
Índice

1 Emisiones vehiculares en base al proceso de homologación nacional (3CV)	2
1.1 Análisis comparativo de emisiones para vehículos en uso	2
1.1.1 Todos los modelos.....	3
1.1.2 Modelos Seleccionados.....	5
1.2 Análisis comparativo de emisiones para vehículos nuevos	8
1.3 Evolución de niveles de emisiones en los últimos años.....	13
1.4 Visión general de emisiones de vehículos Euro 3.....	14
1.5 Modelo por Modelo Euro III.....	16
1.5.1 Vehículos en uso adaptados.....	16
1.5.2 Vehículos nuevos adaptados.....	18
2 Emisiones vehiculares en base a información internacional.....	20
2.1 World Liquid Petroleum Gas Association	20
2.2 Análisis comparativo de emisiones para vehículos dedicados (Proceso de certificación EPA) 23	
2.2.1 Motores de vehículos pesados.....	23
2.2.2 Vehículos Livianos y Medianos.....	27
3 Inventario de emisiones estimado para 2010 y proyecciones parque automotriz 2025.....	28
3.1 Inventario de emisiones 2010	28
3.2 Proyección de parque.....	30
4 Evaluación social y económica de incorporar GNC en parque vehicular.	32
4.1 Metodología.....	32
4.1.1 Sistema de Modelación.....	33
4.1.2 Inventarios de emisiones.....	34
4.1.3 Estimación de beneficios sociales.....	39
4.1.4 Modelo de riesgo	39
4.1.5 Población.....	40
4.1.6 Efectos en salud: tasas bases.....	40
4.1.7 Metodología de valorización social de los beneficios en salud.....	42
4.2 Resultados.....	42
4.2.1 Beneficios de reemplazo de estufas a leña por gas natural, gas licuado, o kerosene.....	46
5 Referencias.....	48
6 Anexos.....	51

1 Emisiones vehiculares en base al proceso de homologación nacional (3CV)

De acuerdo a los objetivos planteados en este proyecto, se realizó una comparación de las emisiones de los vehículos convertidos a combustibles gaseosos utilizando los registros de homologaciones disponibles en 3CV* para vehículos livianos y medianos.

1.1 Análisis comparativo de emisiones para vehículos en uso

Se realizó un análisis de los resultados de emisiones de las certificaciones en vehículos en uso a los que se les incorporó un kit de adaptación que les permite utilizar gas licuado de petróleo (GLP) o gas natural comprimido (GNC) como fuente alternativa de combustible.

Los contaminantes a analizar son Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarburos (HC), Hidrocarburos No Metánicos (HCNM) y Óxidos de Nitrógeno (NOx). Se utilizan sólo estos contaminantes pues son los que poseen registros de certificación de 3CV para vehículos adaptados con combustibles gaseosos. En las representaciones gráficas, los valores de CO fueron reducidos a su décima parte para ajustarse a la escala en un mismo gráfico.

De acuerdo con los registros de 3CV, se han adaptado 99 diferentes modelos de vehículos para utilizar combustibles gaseosos entre 2001 y 2009, los cuales están autorizados para circular en el país. Utilizando los valores medidos en la certificación de emisiones, se ha extendido la aprobación a 130 modelos de características similares. Para estos vehículos se han utilizado ocho diferentes kits de adaptación, siendo los más recurrentes, según número de modelos certificados:

- Landi Renzo, provisto por la empresa GLP Motor Ltda. (Abastible) y utilizado en certificaciones en 24 modelos de vehículos.
- AG Autogas Systems, provisto por la empresa Automotive Gas Systems (Gasco) y utilizado en certificaciones en 22 modelos de vehículos.
- Impco Technologies, provisto por la empresa Elecser Ltda y utilizado en certificaciones en 14 modelos de vehículos.

El resto de los kits se han utilizado en la certificación de 39 modelos.

* Entidad estatal, dependiente de la Subsecretaría de Transportes, cuyo campo de acción se circunscribe al uso de gas en vehículos motorizados, homologación de vehículos y motos, certificación de vehículos pesados y la incorporación de nuevas tecnologías aplicadas al transporte

Se realiza un análisis a distintos niveles de detalle, partiendo desde una consideración general de las emisiones promedio de todos los vehículos con información disponible en 3CV, hasta un análisis detallado de modelos específicos.

1.1.1 Todos los modelos

Los datos para vehículos adaptados para trabajar con combustibles gaseosos son comparados con los registros para los vehículos convencionales nuevos, gasolina y diesel, homologados entre los años 1997 y 2009. Los valores promedio de emisiones obtenidos en este análisis y el intervalo de confianza con una probabilidad del 95% se presentan de forma gráfica en la Figura 1-1.

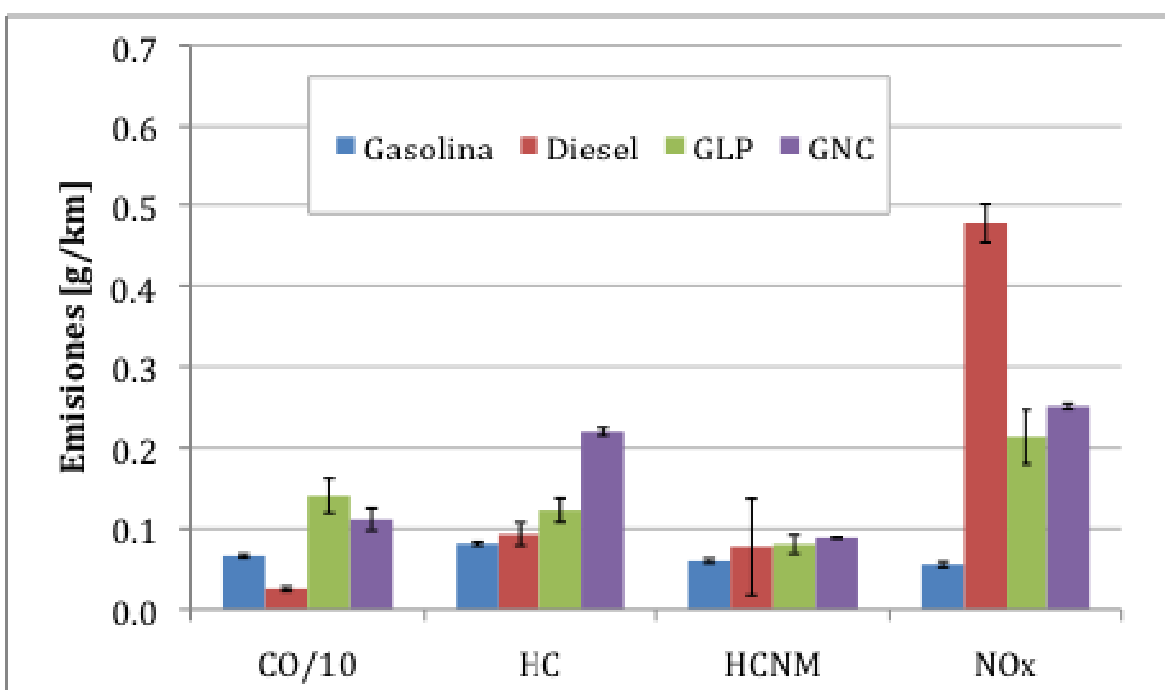


Figura 1-1. Promedio de resultados de certificación de emisiones de vehículos convencionales y vehículos en uso adaptados para combustibles gaseosos. Se presenta además el intervalo de confianza con una probabilidad del 95%.

Se observa en general una pequeña dispersión salvo en los valor de HCNM para diesel. Esta dispersión se debe a que sólo se cuenta con 4 mediciones para este contaminante, con valores 0,10; 0,05; 0,15 y 0,01. Esta muestra es pequeña por lo que el intervalo de confianza tiene poca representatividad estadística. Esto no ocurre en el resto de los contaminantes donde se tienen mediciones para casi 150 modelos diesel en el caso del HC, y 472 en el caso de CO y NOx.

Para un mejor análisis, se presenta en la Figura 1-2 la fracción porcentual de emisiones que representa las emisiones de cada combustible alternativo (gas) con respecto a las emisiones con gasolina. En la Figura 1-3 se presenta la fracción con

respecto a las emisiones diesel. La valor presentado corresponde a la siguiente ecuación:

$$F.P. = \frac{E_{ALT}}{E_{CONV}} \times 100$$

Ecuación 1.

donde

F.P: fracción porcentual de emisiones

E_{ALT} : Emisiones para el combustible alternativo, GLP o GNC [g/km]

E_{CONV} : Emisiones para el combustible convencional, Gasolina o Diesel [g/km]

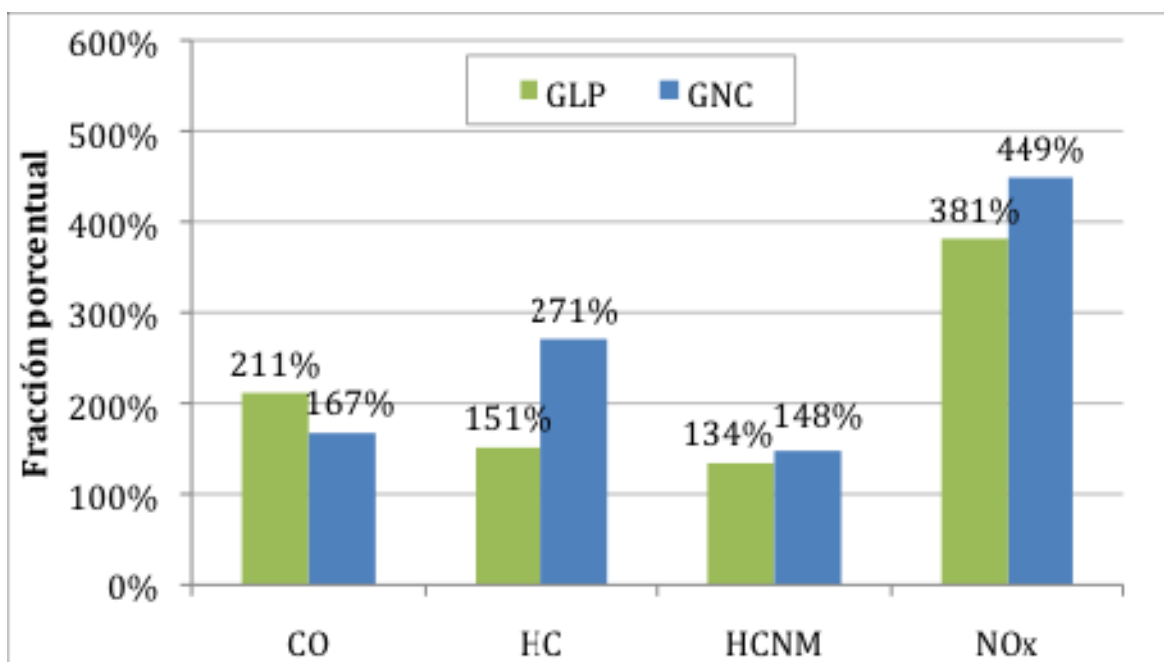


Figura 1-2. Fracción porcentual de emisiones de combustibles alternativos con respecto a las de gasolina.

De la Figura 1-2 se observa que las emisiones de los combustibles gaseosos se incrementan al compararlas con los vehículos a gasolina. En el caso del GLP las emisiones de HC y HCNM se incrementan en un 50% aproximadamente, mientras que las de CO se duplican. Las emisiones de NOx se incrementan hasta un 381% del valor con gasolina.

En el caso de los vehículos adaptados para GNC se tienen incrementos del orden del 50% para CO y HCNM. Las emisiones de HC son bastante mayores llegando al 270%, y el NOx es el de mayor incremento con casi 449% del valor de las emisiones respecto a la gasolina.

En la Figura 1-3 se tiene el mismo análisis anterior, esta vez con respecto a las emisiones de vehículos convencionales diesel.

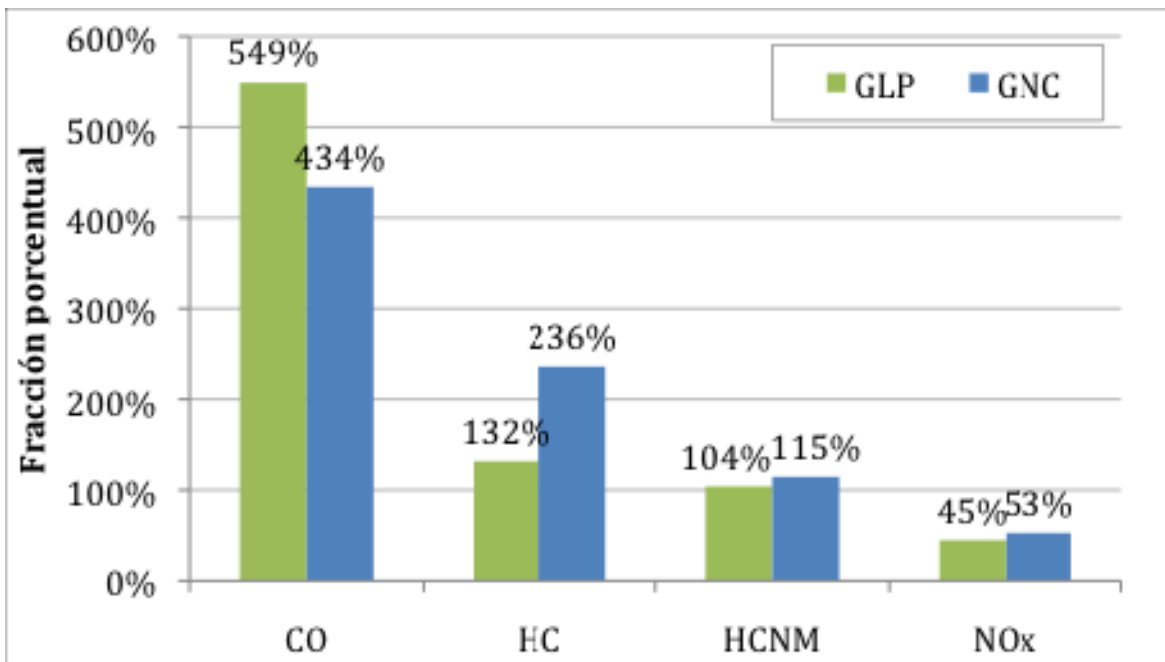


Figura 1-3. Fracción porcentual de emisiones de combustibles alternativos con respecto a las de vehículos diesel.

En los vehículos diesel, debido a que la combustión se realiza con mezcla pobre*, las emisiones de CO son en general menores, lo que hace que las emisiones de GNC y GLP sean del orden del 400 al 500% mayores, respectivamente. En el caso del HC, se tiene un leve incremento en el caso del GLP y un incremento a un 236% en el caso de GNC. Para HCNM la variación es muy pequeña. En el caso de NOx se tiene una reducción de las emisiones del orden del 50% con respecto al diesel.

1.1.2 Modelos Seleccionados

La primera evaluación consideró todos los modelos gasolina y diesel con información pública disponible en 3CV. En busca de un resultado más representativo se realizó un análisis similar considerando sólo los modelos convencionales equivalentes a los que han sido adaptados. Por ejemplo, el modelo Volkswagen Gol Pick Up 2P 1.8 lts T/M, Motor Otto fue adaptado en 2001 para funcionar de forma dual con GNC, por lo que el modelo Volkswagen Gol Pick Up convencional es considerado dentro de este análisis.

* Mezcla pobre se refiere a que la cantidad de combustible utilizada para la combustión es menor a la necesaria para una mezcla estequiométrica. La mezcla estequiométrica se refiere a aquella en que las cantidades de combustible y oxígenos son tales que permiten, teóricamente, obtener una combustión completa de todo el combustible.

Los resultados obtenidos se presentan en el gráfico de la Figura 1-4.

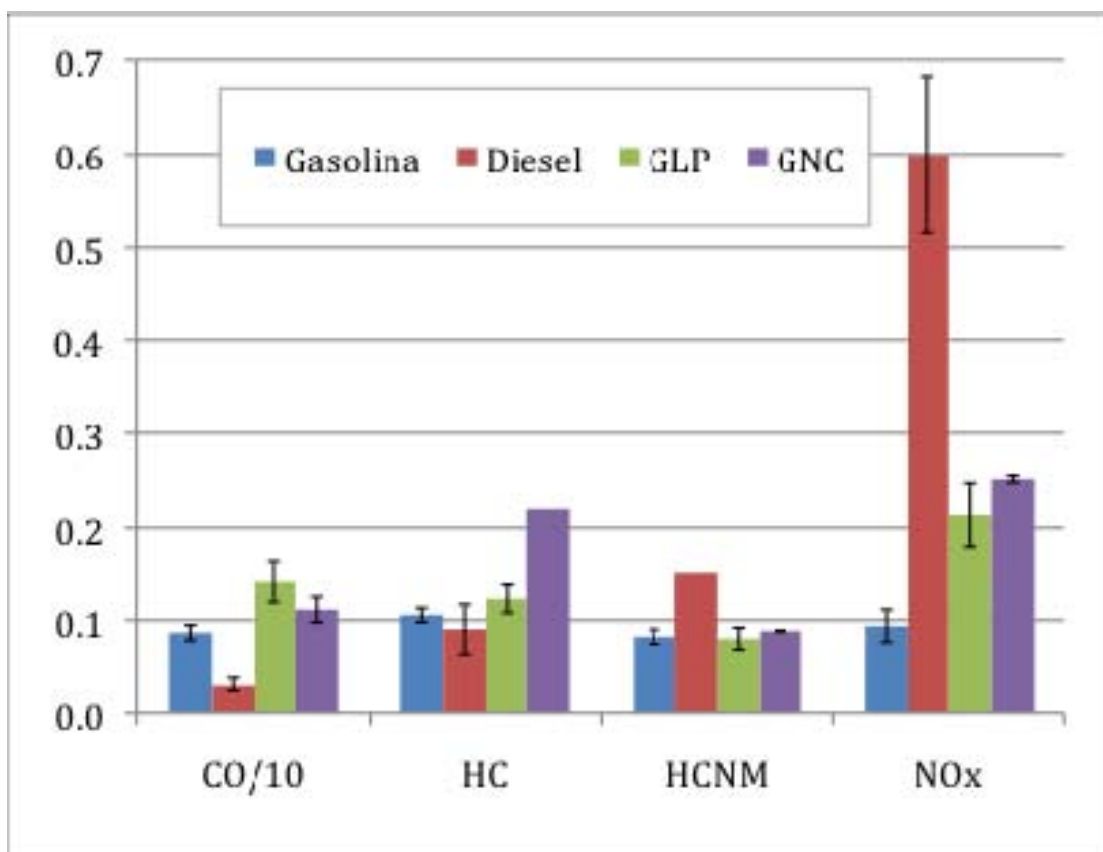


Figura 1-4 Resultados de certificación de emisiones de vehículos convencionales, modelos seleccionados, y vehículos en uso adaptados para combustibles gaseosos.

En general, los valores promedio observados para las emisiones de vehículos convencionales son mayores al considerar sólo los modelos convencionales equivalentes a aquellos que han sido adaptados a gas. Esto quiere decir que los modelos de vehículos que han sido adaptados son más contaminantes en su versión convencional que el promedio de todos los vehículos convencionales utilizados en el primer análisis.

