

Sustitución de gasolina por gas natural comprimido en los vehículos de la ZMCM: análisis costo-beneficio

(Recibido: mayo/04 -aprobado: julio/04)

*Lorena Belmont S.**

*Adrian Sergio Barrera R.***

*Américo Saldivar Valdez****

Resumen

Se realizó un análisis costo-beneficio a fin de evaluar las ventajas de sustituir gasolina por gas natural comprimido (GNC) en vehículos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). Se encontró que los vehículos susceptibles para dicho cambio son los de uso intensivo; además por insuficiencia de infraestructura de servicio, éstos deberían circular preferentemente dentro del área de estudio. La relación beneficio-costos en el periodo de evaluación (2003-2010) fue de 4.5 a 1. Ello implica una alta viabilidad económica del proyecto, rápida recuperación e indudables beneficios ambientales.

Palabras clave: costo-beneficio, gas natural, emisiones vehiculares, estación dual, contaminación.

JEL: L71, L92, O12.

* Analista de Banorte.

** Investigador científico (IMP) y SNI nivel 1 (abarrera@www.imp.mx).

*** Profesor-Investigador del Posgrado de la Facultad de Economía (UNAM) y SNI nivel 2, (americo@servidor.unam.mx).

Introducción

En los últimos años se ha incrementado el interés en torno de la valoración económica de bienes ambientales. Su importancia radica en el posible impacto que pueden tener los proyectos específicos y las diversas medidas de regulación.

Actualmente es factible acudir a metodologías económicas con la intención de comparar los costos y beneficios asociados con diferentes intervenciones en el medio ambiente, dado que la determinación de éstos en unidades monetarias permite contar con un indicador cuantitativo que puede ayudar en la toma de decisiones con respecto al manejo de los bienes y servicios ambientales, y de los aspectos sociales favorables.

La evaluación tradicional de proyectos no considera los aspectos de desarrollo y conservación de recursos naturales, por lo que se han propuesto varias metodologías de valoración. Entre ellas, el método de Análisis Costo-Beneficio (AC-B).

Este análisis se utilizó por primera vez en 1936 en Estados Unidos en el “Acta para Control de Inundaciones”. A la fecha, el documento goza de gran auge y es utilizado por diversos organismos en todo el mundo.

Los elementos específicos de los ambientes afectados a considerar en el AC-B incluyen: el ambiente físico, el área de alteración, los impactos en el medio ambiente y las consecuencias sociales (externalidades).¹ En este trabajo se emplea el AC-B, el cual permite considerar las externalidades del proyecto, mismas que juegan un papel central; y asegura que el proyecto se ejecutará en tiempo y forma que produzca la razón más alta de beneficio con respecto al costo.

1. Antecedentes

En la ZMCM viven más de 18 millones de habitantes, cuenta con más de 3 millones de vehículos y operan alrededor de 35,000 industrias y servicios que, en conjunto, consumen un volumen superior a los 44 millones de litros de combustibles al día. Ello trae como consecuencia inevitable el deterioro del medio ambiente (SMA, 1999).

A partir de 1986 comenzaron a establecerse medidas de control de la contaminación del aire, en ese año arrancó la sustitución del combustóleo por gas natural y se redujo el contenido de tetraetilo de plomo en la gasolina. Más tarde, en la década de los noventa, se puso en marcha el Programa Integral Contra la

¹ Minera (1997).

Contaminación Atmosférica 1990-1994 (PICCA), cuya aplicación se dio de manera gradual y logro reducir de manera paulatina las emisiones de algunos contaminantes atmosféricos (SMA, 2002).

En 1995 se estableció el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 (PROAIRE). Ante su conclusión, en septiembre del año 2000, las autoridades ambientales se dieron a la tarea de integrar un nuevo programa con visión de largo plazo para el año 2010; el programa contemplaba metas y políticas que dieran seguimiento a las ya aplicadas para continuar mejorando la calidad del aire, y por tanto la calidad de vida de los habitantes de la ZMCM. Como resultado de ello se puso en marcha el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 2001-2010 (PROAIRE).

En la actualidad las fuentes móviles constituyen el principal sector generador de contaminación atmosférica en la ZMCM, emiten 40% de las emisiones totales de HC (hidrocarburos), 98% de las emisiones de CO (monóxido de carbono), 80% de las emisiones de NO_x (óxido de nitrógeno) y 21% de SO₂ (bióxido de azufre), (SMA, 2001).

Las especificaciones de los combustibles vehiculares han variado notablemente en los últimos 15 años; de manera tal que ahora se cuenta con energéticos de alto valor ambiental. Asimismo, durante la década pasada dio inicio el uso de gas licuado de petróleo y gas natural vehicular, combustibles que, comparados con la gasolina, disminuyen la generación de contaminantes vehiculares en 60 y 90% respectivamente.²

En 1994 se aprobaron en México límites de emisión de contaminantes para los autos nuevos, similares a los adoptados en los EUA en 1981, lo que significaba un retraso tecnológico de 13 años. Posteriormente, en 1999, se logró que todos los vehículos vendidos en nuestro país cumplieran con estándares internacionales vigentes, que operan desde 1994 (TIER I),³ con lo que se cerraba la brecha de cinco años creada a partir de 1994. Finalmente, en diciembre del 2000, la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) firmó un acuerdo con la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz para garantizar que, en el futuro, no podrá haber un desfase mayor a dos años para la introducción de las nuevas tecnologías vehiculares en México. Gracias a este acuerdo, los automóviles TIER II empezarán a venderse a más tardar en el 2006, además de contar con sistemas de Diagnóstico a bordo (OBDII) y cumplir

² Minera (1997).

