

LOS BENEFICIOS SOCIALES Y AMBIENTALES DE LIMITAR LA ENTRADA DE VEHÍCULOS DIESEL LIVIANOS EN LA CIUDAD DE SANTIAGO*

**Andrés Gómez-Lobo, Constanza Pantaleón, Hernán Frigolett,
Sergio García y Paulina Valenzuela**

En este estudio se hace una valoración económica de los costos y beneficios sociales de imponer una restricción que impida la entrada de nuevos vehículos diesel livianos en Santiago. Los resultados del estudio muestran que esta medida está asociada a un aumento significativo en el bienestar social de entre US\$11 y US\$66 millones para los primeros cinco años de su aplicación, dependiendo del escenario considerado. Tomando un horizonte más largo, el valor presente de los beneficios puede aumentar hasta alcanzar entre US\$45 y US\$426 millones. La mayor parte de estos beneficios se debe a los impactos positivos en la salud de las personas como consecuencia de las menores emisiones de precursores de material particulado fino.

ANDRÉS GÓMEZ-LOBO. Departamento de Economía, Universidad de Chile.
CONSTANZA PANTALEÓN. Departamento de Economía, Universidad de Chile.
HERNÁN FRIGOLETT. Economista, EMG Consultores S.A.
SERGIO GARCÍA. Economista, EMG Consultores S.A.
PAULINA VALENZUELA. Ingeniero Civil Industrial, EMG Consultores S.A.

* Este trabajo fue financiado por GASCO S.A. Los resultados y opiniones en nada comprometen a esta empresa.

1. Introducción

En los últimos años se ha observado una tendencia creciente a la importación de vehículos livianos comerciales, como jeeps, furgonetas y camionetas, que utilizan diesel como combustible. Este fenómeno se explica, principalmente, por la estructura tributaria que grava a los combustibles líquidos en Chile. El impuesto específico a la gasolina es de 6,0 Unidades Tributarias Mensuales (UTM) por m³, cuatro veces superior que el impuesto específico al diesel, de 1,5 UTM por m³. Esta diferencia impositiva genera una ventaja de precios a nivel minorista de más de 50% por litro a favor del diesel. Esta diferencia, sumada al hecho que el rendimiento de los vehículos livianos a diesel es superior al rendimiento de sus similares a gasolina, genera un potente incentivo financiero para la compra y uso de estos vehículos.

Los incentivos para utilizar diesel han estado presentes hace muchos años, pero la importación de vehículos livianos a diesel fue limitada en el pasado por las normas de emisión contenidas en el D.S. 211 del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones actualmente vigente en la Región Metropolitana. Para los vehículos comerciales livianos, el D.S. 211 establece una norma para las emisiones de material particulado (MP₁₀), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) e hidrocarburos totales (HC). Hasta hace algunos años había pocos modelos diesel que cumplieran las normas de emisión de este decreto, situación que ha cambiado significativamente en los últimos años. Ahora existen varios modelos comerciales livianos que cumplen la normativa. Como consecuencia se ha producido un aumento sostenido en la importación de estos vehículos. Entre el año 1997 y 2000 el parque de vehículos comerciales diesel en Santiago creció desde 11.705 unidades a 31.587 unidades, lo cual representa una tasa de crecimiento anualizada de 39,2%. En comparación, durante el mismo período la tasa de crecimiento anual de vehículos livianos comerciales a gasolina fue de un 14,7%.

La creciente importación, venta y uso de vehículos livianos a diesel es preocupante debido a las consecuencias ambientales que genera en la ciudad de Santiago. En efecto, las emisiones atmosféricas de los vehículos diesel pueden llegar a ser varias veces superiores a las emisiones de los vehículos a gasolina, especialmente en cuanto a las emisiones de material particulado, contaminante crítico en la Región Metropolitana. Asimismo, la tendencia actual implica para el Estado una menor recaudación impositiva al cambiar la matriz energética hacia un combustible que paga menores impuestos.

El propósito del presente estudio es hacer una valoración económica de los costos y beneficios sociales de prohibir la entrada de más vehículos livianos a diesel en Santiago. Naturalmente, la medida regulatoria óptima sería eliminar la distorsión generada por la estructura impositiva actual, mediante un aumento del impuesto específico al diesel o una reducción al de la gasolina. Sin embargo, en este trabajo se asume que, por razones de índole política, esta estructura tributaria es inmutable, por lo que se estudian las ventajas de prohibir la entrada de más vehículos a diesel como una medida de “segundo mejor”.

El resultado del presente estudio muestra que prohibir la entrada de más vehículos livianos diesel en la capital genera un aumento significativo en el bienestar social de entre US\$11 y US\$66 millones para los primeros cinco años de su aplicación, dependiendo de los supuestos que se hagan sobre el ritmo de crecimiento futuro del parque diesel en ausencia de una medida regulatoria. Tomando un horizonte más largo, el valor presente de los beneficios puede aumentar hasta US\$45 a US\$426 millones. La mayor parte de estos beneficios se debe a los impactos positivos en la salud de las personas como consecuencia de las menores emisiones de precursores de material particulado fino.

2. Medidas para prohibir la entrada de más vehículos livianos diesel

Frenar el crecimiento del parque de vehículos livianos a diesel se podría lograr por varias vías. Primero se podrían modificar las normas de emisión del D.S. 211, equiparándolas, por ejemplo, a las normas de emisión TIER 1 (del Estado de California, EE.UU.). La Tabla 1 muestra los valores relativos de las normas de emisión para los contaminantes normados en Chile.

De la Tabla 1 se puede observar que las normas TIER 1 son bastante más exigentes que la normas de emisión que rigen actualmente en Chile. En la práctica, la adopción de normas de emisión equivalentes a las california-

TABLA 1: NORMAS DE EMISIÓN EN CHILE Y CALIFORNIA

Norma	HC Totales	CO	NOx	Partículas
D.S. 211	0,50	6,20	1,43	0,16
TIER 1	0,16	2,11	0,25	0,05

nas implica prohibir la entrada de nuevos vehículos livianos que utilizan tecnología diesel, ya que los actuales modelos disponibles en el mercado superan esta normativa en contaminantes como los óxidos de nitrógenos (NO_x) y el material particulado respirable (PM_{10}).