Para comparar las emisiones de estos vehículos se presenta la fracción porcentual de emisiones de vehículos con combustible alternativo sobre las emisiones de vehículos con combustible convencional, tal como fue realizado previamente. Los resultados se presentan en la gráfica de la Figura 1-5.

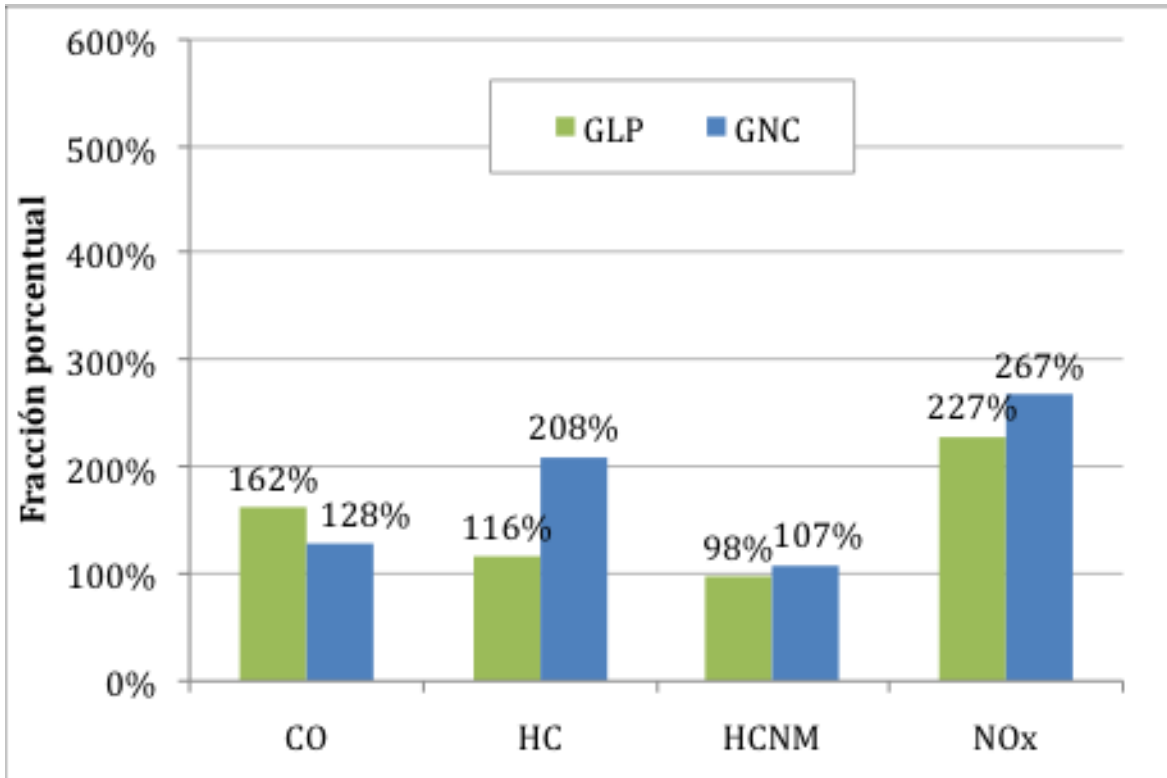


Figura 1-5. Fracción porcentual de emisiones de combustibles alternativos con respecto a las de gasolina. Modelos convencionales seleccionados.

Se puede observar que para el grupo de modelos seleccionado las emisiones son menores que en el análisis previo. En el caso del CO se tiene que las emisiones con combustibles gaseosos son entre un 30 y un 60% mayores. En el caso del HC estas se incrementan un 16% para el GLP y a más del doble con GNC. Para el HCNM las emisiones no sufren variaciones sustanciales, y para NOx se tiene un incremento al 227% en el caso de GLP y 267% en el caso de NOx.

En la Figura 1-6 se presenta este análisis con respecto a las emisiones de vehículos diesel, considerando sólo los modelos equivalentes seleccionados.

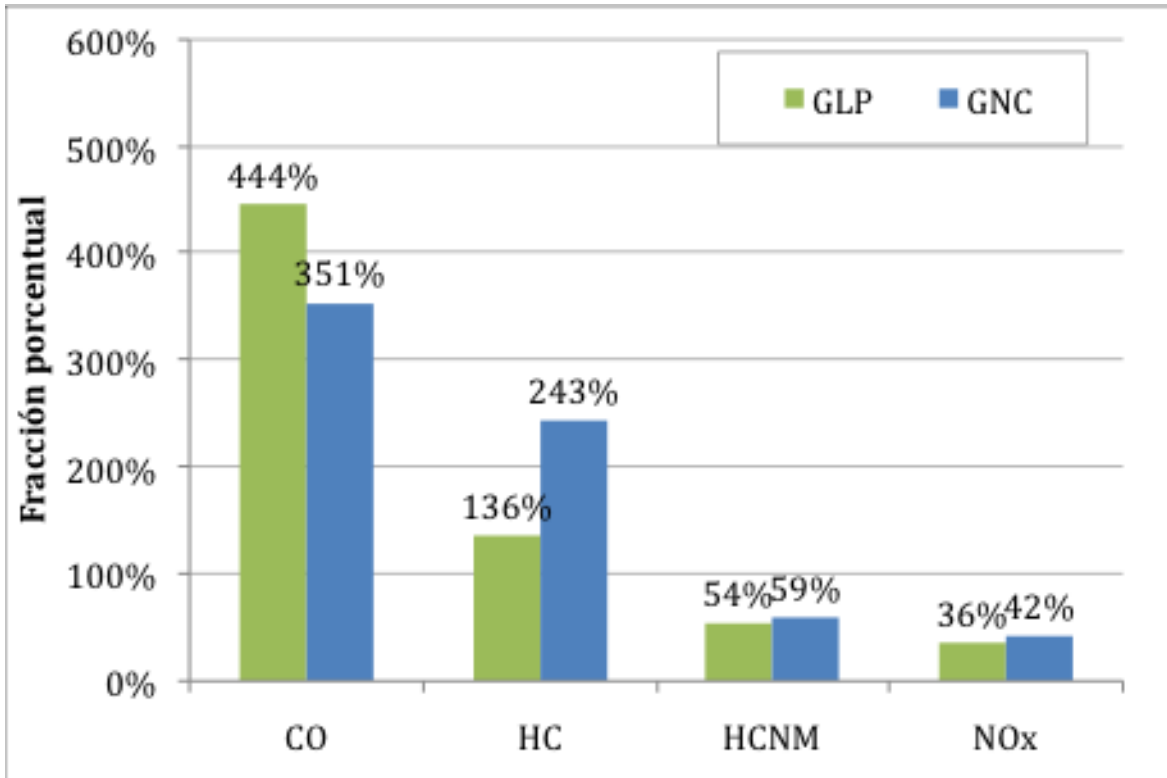


Figura 1-6. Fracción porcentual de emisiones de combustibles alternativos con respecto a las de vehículos diesel. Modelos convencionales seleccionados.

Se puede apreciar que las emisiones usando un combustible alternativo son, salvo en un caso, menores con respecto al diesel al acotar el conjunto de vehículos convencionales observado. Se observa que el CO se incrementa hasta un 444% en el caso del GLP y 351% en el caso de GNC. En el caso de HC la fracción porcentual no varía de forma considerable con respecto al análisis anterior. En HCNM no se habían visto reducciones, pero sí se reflejan al considerar este grupo reducido, llegando a valores en torno al 50% de las emisiones con respecto al diesel. En NOx se ven reducciones mayores llegando al 36 y 42 % con GLP y GNC, respectivamente.

El reducir el análisis únicamente a modelos de vehículos equivalentes permite obtener incrementos menores para CO y HC, así como mayores reducciones en HCNM y NOx. Se considera que esta comparación es más real pues analiza dos muestras con características similares, salvo la implementación del kit de conversión.

1.2 Análisis comparativo de emisiones para vehículos nuevos

El análisis previo considera aquellos vehículos ya en uso que fueron certificados para adaptarse con un combustible alternativo gaseoso. En esta sección se analizarán vehículos nuevos que fueron homologados en 3CV para venderse al público con un kit de adaptación ya instalado.

De acuerdo a los registros publicados por 3CV, entre el 1 de abril de 1999 y el 21 de junio de 2010 se han homologado 44 modelos distintos de vehículos calificados como “duales” para la utilización de combustible GNC o GLP. Los resultados de estas homologaciones se han utilizado para aprobar la circulación de 42 modelos más de características similares, teniendo así un total de 86 modelos. El grupo de 44 vehículos medidos en 3CV se compone de 30 vehículos que utilizan GNC como segundo combustible y 14 que utilizan GLP.

Para realizar la comparación se utiliza la misma muestra acotada de modelos convencionales utilizada en la sección anterior. Los valores promedio e intervalos de confianza se presentan en el gráfico de la Figura 1-7.

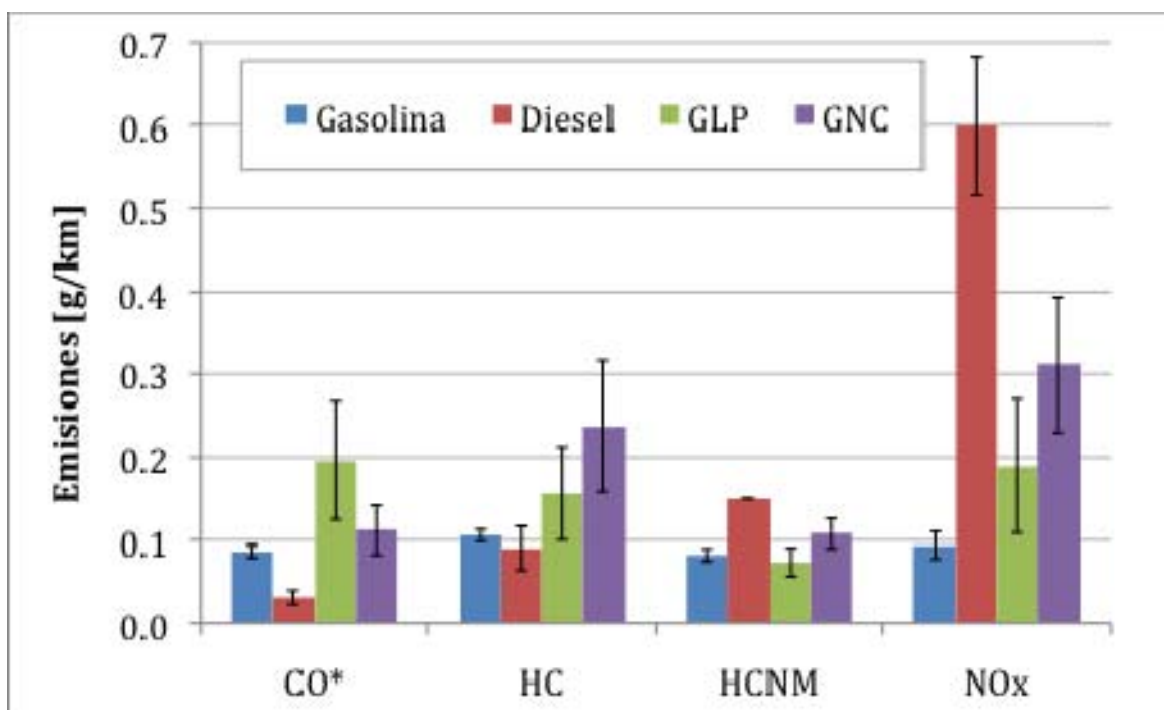


Figura 1-7. Resultados de certificación de emisiones de vehículos convencionales, modelos seleccionados, y vehículos nuevos adaptados para combustibles gaseosos.

La fracción porcentual de emisiones de los combustibles alternativos con respecto a los convencionales se presentan en la Figura 1-8 para gasolina y Figura 1-9 para diesel.

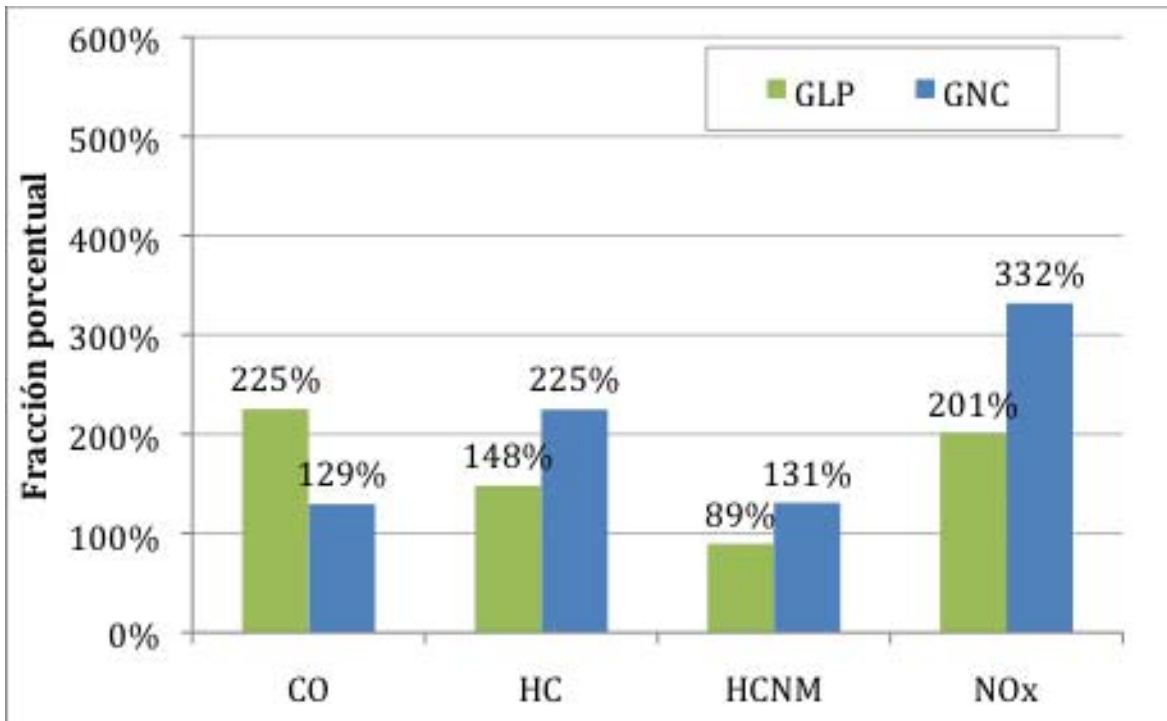


Figura 1-8. Fracción porcentual de emisiones de vehículos nuevos adaptados con respecto a las de vehículos gasolina. Modelos convencionales seleccionados.

En este análisis se compararán los resultados medidos en vehículos nuevos con los medidos en vehículos en uso (sección anterior). En el caso de gasolina se puede observar que la fracción porcentual de emisiones de GLP es menor en HCNM (-9%) y en NOx (-26%). Sin embargo, estas emisiones se incrementan para CO (+63%) y HC (+32%). Para el GNC, las emisiones de CO se mantienen prácticamente invariables, pero las emisiones de HC, HCNM y NOx se incrementan en un 17%, 24% y 65% respectivamente.

En la Figura 1-9 se presenta la fracción porcentual de emisiones de vehículos nuevos con combustible alternativo con respecto a los vehículos diesel convencionales, modelos seleccionados.

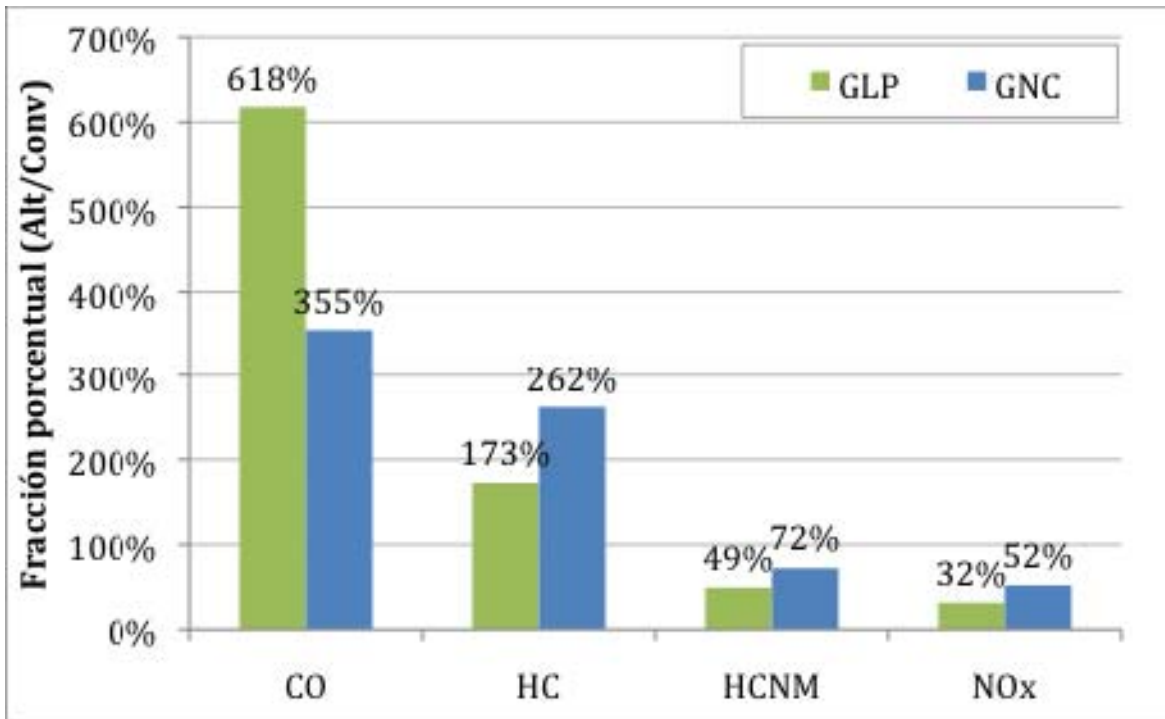


Figura 1-9. Fracción porcentual de emisiones de vehículos nuevos adaptados con respecto a las de vehículos diesel. Modelos convencionales seleccionados.

De la Figura 1-9 se puede apreciar que, para GLP, las emisiones promedio registradas son superiores en CO y HC, en un 174 y un 37% respectivamente. Las emisiones de HCNM y NOx registradas son menores en un 5% aproximadamente. Para el caso del GNC, se tienen valores mayores de emisiones de HC, HCNM y NOx, incrementándose en un 19, 13 y 10% respectivamente. Las emisiones de CO permanecen prácticamente invariables.

Este análisis permite ver grandes diferencias entre los valores registrados en los vehículos en uso y los vehículos nuevos adaptados para combustibles gaseosos. No se observa una tendencia única a reducir o incrementar las emisiones en el caso de los vehículos nuevos.

A modo de síntesis, se presenta un cuadro comparativo (Tabla 1-1) de las variaciones de las emisiones en los distintos análisis realizados previamente. Se descarta el análisis que consideró todos los vehículos convencionales disponibles, por considerarse un universo no comparable con los vehículos adaptados a gas existentes en Chile. Se presenta también la diferencia encontrada al comparar los resultados obtenidos en ambos grupos de vehículos: aquellos adaptados y certificados cuando ya estaban en uso y aquellos homologados nuevos.