³ "Escalón o nivel". Nombre asignado para la normatividad aplicada en EUA a emisiones de vehículos automotores.

con estándares de durabilidad de por lo menos 80 mil kilómetros.

Dada esta situación consideramos necesario tomar en cuenta los costos que esta medida representa para nuestro país, así como los subsecuentes beneficios para la población de la ZMCM, para determinar su viabilidad.

1.1 Escenario base

Para realizar el AC-B derivado de la aplicación de la medida de control de emisiones en fuentes móviles de la ZMCM, fue necesario diseñar el escenario de evolución del parque vehicular al 2010, suponiendo que no se realizará ninguna medida de control. Este caso, que denominamos Escenario base, se construyó de acuerdo con los datos presentados por la SMA en el Inventario de Emisiones (IE) de 1998.⁴

Para obtener este escenario la flota vehicular se dividió en: a) autos particulares y, b) resto de la flota, que incluye: taxis, microbuses y camiones de carga.

Sólo se consideraron estos tipos de vehículos ya que son los únicos que se ven afectados con la aplicación de la media a que se refiere este trabajo. Se realizó una proyección por tipo de vehículo y por año modelo durante el periodo 1998- 2010.

2. Proyección de la flota vehicular 1998-2010 por tipo de vehículo

Para estimar el crecimiento de este tipo de vehículos se partió de la clasificación y número reportados para 1998, 2000, 2006 y 2010 por la SMA,⁵ que se calcularon mediante la siguiente ecuación:

$$V_{ij} = (VA_j) (TSA_k/100)$$

Donde:

V_{ij} : número de vehículos del año modelo i en el año j

VA : ventas de años ajustadas del año I

TSA_k : tasa de supervivencia ajustada de los vehículos con k años en circulación.

⁴ Minera (1997).

⁵ Minera (1997).

La tasa de supervivencia: refleja el número de autos vendidos por año y el número de los mismos que circulan en el año de estudio. Cabe mencionar que el número de vehículos correspondientes a 1974 comprende también los vehículos vendidos en años anteriores.

Cuadro 1
Proyección del número de vehículos por tipo, 1998-2010

<i>Año</i>	<i>Autos particulares</i>	<i>Taxis</i>	<i>Microbuses</i>	<i>Camiones de carga</i>	<i>Total</i>
1998	2,341,733	109,407	32,030	154,648	2,637,818
1999	2,449,055	109,531	30,880	159,357	2,748,822
2000	2,556,376	109,654	29,729	164,065	2,859,824
2001	2,702,897	109,892	28,880	169,371	3,011,040
2002	2,849,418	110,129	28,031	174,677	3,162,255
2003	2,995,939	110,367	27,183	179,983	3,313,472
2004	3,142,459	110,605	26,334	185,289	3,464,687
2005	3,288,980	110,843	25,485	190,595	3,615,903
2006	3,435,501	110,455	24,636	195,901	3,766,493
2007	3,643,226	109,896	24,090	252,171	4,029,383
2008	3,850,952	109,337	23,543	308,440	4,292,272
2009	4,058,677	108,777	22,997	364,710	4,555,161
2010	4,266,402	101,302	22,450	420,979	4,811,133

Fuente: elaboración propia con datos del GDF (2000) e IMP.

Con base en los datos del Cuadro 1 y la fórmula anterior se determinó el número de vehículos por año-modelo y se comparó con lo reportado en el Inventario de Emisiones. Lo que arroja una diferencia menor a 1%, por lo que se decidió mantener las cifras reportadas para 1998, 2000, 2006 y 2010 y posteriormente realizar una interpolación para los años faltantes.

Para taxis, microbuses y camiones de carga, las estimaciones del número de vehículos por año-modelo y tipo de vehículo se obtuvieron de la siguiente manera.

En todos los casos, para obtener el total de vehículos por año de 1998 al 2010, se interpolaron las cifras correspondientes a 1998, 2000 y 2010, de esta manera se obtuvieron los totales de los años faltantes.

Para obtener el número de vehículos por año-modelo hasta 2003 se consideró que estos vehículos presentaban una variación anual igual a la de los autos particulares. A partir de 2004, debido a que en este año entra en marcha la medida

de renovación de la flota vehicular, concretamente para taxis con más de 10 años de circulación, se supuso que los vehículos con esta característica se reducirían paulatinamente de manera exponencial como función del año, y que los autos con menos de 10 años en circulación tendrían un crecimiento de 15% sobre el que presentaban los particulares.

En general, el escenario del caso base se construyó considerando que el número de vehículos usados que ingresaban a la flota de la ciudad de México era menor al de aquellos dados de baja cada año, por ejemplo que el número de vehículos de un modelo dado es una función monótona decreciente del tiempo.