Como segunda alternativa de política, se podría introducir un impuesto especial que afecte los permisos de circulación de los automóviles diesel y que compense los costos ambientales que el uso de estos vehículos genera. Esta segunda política sería más consistente con el proyecto de compensación de emisiones que el actual gobierno quiere introducir como política ambiental en Santiago.

3. Costos y beneficios de restringir a los vehículos diesel

La Figura 1 muestra una situación estilizada del mercado de transporte en Santiago que permite identificar los costos y beneficios de prohibir la entrada de más vehículos livianos diesel. El eje horizontal mide el número de kilómetros recorridos por un usuario promedio. Los costos de generar un kilómetro adicional utilizando diesel y gasolina se denominan Cmg_d y Cmg_g , respectivamente. Se asume que el costo del diesel es menor que el de la gasolina debido al mayor rendimiento de un litro del primer combustible. Además, la evidencia que se presenta más adelante en relación a los costos de paridad de importación es favorable al diesel.

El impuesto específico es menor para el diesel que la gasolina, generando un precio final de P_d menor a P_g ¹. Ambos combustibles generan una externalidad ambiental, lo que implica que el costo social de su uso es mayor que su costo privado. Sin embargo, en términos relativos el diesel genera un costo social mayor². Para reflejar esta situación, en la figura se asume que el costo social de utilizar diesel es Cmg_d^S . Este costo social incluye el costo privado más la externalidad relativa del diesel vis-à-vis la gasolina.

En la situación inicial (sin la prohibición), los individuos optarán por un vehículo diesel, generando Q_0 kilómetros de recorrido. Se genera un costo social por una mayor externalidad ambiental equivalente al área $nfcj$. De imponerse la restricción a los vehículos diesel, el crecimiento del parque vehicular será por la vía de incorporar vehículos a gasolina³. Debido al

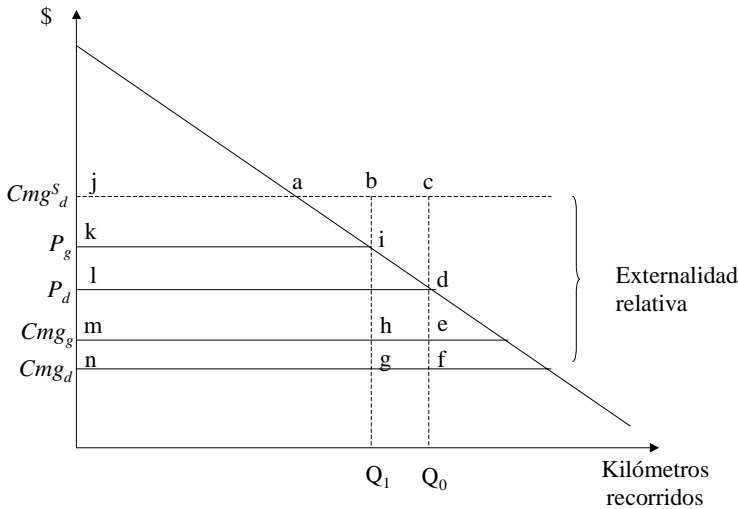
¹ Se asume que los costos de distribución de ambos combustibles son idénticos y están incorporados en la variable Cmg . También se asume que no hay poder de mercado por parte de los distribuidores. Los precios minoristas incorporan también el efecto del IVA.

² Esta afirmación se justifica más abajo con referencia a los datos de emisiones.

³ También parte del crecimiento del parque podría ser con vehículos a gas natural o gas licuado. Para mantener el análisis simple no se analizan los efectos de la disponibilidad de estos combustibles alternativos que tienen un régimen tributario distinto.

mayor precio final de la gasolina, los kilómetros recorridos disminuyen a Q_1 . Los efectos de esta medida son tres:

FIGURA 1



(1) *Reducción en la externalidad ambiental*: el cambio de combustible genera un beneficio por la reducción de las emisiones equivalente al área $nfcj$.

(2) *Mayor costo de producción de los kilómetros de recorrido*: los recorridos Q_1 ahora se realizan con un combustible más caro. Por lo tanto hay una pérdida social equivalente al área $nghm$. Este costo tiene su origen en que ahora se requieren más litros de gasolina —debido a su menor rendimiento— para generar un kilómetro recorrido y, además, el costo de producción (paridad de importación) de este combustible es mayor.

(3) *Reducción del excedente social por menores kilómetros recorridos*: también hay una pérdida debido a que disminuye el número de kilómetros recorridos de Q_0 a Q_1 . Esta pérdida equivale al área $idfg$ del gráfico e incluye el menor excedente del consumidor por la reducción de viajes más la pérdida de recaudación de impuestos para el fisco⁴.

⁴ Los beneficios ambientales de la reducción de viajes ya están contabilizados en el punto (1).

En este trabajo se cuantifican estos tres efectos. Además, restringir la entrada de vehículos a diesel también genera un cambio en la recaudación tributaria, equivalente a la diferencia entre el área *nfdl* y el área *mhik*. Si bien este cambio sólo constituye una transferencia de recursos entre agentes de la sociedad, igualmente es una cifra relevante para las autoridades al momento de decidir sobre la medida en cuestión.

4. Metodología de estimación

Para estimar los tres impactos señalados anteriormente se realizó primero un análisis de las emisiones anuales de distintos contaminantes para los vehículos livianos comerciales (que incluyen los jeeps, camionetas, furgones y otros) según el uso de gasolina o petróleo diesel como combustible. Esta estimación se hizo para tres tamaños de vehículos (con motores menores a 1.500 cc, entre 1.500 y 2.000 cc y más de 2.000 cc). La desagregación por tamaño de motor es relevante para estimar las emisiones de SO_2 y para calcular las emisiones en frío de los otros contaminantes.

Luego se proyectó el crecimiento del parque vehicular diesel liviano en la Región Metropolitana para los siguientes cinco años considerando tres escenarios distintos. El primero asume un crecimiento alto pero similar al observado entre el año 1997 y 2000. El segundo asume un crecimiento un 50% menor al observado durante este período, y el tercer escenario asume un crecimiento bajo equivalente a la tasa de crecimiento de la economía en el largo plazo. Multiplicando el número de vehículos por los kilómetros recorridos durante un año y por los factores de emisión se obtiene una estimación de las emisiones totales bajo cada uno de los tres escenarios base.