Tabla 1-1. Síntesis de fracciones porcentuales de emisiones de vehículos adaptados con combustible gaseoso con respecto a vehículos convencionales (100% es la emisión del vehículo convencional).

Combustible Convencional	Estado vehículo	GLP				GNC			
		CO (%)	HC (%)	HCNM (%)	NOx (%)	CO (%)	HC (%)	HCNM (%)	NOx (%)
Gasolina	Usados	162	116	98	227	128	208	107	267
	Nuevos	225	148	89	201	129	225	131	332
Diesel	Usados	444	136	54	36	351	243	59	42
	Nuevos	618	173	49	32	355	262	72	52

Se tiene que para el CO y el HC las emisiones se incrementan en todos los casos. El NOx se incrementa sólo en el caso de la gasolina, y en el diesel se obtienen importantes reducciones del orden del 40 al 60%. EL HCNM se reducen salvo en el caso del GNC al compararlo con gasolina, donde se tiene un incremento de entre el 7 y el 31%.

Estos resultados reflejan el impacto relativo que tiene la conversión de vehículos livianos a gas licuado de petróleo y gas natural.

Se puede observar una gran diferencia entre los resultados obtenidos en vehículos usados y nuevos. Estas diferencias pueden atribuirse al deterioro de los vehículos en uso, que generan cambios en sus emisiones con respecto a las observadas cuando el vehículo está nuevo.

Si bien este enfoque global permite tener una muestra suficientemente grande como para obtener valores promedio y de dispersión suficientemente confiable, carece de la posibilidad de analizar singularidades que se podrían presentar, por ejemplo, considerando el año en que se realiza la adaptación. Es posible que las tecnologías cada vez más limpias permitan observar menores niveles de emisión en los últimos años, lo cual hasta el momento no es posible visualizar con este análisis.

Estas falencias podrían ser subsanadas acotando aún más la muestra observada, agrupando los vehículos según un parámetro más: la norma de emisión bajo la cual ingresan a Chile. Bajo este criterio, se realiza el siguiente análisis.

Para vehículos livianos de pasajeros, la norma exigida en Chile para aquellos que operan con gasolina desde 2005 es Euro III, y en el caso de los que utilizan diesel es Euro IV desde 2006-2007. Es posible que un análisis exclusivo de los vehículos con la tecnología más moderna –y limpia- disponible en Chile permita tener un resultado más certero que permita proyectar las emisiones en los próximos años. Este será una de las siguientes tareas a realizar en este proyecto.

Los resultados obtenidos en estos dos análisis reflejan una alta dispersión en los valores de emisión para vehículos utilizando combustibles gaseosos. Con el objetivo

de reducir la incertidumbre, se realizó un análisis más detallado con algunos vehículos, el cual se presenta en las secciones que siguen.

1.3 Evolución de niveles de emisiones en los últimos años

Para tener una perspectiva general de la evolución en los niveles de emisión en los últimos años, se presenta el gráfico de la Figura 1-10, que considera las emisiones de CO y NOx de los modelos adaptados GLP seleccionados presentados en la sección anterior. Este grupo está compuesto de vehículos adaptados desde 2001.

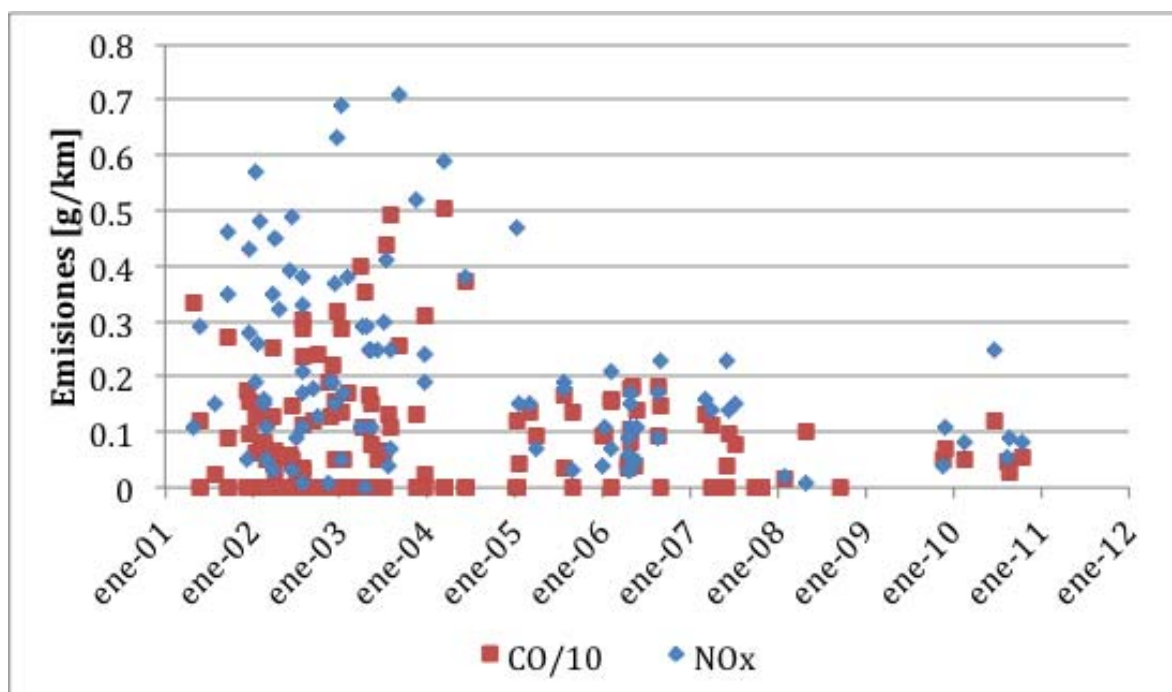


Figura 1-10. Evolución de emisiones registradas en vehículos adaptados desde 2001.

En la Figura 1-10 se puede apreciar una marcada reducción en las emisiones observadas de 2005 en adelante. Esto se atribuye a la incorporación de vehículos bajo la norma Euro 3,* exigencia requerida para los vehículos incorporados al parque nacional desde 2005.

De este resultado se plantea un análisis más detallado, que sólo considere vehículos con características similares para satisfacer las mismas exigencias. Así, se presenta a continuación un análisis sobre modelos Euro 3.

El análisis se limita a vehículos adaptados con GLP, pues la adaptación de vehículos GNC cesado de forma prácticamente completa: en los últimos 5 años sólo se han adaptado 4 vehículos. Esto se debe al recorte de combustible GNC por parte del país

* Equivalente a EPA 94 Tier 1 Federal.

trasandino, quien por razones de abastecimiento interno redujo considerablemente la provisión a Chile de este hidrocarburo, incrementándose intrínsecamente el costo de este y poniendo en riesgo la disponibilidad necesaria para la implementación de tecnología GNC en vehículos de transporte.

1.4 Visión general de emisiones de vehículos Euro 3

En esta sección se presenta de forma descriptiva los resultados en las mediciones obtenidas en vehículos adaptados a gas y vehículos convencionales Euro 3. El análisis cuantitativo se realizará en la sección 1.5.

En la Figura 1-11 se presentan los resultados de emisiones de cada contaminante, para los vehículos adaptados desde el año 2005.

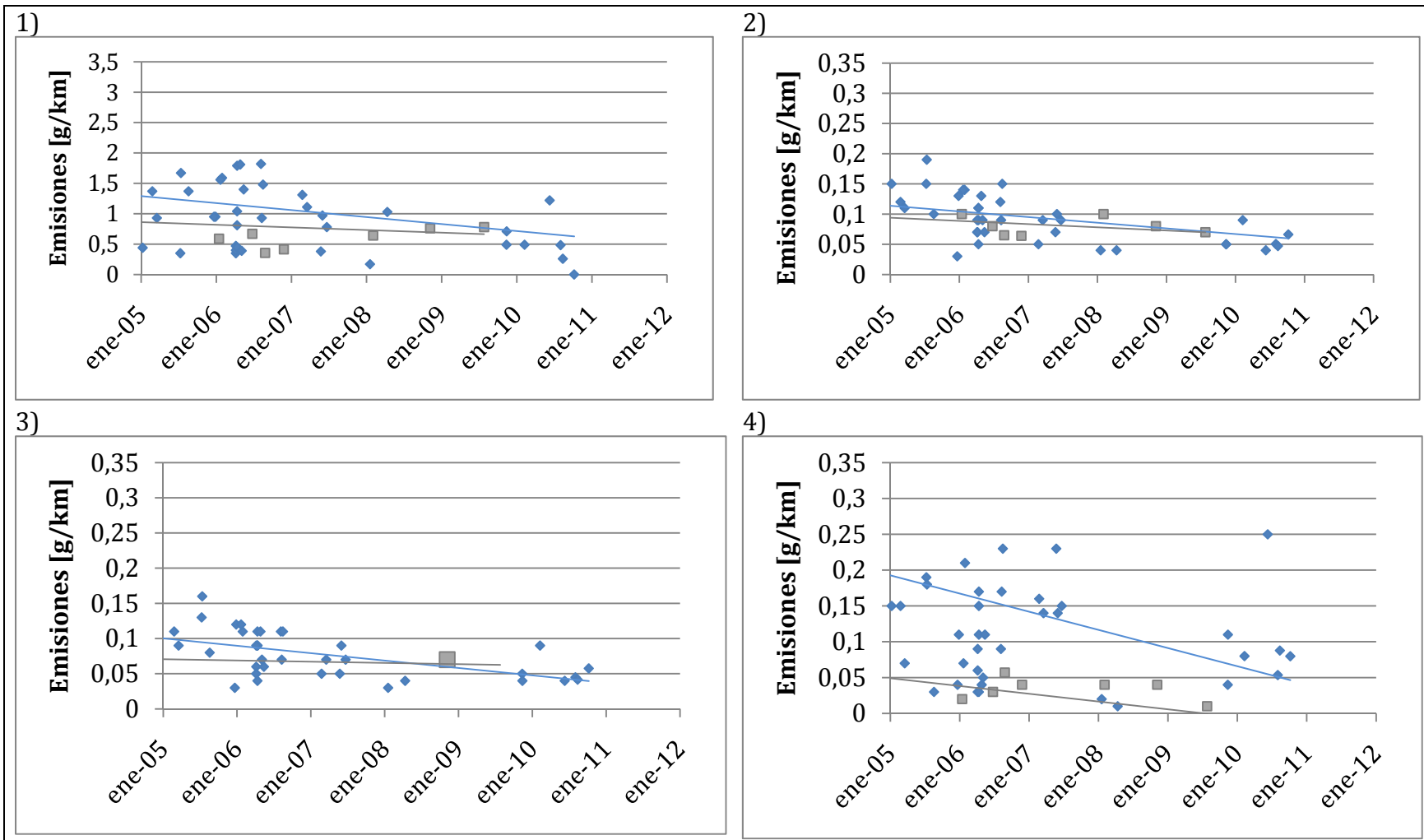


Figura 1-11. Análisis cualitativo de los resultados de emisiones para vehículos adaptados a gas representado con diamantes azules, y vehículos convencionales a gasolina representados con cuadros grises. Los contaminantes analizados son: 1) CO; 2) HC; 3) HCNM; 4) NOx. Línea de tendencia: aproximación lineal. Fuente: Elaboración propia en base a registros de 3CV.

De la Figura 1-11 se puede apreciar que, en general, las emisiones vehiculares de vehículos adaptados para trabajar con GLP son, en muchos casos, superiores a las de los vehículos convencionales. Se hace necesario evaluar los beneficios de la conversión, considerando los costos ambientales que esto está conllevando.

La muestra bajo análisis se redujo aún más en un nuevo análisis, considerando además de la norma de emisión de los vehículos, la categoría a la que pertenecen. Los resultados se presentan en la sección siguiente.

1.5 Modelo por Modelo Euro III

Este análisis considera los resultados de medición de emisiones en vehículos adaptados en uso y vehículos homologados nuevos, tal como se presenta a continuación.

1.5.1 Vehículos en uso adaptados

Como se explicó en la sección 1.3, se tiene una continua reducción en las emisiones en el tiempo atribuida a las mejores tecnologías disponibles. Esto es particularmente cierto desde 2005, donde se observa un clara reducción en las emisiones observadas. Esto obedece a la entrada en vigor, desde el 29 de enero de 2005, de la normativa nacional que exigía el ingreso de vehículos que cumplieran es estándar Euro III relativo a emisiones contaminantes.

Con los antecedente presentados, se realizó una selección de los modelos adaptados desde 2005, y sus pares convencionales desde ese mismo año. En el caso de modelos que fueron adaptados en varias versiones⁴, se tomó un promedio de las emisiones medidas. En el caso de no haber modelo convencional homologado en ese período, se tomó el más reciente antes de 2005, que se asume correspondería al que posteriormente fue utilizado para la adaptación a gas. Para detallar más el análisis, este se efectuó sobre los vehículos de categoría Comerciales, correspondientes a camionetas y furgones.

Los modelos seleccionados bajo este criterio fueron:

- Suzuki APV
- Chevrolet COMBO
- Fiat FIORINO
- Fiat FIORINO FIRE
- Chevrolet LUV 3,5 4X4
- Chevrolet MONTANA
- Ford RANGER

⁴ Las distintas versiones se refieren principalmente a un kit distintos, aunque también varían características de la carrocería como el número de puertas, o la existencia o no de pick-up.

- Nissan TERRANO

Se calculó la fracción porcentual según la Ecuación 2, ya presentada en secciones precedentes.

$$F.P. = \frac{E_{ALT}}{E_{CONV}} \times 100$$

Ecuación 2.

Los valores de fracción porcentual promedio para cada contaminante se presentan en la gráfica de la Figura 1-12. Para representar la dispersión, se calcula el intervalo de confianza con una probabilidad del 95%.

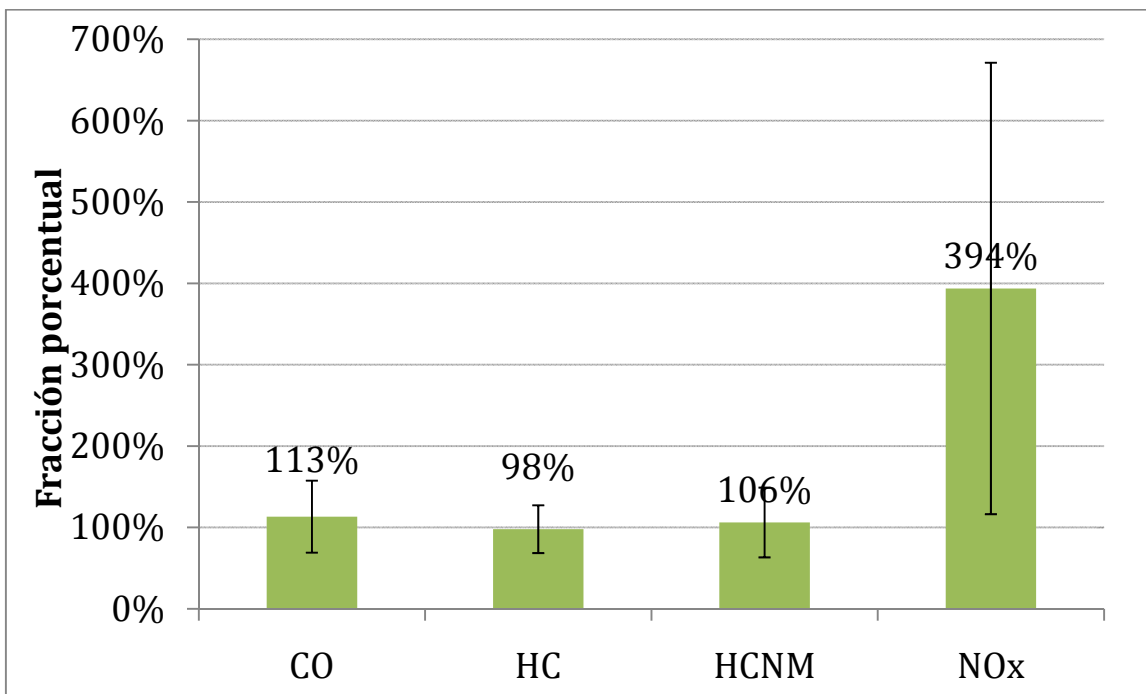


Figura 1-12. Fracción porcentual de emisiones de vehículos en uso convertidos para utilizar GLP con respecto al vehículo convencional. Se indica el intervalo de confianza con un probabilidad del 95%.

De la gráfica de la Figura 1-12 se puede apreciar que, aunque se han utilizado sólo 8 modelos específicos, todos de categoría Comercial, considerando sólo aquellos homologados en los últimos años (desde 2005), el intervalo de confianza obtenido refleja que en algunos casos las emisiones se incrementan, y en otros decrecen. De todas formas, en promedio las emisiones de CO, HCNM y NOx se incrementan, mientras que las de HC se reducen en dos puntos porcentuales. El NOx tiene una alta dispersión, reflejando altas diferencias entre los resultados obtenidos después de la adaptación de los distintos modelos. Se observa un preocupante incremento a 4 veces las emisiones de NOx antes de la conversión.

El hecho de que los vehículos adaptados ya estén en uso incorpora una variable *edad* del vehículo que no es considerada en este análisis. Para tener resultados independientes de la edad, se realizará un análisis similar para vehículos homologados, es decir, los que fueron adaptados cuando estaban nuevos.

1.5.2 Vehículos nuevos adaptados

Se intentó replicar el análisis anterior con vehículos homologados de categoría Comercial, sin embargo, sólo se contaba con un modelo adaptado en fecha posterior a 2005 que correspondía al estándar Euro 3. Por esta razón, el análisis se realizó sobre vehículos de categoría Pasajeros. Los modelos seleccionados para esta categoría, que fueron homologados después de 2005, fueron sólo tres:

- Hyundai ACCENT
- Chevrolet ASTRA II
- Nissan V16

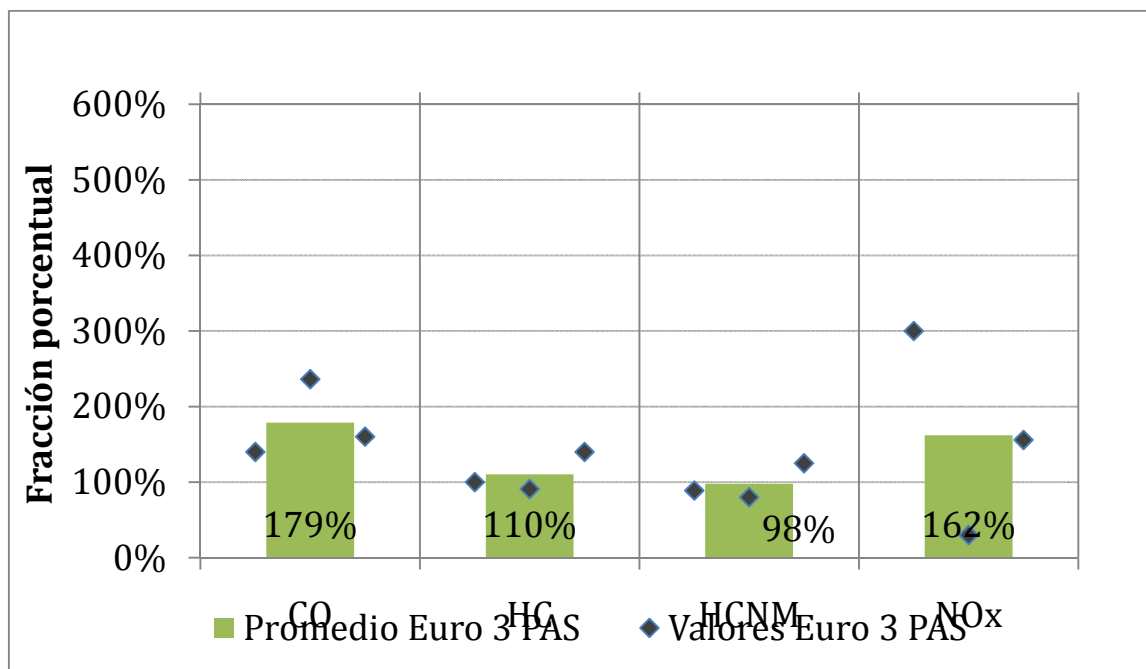


Figura 1-13. Fracción porcentual de emisiones de vehículos homologados nuevos adaptados a Gas con respecto al vehículo convencional. Las etiquetas representan el valor promedio, los puntos representan los valores obtenidos para cada uno de los tres vehículos.