De acuerdo con las proyecciones del parque vehicular, se estima que en el año 2010 circularán en la ZMCM aproximadamente 4.266 millones de vehículos particulares. De éstos, 1.7 millones (casi 40%) serán vehículos con cuatro años de edad o menos, es decir año-modelo 2006 y posteriores, los cuales cumplirán con niveles de emisión similares a los establecidos en los Estados Unidos (TIER).

Se estima que para ese mismo año circulen 101,302 taxis; 22,450 microbuses y 420,979 camiones de carga. Por lo que el total de la flota vehicular para 2010 será de 4,811,133 vehículos. Una vez realizada la proyección de la flota vehicular de la ZMCM al año 2010, se calcularon las emisiones contaminantes por tipo de vehículo.

Para obtener las emisiones se utilizaron los factores de emisión registrados por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).⁶ Las cuales representan una relación entre la cantidad del contaminante emitido a la atmósfera y la distancia recorrida.

Con la información sobre distancia recorrida diaria por tipo de vehículo para la ZMCM y los factores de emisión, se obtuvieron las emisiones de HC, CO y NOx para cada año-modelo y tipo de vehículo mediante la fórmula:

$$E_{ijk} = (KRV_{ij})(Fe_{ijk})/(1,000,000)$$

Donde:

E_{ijk} = emisión del tipo de vehículo i del año-modelo j del contaminantes k (ton/año)

KRV_{ij} = kilómetros recorridos por el tipo de vehículo i del año-modelo j (km/año)

⁶ IMP (2003).

FE_{ijk}= factor de emisión del tipo de vehículo *i* del año-modelo del contaminante *k* (km/año)

1,000,000= factor de conversión de gramos a toneladas.

En el Valle de México el sector transporte tiene la mayor participación en la generación de contaminantes atmosféricos. Por ello, para este escenario se tomó el volumen de emisiones que son producidas por el mismo (incluye vehículos privados, transporte público, taxis y camiones de carga) en referencia al total del parque vehicular que circula en la ZMCM.

En los Cuadros 2, 3, 4 y 5 se muestran las emisiones para HC, CO, NO_x y SO₂ por tipo de vehículo. Las cuales pueden resumirse de la siguiente manera: 82,439 toneladas/año a 2010 de compuestos orgánicos volátiles o hidrocarburos (COVS) 60,924 toneladas/año de NO_x, 877,115 toneladas/año de monóxido de carbono y 4,429 toneladas/año de SO₂ (azufre).

3. El gas natural como combustible alternativo

Dado que el objetivo principal de este trabajo es demostrar la viabilidad de aplicar el GNC como alternativa de combustible, a continuación se presenta la metodología utilizada para realizar el AC-B de esta medida.

3.1 Escenario alternativo “1” gas natural comprimido–gasolina

Para estimar los costos y beneficios provocados por el cambio de combustible de gasolina a gas natural en vehículos automotores de la ZMCM para el periodo 2002–2010, se elaboró una proyección del número de vehículos que utilizarán GNC como carburante a 2010 tomando como base aquellos que fueron convertidos en 1998 como parte de la primera etapa del “Programa de Gas Natural” implementado por la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, publicados en el documento *La experiencia del gas natural*, septiembre de 2002.⁷

Para proyectar el aumento de la flota vehicular se utilizó la tasa de crecimiento anual de 53.8%, estimada por la Secretaría de Energía en el estudio denominado, *Prospectiva del mercado de gas natural 2001-2010*.⁸ Sin embargo, para el caso de los microbuses, esta tasa de crecimiento de vehículos a gas natural era mayor que la tasa de crecimiento del total de microbuses, siendo 2002 el año en

⁷ GDF (2002).

⁸ SENER (2001).

Cuadro 2**Caso base: emisiones en vehículos a gasolina para HC (ton/año), 1998-2010**

<i>Año</i>	<i>Autos particulares</i>	<i>Taxis</i>	<i>Microbuses</i>	<i>Camiones de carga</i>	<i>Total</i>
1998	83,308	16,489	19,993	17,621	137,411
1999	80,310	16,091	19,500	17,476	133,377
2000	77,175	15,687	18,965	17,297	129,124
2001	74,431	15,226	18,529	17,152	125,338
2002	71,572	14,759	18,077	16,976	121,384
2003	68,594	14,286	17,715	17,152	117,747
2004	65,499	10,409	17,161	16,537	109,606
2005	62,282	8,910	16,634	16,273	104,099
2006	58,944	7,694	15,991	15,978	98,607
2007	56,733	6,648	15,353	15,770	94,505
2008	54,444	5,812	14,678	15,538	90,473
2009	52,076	5,141	13,930	15,279	86,426
2010	49,626	4,590	13,228	14,995	82,439

Fuente: elaboración propia con datos del GDF (2000) e IMP (2003).