Para cada escenario base, la situación con proyecto equivale al congelamiento de la entrada de vehículos diesel y su reemplazo por vehículos que utilizan gasolina sin plomo como combustible, manteniendo la tasa global de crecimiento del parque automotriz inalterada. Es decir, se mantiene el número total de vehículos que ingresan al mercado según cada escenario base, pero la matriz de combustibles varía y en consecuencia también las emisiones totales. Sin embargo, el número de kilómetros recorridos disminuye en la situación con proyecto, tal como se describe más abajo.

Calculadas las emisiones en la situación con y sin proyecto para cada escenario, se obtuvieron las diferencias en emisiones asociadas a cada contaminante. Para realizar la valoración económica del cambio en estas emisiones, se utilizaron los valores monetarios desarrollados por Conama Región Metropolitana (Conama RM, 2001). Estos valores reflejan los cos-

tos de mortalidad, morbilidad, visibilidad y daño de materiales de los cambios en concentraciones provocados por las emisiones de los distintos contaminantes.

Para estimar el costo social del cambio de combustible, se calcularon los kilómetros recorridos bajo cada escenario y se utilizaron los factores de rendimientos de cada categoría de vehículo (kms/litro) para estimar las demandas físicas de combustible. Luego se utilizaron los precios de paridad de importación de la Comisión Nacional de Energía para valorar el mayor costo social que significa el consumo de gasolina en vez de diesel.

El cambio en el excedente del consumidor se estimó asumiendo una elasticidad de demanda por kilómetros recorridos igual a $-0,2$ y utilizando la información de precios y costos del uso de cada combustible. Aunque $-0,2$ es una elasticidad razonable para esta industria según la literatura internacional, los análisis de sensibilidad muestran que los resultados no varían significativamente si se asume una demanda más elástica⁵.

Finalmente, el efecto tributario de la medida se calculó utilizando los litros de cada tipo de combustible demandado en cada escenario y el valor de los impuestos específicos de cada uno. No se consideraron los efectos tributarios de cambios en la recaudación del IVA o de aranceles de importación.

A continuación se presentan los detalles de las estimaciones realizadas. Cabe destacar que el horizonte de evaluación para el presente estudio es de cinco años, es decir, desde 2003 hasta 2007. Es posible extender el análisis para un horizonte mayor asumiendo que los costos o beneficios del 2007 se mantienen constantes después de ese año.

4.1. Metodología de cálculo de emisiones

La metodología utilizada para el cálculo de emisiones por tipo de vehículo se basó en la desarrollada por el Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA, 2000) en su estudio de mejoramiento del Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana.

Los factores de emisión para vehículos a gasolina corresponden a los presentados en el estudio del CENMA bajo la categoría de “vehículos livianos comerciales” (que incluye jeeps, furgones, camionetas y otros) menores a 3,5 toneladas.

⁵ The Mackinac Center for Public Policy (www.mackinac.org) publica una elasticidad de demanda de gasolina de corto plazo de $-0,2$ para Estados Unidos. En el largo plazo esta elasticidad sube a $-0,7$.

Debido a las nuevas tecnologías existentes, en cuanto a control de emisiones de vehículos diesel (llamados “eco-diesel”), y que corresponden a los que actualmente ingresan a la Región Metropolitana, las emisiones producidas por vehículos diesel fueron obtenidas del programa de la Agencia Ambiental Europea, COPERT III⁶. La elección de esta fuente de información se basó principalmente en que este documento es el actualmente utilizado como referencia por los estamentos públicos y científicos a nivel nacional. De hecho el CENMA utilizó antecedentes de este documento para la realización del estudio mencionado anteriormente.

El vehículo diesel presentado en el documento europeo que se asemeja de mejor manera a los vehículos comerciales que actualmente ingresan al país es el que cumple con la normativa Euro I. Otro punto importante de destacar es que el petróleo diesel utilizado en el estudio europeo no tiene las mismas características que el existente actualmente en Santiago y que es vendido bajo el nombre de “Diesel Ciudad”. Para realizar el ajuste correspondiente, en el documento COPERT III se presentan las fórmulas para calcular las emisiones asociadas a las distintas características del diesel. Se utilizó esta metodología aplicada a las especificaciones del diesel ciudad utilizado en Santiago.

TABLA 2: EMISIONES UNITARIAS MEDIAS (GR/KM RECORRIDO)

Tipo	Combustible	Cilindrada	MP	CO	NO _x	SO ₂
Vehículos comerciales livianos	Gasolina	< 1.500 cc	0,000	2,802	0,499	0,069
		1.500 cc – 2.000 cc	0,000	2,488	0,496	0,069
		> 2.000 cc	0,000	2,118	0,465	0,084
Vehículos comerciales livianos	Diesel	< 1.500 cc	0,093	0,576	1,269	0,337
		1.500 cc – 2.000 cc	0,093	0,576	1,269	0,414
		> 2.000 cc	0,093	0,576	1,269	0,506

Fuente: Anexo.

Los detalles del cálculo de los factores de emisión por tipo de vehículo se presentan en el anexo de este trabajo. Los resultados de las emisiones medias por tipo de vehículo considerando todos los factores que afectan esta emisión se detallan en la Tabla 2. Se puede observar que con la excepción del CO, el diesel genera emisiones por kilómetro recorrido bas-

⁶ European Environmental Agency (2000).

tante mayores que la gasolina, tanto de material particulado como de sus precursores.

4.2. Parque automotriz

Para estimar el parque vehicular liviano diesel se utilizó como base la información recopilada en las plantas de revisión técnica de la Región Metropolitana del año 1997. Esta información permite obtener un nivel inicial de vehículos livianos diesel y gasolina por tamaño de motor. Posteriormente se utilizan los registros de importaciones de aduana para actualizar el stock de vehículos relevantes hasta el año 2000⁷. Debido a que las importaciones incluyen a todo el país y las revisiones técnicas sólo a la Región Metropolitana, a las importaciones nacionales se les aplicó el porcentaje de vehículos que tiene esta región en relación con el parque nacional para actualizar el parque comercial diesel desde 1997. Este porcentaje se obtuvo mediante el análisis de las estadísticas del INE referente a los permisos de circulación entregados en el país y que se publican cada año⁸.