Los resultados obtenidos para este análisis se presentan en la Figura 1-13. En vista del tamaño reducido de la muestra, se considera práctico presentar los valores puntuales obtenidos para cada vehículos en los diferentes contaminantes estudiados.

Sólo para CO se tiene un incremento en todos los casos. Para el resto de los contaminantes, se tienen incrementos y reducciones valores obtenidos tras la adaptación. De todas formas, los valores obtenidos representan variaciones menores con respecto a las obtenidas en el análisis general de todos los modelos seleccionados en la sección 1.1.2. Esto podría deberse a que la tecnología de adaptación ha ido mejorando con el correr de los años, y los kits de adaptación disponibles ahora presentan mejores desempeños en lo que respecta a emisiones vehiculares. De todas formas, la muestra disponible es bastante pequeña como para ser concluyentes en este punto.

2 Emisiones vehiculares en base a información internacional

2.1 World Liquid Petroleum Gas Association

La *World LPG Association*, WLPGA, ha recopilado en su informe *LP Gas: Healthy Energy for a Changing World* información relevante sobre las emisiones de gas licuado de petróleo y sus impactos en salud, de acuerdo con estudios de investigadores independientes.

En particular, en lo que respecta a emisiones de vehículos de pasajeros, se recogió información de un proyecto desarrollado por 3 laboratorios de emisiones europeos, llamado *European Emission Test Programme*. La información obtenida es particularmente relevante pues realizó pruebas con gasolina, diesel y GLP en 7 vehículos diferentes Euro 3, permitiendo realizar comparaciones directas en sus emisiones con cada contaminante.

Con respecto a camiones pesados y buses, se han tomado los resultados de una serie de programas de pruebas realizados en el período 2000-2005 por el gobierno de Australia, donde se realizaron pruebas en dinamómetro de chasis con ciclos transcientes en casi 900 vehículos pesados, incluyendo algunos que utilizan combustibles alternativos GNC y GLP.

A partir de estas fuentes se establecen los factores de emisión presentados a continuación para vehículos convencionales, gasolina y diesel, y para vehículos dedicados a GLP. En primera instancia, la Tabla 2-1 presenta los factores de emisión para vehículos de pasajeros.

Tabla 2-1. Factores de emisión para vehículos de pasajeros (gr/km).
Fuente: WLPGA.

Norma Emisión	Contaminante	Gasolina	Diesel	LPG
Euro 3	CO	0.855	0.240	1.070
	HC	0.090	0.030	0.070
	NOx	0.050	0.150	0.020
	PM	0.004	0.035	0.003
Euro 5 (Diesel c/FP)	CO	0.855	0.240	1.070
	HC	0.090	0.030	0.070
	NOx	0.050	0.390	0.020
	PM	0.004	0.0035	0.003

En la Tabla 2-2 se presentan los factores de emisión que WLPGA propone para camiones pesados y buses.

Tabla 2-2. Factores de emisión para camiones pesados y buses (gr/km).

Fuente: WLPGA.

	Contaminante	Diesel	LPG
Euro 3	CO	1.940	1.530
	HC	0.530	2.330
	NOx	7.110	5.060
	PM	0.450	0.050
Euro 4/5 (Diesel C/FP)	CO	1.940	1.530
	HC	0.530	2.330
	NOx	3.110	2.460
	PM	0.050	0.030

Con estos valores, se analizan las variaciones esperadas en cada contaminante, según la categoría correspondiente. En la Figura 2-1 se presenta la Fracción Porcentual de Emisiones de vehículos GLP con respecto a las de aquellos gasolina y diesel.

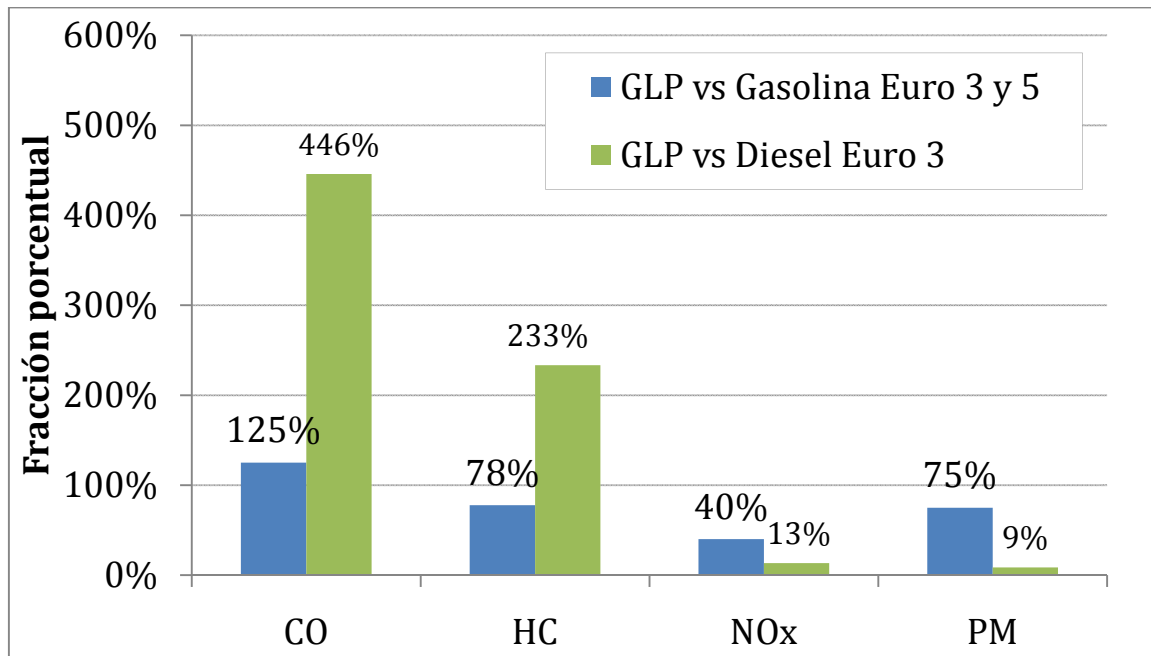


Figura 2-1. Fracción porcentual de emisiones para vehículos de pasajeros.

Fuente: Elaboración propia a partir de factores de emisión de WLPGA.

A partir de la Figura 2-1 se observa para vehículos a gasolina, que el reemplazo por vehículos GLP dedicados incrementaría las emisiones de CO, pero reduciría las emisiones de HC, NOx y PM. Es notable la reducción en el precursor de ozono troposférico, NOx, llegando a un 40% de las emisiones generadas con el combustible convencional.

Si se compara con los resultados obtenidos a partir de 3CV, se aprecia que todas las emisiones son reducidas a mayor grado con vehículos dedicados a gas. Es notable que en HC y NOx las emisiones se ven incrementadas al adaptar un vehículo, pero en los

vehículos dedicados estas emisiones están mejor controladas, obteniendo una reducción.

Con respecto al diesel, la comparación con vehículos GLP muestra un incremento en las emisiones de este último combustible en CO y en HC. Sin embargo, se logran sustanciales reducciones en dos contaminantes clave para la calidad de aire, como son NOx y MP, llegando al valores del orden del 10% de las emitidas por el diesel.

Sólo en el caso del HC la Fracción porcentual es mayor que la obtenida en vehículos adaptados. En todo el resto de los contaminantes, se observa que es más favorable un vehículo dedicado que uno adaptado, desde el punto de vista medioambiental.

Con respecto a los vehículos pesados, camiones y buses, las variaciones porcentuales calculadas se presentan en la Figura 2-2.

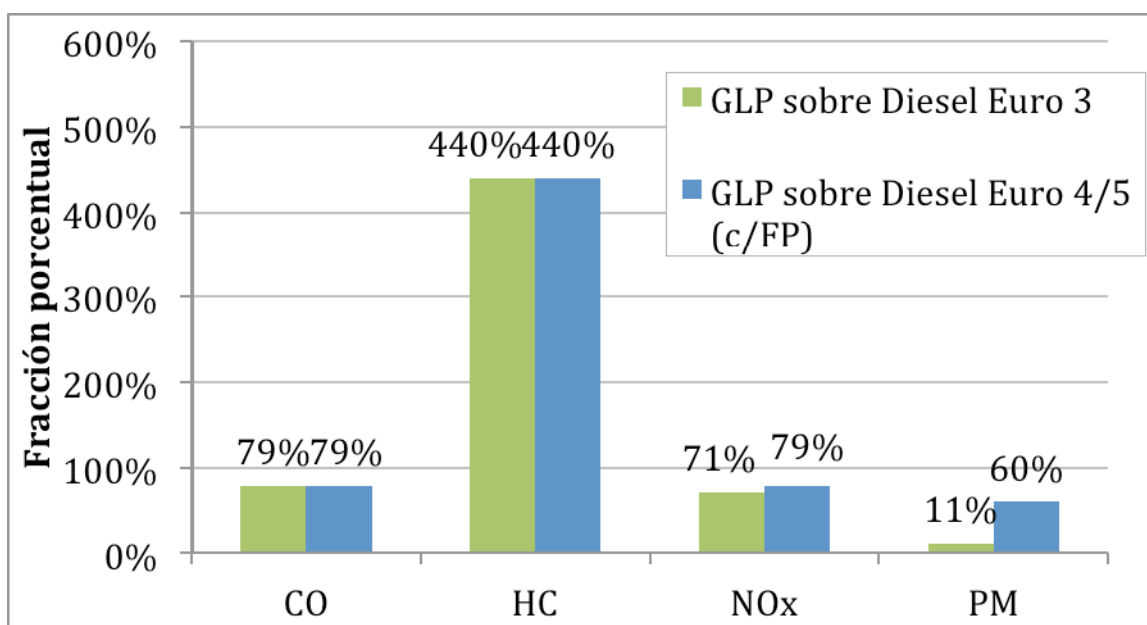


Figura 2-2. Fracción porcentual de emisiones para camiones y buses.
Fuente: Elaboración propia a partir de factores de emisión de WLPGA.

Se puede observar reducciones en CO, NOx y PM. La reducción en este ultimo contaminante es sobresaliente, llegando a un 11% del valor de un vehículo diesel Euro 3. Considerando tecnologías más nuevas, que incorporen un filtro de partículas para el abatimiento de material particulado, aún se tiene una reducción de un 40% adicional en este contaminante, al utilizar el combustible alternativo, GLP, llegando a un 60% de las emisiones generadas en un vehículos Euro 4 o 5 con filtro de partículas, trabajando con diesel.

En el Anexo A se presenta el análisis realizado a partir de la base de datos del International Vehicle Emission Model (IVE). Si bien este análisis es bastante completo, se ha descartado como fuente de información para este estudio debido a que el IVE no posee una información muy precisa para vehículos a GLP, el origen de los valores de

IVE proviene de pocas pruebas analizadas en papers de investigación. Por lo tanto, se privilegió la información del WLPGA considerando que el estudio es específico para vehículos GLP.

2.2 Análisis comparativo de emisiones para vehículos dedicados (Proceso de certificación EPA)

La US-EPA entrega información de las certificaciones que se llevan a cabo año a año, al igual que los hace 3CV. Esta información se entrega para tres categorías, a saber: 1) Autos y Camionetas, 2) Camiones, buses y Motores; 3) Motocicletas. En el caso particular del presente estudio, los grupos de interés son las categorías 1 y 2.

2.2.1 Motores de vehículos pesados

Los resultados publicados por EPA para los ensayos estandarizados de emisiones en el tubo de escape, fueron recopilados para todos aquellos motores certificados para la operación en vehículos de ruta⁵ en EEUU a partir del año 2004 y hasta el año 2010. Entre dichos años se registran alrededor de 700 motores ensayados.

Para el análisis, en la Figura 2-3 se muestran las emisiones promedio en valor absoluto para motores de vehículos pesados que operan con un ciclo Diesel, mientras que en la Figura 2-5 se muestran los promedios obtenidos para los motores operados con un ciclo Otto (gasolina). Ambas figuras muestran los intervalos de confianza con un 95% de probabilidad asociados a cada valor medio presentado, además de amplificar las emisiones de MP en 10 veces y reducir las emisiones de CO en la misma medida para mantener la escala del gráfico. Más adelante, la fracción porcentual existente entre las emisiones registradas para GNC y GLP en relación a los motores operados con Diesel y gasolina.

Al observar las emisiones de los motores de ciclo Diesel (ver Figura 2-3), se puede apreciar que tanto para CO como NMHC el comportamiento del diesel y el GNC es similar, mientras que en el caso del NO_x y MP se observan reducciones considerables en los valores medios de emisión registrados. Al observar la fracción porcentual (ver Figura 2-4) se tiene que el GNC emite el equivalente a 128% las emisiones de CO si se compara con un motor operado con diesel y 158% de las emisiones de los NMHC. Por

⁵ Para los vehículos pesados de carga y pasajeros, la certificación en emisiones contaminantes se desarrolla en base a pruebas de banco para los motores que son posteriormente instalados en un chasis de acuerdo a las exigencias del mercado.

otra parte, las emisiones de NOX y MP son 59% y 19%, respectivamente, es decir, una reducción considerable en el uso de GNC en este tipo de motores.

Respecto del uso de LPG en este tipo de motores, EPA sólo reporta un ensayo por lo que no es posible realizar un análisis concluyente de su impacto.

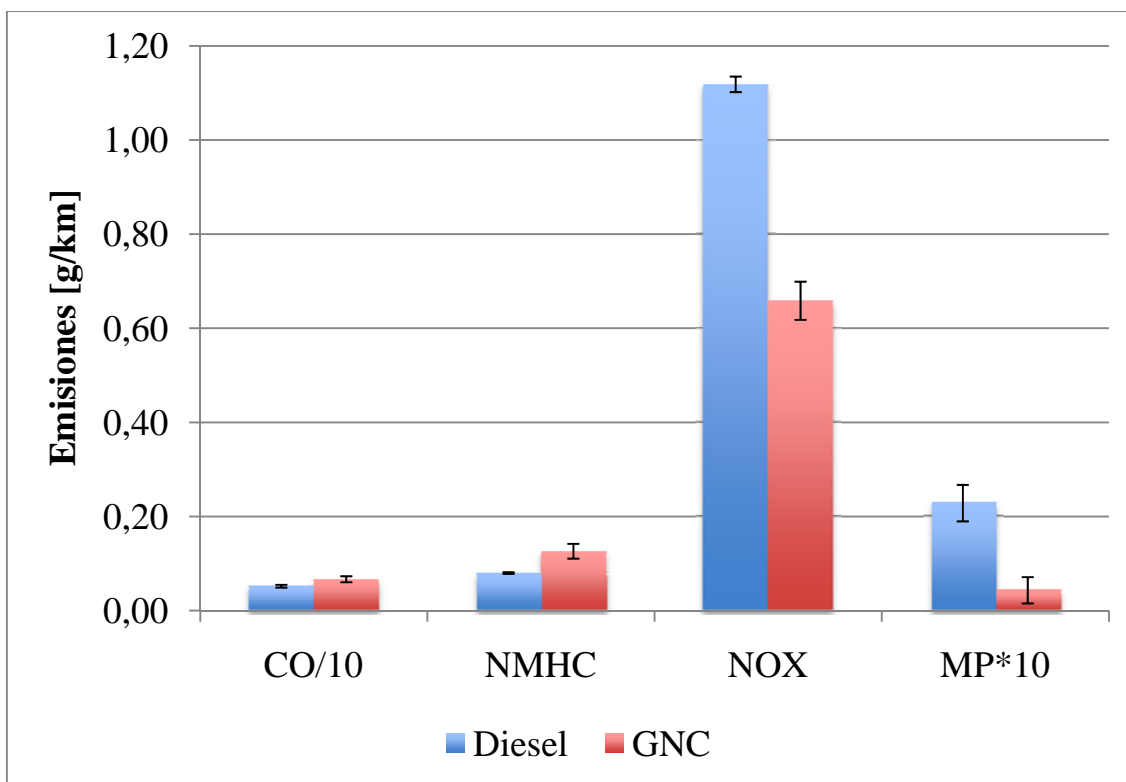


Figura 2-3: Resultados de emisiones de escape para motores Diesel

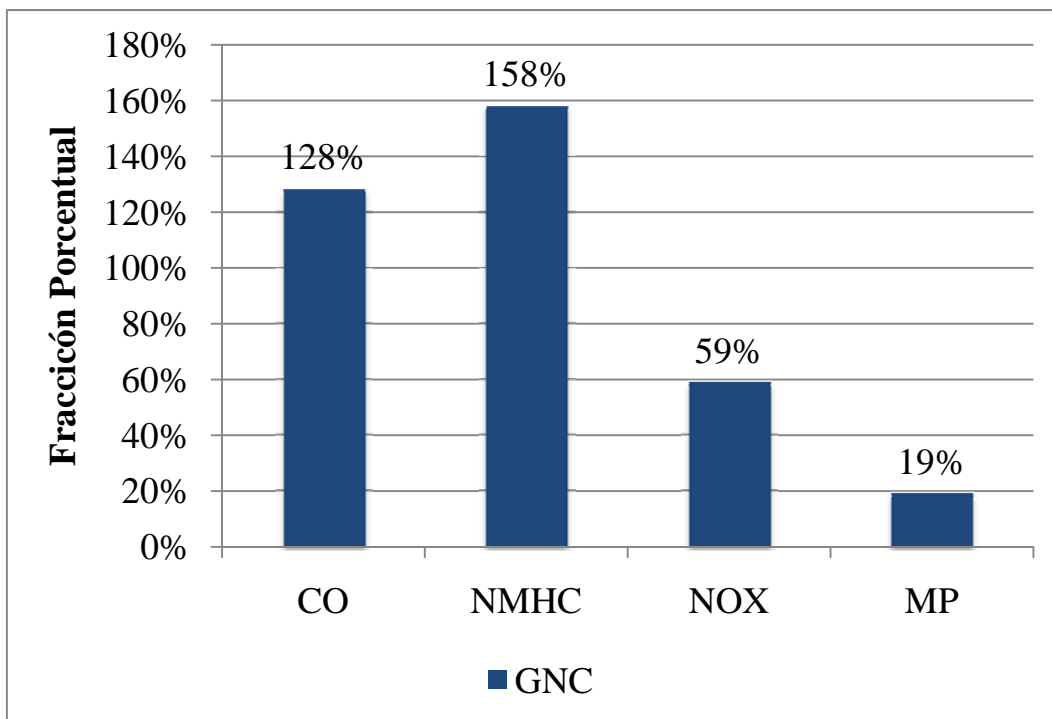


Figura 2-4:Fracción porcentual en relación a emisiones de tubo de escape de motores Diesel

Para los motores que operan en un ciclo estequiométrico u Otto (ver Figura 2-5), existen antecedentes para motores diseñados para el uso de GNC, GLP y duales con ambos tipos de combustible. En este caso se observa que en terminos absolutos el impacto más notorio es en las emisiones de NMHC. Al revisar las fracciones porcentuales que existen entra cada tipo particular de motor y aquellos diseñados para el uso de gasolina (ver Figura 2-6) se observa que los motores operados con GNC, incluyendo los duales, presentan una mejor desempeño en las emisiones de CO, NMHC y NO_x, siendo el caso de los hidrocarburos no metánicos donde se presenta el mejor desempeño alcanzando aproximadamente un 12% de las emisiones originales, en tanto que el peor caso se presenta para NOX, donde la fracción porcentual es 98%, es decir prácticamente el mismo valor. En el caso del uso de GLP, los resulta dos son distintos según el contaminante, encontrando incrementos de 17% a 26% para el CO y NOX, y bajas de emisión para los NMHC que entrega una fracción porcentual de un 60%, si se les compara con las emisiones de un motor de ciclo Otto operado con gasolina.