Cuadro 3**Caso base: emisiones en vehículos a gasolina para CO (ton/año), 1998-2010**

<i>Año</i>	<i>Autos particulares</i>	<i>Taxis</i>	<i>Microbuses</i>	<i>Camiones de carga</i>	<i>Total</i>
1998	811,162	156,921	216,997	209,307	1,394,387
1999	779,174	153,395	211,129	212,754	1,356,453
2000	746,161	149,816	205,024	215,907	1,316,908
2001	718,251	145,760	200,845	212,810	1,277,667
2002	689,518	141,657	196,526	209,487	1,237,188
2003	659,933	137,498	192,072	205,940	1,195,442
2004	629,469	100,249	186,879	202,165	1,118,762
2005	598,088	86,124	181,730	198,157	1,064,099
2006	565,766	74,664	173,916	193,912	1,008,259
2007	545,334	65,088	166,111	212,754	989,288
2008	524,428	57,300	158,014	215,907	955,649
2009	503,011	51,266	148,829	212,810	915,916
2010	481,040	46,400	140,189	209,487	877,115

Fuente: elaboración propia con datos del GDF (2000) e IMP (2003).

Cuadro 4**Caso base: emisiones en vehículos a gasolina para NOx (ton/año), 1998-2010**

<i>Año</i>	<i>Autos particulares</i>	<i>Taxis</i>	<i>Microbuses</i>	<i>Camiones de carga</i>	<i>Total</i>
1998	48,069	14,612	8,377	12,495	83,554
1999	46,867	14,272	8,165	12,589	81,892
2000	45,671	13,931	7,936	12,680	80,218
2001	44,616	13,540	7,785	12,678	78,618
2002	43,569	13,149	7,628	12,679	77,026
2003	42,530	12,758	7,468	12,684	75,440
2004	41,496	9,616	7,295	12,692	71,098
2005	40,466	8,330	7,138	12,692	68,625
2006	39,437	7,318	6,903	12,714	66,372
2007	38,839	6,433	6,712	12,794	64,777
2008	38,256	5,701	6,511	12,875	63,343
2009	37,686	5,144	6,284	12,957	62,071
2010	37,126	4,692	6,066	13,040	60,924

Fuente: elaboración propia con datos del GDF (2000) e IMP (2003).

Cuadro 5**Caso base: emisiones en vehículos a gasolina para SO₂ (ton/año), 1998-2010**

<i>Año</i>	<i>Autos particulares</i>	<i>Taxis</i>	<i>Microbuses</i>	<i>Camiones de carga</i>	<i>Total</i>
1998	2,000	567	166	240	2,973
1999	2,028	575	161	251	3,015
2000	2,056	583	156	262	3,057
2001	2,139	608	165	269	3,181
2002	2,221	632	174	277	3,304
2003	2,304	657	184	284	3,428
2004	2,386	681	193	291	3,551
2005	2,469	706	202	299	3,675
2006	2,551	722	211	306	3,790
2007	2,658	753	220	319	3,950
2008	2,766	783	229	332	4,110
2009	2,873	814	238	345	4,269
2010	2,980	844	247	358	4,429

Fuente: elaboración propia con datos del GDF (2000) e IMP (2003).

que ambas curvas se cruzaban, por lo que a partir de este año, se supuso que todos los microbuses nuevos consumirían GNC.

Cuadro 6
Proyección de vehículos a gas natural, 1998-2010

<i>Año</i>	<i>Autos particulares</i>	<i>Taxis</i>	<i>Microbuses</i>	<i>Camiones de carga</i>	<i>Total</i>
1998	180	0	0	0	180
1999	349	0	42	480	871
2000	516	0	287	483	1,286
2001	628	0	655	483	1,766
2002	628	0	895	483	2,006
2003	966	0	1,260	818	3,044
2004	1,485	131	2,971	1,258	5,845
2005	2,285	201	4,145	1,935	8,566
2006	3,514	310	4,479	2,975	11,278
2007	5,404	477	5,141	4,576	15,598
2008	8,312	733	5,827	7,038	21,910
2009	12,784		6,661	10,825	31,397
2010	19,661		7,274	16,648	45,317

Fuente: elaboración propia con datos del GDF (2000) e IMP (2003).

Las proyecciones por tipo de vehículo por total anual se presentan en el Cuadro 6.

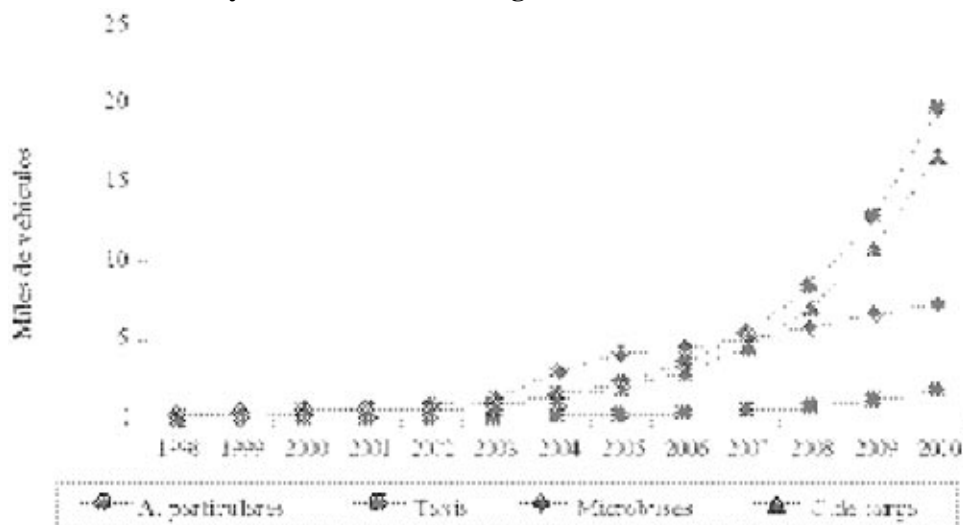
En la Gráfica 1 se presentan las proyecciones de vehículos a GNC, éstas se elaboraron de acuerdo con una escala logarítmica debido a que las cifras fluctuaban en rangos muy amplios año con año.

