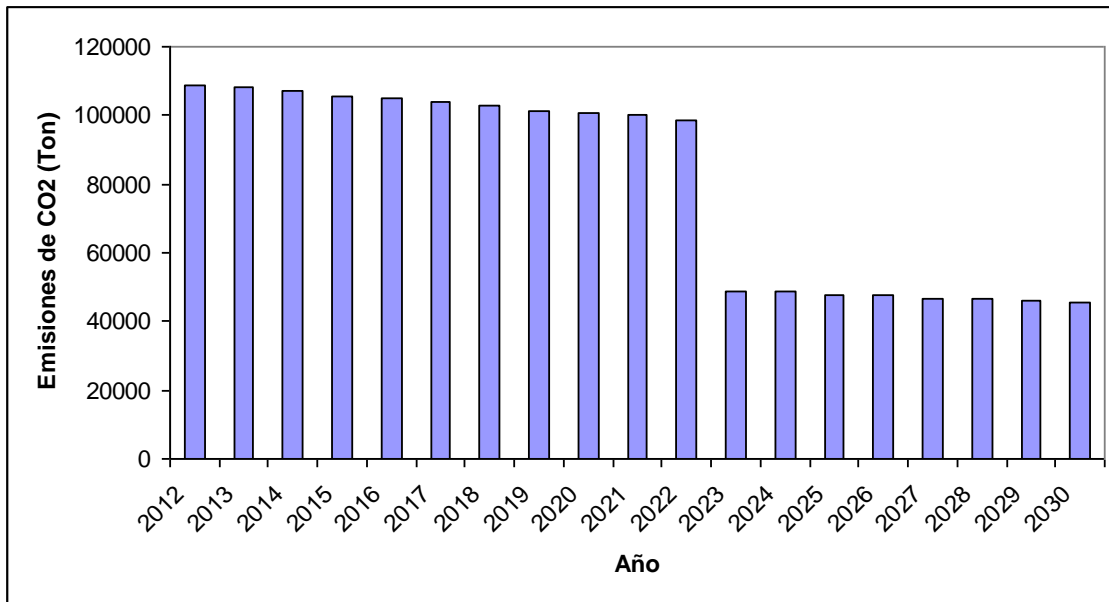
Año	Consumo de gasolina (Litros)		Ahorros de gasolina (litros)	Emisiones de CO <sub>2</sub> (Toneladas)	
	Autos chatarrizados	Autos de reemplazo		Anuales	Acumuladas
2012	3737733	48857983	45120250	108987	108987
2013	3698468	48463967	44765499	108130	217117
2014	3662967	48076255	44413288	107279	324396
2015	3634007	47319149	43685141	105520	429916
2016	3560499	46949468	43388968	104805	534721

2017	3568607	46585518	43016911	103906	638628
2018	3534230	46227168	42692938	103124	741751
2019	3509074	45526757	42017683	101493	843244
2020	3485474	45184450	41698976	100723	943967
2021	3460187	44847253	41387066	99969	1043936
2022	3431209	44187734	40756525	98446	1142383
2023	1701504	21932598	20231094	48868	1191251
2024	1687919	21773666	20085747	48517	1239767
2025	1673995	21462614	19788618	47799	1287566
2026	1658602	21310397	19651795	47468	1335035
2027	1642416	21012349	19369933	46788	1381822
2028	1626549	20866430	19239881	46473	1428296
2029	1611423	20722524	19111101	46162	1474458
2030	1595738	20440585	18844847	45519	1519977

**Figura 7. Consumo de gasolina estimado en el periodo de análisis tanto para autos retirados de circulación como de los que entran a sustituirlos (Escenario 2)**



**Figura 8. Emisiones adicionales de CO2 por instrumentación de la medida en el escenario 2**



## VII. Discusión de resultados

Como se puede observar en los resultados anteriores la metodología empleada para calcular el impacto de una medida de retiro acelerado de autos viejos acompañada de su sustitución por vehículos nuevos (del año modelo en el que lleva a cabo el retiro), es altamente sensible al supuesto sobre la actividad vehicular, de tal manera que suponer que los autos nuevos que reemplazan a los vehículos chatarrizados mantienen el mismo nivel de actividad (kilómetros recorridos por año) generan un beneficio en términos tanto de ahorro de combustible como de emisiones evitas de CO<sub>2</sub>, mientras que un supuesto (más real) que implica un uso más intenso de un vehículo nuevo que uno chatarrizado puede generar un incremento en tanto el consumo de combustible como en las emisiones generadas de CO<sub>2</sub>. En este sentido, es prudente destacar que los datos usados sobre actividad vehicular y rendimiento de combustible han sido generados a través de otros estudios realizados en el INE.