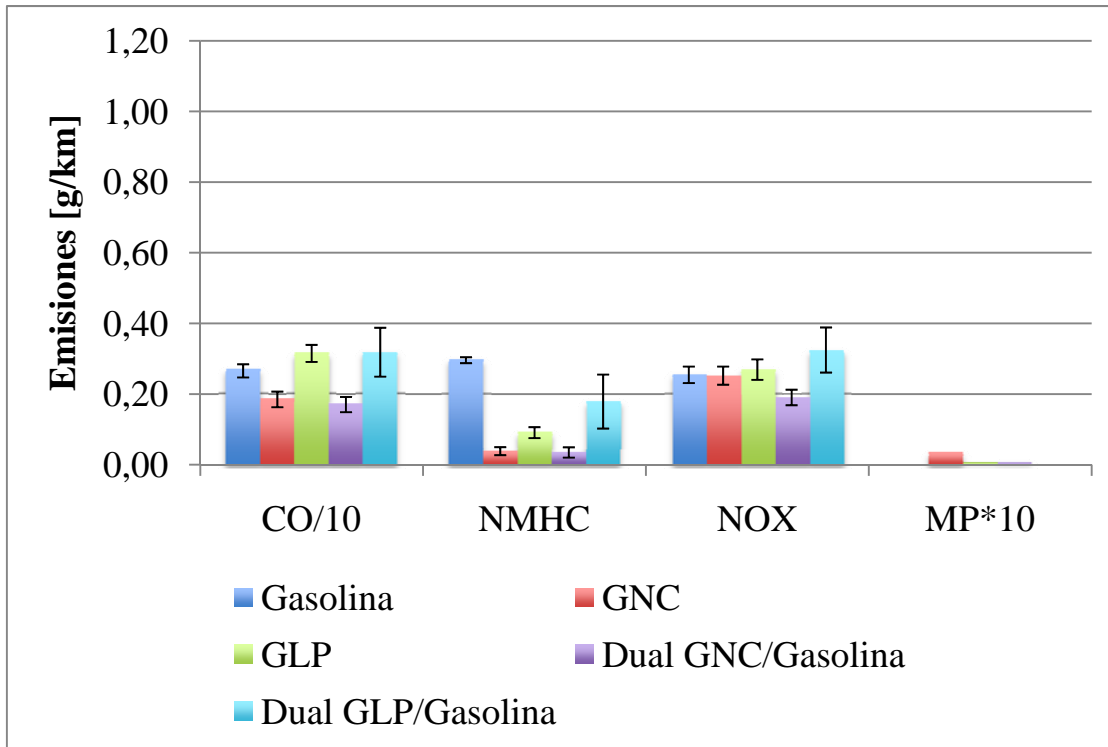


Figura 2-5:Resultados de emisiones de escape para motores gasolina

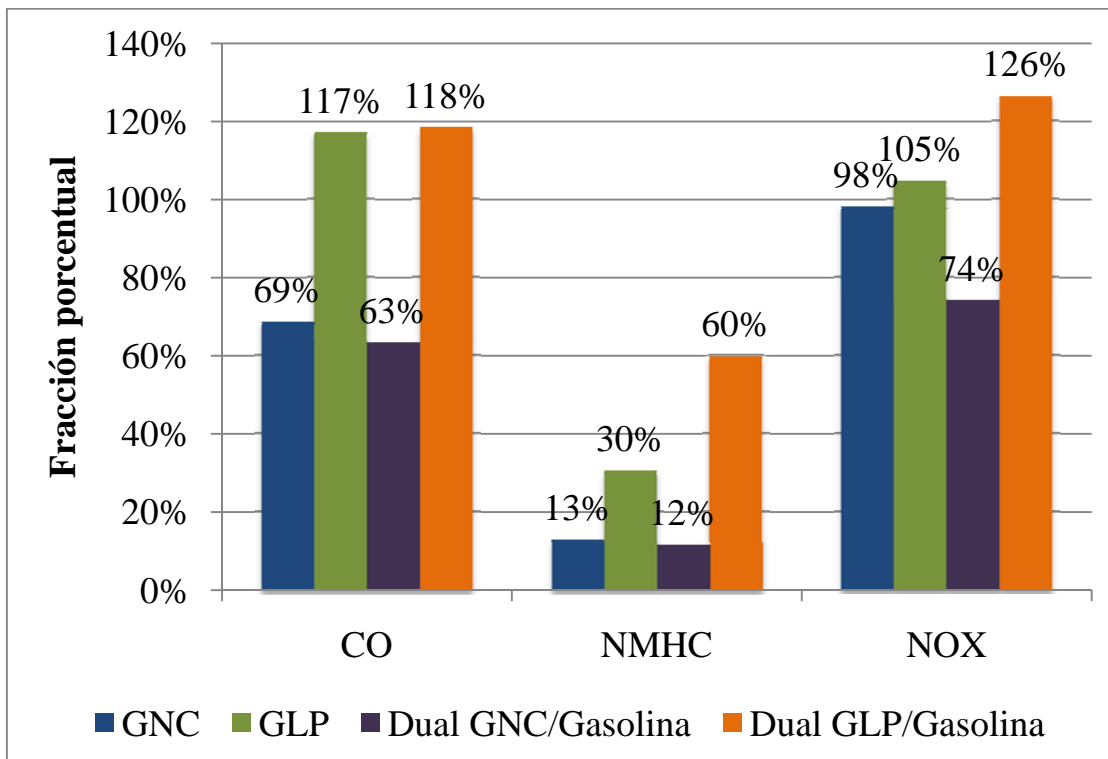


Figura 2-6:Fracción porcentual en relación a emisiones de tubo de escape de motores gasolina

2.2.2 Vehículos Livianos y Medianos

De la misma forma que con los motores de vehículos pesados, existen registros de ensayos de certificación realizados sobre vehículos livianos y medianos. Al cierre de la edición de este informe, este análisis está en pleno desarrollo y se reportará en detalle en la entrega del segundo informe de avance.

A modo de ejemplo se muestra el análisis efectuado para dos modelos HONDA CIVIC certificados por EPA 2010. El promedio de los valores reportados se muestran en la tabla y figura siguientes.

Tabla 2-3: Valores promedio de resultados de ensayo de certificación EPA. Modelos HONDA CIVIC GNC y gasolina

Modelo	Combustible	Contaminante	Nivel de Emisión Promedio	Unidades
CIVIC EX	Tier 2 Cert Gasoline	CO	0,280	g/milla
		NMOG	0,040	
		NOX	0,033	
CIVIC GX	CNG	CO	0,500	g/milla
		NMOG	0,002	
		NOX	0,010	
Fracción porcentual	CNG/Gasolina	CO	179	%
		NMOG	5	
		NOX	30	

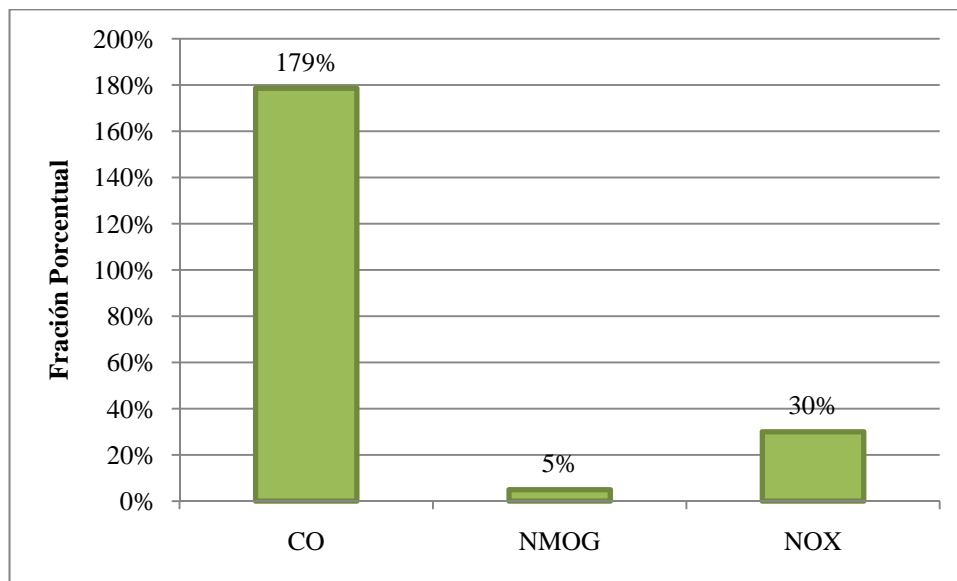


Figura 2-7: Fracción porcentual de emisiones HONDA CIVIC GNC versus el modelo correspondiente a gasolina

3 Inventario de emisiones estimado para 2010 y proyecciones parque automotriz 2025

3.1 Inventario de emisiones 2010

En el marco del estudio *Análisis y Desarrollo de una Metodología de Estimación de Consumos Energéticos y Emisiones para el Transporte*, desarrollado el presente año por Sistemas Sustentables para SECTRA, se desarrollo una corrida del modelo de emisiones MODEM 4.0, estableciendo un inventario de emisiones para el año 2010 para las fuentes móviles de la Región Metropolitana de Santiago. Si bien esta corrida no representa el inventario oficial 2010, se realizó con la misma metodología empleada para la determinación del inventario de emisiones 2005, por lo que permite establecer un escenario actualizado de las emisiones provenientes del parque vehicular, en tanto se publica el inventario oficial para la región⁶.

A continuación se entrega un análisis de participación en las distintas variables relevantes entregadas en la ya mencionada corrida del modelo MODEM, a saber: Nivel de actividad, emisiones de CO₂, y emisiones de los principales contaminantes criterio (CO, NO_x, HC y MP10).

En la Figura 3-1 se presentan el nivel de actividad (NA) y emisiones de dióxido de carbono (CO₂) por categoría vehicular. El nivel de actividad representa una estimación de los kilómetros recorridos por la totalidad de los vehículos de una categoría dada. En este caso se aprecia que los vehículos livianos gasolina y diesel realizan en conjunto aproximadamente el 87% de la actividad en la región. Por su parte, las emisiones de CO₂, proporcionales al consumo y por lo tanto dependiente del rendimiento (km/lt) de cada categoría, son lideradas los vehículos livianos a gasolina y camiones con un 79% de las emisiones. En tercer lugar figuran los buses con un 10% del consumo.

Respecto de las emisiones de material particulado grueso (MP10), la Figura 3-2 muestra que los camiones son responsables de un 60% de las emisiones, en tanto que los vehículos livianos diesel lo son de un 15% de ellas. El tercer lugar lo comparten los buses y vehículos gasolina con un 11%. En la misma figura se presentan las responsabilidades en las emisiones de óxidos nitrosos (NO_x) compartidas por los camiones con un 37%, los vehículos livianos a gasolina con un 35% y en tercer lugar por los buses con un 17%

⁶ Este será presentado por el Ministerio de Medio Ambiente en abril de 2011.

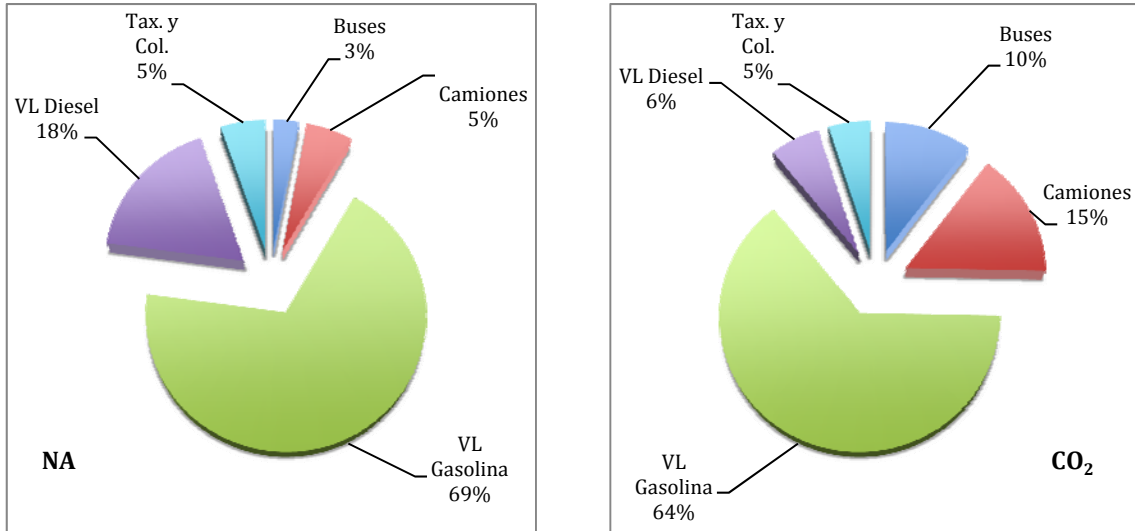


Figura 3-1: Nivel de Actividad y emisiones de CO₂

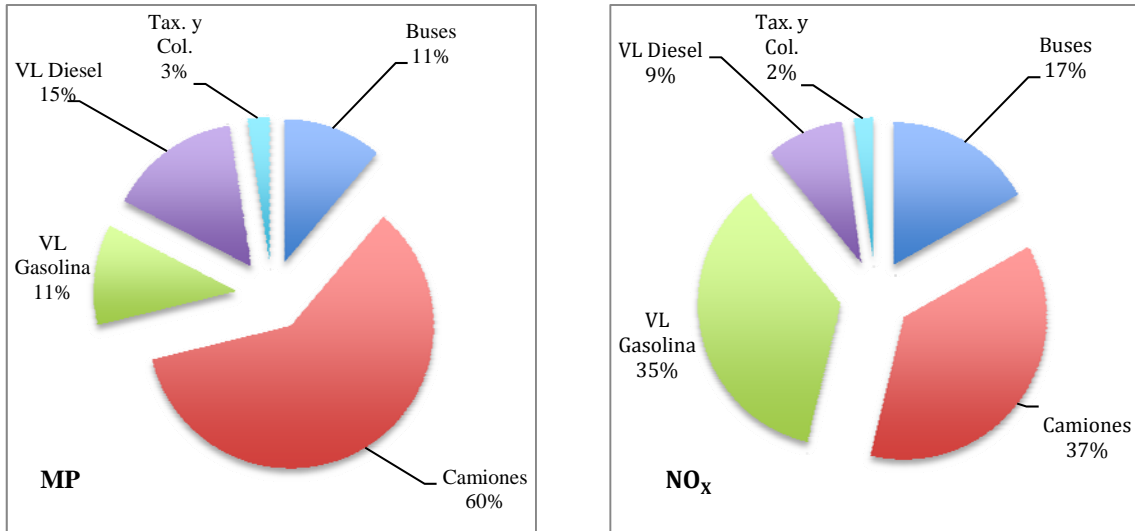


Figura 3-2: Emisiones de Material Particulado y Óxidos Nitrosos

Finalmente, en la Figura 3-3 se presentan las emisiones de Hidrocarburos no quemados (HC) y las emisiones de monóxido de carbono (CO). En el caso de los HC, las emisiones son principalmente responsabilidad de vehículos livianos a gasolina, con un 62% de la participación, y por los camiones con un 25% de ellas. Para el CO, el protagonismo de las emisiones corresponde a los vehículos livianos a gasolina.

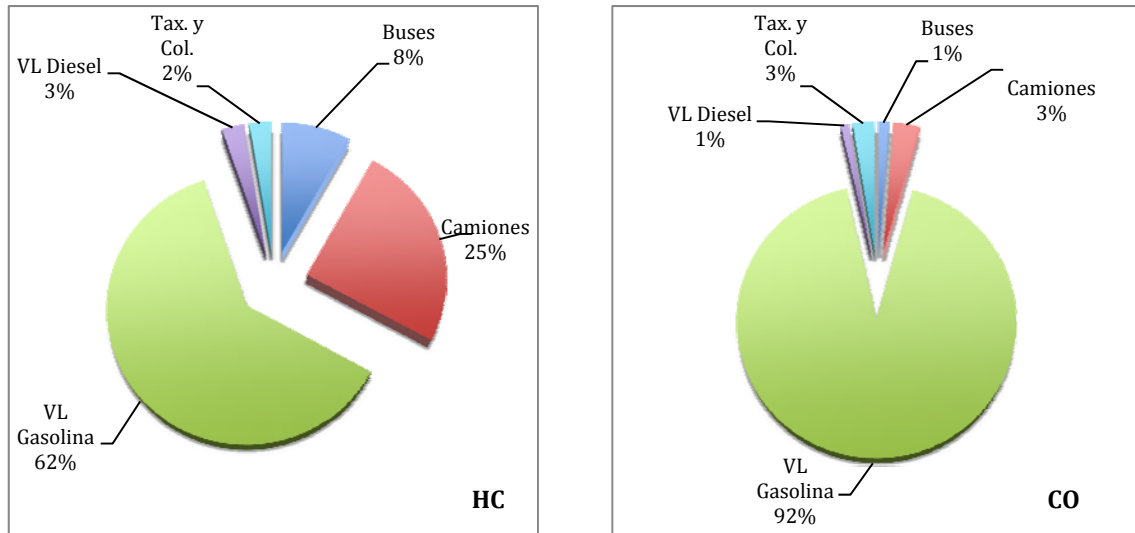


Figura 3-3: Emisiones de Hidrocarburos Totales y Monóxido de carbono

3.2 Proyección de parque

Para el presente estudio se dispone de una proyección de parque realizada por el estudio Análisis y Desarrollo de una Metodología de Estimación de Consumos Energéticos y Emisiones para el Transporte, publicado por SECTRA el año 2010. Dicha proyección detalla para cuatro categorías el parque estimado para los años 2010, 2015, 2020 y 2025, proyectado en base a una serie temporal disponible entre los años 1998 y 2008 en los registros de permisos de circulación de INE. La proyección se realizó en escala regional, y en la figura siguiente se muestra dichas estimaciones agregadas a escala nacional.