Con base en la medida núm. 17 “Diseño, evaluación y/o ejecución de proyectos piloto demostrativos” contenida en el capítulo 8 del PROAIRE se determinó que los motores que utilizan GNC reducen, comparativamente con respecto a la gasolina, hasta un 90% sus emisiones de CO y de HC, 40% de NOx y elimina las emisiones de SO₂, por ejemplo, al cambiar gasolina por GNC las emisiones de azufre se reducirían en 100 %.⁹ En la Gráfica 2 se muestra la reducción por tipo de contaminante obtenidas para cada año durante el periodo de estudio.

Para autos particulares la reducción estimada al 2010 es de 892.82 ton/año de HC; 510.42 ton/año de CO; 29.24 ton/año de NOx y el total de las ton/año de

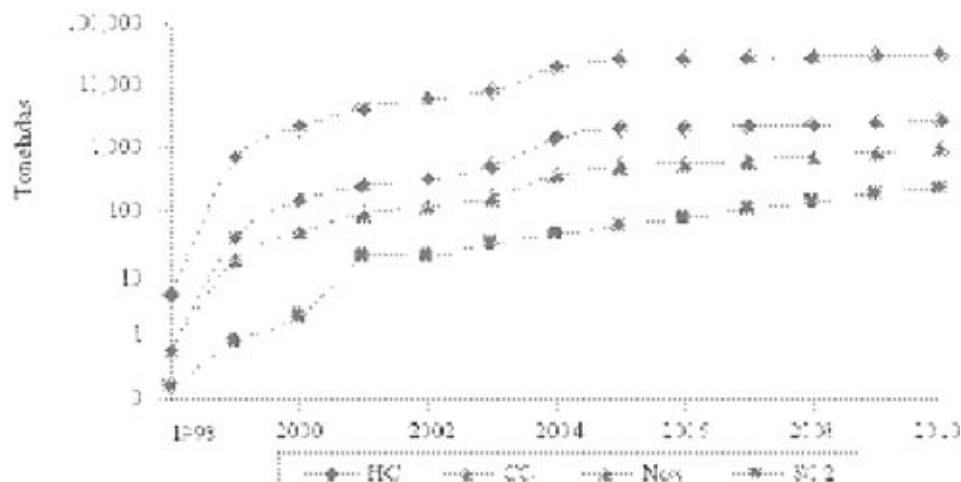
⁹ GDF (2000).

Gráfica 1
Proyección de vehículos a gas natural, 1998-2010



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 2
Reducción de emisiones por tipo de contaminante en vehículos a GNC, 1998-2010



Fuente: elaboración propia.

SO₂ es de 13.73 ton/año. En lo que se refiere a taxis la reducción estimada será de 477.22 ton/año de HC; 292.75 ton/año de CO; 15.37 ton/año de NO_x y el total de las ton/año de SO₂. En el caso de los microbuses se dejarán de emitir 31,263 ton/año de HC; 24,502 ton/año de CO; 661.79 ton/año de NO_x y el total de las ton/año de SO₂, por ejemplo, 187.76 ton/año. Para los camiones de carga la reducción estimada será de 7,593 ton/año de HC; 6,228 ton/año de CO; 314 ton/año de NO_x y el total de las ton/año de SO₂.

4. Descripción de los beneficios

Se identificaron beneficios públicos y privados de la aplicación del GNC como carburante en vehículos a gasolina.

Dentro de los beneficios identificados como resultado de la aplicación del GNC como carburante en vehículos a gasolina se encontraron dos grupos:

- a) Beneficios públicos: beneficios ambientales por reducción de emisiones contaminantes.
- b) Beneficios privados: beneficio por ventas en estaciones de servicio de gas natural, el beneficio por diferencial de precio del combustible y el beneficio por menor gasto de mantenimiento para los vehículos.

4.1 Beneficio por reducción de emisiones

Con base en la reducción de emisiones obtenida por tipo de contaminante y de acuerdo con los datos presentado por el INEGI en el *Sistema cuentas económicas y ecológicas de México 1993-1997*, se obtuvo el costo por tonelada considerando el deterioro producido para cada tipo de contaminante. El INEGI utilizó diversos métodos para asignar un valor al recurso natural. Para esta investigación sólo se tomó en cuenta el método de Costo de Mantenimiento.