En la Tabla 3 se presenta el número de vehículos relevantes para el presente estudio estimado según el procedimiento anterior. Se puede observar que el crecimiento anual del parque de vehículos livianos diesel ha sido mucho más alto que el de los vehículos similares a gasolina. Entre 1997 y el año 2000, los vehículos a gasolina aumentaron de 77.027 a 116.275, un crecimiento promedio anual de 14,7%. Por su lado, el stock de vehículos livianos diesel aumentó de 11.705 en 1997 a 31.587, una tasa de crecimiento anual promedio de casi 40%.

La Tabla 4 presenta los supuestos de crecimiento de este parque hasta el año 2007 sin proyecto (o sea sin la prohibición de entrada de nuevos vehículos livianos diesel) bajo tres escenarios distintos⁹.

El primer escenario asume un crecimiento anual de los vehículos diesel de 30% para los años 2001 al 2004, inclusive. En los años 2005 y 2006, la tasa de crecimiento baja al 20% y en el año 2007 al 10%. Este

⁷ Los vehículos nuevos no requieren hacer una revisión técnica por los primeros dos años, por eso fue necesario utilizar datos de importación para estimar el parque posterior al año 1997.

⁸ Instituto Nacional de Estadística, "Parque de Vehículos en Circulación", varios años. Desafortunadamente esta información no está desagregada por tamaño de motor ni tipo de combustible. Por este motivo se utilizó el procedimiento indirecto descrito aquí para estimar el parque vehicular.

⁹ No tenemos antecedentes para actualizar la estimación del parque en los años 2001 y 2002 por lo que se utilizan los supuestos de crecimiento de cada escenario para estimar el parque en estos años.

TABLA 3: VEHÍCULOS COMERCIALES LIVIANOS EN LA REGIÓN METROPOLITANA, 1997-2000

Tipo vehículo	Tipo combustible	Cilindrada	1997	2000	Crecimiento promedio anual 1997-2000
Jeeps, camionetas, furgones y otros	Gasolina	< 1.500	14.265	24.333	14,7%
		1.500 – 2.000	7.266	8.094	
		> 2.000	55.496	83.848	
	Diesel	< 1.500	0	8.817	39,2%
		1.500 – 2.000	189	4.138	
		> 2.000	11.516	18.632	

Fuente: Estimación propia en base a información de plantas de revisión técnica y registros de aduana.

TABLA 4: SUPUESTOS DE PROYECCIÓN DEL PARQUE DIESEL HASTA 2007 (%)

Escenario	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Crecimiento alto	30	30	30	30	20	20	10
Crecimiento medio	15	15	15	15	10	10	5
Crecimiento bajo	5	5	5	5	5	5	5

escenario corresponde a una situación donde el parque de vehículos diesel liviano crece a una tasa acelerada, algo menor durante los primeros años que la que se evidencia entre los años 1997 al 2000.

En el segundo escenario se asumen tasas de crecimiento 50% menores que en el primer escenario. En este escenario la tasa de crecimiento para los primeros años es equivalente al crecimiento del parque de vehículos comerciales livianos a gasolina entre el año 1997 y 2000. Por lo tanto, este escenario corresponde a un caso donde los vehículos diesel crecen al mismo ritmo que los de gasolina.

El tercer escenario asume una tasa de crecimiento del 5% anual para todos los años. Este escenario corresponde a un caso de crecimiento bajo.

En todos los escenarios se asume que la composición del parque en cuanto al tamaño de motor se mantiene inalterada.

4.3. Kilómetros recorridos

La segunda columna de la Tabla 5 muestra los kilómetros promedio recorridos por cada tipo de vehículo según antecedentes de CENMA (2000). Se consideró que estos antecedentes no son muy realistas ya que se esperaba que, debido al menor precio del combustible, los kilómetros recorridos por los vehículos diesel serían mayores que los a gasolina. Además, el incentivo para comprar un vehículo diesel es mayor para aquellos usuarios que recorren más kilómetros al año. Por lo tanto, en el presente estudio se asumió que los vehículos comerciales diesel recorren en promedio 31.930 kilómetros al año, igual al documentado para los vehículos a gasolina en CENMA (2000).

Para los escenarios con proyecto, los vehículos a gasolina que entran en reemplazo de los diesel recorren menos kilómetros, ya que el precio del combustible es mayor. La Tabla 6 muestra los precios promedio a público de gasolina 93 y diesel en la Región Metropolitana durante los últimos años. En promedio, el precio de la gasolina a público es superior en un 50% al del diesel. Tomando el porcentaje promedio durante los tres años, de 54,6%, y asumiendo una elasticidad precio de los kilómetros recorridos igual a $-0,2$, los kilómetros recorridos por vehículos comerciales a gasolina se estima en 28.442 por año. Este es el supuesto utilizado en el presente estudio y que se muestra en la tercera columna de la Tabla 5.

TABLA 5: RECORRIDO PROMEDIO PARA VEHÍCULOS CON CONVERTIDOR CATALÍTICO Y DIESEL

Tipo de vehículos	CENMA (2000) Km/año	Supuesto utilizado
Comercial catalítico	31.930	28.442
Comercial diesel	26.811	31.930

Fuente: CENMA (2000) y estimaciones propias.

TABLA 6: PRECIO A PÚBLICO EN LA REGIÓN METROPOLITANA (\$/LITRO)

Período	Gasolina 93	Diesel	% mayor P_g
Promedio 2003	391.0	248.1	57,6
Promedio 2002	399.9	251.6	58,9
Promedio 2001	458.0	310.9	47,3

Fuente: Comisión Nacional de Energía. Los precio del año 2003 incluyen información hasta el mes de julio.