Las cuatro categorías presentadas por el estudio, corresponden a Vehículos Particulares o Livianos, Camiones, Buses y Taxis Colectivos. Cabe notar el protagonismo de los vehículos livianos, con porcentajes de participación del mercado superiores al 90%. Si bien el parque tiene esta participación dada, las tasas de emisión son diferentes para cada categoría por lo que, como se detallará en siguiente informa de avance, las responsabilidades en el emisión de contaminantes atmosféricos es variable según la especie evaluada.

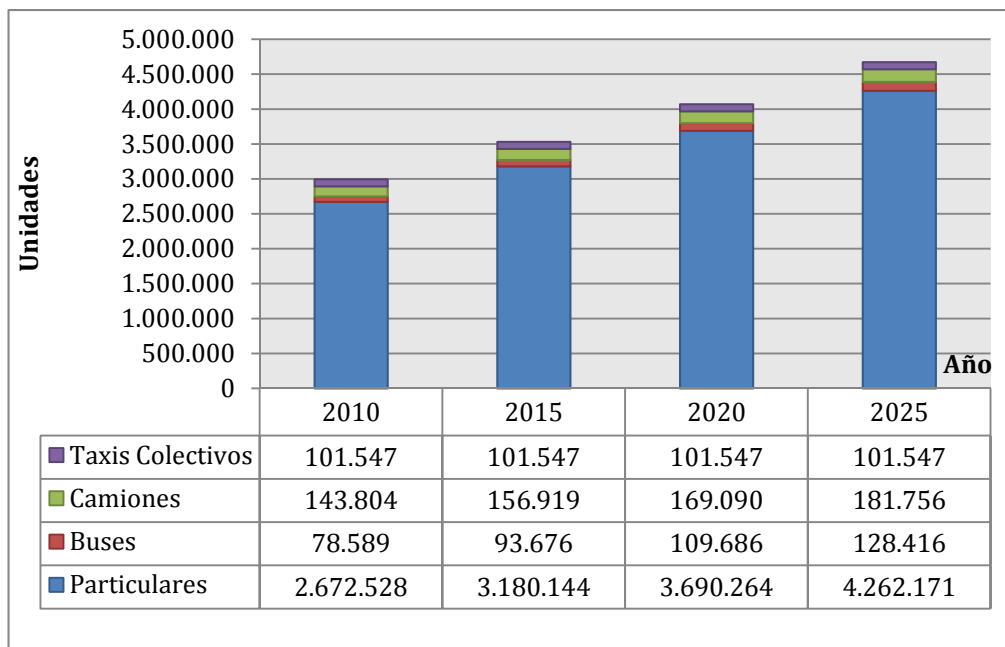


Figura 3-4: Proyección de parque a escala nacional

Las tasas de crecimiento por categoría se muestran en la figura siguiente, destacando el crecimiento anual de los vehículos livianos y buses, que duplican la tasa de crecimiento de los vehículos pesados de carga. En esta misma línea, cabe destacar que el parque de taxis y colectivos esta congelado a nivel nacional, por lo que este no presenta una modificación en su valor absoluto, pero si en su participación del parque total.

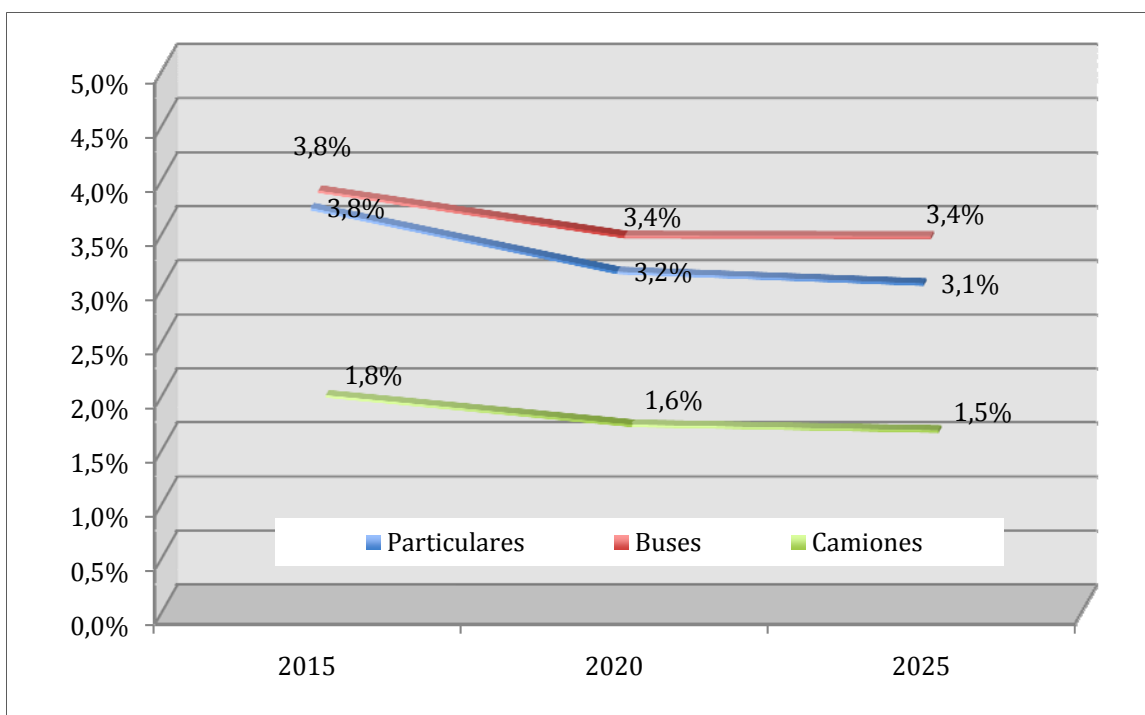


Figura 3-5: Tasas de crecimiento por categoría

4 Evaluación social y económica de incorporar GNC en parque vehicular.

Históricamente cuando se han comparado combustibles se ha limitado el análisis a aspectos técnicos y económicos. Sin embargo este análisis muchas veces ha ignorado que existen aspectos ausentes en este análisis, en particular la incorporación de los impactos ambientales de estos, las externalidades. La antigua Comisión Nacional de Medio Ambiente, que posteriormente ha sido reemplazada por el Ministerio de Medio Ambiente, tiene dentro de sus objetivos entregar eficiencia a las políticas ambientales. Para ello desarrollado herramientas técnicas como el análisis general de los impactos económicos y sociales (AGIES) que han sido apoyo constante para implementación de medidas de descontaminación, además de normas de calidad y normas de emisión. Estas herramientas han ido evolucionado y tomando mayor complejidad, incorporando complejos análisis de tarificación eléctrica acoplados a modelos de emisiones (caso AGIES Norma de Emisión de Termoeléctrica). Pero la necesidad de contar con múltiples escenarios de análisis ha obligado a mantener herramientas de evaluación social de menor complejidad.

Esta etapa del proyecto tiene por objeto valorizar los beneficios sociales y ambientales de reemplazar combustibles más sucios por el gas natural o licuado. Es así como se estudiará los beneficios de reemplazar la totalidad de los buses de transporte urbano con gas natural comprimido, de manera de ver cuánto podría reducirse el PM2.5 y ozono de adoptarse ese cambio. Eso además permitiría calcular los efectos a la salud debido al uso del diesel en el transporte público, lo que se puede hacer para “internalizar” efectos a la salud debido a su uso. Por otro lado se analizará el beneficio de reemplazar la calefacción residencial a leña por gas natural o gas licuado.

4.1 Metodología

La metodología básica de evaluación de beneficios sociales consta de calcular los cambios de concentraciones ambientales de contaminantes debido a cambios en emisiones de los escenarios analizados. Estos cambios de concentraciones se superponen a mapas de poblaciones, para calcular la exposición (concentración x población). Finalmente la función dosis respuesta entre aumento de efectos de salud con respecto a la tasa base se usan para estimar los efectos en salud. Estos se compilan y valorizan, lo que será el objeto final del estudio. La Figura 4-1 muestra un esquema de este análisis. Se entrará en mayor detalle para las etapas de estimación de emisiones para los escenarios, y la modelación propiamente tal, y así además la selección de funciones dosis respuesta, en secciones siguientes. Se modelarán tres escenarios para este proyecto: el caso base, usando valores del año 2010 de emisiones de fuentes vehiculares (Sistemas Sustentables, 2010), un escenario considerando un sistema de transporte público de gas natural, finalmente un escenario en el que la calefacción residencial a leña es reemplazado por gas natural o gas licuado. La diferencia entre esta metodología y aquella utilizada en estudios del Ministerio de

Medio Ambiente, es que se disgrega la concentración de los contaminantes y la población a una resolución más fina, por lo que se tiende reducir generalizaciones, y calcular efectos con mayor precisión.

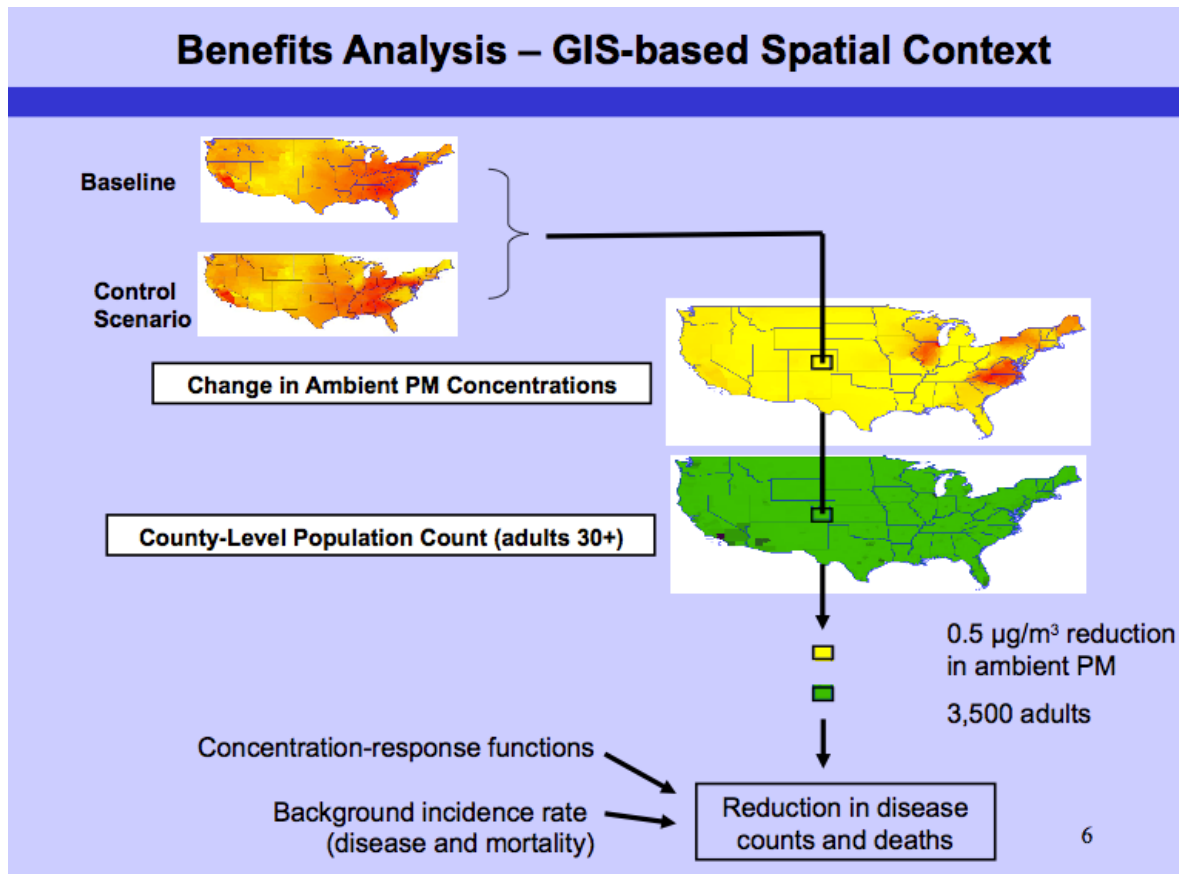


Figura 4-1 Metodología básica para evaluación de beneficios sociales de medidas de descontaminación.

4.1.1 Sistema de Modelación

El modelo usado para este proyecto se llama WRF-CHEM⁷ y fue desarrollado por NOAA y NCAR de Estados Unidos con la finalidad de avanzar en temáticas de modelación de calidad de aire, y su relación con la meteorología. Se usa un modelo de dispersión química acoplado a un modelo meteorológico de grilla, con cálculo en línea de variables meteorológicas y químicas que estén relacionadas. El modelo es considerado el estado del arte, ya que calcula varios tipos de emisiones, ya sea natural (levantamiento de polvo, emisiones de sal de mar, emisiones volcánicas), además de antropogénicas y biogénicas. El módulo químico usado fue RACM⁸ para la química gaseosa y GOCART, desarrollado por NASA⁹, que incluye emisiones de PM_{2.5}, PM₁₀, CO, NO_x, COVs, NH₃, y la formación de material particulado secundario en la forma de

⁷ <http://www.acd.ucar.edu/wrf-chem/>

⁸ <http://www.agu.org/pubs/crossref/1997/97JD00849.shtml>

⁹ <http://acdb-ext.gsfc.nasa.gov/People/Chin/gocartinfo.html>

sulfato, además de ozono troposférico. La Figura 4-2 muestra los dominios considerados. Uno es un dominio nacional, que tiene por objeto capturar condiciones meteorológicas sinópticas, con 12km de resolución. Para el análisis nos enfocaremos en el dominio regional, que incluye las regiones sexta, quinta, y RM, con una resolución de 4km.

4.1.2 Inventarios de emisiones

La última información oficial de emisiones para la Región Metropolitana fue desarrollada para el año 2005, y publicada el año 2007¹⁰. Ese inventario de emisiones consideró las principales fuentes de emisión primaria de PM_{2.5}, PM₁₀, CO (monóxido de carbono), NO_x (óxidos de nitrógeno), COVS (compuestos orgánicos volátiles), SO_x (óxidos de azufre), y NH₃ (amoníaco). Las emisiones de PM_{2.5} y PM₁₀ son las medidas en las chimeneas, tubos de escape, o emisiones fugitivas. La industria, por ejemplo, tienen emisiones directas en chimenea que son medidas mediante la norma chilena NCH 5 para muestreos isocinéticos, los que se realizan a plena carga. Para otras industrias se utilizan factores de emisión basadas en el AP 42 de la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos). La emisiones de fuentes residenciales se hicieron basados en el Censo del año 2002, y factores de emisión de estufas (g/h, o g/kg leña quemada). Las emisiones de las fuentes móviles se dividen en las de tubo de escape (que en el caso de los vehículos diesel es más relevante), por desgaste de frenos (basados en kilómetros recorridos) y por polvo resuspendido. En general, se puede comentar que el método de estimación de emisiones, particularmente tiene falencias que causan que las políticas de descontaminación pierdan efectividad, ya que no considera los métodos de medición o la estacionalidad de las emisiones. Por ejemplo, en la Tabla 4-1 muestra un resumen de las emisiones del inventario, en donde las de PM_{2.5} están dominadas por las fuentes de área, móviles, y en menor medida las emisiones industriales. Probablemente esta estimación muestre una sobrerrepresentación de las fuentes industriales, ya que estas son reportadas basadas en operación a plena carga, que es no es la condición más frecuente de operación. Además cerca de 50% del material particulado fino en Santiago es formado en la atmósfera y no emitido directamente¹¹, por lo que la contribución de contaminantes como los NO_x, COVs, y SO_x son es relevante, por la formación de material particulado en la forma de nitratos, aerosol secundario orgánico, y sulfatos, respectivamente. En términos de los óxidos de azufre emitido las fuentes industriales dominan las emisiones, fundamentalmente porque las fuentes móviles han reducido mucho sus emisiones mediante la desulfurización del diesel a casi 36ppm. Las emisiones de NO_x, precursores de nitratos y del ozono troposférico, son principalmente de las fuentes móviles, particularmente de los buses y camiones, seguido del sector industrial. Finalmente los compuestos orgánicos volátiles provienen principalmente de las fuentes areales, particularmente de fuentes comerciales.

¹⁰ www.sinia.cl/1292/articles-46042_recurso_1.pdf

¹¹ CONAMA RM, <http://www.conama.cl/rm/568/article-1104.html>

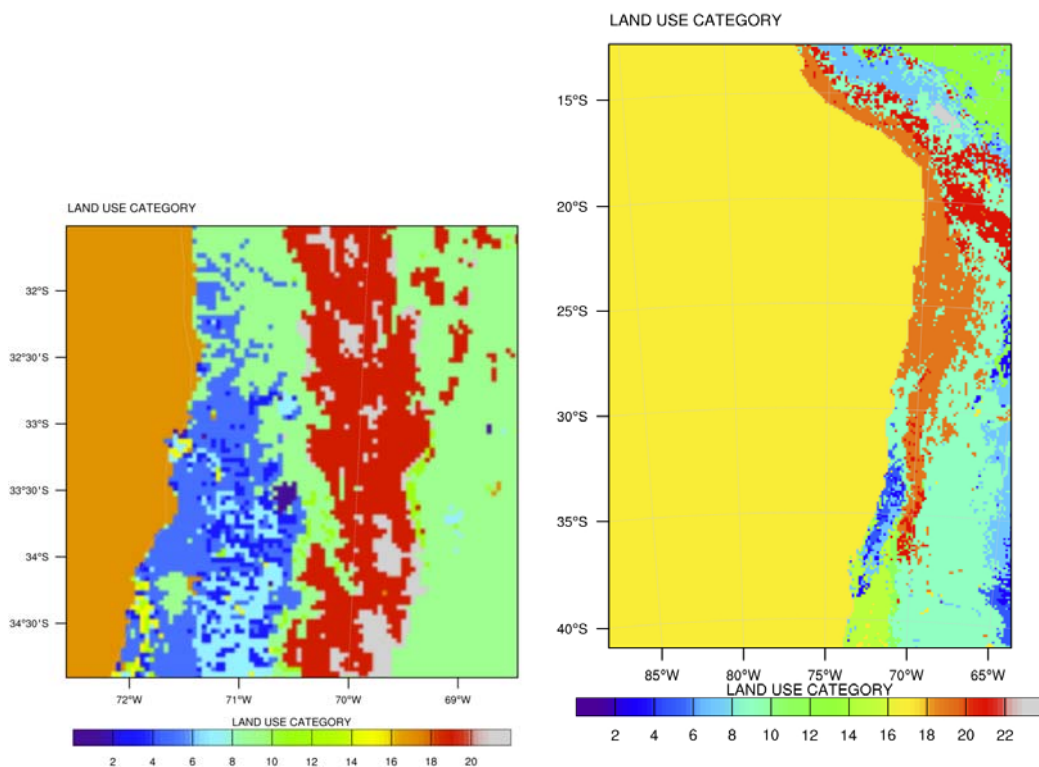


Figura 4-2 Dominios de modelación. Izquierda, dominio de 4km de resolución, con 97x97 grillas. Derecha, dominio regional de 12km de resolución, 179 x 269 grillas.