Este procedimiento toma en cuenta los costos en que se incurriría si se deseara evitar el deterioro o restablecer las cualidades del recurso de acuerdo con los estándares de calidad considerados como aceptables. En el caso del aire no se puede acotar la disponibilidad total de activos, por lo que se calculan los costos por degradación referidos al monto monetario, requerido para evitar y/o disminuir su contaminación.¹⁰

Así, para obtener estos valores, se emplearon los costos por degradación

¹⁰ INEGI (1999).

por contaminante, las toneladas emitidas para cada uno de ellos y el índice de precios al consumidor de 2000 y 2002 para obtener el valor actual de los mismos mediante un deflactor.

De acuerdo con este trabajo los costos estimados de emitir CO, HC, NOx y

Cuadro 7
Aspectos de degradación, 1998-2010

<i>Contaminante</i>	<i>Pesos^a/Tonelada</i>
Bióxido de azufre	12,848
Oxido de nitrógeno	7,073
Hidrocarburos	8,373
Monóxido de carbono	9,661

^a Pesos de 2002.

Fuente: elaboración propia con datos del INEGI (1999).

SO₂ ascienden a 9,661; 8,383; 7,073 y 12,848 respectivamente en pesos de 2002.

Reducción de emisiones esdenario alternativo “B” contra gas natural comprimido-gasolina

Debido a la reconfiguración de la gasolina con menor contenido de azufre para nuestro escenario alternativo “B”, el beneficio por reducción de emisiones es menor dado que con este nuevo combustible las emisiones de SO₂ disminuyen.

Para obtener el beneficio por reducción de emisiones la metodología utilizada es la siguiente:

$$BRE = (RE)(CDGRN)$$

BRE: Beneficio por reducción de emisiones

RE: Reducción de emisiones por año y tipo de contaminante

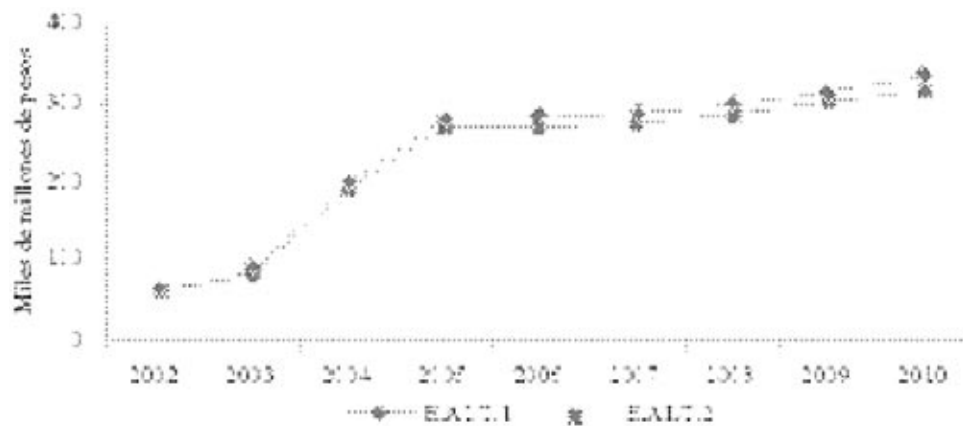
CDGRN: Costo por degradación para cada contaminante

El beneficio por costos evitados por reducción de emisiones en millones de pesos se muestra en la Gráfica 3.

Beneficio por diferencial de precio del combustible

Para determinar el beneficio del cambio del uso de gasolina a gas natural como carburante en unidades vehiculares convertidas y de agencia que ya circulan, inclu-

Gráfica 3
Beneficio por reducción de emisiones, 2002-2010



Fuente: elaboración propia.

yendo las que se estima que circularán en la ZMCM durante el periodo 2002- 2010, se calculó el consumo total anual de combustible por tipo de vehículo.

El consumo total anual se obtuvo al multiplicar el consumo unitario anual por tipo de combustible de un vehículo por el total de unidades a GNC. Habiendo obtenido esta cifra y el precio por litro de cada combustible se obtuvo el diferencial de precio.

Para el escenario alternativo “A” y tomando en cuenta un incremento en el precio de la gasolina de 3% anual, el diferencial de precio oscila entre los 2.00 y 2.50 pesos por litro. Para el escenario alternativo “B” dado que la gasolina baja en azufre tendrá un precio mayor y suponiendo el mismo incremento en el precio de 3% anual, el diferencial de precio oscila entre los 2.00 y 3.50 pesos por litro.

De esta manera se multiplicó el consumo total anual de las unidades que emplean GNC en la ZMCM por el diferencial de precio por litro de cada combustible vigente, con lo cual se obtuvo el beneficio total anual por tipo de vehículo.

Ventajas adicionales del uso de gnc

En cuanto a la operación y mantenimiento de vehículos que consumen gas natural comprimido, se puede afirmar que existe un ahorro, dado que los costos de mantenimiento se ven reducidos al poder espaciar los cambios de aceite, además se genera un ahorro por reducción en gastos de verificación vehicular.

En lo que concierne a la afinación mecánica se tiene que el ahorro al utilizar GNC asciende a \$800 al año, la verificación vehicular dependiendo del año-modelo del vehículo y al tipo de verificación vehicular que deba de pagar, el ahorro va desde 175 a \$436 anual y por cambio de aceite \$4,080 anual.