4.4. Beneficio social

De acuerdo a datos entregados por la CONAMA RM (2001) el valor del daño para contaminantes PM_{10} , SO_2 y NO_x son los que se indican en la Tabla 7, debidamente actualizados a moneda de junio 2003 utilizando las variaciones en el Índice de Precio al Consumidor. Claramente, los beneficios en salud son los más importantes en términos cuantitativos.

Cabe destacar que en este estudio sólo se cuantificaron las disminuciones asociadas a óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO_2) y material particulado fino (PM_{10}) de combustión. Sin embargo, se debe considerar que los vehículos diesel tienen una menor emisión de monóxido de carbono (CO) en relación a los de gasolina, por lo que los beneficios de una medida de prohibición estarían sobre estimados por este concepto. Hasta el momento, no existe un método de valoración económica de las emisiones de CO debido a que no existe un nivel umbral de concentración o una relación dosis-respuesta directa entre la concentración ambiental y sus efectos en la salud.

TABLA 7: BENEFICIO POR TONELADA DE CONTAMINANTE (\$/TON)

Externalidad	MP_{10}	NO_x	SO_2
Beneficio salud	36.360.000	1.890.000	9.540.000
Beneficio visibilidad	1.370.000	70.000	360.000
Beneficio materiales	4.612.066	239.905	1.210.654

Fuente: CONAMA RM (2001), actualizados según la variación del IPC entre el año 2001 y el mes de junio del 2003.

4.5. Costo del combustible

La Tabla 8 muestra los valores promedio de los precios de paridad de importación de la gasolina y el diesel entre los años 1991 y 2003. Tomando el promedio del período completo de 1991 al 2003, y utilizando las cifras de rendimiento de la Tabla 9, se puede calcular el mayor valor que tiene que pagar el país por utilizar un combustible más caro. De esta última tabla se puede observar que se asumió que el diesel tiene un rendimiento un 12% superior al de la gasolina. Se asume un valor para el dólar de \$700.

TABLA 8: PRECIOS DE PARIDAD DE IMPORTACIÓN (US\$/MIL LITROS)

Tipo combustible	1991-1995	1996-2000	2001-2003*	1991-2003*
Gasolina	176,1	195,1	241,6	197,3
Diesel	169,0	186,1	228,1	188,1
Diferencia porcentual promedio	-4,0%	-4,6%	-5,6%	-4,0%
Diferencial absoluta promedio (US\$/mil litros)	7,1	9,0	13,5	9,2

Fuente: Comisión Nacional de Energía.
*Incluye hasta la semana del 4 de agosto del 2003.

TABLA 9: RENDIMIENTO DE VEHÍCULOS SEGÚN CILINDRADA (KM/LT)

Cilindrada	Gasolina	Diesel
Menor a 1.500 cc	13,5	15.1
Entre 1.500 y 2.000cc	11	12.3
Mayor a 2.000 cc	9	10.1

4.6. Pérdida del excedente del consumidor

Para estimar la pérdida de excedente del consumidor que implica forzar a los usuarios a utilizar un combustible más caro, se utilizó la información de precios a público promedio del año 2003 de la Tabla 6, los kilómetros recorridos de la Tabla 5, los factores de rendimiento de la Tabla 9 e información sobre el precio de paridad de importación del diesel en el año 2003 sumado al margen de los distribuidores durante ese año¹⁰. Esta última información se obtuvo de la página web de la Comisión Nacional de Energía. Para simplificar el cálculo del cambio en el excedente se asume que la demanda es lineal entre los dos puntos Q_0 y Q_1 de la Figura 1.

4.7. Impactos fiscales

Debido a que la gasolina tiene un impuesto específico mayor que el diesel, la imposición de una prohibición de la entrada de más vehículos livianos diesel y el consiguiente aumento de los vehículos a gasolina, gene-

¹⁰ No se consideran los costos de transporte del combustible desde las refinерías a la Región Metropolitana por lo que la pérdida en el excedente del consumidor está levemente sobrestimado.

ra un aumento en la recaudación fiscal. También habrá una diferencia en la recaudación de aranceles de importación y el IVA, pero estas diferencias serán de segundo orden y para los fines del presente estudio se ignoran¹¹.

Para calcular los impactos fiscales se utilizó el valor promedio de la Unidad Tributaria Mensual del año 2003 (hasta agosto) igual a \$29.562. El impuesto específico al diesel es de 1,5 UTM por m³ y gasolina de 6,0 UTM por m³. Para todos los escenarios se calculó la demanda adicional de cada combustible con y sin la prohibición y luego se calculó el impacto fiscal en cada caso.

5. Resultados

Las Tablas 10a-10c muestra los impactos sobre las emisiones de aplicar una prohibición a la entrada de más vehículos comerciales a diesel en Santiago. Se puede apreciar que en todos los escenarios hay una reducción significativa de los precursores de PM₁₀, aunque hay un aumento en las emisiones de CO.

TABLA 10A: DISMINUCIÓN EMISIONES: ESCENARIO 1 (TON/AÑO)

Compuesto	2003	2004	2005	2006	2007
MP ₁₀	47,8	109,9	163,7	228,3	267,0
No _x	430,7	990,6	1.475,8	2.058,1	2.407,5
SO ₂	193,1	444,2	661,8	922,9	1.079,5
CO	- 779,3	- 1.792,4	- 2.670,5	- 3.724,1	- 4.356,3

TABLA 10B: DISMINUCIÓN EMISIONES: ESCENARIO 2 (TON/AÑO)

Compuesto	2003	2004	2005	2006	2007
MP ₁₀	18,7	40,2	56,7	74,8	84,8
No _x	253,8	545,7	769,5	1.015,6	1.151,0
SO ₂	89,4	192,2	271,0	357,7	405,4
CO	- 304,9	- 655,6	- 924,4	- 1.220,2	- 1.382,8

TABLA 10C: DISMINUCIÓN EMISIONES: ESCENARIO 3 (TON/AÑO)

Compuesto	2003	2004	2005	2006	2007
MP ₁₀	5,2	10,6	16,4	22,4	28,7
No _x	70,5	144,6	222,3	304,0	389,7
SO ₂	24,8	50,9	78,3	107,1	137,3
CO	- 84,7	- 173,7	- 267,1	- 365,2	- 468,2

¹¹ Los cambios en la recaudación de estos impuestos serán proporcionales a las diferencias en los precios de importación de ambos tipos de combustibles. De la sección precedente se puede observar que las diferencias en estos costos son menores.