Tabla 4-1 Inventario de emisiones para Región Metropolitana, 2005, tons/año (Dictuc, 2007)

Tipo	PM10	PM2.5	CO	NOx	COVs	SOx	NH3
Industria	1267	994	7745	12332	7542	1282	217
Combustion	693	674	8235	85	7466	12	71
Residencial de leña							
Otras residenciales	79	70	338	1161	41242	294	3800
Comerciales	0	0	0	0	7911	0	0
Quemas Agrícolas	247	235	2139	102	171	12	12
Otras areales	652	466	5249	136	18609	0	27725
Buses	316	82	515	2507	235	9	1
Camiones	763	671	3515	11180	2199	44	7
Vehiculos Livianos	516	249	20735	17350	16919	70	1010
			1				
Fuera de Ruta	155	142	2215	973	320	46	32
Total Moviles	1750	1144	21359	32010	19673	169	1050
			6				
Total Areales	1671	1445	15961	1484	75399	318	31608
Total Industriales	1267	994	7745	12332	7542	1282	217
						9	
Emissiones Totales	4688	3583	23730	45826	102614	1331	32875
			2			6	

Es importante actualizar el inventario de emisiones al 2010, considerando cambios en el parque vehicular, además de agregarle estacionalidad a las emisiones de calefacción residencial. Primero se actualizan las emisiones de las fuentes móviles, considerando el inventario de emisiones del año 2010 realizado por Sistemas Sustentables, para SECTRA, el año 2007 (Osses et al., 2007). Además se establecen tres estaciones para el objeto de distribución de emisiones residenciales, mayo agosto (período invierno intenso), septiembre a diciembre (primavera/verano), enero a abril (verano/otoño). La Figura 4-3 muestra las emisiones totales para el escenario invierno, que muestra los cambios de emisiones antropogénicas primarias totales debido a los escenarios analizados, con el escenario BAU (business as usual) como escenario base. Con ello se puede observar que para el escenario de GN de buses se logra una reducción de 5% de las emisiones primarias de PM_{2.5}, y un 17% de NO_x (y un aumento de los COVs en alrededor de 30%), mientras que el escenario de reemplazo de combustión de leña por gas natural o licuado muestra una reducción de 36.5%, 0.5% y 53% de PM_{2.5}, NO_x, y COVs, respectivamente. Los escenarios se calculan como sigue: para el escenario de buses se considera las emisiones de buses urbanos, e interurbanos reducen sus emisiones primarias de PM_{2.5} en un 90% (equivalente a reducción desde Euro III a Euro V, de buses de gas natural comprimido)¹². Se estima además una reducción de 95% de las emisiones de NO_x. Se estima que las emisiones de COVs, incluyendo emisiones de metano, aumentan por un factor de 20, pero no tiene relevancia en la formación de material particulado. Para el escenario de emisiones residenciales, se estimaron por metodología de demanda de consumo de calefacción (grados días), que las emisiones anuales primarias de PM_{2.5} debido a calefacción residencia, que para inventario de emisiones oficial es de 694tons/año. Para el invierno, estas emisiones normalizadas debido a demanda de calefacción aumenta a un equivalente de 1533tons/año (2,2 veces más). En el período Septiembre a Diciembre se estima en 540 tons/año. Finalmente para el período de Enero a Abril, se considera emisiones de 182tons/año. Los escenarios de emisiones de GN o GLP en reemplazo de emisiones de leña considera una reducción de 99.8% de las emisiones de PM_{2.5} primaria (es la razón entre emisiones medias de 10g/h por estufa a leña, vs 0.002 g/h para el equivalente en gas)¹³. La distribución temporal y espacial de las emisiones es muy relevante también. Las emisiones del sector de transporte son distribuidas debido a la imagen satelital de población derivada del producto LANDSCAN de Oakridge National Lab, para el 2008 (Figura 4-4). Se observa con claridad las grandes carreteras dentro de la RM. Se usan además los perfiles diurnos de emisiones desarrollados por Osses y colaboradores (perfiles que consideran peaks en mañana y tarde, con un peak más pequeño en el medio día), mediante el modelo MODEM acoplado al modelo ESTRAUS. Se distribuyen además por nueve perfiles regionales (que agrupan comunas por nivel de congestión). Las emisiones de leña se distribuyen de acuerdo a la población, pero normalizado por el grado de penetración de estufas a leña de acuerdo al Censo 2002. La Tabla 4-2 muestra cómo se distribuyen las estufas a leña de Santiago de acuerdo a Censo 2002. En ella existen varias comunas

¹² <http://www.theicct.org/2010/06/cng-bus/>

¹³ <http://burningissues.org/car-www/science/home-heating-popup.html>

con 0% declarado, lo que se corrige asignando emisiones de leña adicionales a total oficial, basado en similitud de comunas por perfil socioeconómico. Entonces emisiones comunales se asignan proporcional a las estufas dentro de comuna, y dentro de la comuna se distribuyen basado en población de cada grilla en comparación con población comunal. En la Figura 4-5 muestra cómo se distribuyen las emisiones de PM2.5 para el sector de calefacción residencial bajo esta metodología, donde se observa una importante contribución de emisiones del sector oriente, así también de sectores rurales. Temporalmente también se distribuyen estas emisiones con duración de 7 horas, iniciándose a las 6pm, terminando a las 1am.

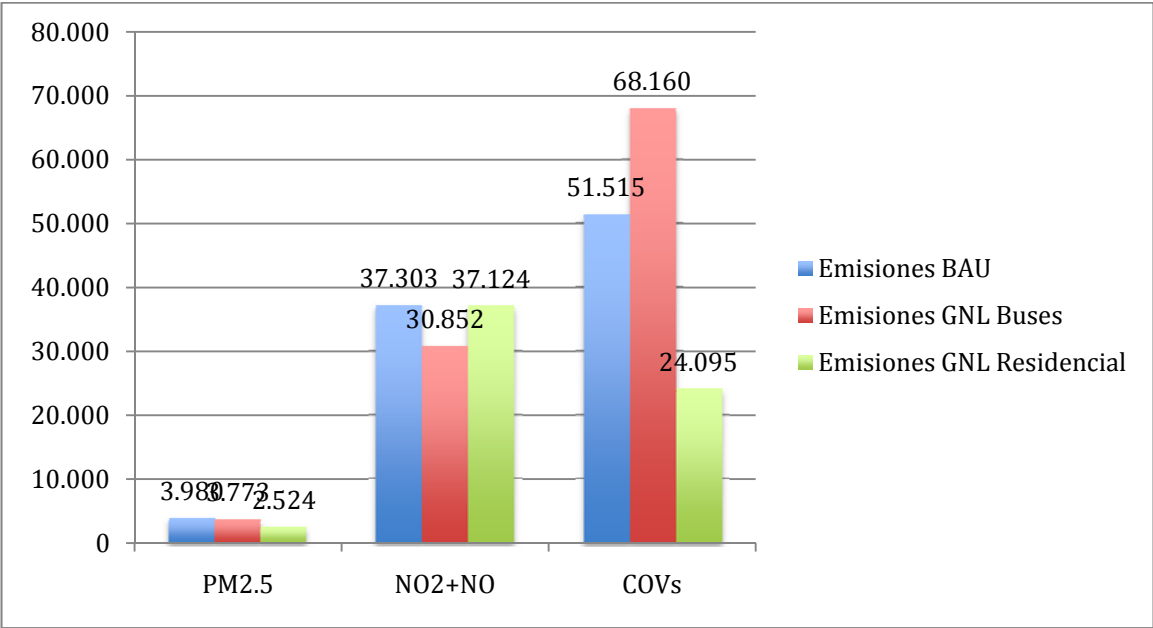


Figura 4-3 Emisiones totales de distintos contaminantes, (tons/año) para escenario invierno.

Tabla 4-2

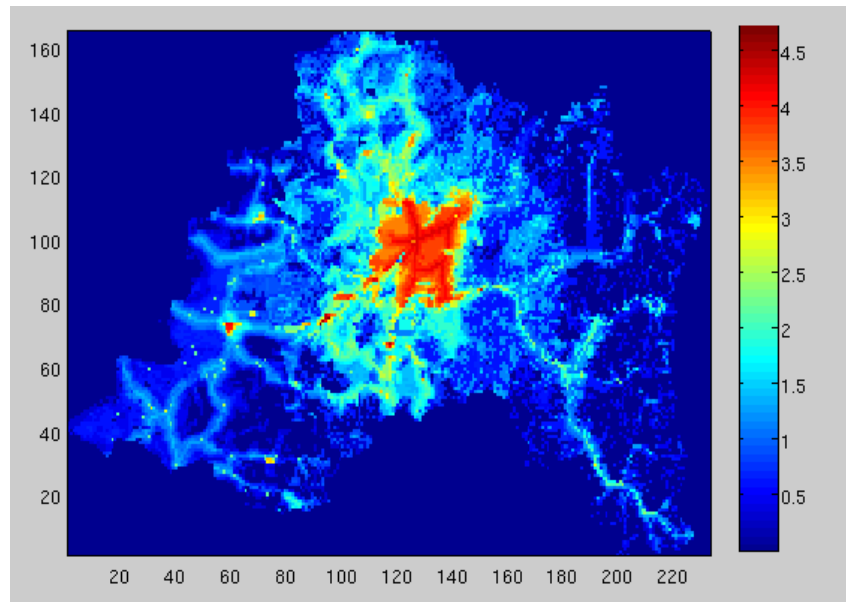


Figura 4-4 Ejemplo de distribución de población LANDSCAN 2008 para Santiago de Chile, 900 mts de resolución.

Tabla 4-2 Cantidad de estufas a leña por comuna de acuerdo a Censo 2002.

Comuna	Estufas a Leña
1 Buin	0
2 Cerrillos	410
3 Cerro Navia	165
4 Colina	2106
5 Conchalí	519
6 El Bosque	2747
7 Estación Central	0
8 Huechuraba	1184
9 Independencia	203
10 La Cisterna	1292
11 La Florida	1997
12 La Granja	508
13 La Pintana	171
14 La Reina	545
15 Las Condes	3067
16 Lo Barnechea	650
17 Lo Espejo	0
18 Lo Prado	0
19 Macul	708
20 Maipú	4291
21 Melipilla	0
22 Nuñoa	1934
23 Pedro Aguirre Cerda	0
24 Peñaflores	153

25	Peñalolén	889
26	Providencia	0
27	Pudahuel	764
28	Puente Alto	5152
29	Quilicura	741
30	Quinta Normal	1003
31	Recoleta	197
32	Renca	661
33	San Bernardo	2866
34	San Joaquín	165
35	San Miguel	190
36	Santiago	387
36	San Ramón	360
36	Vitacura	1238
		37263

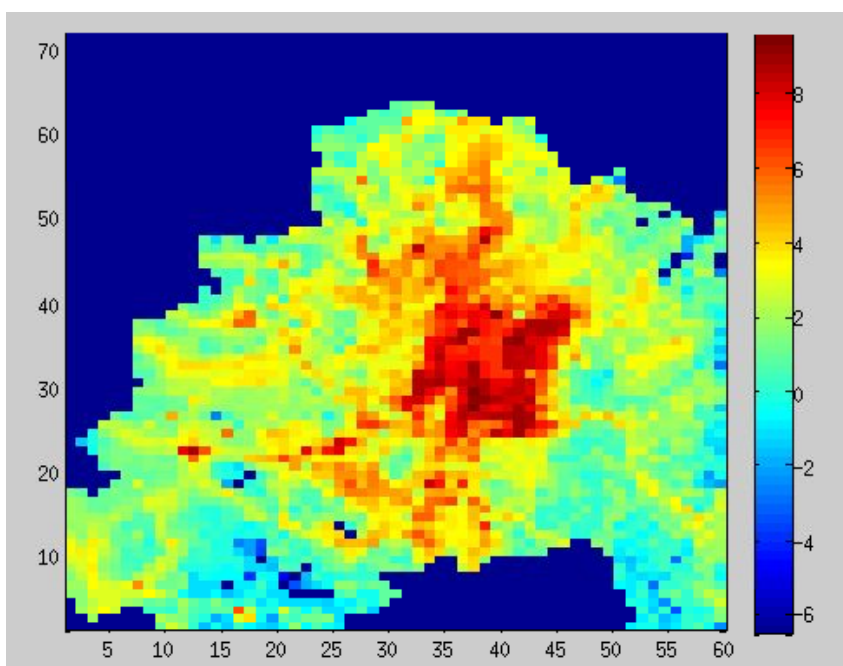


Figura 4-5 Distribución de emisiones de PM_{2.5} (tons/año) para sector de calefacción residencial.

4.1.3 Estimación de beneficios sociales

En este estudio se consideraron los principales efectos en la salud de la población por disminución de exposición a PM_{2.5} tanto en forma crónica como aguda.

4.1.4 Modelo de riesgo

Para lograr esta estimación se utilizarán métodos bien establecidos y usados anteriormente (Cifuentes et al. 2001). Primeramente, para estimar los casos de una determinada enfermedad o efecto en salud que se observa en la población se utilizan ecuaciones basadas en los modelos de Poisson. Este modelo estadístico es ampliamente usados en estudios epidemiológicos longitudinales (tales como los

estudios que asocian mortalidad diaria con las concentraciones de contaminantes). Usando este modelo, se puede calcular el número esperado de casos asociado a una determinada concentración de contaminantes (Ecuación 3):

Ecuación 3:

$$E[Efectos(c_i)] = Tasa(c_i = 0) \cdot Población \cdot (\exp(\beta_i \Delta c_i) - 1)$$

Donde:

Tasa ($c_i=0$): Tasa base de los efectos. Cantidad de efectos en salud (por ejemplo mortalidad, o enfermedades base, en casos por millón de personas).

Población: número de habitantes de la población en estudio y que se encuentra expuesta al contaminante i , obtenido de LANDSCAN.

El factor $(\exp(\beta_i \Delta c_i) - 1)$ estima el porcentaje o fracción de aumento del número de casos asociados a la reducción en concentración de contaminantes Δc_i . En este caso consideramos una diferencia entre las condiciones actuales y niveles de concentración asociado a cada escenario, esto es, evaluar la reducción de exposición a contaminante por los escenarios del estudio. El valor β_i proviene de los estudios epidemiológicos publicados e implica el aumento en la tasa de enfermedad por cada aumento en la concentración de contaminantes.

Para la cuantificación de los efectos de los contaminantes, se han considerado distintos grupos etarios a evaluar (población total, adultos) para que de esa manera se obtengan resultados segmentados y más certeros para cada grupo poblacional. Además, muchos de los estudios epidemiológicos obtienen estimados de efectos para ciertos grupos de la población y no se pueden extrapolar a la población general.

Con respecto a la tasa base de los efectos considerados, se utilizaran las tasas bases que correspondan a las estadísticas nacionales, exceptuando en aquellos casos donde no se encuentren disponibles y se deba recurrir a tasas bases de otros países.

4.1.5 Población

Como población de estudio se usa la población de la provincia de Santiago de la Región Metropolitana basada en LANDSCAN¹⁴ para el año 2008, con un total de 6.396.127 personas (vs 6.061.185 del censo 2002). La población se resamplé a una resolución de 4km desde 0.9km usando métodos de interpolación y generalización SIG.

4.1.6 Efectos en salud: tasas bases

¹⁴ <http://www.ornl.gov/sci/landscan/>

Para la valoración social y económica se consideraron los principales efectos en salud del PM_{2.5}, incluyendo la mortalidad por causas agudas y crónicas. Sólo se considerarán los efectos en salud que pueden ser cuantificados y valorizados monetariamente. La Tabla 4-3, muestra los 9 efectos en salud considerados, además de la población susceptible considerada en los cálculos del riesgo. Como tasa base para cada uno de los efectos en salud de preferencia se usaron datos nacionales y en forma secundaria tasas informadas en estudios anteriores.

Tabla 4-3 Casos evitados por millón de habitantes por 1 ug/m³ de PM_{2.5} reducido y su intervalo de confianza al 90%.

Efecto	Valor Medio	Intervalo para 90% de confianza
Muertes Prematuras (aguda)	5	3-8
Muertes Prematuras (crónica)	33	21-44
Admisiones Hospitalarias	22	15-30
Bronquitis crónica	34	19-45
Bronquitis aguda	57	0-85
Visitas sala de emergencia	133	49-214
Ataques de asma	1.216	462-1.970
Días de trabajo perdido	10.225	8.998-11.452
Síntomas respiratorios	34.984	29.736-40.232

15

4.1.7 Metodología de valorización social de los beneficios en salud

La reducción de concentraciones debido a los escenarios analizados causa cambios en efectos de salud, o bien casos evitados, los que se pueden contabilizar además de valorizar estos monetariamente. En términos generales, existen dos modos de estimar los beneficios en salud: mediante el costo de la enfermedad (cost of illness, COI), o mediante la disponibilidad a pagar (DAP) por una mejora en salud (Cifuentes, 2005). La EPA de Estados Unidos ha juntado escenarios de referencia en publicaciones (EPA, 2009). También existen métodos de transferir valorizaciones internacionales (Cifuentes, 2005), a ciudades latinoamericanas. Con el fin de transferir los valores del Clean Air Act a la realidad chilena, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Valor transferido} = \text{valor USA} * (\text{IPC Chile} / \text{IPC USA})^{\text{Elasticidad}}$$

Se utilizó un valor de 1 para la elasticidad de la demanda por salud, según lo previamente utilizado por Cifuentes (Cifuentes, 2005). De este modo, las diferencias en la valoración pueden ser explicadas primariamente por diferencias en los ingresos.