El ahorro obtenido es importante al alcanzar por ejemplo en el año 2004, la cifra de 30 millones de pesos acumulado de la flotilla de la ZMCM existente hasta ese año.

Conociendo el precio de venta, las ventas anuales proyectadas en base a la demanda estimada y el costo de producción de las 56 estaciones requeridas, se calculó el beneficio que se obtendría por ventas en las estaciones de suministro; el cual asciende para el 2010 a 2,874,149,734 miles de millones de pesos.

5. Estimación de costos

AC-B comprende la determinación de los costos en los que se incurrirá por la aplicación del uso de GNC como carburante en vehículos que circulan en la ZMCM, entre ellos se identificaron dos grupos:

- a) Costo público: costo por la aplicación de la medida a cargo del Gobierno del Distrito Federal (GDF).
- b) Costos privados: costo de instalación de estaciones de servicio de gas natural, costo de operación y mantenimiento de las mismas y conversión de los vehículos, a cargo los automovilistas respectivamente.

Este costo representa la inversión que el GDF realizará anualmente por concepto de gastos administrativos, gastos por consultoría, servicios e imprevistos, contenidos en el documento *La experiencia del gas natural*.¹¹ En el cual se determina lo que el gobierno ha invertido en el programa de combustibles alternos, concretamente en la parte de GNC. La inversión anual calculada para el periodo de estudio 2002-2010 asciende a \$970,686.

¹¹ GDF (2002).

Se determinó a partir del costo del equipo necesario para su instalación, el terreno y la instalación eléctrica con base en los datos presentados por la *Evaluación del Costo-Beneficio sobre la utilización del gas natural como carburante en vehículos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*.¹²

Los costos anuales de las estaciones de suministro necesarias en el área metropolitana de la ciudad de México varían según el tipo de instalación que se desee realizar, por tanto una estación dual convertida costaría 14,660,696; una estación dedicada a GNC tendrá un valor de 18,210,696, cabe destacar que los costos de operación y mantenimiento se acumulan cada año, con independencia de la inversión inicial.

Para determinar este costo se supuso que una estación convertida a GNC requiere \$5,864,278; para obtener su valor total anual, se multiplicó por el número de estaciones existentes en cada año.

Dentro de la tecnología en GNC, actualmente es utilizada encontramos que los automóviles que utilizan este combustible pueden clasificarse en dos tipos: a) los de agencia con sistemas adaptados para la utilización de GNC, y b) los convertidos mediante la instalación de un *kit* de conversión de gasolina a GNC.

Para determinar este costo se estimó el número de vehículos a gas natural de agencia basándose en un porcentaje del total de vehículos a convertir. Este porcentaje se determinó a partir de la información obtenida en el documento *Evaluación del Costo -Beneficio sobre la utilización del Gas Natural como carburante en vehículos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*.¹³

Para la obtención del costo que representa este tipo de autos se investigó la cotización de un vehículo nuevo que emplea gasolina como carburante y otro del mismo modelo pero que utiliza gas natural. Cabe señalar que para las estimaciones por tipo de vehículo sólo se tomó la diferencia entre el precio de cada vehículo por tipo de combustible por tanto la inversión necesaria asciende a \$18,000 para un vehículo ligero, \$30,857 para un vehículo mediano y \$56,571 para un vehículo pesado.¹⁴

La inversión necesaria por parte del usuario varía de acuerdo a las características mecánicas de su automóvil, por lo cual el precio de un *kit* de conversión oscila entre los 1,500 y 6,500 US dólares. La conversión a pesos se realizó con el tipo de cambio promedio al 31/12/2002 de 10.31 pesos por dólar. Los costos de conversión por tipo de vehículo utilizados por tipo de vehículo fueron, para un vehículo ligero

¹² Barrera (1998).

¹³ Barrera (1998).

¹⁴ Gas Natural México y BA (2003).

\$18,043, para un vehículo mediano \$30,930 y para uno pesado \$56,705.

6. Resultados

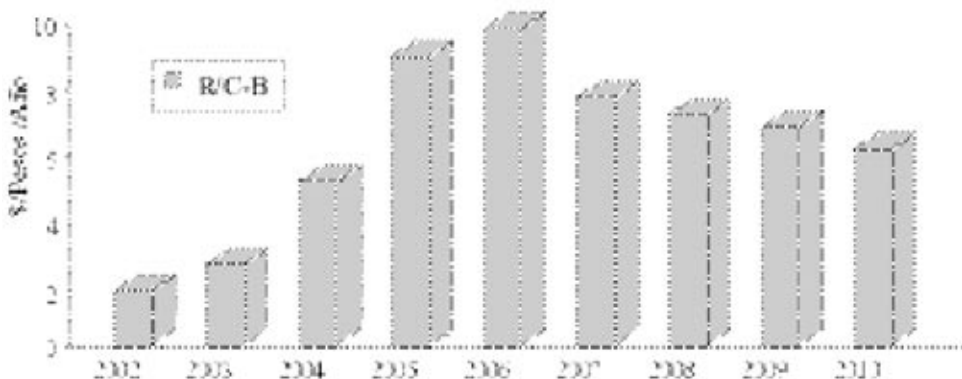
El flujo de efectivo anual en todos los casos es positivo. La relación beneficio-costo estimado, es superior a 1, alcanzando un máximo en 2006, con una relación de 6.46. El valor presente neto (VPN) de los beneficios es de \$10,634 millones de pesos (mdp) y el VPN de los costos es de \$1,645 mdp. Para un VPN total del estudio de \$8,988 mdp.