Utilizando los valores monetarios por tonelada de contaminación, la otra información de las secciones precedente y una tasa de descuento del 12%, es posible estimar el valor presente neto de prohibir la entrada de nuevos vehículos livianos a diesel. La Tabla 11 muestra los resultados para cada escenario utilizando un horizonte de evaluación de 5 años. Los beneficios de la medida ascienden a entre 7,9 mil millones de pesos (US\$11,3 millones de dólares) a 46,5 mil millones de pesos (US\$66,4 millones). De la Tabla se desprende que la pérdida de excedente del consumidor y el mayor costo del combustible no alcanzan a compensar los beneficios ambientales de la medida propuesta.

TABLA 11: VALOR PRESENTE NETO DE LIMITAR ENTRADA DE VEHÍCULOS LIVIANOS DIESEL EN SANTIAGO (MILLONES DE PESOS), 2003-2007

	Escenario 1 (alto crecimiento de parque diesel)	Escenario 2 (crecimiento medio de parque diesel)	Escenario 3 (crecimiento bajo de parque diesel)
Beneficio ambiental	61.373	31.073	9.409
Costo de mayor precio de combustible	-3.173	-1.079	-323
Pérdida de excedente del consumidor	-11.690	-3.974	-1.190
VPN total	46.509	26.021	7.897
VPN total en US\$ millones	66,4	37,2	11,3

Si el horizonte de evaluación se extiende indefinidamente, tomando los flujos del año 2007 como representativos de los siguientes años, el beneficio social aumenta a 31,6 mil millones de pesos hasta 297,9, dependiendo del escenario considerado (véase Tabla 12). Estas cifras equivalen a un total de entre US\$45,1 a US\$ 425,6 millones.

La Tabla 13 muestra la sensibilidad de los resultados anteriores al parámetro de elasticidad de demanda asumido. Esta Tabla muestra el valor presente neto del proyecto entre el año 2003 y 2007, expresado en dólares, para tres elasticidades distintas. Para facilitar las comparaciones, la primera fila de la Tabla 13 repite el resultado que se muestra de la Tabla 11. Se puede observar que los resultados no son muy sensibles a la elasticidad de demanda asumido, por lo que los resultados, en cuanto al beneficio social de prohibir la entrada de nuevos vehículos diesel en Santiago, es robusto a variaciones en este parámetro.

La recaudación fiscal aumentaría significativamente de aplicarse una medida como la que se propone en este artículo. En valor presente, la recaudación aumentaría entre 3.502 mil millones de pesos y 34.420 mil millones entre el año 2003 y 2007 (véase Tabla 14). En dólares estos resultados equivalen a US\$5 millones a US\$49,2.

TABLA 12: VALOR PRESENTE NETO DE LIMITAR ENTRADA DE VEHÍCULOS LIVIA-
NOS DIESEL EN SANTIAGO (MILLONES DE PESOS), HORIZONTE INFINITO

	Escenario 1 (alto crecimiento de parque diesel)	Escenario 2 (crecimiento medio de parque diesel)	Escenario 3 (crecimiento bajo de parque diesel)
Beneficio ambiental	343.591	110.858	36.424
Costo de mayor precio de combustible	-9.758	-3.169	-1.031
Pérdida de excedente del consumidor	-35.946	-11.673	-3.797
VPN total	297.887	96.017	31.597
VPN total en US\$ millones	425,6	137,2	45,1

TABLA 13: VALOR PRESENTE NETO DE LIMITAR ENTRADA DE VEHÍCULOS LIVIA-
NOS DIESEL EN SANTIAGO PARA DIFERENTES VALORES DE LA ELASTICI-
DAD DE DEMANDA (US\$), 2003-2007

Elasticidad de demanda	Escenario 1 (alto crecimiento de parque diesel)	Escenario 2 (crecimiento medio de parque diesel)	Escenario 3 (crecimiento bajo de parque diesel)
-0,2	66,4	37,2	11,3
-0,4	63,9	36,6	11,1
-0,8	58,7	35,5	10,8

TABLA 14: VALOR PRESENTE RECAUDACIÓN FISCAL

Cambio en la recaudación fiscal	Escenario 1 (alto crecimiento de parque diesel)	Escenario 2 (crecimiento medio de parque diesel)	Escenario 3 (crecimiento bajo de parque diesel)
VPN 2003-2007 (millones de pesos)	34.420	11.700	3.503
VPN 2003-2007 (millones de US\$)	49,2	16,7	5,0

6. Conclusiones

En este estudio se estimaron los costos y beneficios de restringir la entrada de vehículos diesel en la Región Metropolitana. Entre los beneficios se consideran los menores impactos en la salud de las personas (morbilidad y mortalidad) así como beneficios en visibilidad y otros impactos ambientales, producto de la reducción de emisiones que genera la medida. Entre los costos, se considera el mayor costo de producción o importación y menor rendimiento de la gasolina en relación al diesel, así como la posible pérdida en excedente del consumidor.

Los resultados muestran que en un horizonte de 5 años (2003 al 2007) la medida tiene un beneficio social neto de entre \$7,9 mil millones (US\$11,3 millones) y \$46,5 mil millones (US\$66,4 millones), dependiendo del escenario de crecimiento del parque de vehículos livianos diesel en Santiago. Si se asume que los beneficios del año 2007 se extienden indefinidamente, los beneficios de la medida suben a entre \$31,6 mil millones (US\$45,1 millones) y 297,9 mil millones (US\$425,6 millones).

Estos beneficios son explicados por una reducción significativa de las emisiones de material particulado y sus precursores, lo cual se traduce en menores impactos negativos en la salud de las personas en la Región Metropolitana. Los mayores costos de importación de gasolina y la pérdida de excedente del consumidor no alcanzan a compensar estos beneficios ambientales.

La recaudación fiscal también aumentaría con la restricción a la entrada de más vehículos livianos diesel. Nuestras estimaciones indican que el fisco perderá durante los próximos 5 años entre US\$5 y US\$49,2 millones en impuestos específicos a los combustibles como consecuencia de la compra preferencial de vehículos comerciales diesel.