Otro supuesto que puede estar impactando en los resultados obtenidos en estos ejercicios es la estructura de la flota vehicular que se chatarriza, pues en este sentido sólo se cuenta con información real generada por el PRODIAT para un año y dicha estructura

se mantiene constante en el tiempo. Esto es, por ejemplo, si en el PRODIAT el 0.2% de los vehículos retirados y chatarrizados corresponden a un antigüedad de 60 años y vehículos con una antigüedad de 17 años representan el 5.7% en el 2020, se está asumiendo que esta proporción se mantienen desde el 2012 hasta el 2030. Si se tuviera información disponible sobre la posible variación de esta estructura de la flota en el tiempo sería valioso hacer una nueva evaluación, sobre todo con los supuestos empleados en el escenario 2, ya que entre más viejos sean los vehículos retirados más perverso puede ser el impacto de la introducción de vehículos nuevos, ya que si bien se asume un mayor rendimiento del combustible, su nivel de actividad es considerablemente mayor que la del vehículo retirado, lo que compensa y en algún momento supera, el efecto benéfico asociado a un mejor rendimiento.

## VIII. Bibliografía

**Alberini, Anna, Winston Harrington y Virginia McConnell (1995).** *Determinants of Participation in Accelerated Vehicle-Retirement Programs.* The RAND Journal of Economics, Vol. 26, No. 1, pp. 93-112.

**Alberini, Anna, Winston Harrington y Virginia McConnell (1996).** *Estimating an Emissions Supply Function from Accelerated Vehicle Retirement Programs.* The Review of Economics and Statistics, Vol. 78, No. 2, pp- 251-265.

**Alberini, Anna, Winston Harrington y Virginia McConnell (1998).** *Fleet Turnover and old Car Scrap Policies.* Discussion Paper 98-23. Resources for the Future. Washington D.C.

**Baltas, Nicolas y Anastasios Xepapadeas (1999).** *Accelerating Vehicle Replacement and Environmental Protection: The Case of Passenger Cars in Greece.* Journal of Transport Economics and Policy, Vol 33, No. 3, pp. 329-341.

**Bishop, R.C y Heberlein, T.A. (1979).** *Measuring values of extra-market goods: are indirect measures biased,* American journal of agricultural economics, núm.61, pp.926-930.

**Bockstael, Nancy y Freeman, Myrick (2002).** "Welfare Theory and Valuation" en Mäler, Karl y Vincent, Jeffrey (eds.) *Handbook of Environmental Economics. Valuing Environmental Changes.* Elsevier. Holanda.

**Carson, Richard y Hanemann, Michael (2002).** "Contingent Valuation" en Mäler, Karl y Vincent, Jeffrey (eds.) *Handbook of Environmental Economics. Valuing Environmental Changes.* Elsevier. Holanda.

**Haab, Timothy y McConnel, Kenneth (2002).** *Valuing Environmental and Natural Resources: The Econometrics of Non-Market Valuation.* Edward Elgar. Cheltenham, Gran Bretaña.

**Hanemann, Michael y Kanninen, Barbara (1999).** "The Statistical Analysis of Discrete-Response CV" *Data* en Bateman, Ian y Willis, Kenneth (eds.) *Valuing Environmental Preferences.* Oxford. Nueva York.

**Hanemann, Michael (1984).** *Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Responses*. American Journal of Agricultural Economics, Vol. 66, No. 3. Pp: 332-341.

INE – Instituto Nacional de Ecología, 2008. UTILIZACIÓN DE UN MODELO DE RESPUESTA DICOTÓMICA DE VALORACIÓN CONTINGENTE PARA ESTIMAR EL TIEMPO DE RETIRO SOCIALMENTE ÓPTIMO DE UN VEHÍCULO EN LA ZMVM. REPORTE INTERNO.

INE-CTS-TSTES, 2008a. Estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas de la frontera norte. Fase I: Tijuana y Mexicali. México, Distrito Federal. Febrero de 2008.

INE-CTS-TSTES, 2008b. Estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas de la frontera norte. Fase II: Matamoros, Reynosa y Monterrey. México, Distrito Federal. Diciembre de 2008.

INE-CTS-TSTES, 2009a. Estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas. Fase III: Guadalajara, Nogales y Toluca. México, Distrito Federal. Septiembre de 2009.

INE-CTS-TSTES, 2009b. Estudio de emisiones y características vehiculares en Morelia, Mich. Septiembre de 2009. México, Distrito Federal. Septiembre de 2009.

INE-CTS-TSTES, 2010. Estudio de emisiones y actividad vehicular mediante el uso de equipo de detección remota y actividades complementarias, en la ciudad de León, Guanajuato. México, Distrito Federal. Marzo de 2010.

**Islas, Iván (documento de trabajo)** *Valoración Económica de la Actividad Recreativa en el Río Colorado*. Dirección de Economía Ambiental. Instituto Nacional de Ecología.

**McFadden, D (1974).** “Conditional logit analysis of qualitative choice behavior”. en Zarembka, P., (ed) *Frontiers in Econometrics*, pages 105-142. Academic Press, New York.

**Melgar de México (2009).** *Estadística de la Población de Vehículos en México 2009*. México D.F.

**Park, Timothy, Loomis, John y Creel, Michael (1991).** *Confidence Intervals for Evaluating Benefits Estimates from Dichotomous Choice Contingent Valuation Studies.* Land Economics, Vol. 67, No. 1. Pp. 64-73.

**Radam, Alias y Mansor, Shazali (2005).** *Use of Dichotomous Choice Contingent Valuation Method to Value the Manukan Island, Sabah.* *Pertanika J. Soc. Sci. & Hum.* 13(1): pp. 1-8.