De lo anterior se deduce que en el todo el periodo resulta atractivo invertir en el programa de conversiones.

La relación Beneficio-Costo del proyecto para el periodo 2003-2010, es de 6.00 unidades, lo que significa que por cada peso invertido en el programa de conversiones se recupera ese peso más 600 pesos adicionales. De lo anterior se deduce que en el todo el periodo resulta atractivo invertir en el programa de conversiones.

El flujo de efectivo anual en todos los casos es positivo. La relación beneficio-costos estimado es superior a 1, alcanzando un máximo en 2006, con una relación de 8.50. El VPN de los beneficios es de \$9,866 mmp y el VPN de los costos

Gráfica 4
Escenario A
Relación Beneficio Costo anual, 2002-2010



Fuente: elaboración propia.

es de \$1,645 mmp. Para un VPN total del estudio de \$8,221 mmp.

Conclusiones

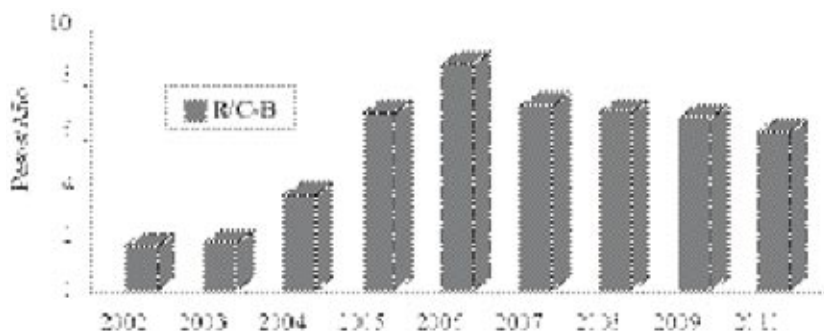
En lo que se refiere a la pertinencia de aplicar esta medida es posible concluir que el proyecto es viable y por tanto debe de aceptarse dado que en todos los indicadores económicos, el VPN y la Relación costo-beneficio, son positivos durante todo el periodo de estudio.

De acuerdo con los resultados de este trabajo, se recomienda el uso de GNC en vehículos, ya que su relación beneficio-costos es mayor a uno, así, por cada peso que se gaste en esta medida se obtienen beneficios de entre 5 y 6 pesos anualmente.

El gas natural tenderá con más frecuencia a ser usado junto con otros combustibles alternos, ello, debido a sus propiedades menos contaminantes, lo que modificará la oferta del sector energético a partir de 2010 para responder a la demanda de la nueva tecnología automotriz.

La información, capacitación y sensibilización pública en el tema calidad del aire y salud son áreas de baja prioridad en países en vías de desarrollo; sin embargo, deben realizarse grandes esfuerzos para estandarizarnos con los parámetros

Gráfica 5
Escenario B
Relación Costo Beneficio anual, 2002-2010



Fuente: elaboración propia.

de límites de contaminación con nuestros vecinos del norte, y homologar la calidad de los combustibles. México deberá impulsar el desarrollo y la especialización de actividades susceptibles de generar tecnología para mejorar su posición mundial en los próximos 25 años.

Se demuestra plenamente que el uso de gas natural en los automotores es menos contaminante, más seguro en su manejo, así como más rentable para los usuarios, por lo que se puede prever que un mayor número de ellos adopte su uso.

Permite confiar, en términos de mejor calidad de vida, puesto que hay un ahorro de costo social implícito en la posibilidad de mejorar la calidad del aire que respiramos y su influencia en la salud pública.

Referencias bibliográficas

- BA, Bermor Automotriz, GM, cotización telefónica, Alicia Romero, (Av. Cuitláhuac # 3354), D.F., 27 de febrero de 2003.
- Barrera, Adrián (1998). *Evaluación del costo-beneficio sobre la utilización del gas natural como carburante en vehículos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*, México: Instituto Mexicano Petróleo.
- Gas Natural México (2002) (www.gasnaturalmexico.com) 15 de mayo.
- Gobierno del Distrito Federal. Secretaría del Medio Ambiente (2000). *PROAIRE*, GDF.
- (2002). *Programa de combustibles alternos-gas natural*, GDF.
- Instituto Mexicano del Petróleo (2003). *Proyecto modelo predictivo de formulación y certificación de gasolinas*, F.00533, IMP.
- INEGI (1999). *Sistema de cuentas económicas y ecológicas de México, 1993-1997*, México: INEGI.
- Minera Barric Misquichilca (1997). *Estudio de impacto ambiental*.
- Secretaría de Energía (SENER) (2001). *Prospectiva del mercado de gas natural 2001- 2010 México*.
- Secretaría del Medio Ambiente (1990). “Inventario de emisiones Zona Metropolitana del Valle de México 1996”, México.