Es probable que los beneficios netos estimados sean conservadores en relación a los verdaderos beneficios de la medida propuesta. En primer lugar, no se han considerado todos los contaminantes en la evaluación. Si bien el diesel genera menores emisiones de monóxido de carbono (CO), existen varios contaminantes adicionales para los cuales la gasolina es más limpia (por ejemplo los compuestos orgánicos volátiles (COV)).

Segundo, no se consideró en la evaluación que los precios de los vehículos diesel son superiores a los de gasolina para modelos comparables. En la medida que los vehículos diesel se importan exclusivamente por los beneficios financieros que otorga el uso de este combustible, la diferencial de costo de importación de los vehículos sería un beneficio social adicional de imponer una restricción a estos vehículos.

Finalmente, se debe enfatizar que la prohibición a la entrada de más vehículos livianos diesel en Santiago es una medida de segundo mejor. Lo óptimo sería eliminar la distorsión que genera la estructura impositiva actual, donde el combustible más contaminante, el diesel, paga un impuesto menor que otros combustibles menos contaminantes.

ANEXO:

METODOLOGÍA PARA EVALUAR LAS EMISIONES POR VEHÍCULO

El parque automotriz objetivo del presente estudio consiste en los vehículos comerciales livianos que utilizan como combustible gasolina sin plomo y diesel. Para la correcta evaluación de la emisión ocasionada por la circulación de estos vehículos se utiliza la misma metodología que la aplicada por el CENMA en su estudio del “Mejoramiento del Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana”, de diciembre de 2000.

Las emisiones pueden ser divididas en cuatro tipos de fuentes, emisiones cuando el motor está estable (emisiones en caliente), las provenientes del funcionamiento del motor en frío (motor en proceso de calentamiento), las emisiones evaporativas de hidrocarburos y emisiones provenientes del consumo de combustible, que en este caso corresponden a los óxidos de azufre. En este estudio no se consideraron las emisiones evaporativas ya que actualmente no existen antecedentes para estimar este tipo de emisiones para vehículos diesel. Además, no existe una metodología para estimar el impacto de estas emisiones ni su valor económico.

En este anexo se calcularon las emisiones de cuatro contaminantes: monóxido de carbono (CO), material particulado menor a 10 microgramos (MP10), óxidos de nitrógenos (Nox) y dióxido de azufre (SO₂). Existen otros contaminantes generados por los vehículos, tales como los compuestos orgánicos volátiles (VOC), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), y amonio (NH₃). Sin embargo, debido a que no existen cuantificaciones de los daños producidos por estos contaminantes ni del valor económico de los mismos, en este estudio no se incluyen en el cálculo de beneficios. Esto puede resultar en una subestimación o sobrestimación de los beneficios económicos de restringir los vehículos diesel ya que para algunos contaminantes los diesel contaminan menos, mientras que para otros (particularmente los VOC) la gasolina contamina menos.

Emissiones en caliente:

Tal como se mencionó anteriormente, estas emisiones provienen de la combustión interna del motor cuando éste se encuentra en condiciones estables. Los factores de emisión ocupados en este tipo de fuente se presentan en la Tabla A.1, la cual proviene del documento realizado por el CENMA.

En el caso de los vehículos que utilizan petróleo diesel como combustible y que tienen 2 o 3 años de antigüedad, tienen una tecnología más avanzada que los antiguos y por lo tanto sus factores de emisión son distintos. En este tipo de vehículos se han utilizado los factores de emisión del COPERT III para vehículos Euro I. En la Tabla A.2 se presentan los factores de emisión para los vehículos denominados Eco-Diesel.

TABLA A.1: FACTORES DE EMISIÓN EN CALIENTE

Categoría	Elemento	Factor de emisión (gr/km)	Fuente
Livianos comerciales a gasolina con convertidor catalítico < 3.5 ton	CO	$0,00060V^2-0,0475V+2,2195$	COPERT II (93/59/EEC)
	Nox	$0,0000575V^2-0,00548V+0,4880$	COPERT II (93/59/EEC)
V: velocidad del vehículo			

Fuente: CENMA (2000).

TABLA A.2: FACTORES DE EMISIÓN VEHÍCULOS ECO-DIESEL (GR/KM)

Elemento	Factor de Emisión (gr/km)
PM	$4,5E-05V^2-0,004885V+0,1932$
CO	$22,3E-05V^2-0,026V+1,076$
NO _x	$24,1E-05V^2-0,0318V+2,0247$
V: velocidad del vehículo	

Fuente: COPERT III (European Environmental Agency, 2000).

Un punto importante de destacar es que el petróleo diesel considerado en el desarrollo del factor de emisión tiene características diferentes al actualmente vendido en Chile, por lo que se necesita realizar una corrección a los factores presentados en la Tabla A.2. En el programa de la agencia europea, COPERT III, se presenta la siguiente ecuación y factores de corrección:

$$Fce_{caliente} = (Fcorr_{comb}/Fcorr_{base}) * e_{caliente}$$

donde:

- Fce_{caliente}: Factor de emisión corregido con el uso de combustibles mejorados
- Fcorr_{comb}: Factor de corrección del nuevo combustible
- Fcorr_{base}: Factor de corrección de combustible base utilizado en cálculo factor de emisión
- e_{caliente}: Factor de emisión en caliente

Los factores de corrección resultantes en el caso del petróleo Diesel son los siguientes:

TABLA A.3: FACTORES DE CORRECCIÓN PARA LAS PROPIEDADES DEL DIESEL

Contaminante	Factor de corrección
CO	-1,3250726+0,003037*DEN-0,0025643*PAH-0,015856*CN+0,0001706*T ₉₅
NOx	1,0039726-0,0003113*DEN+0,0027263*PAH-0,0000883*CN-0,0005805*T ₉₅
PM	(-0,3879873+0,0004677*DEN+0,0004488*PAH+0,0004098*CN+0,0000788*T ₉₅)* (1-0,015*(450-S)/100)

Donde:

DEN: Densidad a 15 °C (kg/m³)x

S: Contenido de azufre en ppm

CN: Número cetano

T₉₅: Temperatura final de destilación (°C)

PAH: Contenido de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en %

Fuente: COPERT III (European Environmental Agency, 2000).

Las características del diesel utilizado en el documento europeo y el correspondiente al vendido en la Región Metropolitana, denominado Diesel Ciudad son las siguientes:

TABLA A.4: PROPIEDADES DEL DIESEL

Propiedad	Diesel base	Diesel ciudad
Número cetano	51	45
Densidad a 15 ° C (kg/m³)	840	870-830
T ₉₅ (°C)	350	282-338
PAH (%)	9	10
Azufre (ppm)	400	300

Fuente: COPERT III, COPEC S.A.

Es importante resaltar que los factores de emisión presentados anteriormente dependen de la velocidad de circulación de los vehículos, por lo cual se ha utilizado una velocidad promedio de circulación de 33,8 km/hr. Este valor corresponde al utilizado en el circuito de la US-EPA, FTP75.

Luego de evaluados a la velocidad adecuada se tienen que los factores de emisión de los distintos tipos de vehículos considerados en el presente estudio son:

TABLA A.5: FACTORES DE EMISIÓN EVALUADOS (gr/km)

Uso	Combustible	MP	CO	NOx
Comercial liviano	Sin plomo	0,000	1,299	0,368
Comercial liviano	Eco-diesel	0,082	0,525	1,240

Fuente: Estimación propia según explicación contenida en el texto.

Emisiones en frío

Éstas corresponden a las emisiones producto de la combustión interna durante la etapa de calentamiento del vehículo, debido a que el motor funciona a temperaturas menores que las de diseño.

La fórmula para el cálculo de la emisión en frío es:

$$E_{frío} = FE_{cal} * (FL_{frío} * Km_a) * \left(\frac{e_{frío}}{e_{cal}} - 1 \right)$$

Donde:

- $E_{\text{frío}}$: Emisión en frío
- FE_{cal} : Factor de emisión en caliente
- $FL_{\text{vfrío}}$: Fracción de los kilómetros que son recorridos en frío
- Km_a : Kilómetros anuales recorridos
- $e_{\text{frío}}/e_{\text{cal}}$: Razón “emisión en frío / emisión en caliente”

La razón $e_{\text{frío}}/e_{\text{cal}}$ varía con las características del motor y la tecnología utilizada en el vehículo. Las Tablas A.6 y A.7 presentan las pertinentes para los vehículos con convertidor catalítico y diesel.

La temperatura media considerada fue de 14,6 °C y se calculó como el promedio aritmético de las temperaturas mensuales. La media mensual corresponde al promedio aritmético de la temperatura máxima y mínima registrada.

TABLA A.6: $e_{\text{frío}}/e_{\text{caliente}}$ PARA VEHÍCULOS CON CONVERTIDOR CATALÍTICO

Elemento	Categoría	$e^{\text{cold}}/e^{\text{caliente}} = A*V+B*t_a+C^1$		
		A	B	C
CO	cc < 1,4 l	0,538	-0,373	-6,24
	1,4 l < cc < 2,0 l	0,299	-0,286	-0,58
	cc > 2,0 l	0,193	-0,194	0,305
NO _x	cc < 1,4 l	5,13E-02	2,34E-02	0,616
	1,4 l < cc < 2,0 l	4,84E-02	2,28E-02	0,685
	cc > 2,0 l	3,75E-02	1,72E-02	0,728
V: velocidad del vehículo t _a : temperatura ambiente				

Fuente: COPERT III (European Environmental Agency, 2000).

TABLA A.7: $e_{\text{frío}}/e_{\text{caliente}}$ PARA VEHÍCULOS DIESEL

Elemento	$e^{\text{cold}}/e^{\text{caliente}}$
CO	1,9-0,03*t _a
NO _x	1,3-0,013*t _a
MP	3,1-0,1*t _a
t _a : temperatura ambiente	

Fuente: COPERT III (European Environmental Agency, 2000).

La proporción del viaje realizada con el motor en frío es muy difícil de estimar ya que depende de factores tales como la velocidad y la temperatura ambiente. De acuerdo a la experiencia de CONAMA RM, se recomienda utilizar una distancia de 3 kilómetros para el calentamiento del motor. Además tomando la información presentada en el documento del CENMA en cuanto a la distancia media recorrida por viaje por cada tipo de vehículo, se tiene que la fracción recorrida en frío es la que se presenta en la Tabla A.8.

Debido a que no se cuenta con la información referente a los kilómetros medios recorridos por viaje para los vehículos comerciales que utilizan petróleo Diesel como combustible, se consideró que este valor tendría la misma relación que la existente entre los kilómetros totales anuales recorridos por un vehículo comercial con plomo y con diesel, es decir, 97%. Considerando este supuesto, se obtiene el porcentaje presentado en la siguiente tabla:

TABLA A.8: FRACCIÓN DE KMS RECORRIDOS EN FRÍO Y EN CALIENTE POR TIPO DE VEHÍCULO

Tipo	Combustible	Km. por viaje	Km. en frío	% en frío	% en caliente
Comercial liviano	Sin plomo	14,3	3	21%	79%
Comercial liviano	Diesel	14,3	3	21%	79%

Fuente: Elaboración propia.

Emisiones de SO₂

De acuerdo a la información del COPERT III, las emisiones de SO₂ dependen exclusivamente del consumo de combustible de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$ES = 2 \cdot k \cdot FC$$

Donde: k: contenido relativo de sulfuro en el combustible (kg/kg combustible) y FC corresponde al consumo total de combustible del vehículo.

REFERENCIAS

- CENMA. “Mejoramiento del Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana”. Centro Nacional del Medio Ambiente, diciembre, 2000.
- CONAMA Región Metropolitana. “Análisis General del Impacto Económico y Social del Anteproyecto de Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana”. Comisión Nacional del Medio Ambiente de la Región Metropolitana, agosto, 2001.
- European Environmental Agency. COPERT III, Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport, Methodology and Emission Factors (Version 2.1), noviembre, 2000.
- Instituto Nacional de Estadísticas. “Parque de Vehículos en Circulación”. Santiago, varios años. □