4.2 Resultados

Para evaluar el efecto del escenario a los valores del escenario completo se le resta el escenario de estudio. La Figura 4-6 muestra el efecto de la medida de reemplazo de buses diesel por buses CNG debido a los cambios de emisiones distribuidos en las zonas donde se emplazan los buses, representado como el cambio de concentración media de PM_{2.5} para el período de invierno, con la finalidad de evaluar efectos crónicos. Se observa que la medida logra un efecto de hasta 0.8ug/m³. Se observan efectos por sobre 0.2ug/m³ hasta Lampa. En un episodio crítico este efecto podría ser amplificado, ya que estos son generados por condiciones de acumulación por la

¹⁵ De DICTUC 2007, Análisis y evaluación del impacto económico y social del plan de descontaminación de la Región Metropolitana, <http://www.eclac.cl/ilpes/noticias/paginas/3/36023/2008-PPDA-Agies-Informe.pdf>

intensificación de la inversión térmica. La Figura 4-7 muestra que para el resto del año este impacto es de menor intensidad, llegando a un máximo de 0.6ug/m³, pero con impactos más generales del orden de 0.4 a 0.6 ug/m³. El cálculo de los efectos a la salud es el producto del cambio de concentración en una celda por la población de la celda, por los casos evitados por cada millón de personas, de acuerdo a Tabla 4-3. El efecto de la medida analizada será la suma de los casos evitados de cada celda.

$$Efecto = \sum \Delta C_i * E * P_i$$

La Tabla 4-5 muestra un resumen de los beneficios de cambiar los buses y sus emisiones actuales por buses de CNG. Estos efectos son mayores en zonas de mayor impacto por transporte público. La suma más probable de muertes evitadas es de 81, pero dentro del rango alto (representando un 90% de confianza) es de 111 muertes. La mayoría de las muertes se debe a la exposición crónica. También destacan la gran cantidad de días con síntomas respiratorios, o días de trabajos perdidos, además de los ataques de asma evitados, todos en el orden de los miles de casos evitados. Utilizando la valorización unitaria de los efectos para Chile, transferidos al año 2008, como indica la Tabla 4-4 se puede estimar por multiplicación simple los beneficios sociales valorizados de cada medida. Se observa que los beneficios mayores están por muertes evitadas, y la valorización total de los beneficios va del orden de los 126 a 273 millones de dólares al año.

En comparación con algunas medidas del PPDA¹⁶ la medida de reemplazar buses diesel Euro III por buses CNG es una medida de mayor magnitud a las analizadas para el sector de transporte pública. Anualmente representa una disminución de 0.33 ug/m³ de PM2.5 anual para la población expuesta, pero con peaks de 0.8 en zonas pobladas. Sin embargo, es una medida dentro de los órdenes de magnitud de los analizados por el PPDA. Sin embargo existen beneficios adicionales no valorizados, como mejoras en visibilidad, y mejoras en las concentraciones a nivel de calle.

¹⁶ <http://www.eclac.cl/ilpes/noticias/paginas/3/36023/2008-PPDA-Agies-Informe.pdf>

Tabla 4-4. Valoración de efectos en salud, tomados del Acta del Aire Limpio 1990-2010 (Environmental Protection Agency, USA).

Efecto en Salud	Valores originales, en 1990 USD	Valores actualizados, en 2008 USD (*)	Valores Transferidos a Chile, en 2008USD
Mortalidad	4.800.000	7.907.078	2.451.194
Admisiones hospitalarias por todas las causas respiratorias	6.900	11.366,43	3.523,59
Visitas a salas de emergencia por Asma	194	319,58	99,07
Ataques de Asma	32	52,71	16,34
Días de Actividad Restringida	73,72	121,44	36,65

(*) Actualización de valores según razón deflactoria estadounidense 2008/1990, fuente: <http://www.usinflationcalculator.com/inflation/consumer-price-index-and-annual-percent-changes-from-1913-to-2008/>

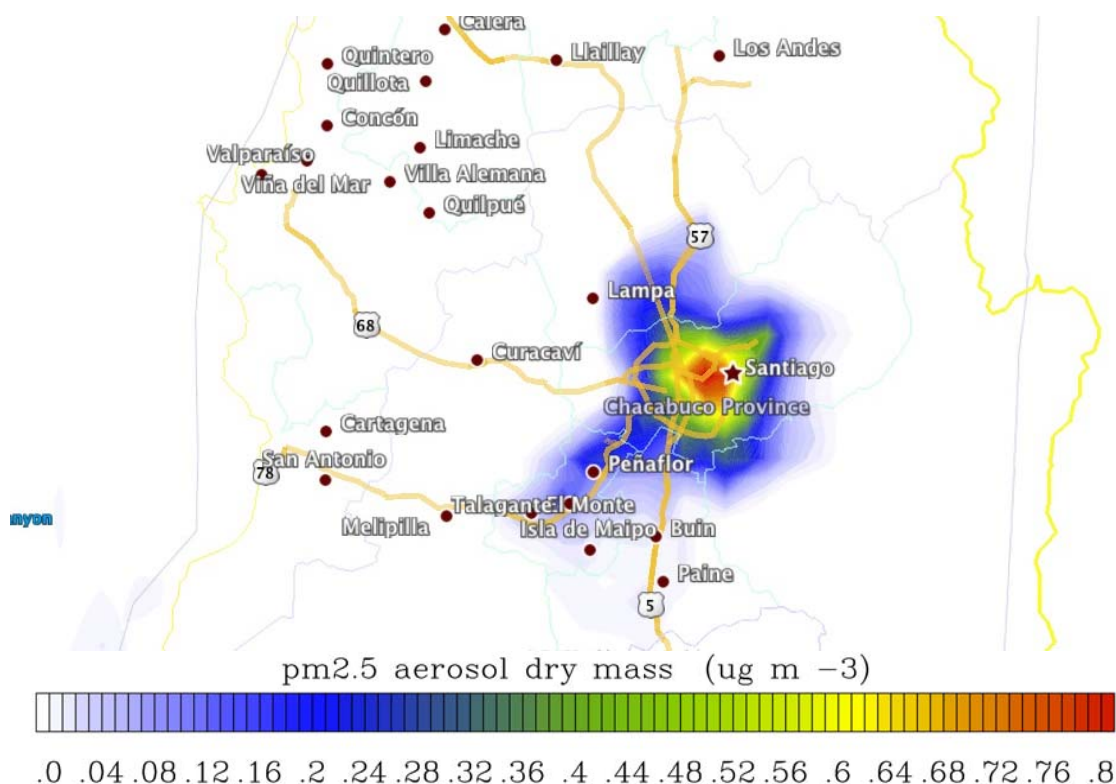


Figura 4-6 Cambio de concentración media de PM2.5 debido a uso de buses CNG en reemplazo de buses diesel EURO III período invierno 2008 (dominio 4km, modelo WRF-CHEM, química CADM, aerosoles GOCART)

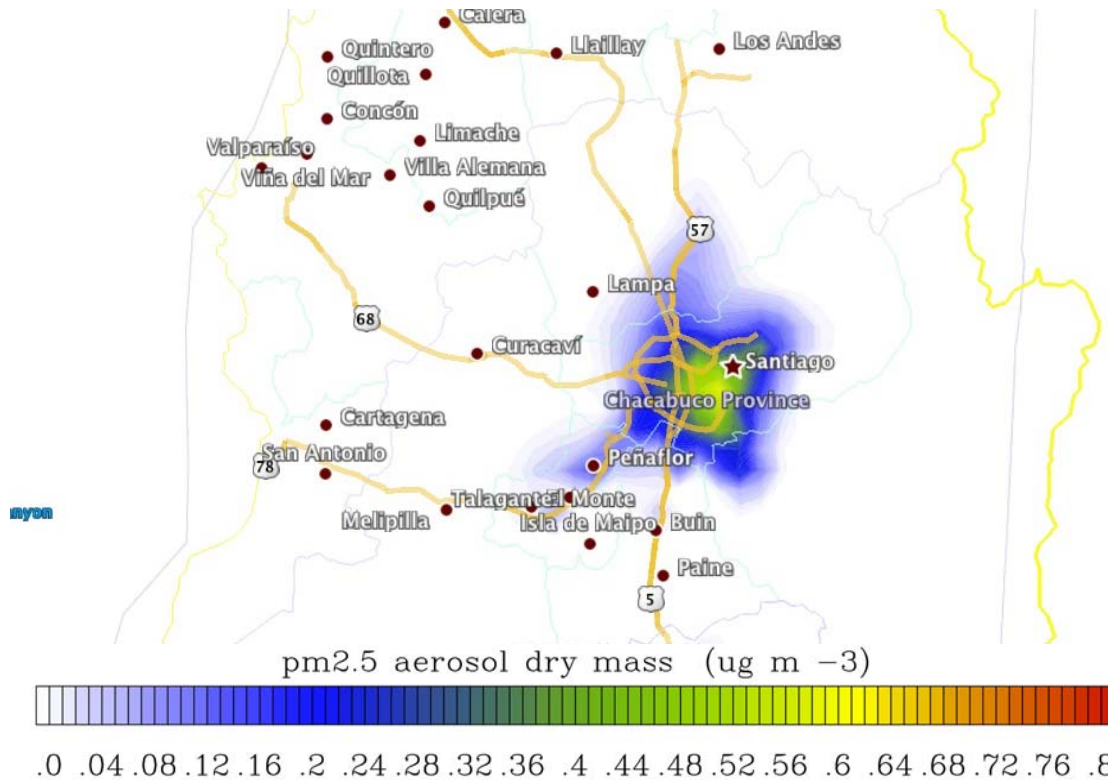


Figura 4-7 Cambio de concentración media de PM2.5 debido a uso de buses CNG en reemplazo de buses diesel EURO III período primavera/verano 2008 (dominio 4km, modelo WRF-CHEM, química CADM, aerosoles GOCART)

Tabla 4-5 Resumen de beneficios sociales (en casos evitados por año) de implementar buses CNG vs buses diesel Euro III utilizando modelo de dispersión acoplado a modelo de riesgo.

Efecto	Valor Medio	Rango mínimo	Rango máximo
Muertes Prematuras (aguda)	11	6	17
Muertes Prematuras (crónica)	70	45	94
Admisiones Hospitalarias	47	32	64
Bronquitis crónica	72	40	96
Bronquitis aguda	121	0	181
Visitas sala de emergencia	283	104	456
Ataques de asma	2.590	984	4.196
Días de trabajo perdido	21.779	19.166	24.393
Síntomas respiratorios	74.516	63.338	85.694

Tabla 4-6 Resumen de beneficios sociales (valorizados monetariamente en USD/año) de implementar buses CNG vs buses diesel Euro III utilizando modelo de dispersión acoplado a modelo de riesgo.

Efecto	Valor Medio	Rango mínimo	Rango máximo
Muertes Prematuras (aguda)	26.105.216	15,663,130	41,768,346
Muertes Prematuras (crónica)	172.294.426	109,641,908	229,725,902
Admisiones Hospitalarias	165,088	112,560	225,120
Ataques de asma	42,477	16,139	68,816
Días de trabajo perdido	798,210	702,424	893,995
Total	199,405,417	126,136,160	272,682,178

Ahora como el reemplazo total del parque de buses es imposible se puede evaluar distintos escenarios de reemplazo. Por cada 10% de reemplazo de la flota existen 19 millones de dólares de beneficio en la forma de casos de efectos a la salud evitados (Figura 4-8)

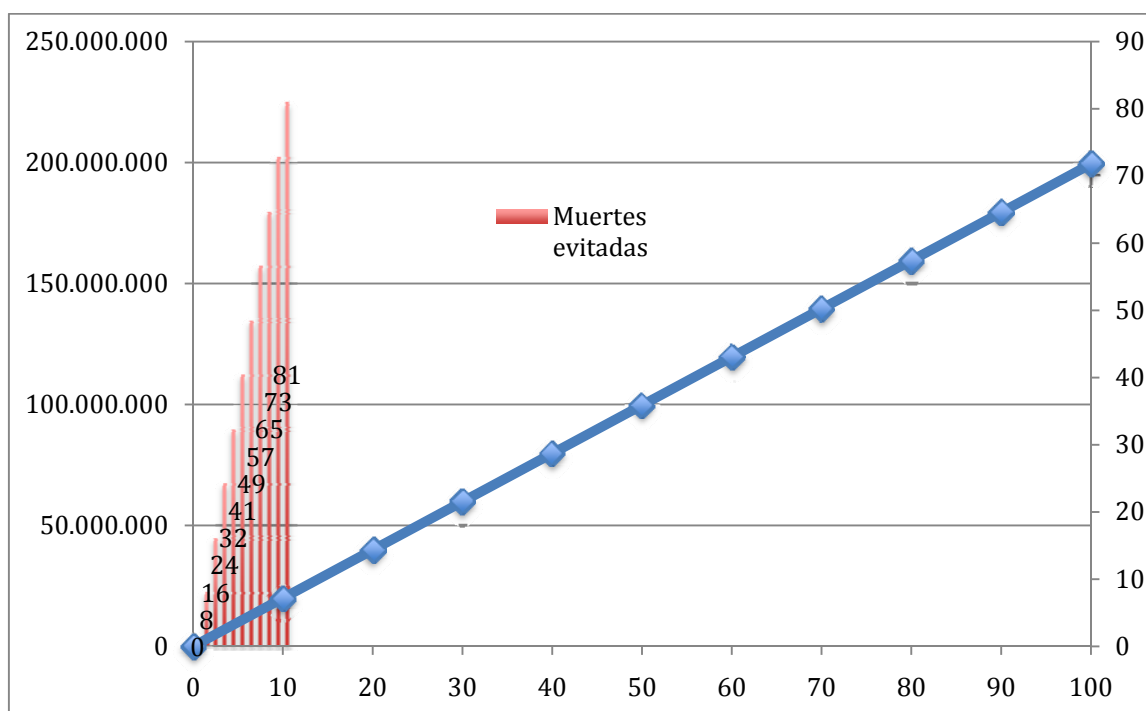


Figura 4-8 Beneficios basados en porcentajes de reemplazo de buses diesel por buses CNG, usando metodología de modelo de riesgo acoplado a modelo de dispersión de mesoescala.

4.2.1 Beneficios de reemplazo de estufas a leña por gas natural, gas licuado, o kerosene.

A manera de corolario se analizó cómo se afectarían las concentraciones ambiente el reemplazar la calefacción residencial por combustibles líquidos o gaseosos, de acuerdo a disminución de emisiones establecida en la sección anterior. Evidentemente los beneficios son mayores en meses de invierno. La Figura 4-9 muestra que en el período de invierno el efecto de la medida en el sector oriente puede llegar a disminuir en 8ug/m³ (comunidades como La Reina, Providencia, Nuñoa, Santiago Centro). El efecto de un aporte del orden de 1ug/m³ puede observarse hasta en lugares como

Buin, Lampa, incluso María Pinto. En el resto del año el beneficio es de menor efecto, aunque todavía considerable. Los beneficios están en torno a las 503 muertes evitadas, con cientos de miles de días de trabajo perdidos, y alrededor de 16100 ataques de asma evitados. En efecto, de implementarse la medida sería una de las más efectivas del PPDA en su conjunto.

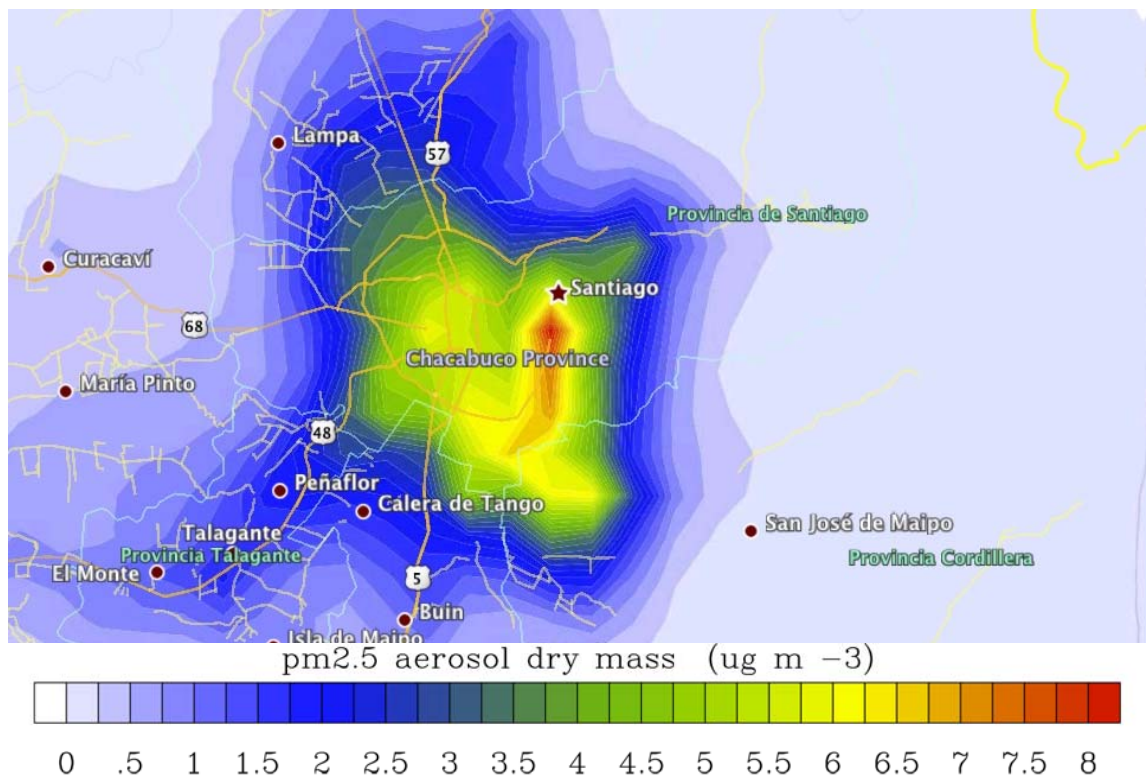


Figura 4-9 Cambio de concentración media de PM2.5 debido a uso GN, GLP, o kerosene como modalidad de calefacción en reemplazo de estufas a leña, invierno 2008 (dominio 4km, modelo WRF-CHEM, química CADM, aerosoles GOCART)

Tabla 4-7 Resumen de beneficios sociales (en casos evitados por año) de reemplazar leña por combustibles líquidos o gaseosos para calefacción, utilizando modelo de dispersión acoplado a modelo de riesgo.

Efecto	Valor Medio	Rango mínimo	Rango máximo
Muertes Prematuras (aguda)	66	40	106
Muertes Prematuras (crónica)	437	278	583
Admisiones Hospitalarias	291	199	397
Bronquitis crónica	450	252	596
Bronquitis aguda	755	0	1,125
Visitas sala de emergencia	1,761	649	2,833
Ataques de asma	16,100	6,117	26,083
Días de trabajo perdido	135,379	119,134	151,624
Síntomas respiratorios	463,188	393,705	532,672

Tabla 4-8 Resumen de beneficios sociales (valorizados monetariamente en USD/año) , de reemplazar leña por combustibles líquidos o gaseosos para calefacción utilizando modelo de dispersión acoplado a modelo de riesgo.

Efecto	Valor Medio	Rango mínimo	Rango máximo
Muertes Prematuras (aguda)	162,269,043	97,361,426	259,630,468
Muertes Prematuras (crónica)	1,070,975,682	681,529,980	1,427,967,577
Admisiones Hospitalarias	1,026,179	699,668	1,399,336
Ataques de asma	264,037	100,317	427,758
Días de trabajo perdido	4,961,640	4,366,244	5,557,037
Total	1,239,496,582	784,057,634	1,694,982,176

5 Referencias

- Cifuentes, L.A., Vega, J., Kopfer, K., and Lava, L.B. (2000a). Effect of the fine fraction of particulate matter versus the coarse mass and other pollutants on daily mortality in Santiago, Chile. *Journal of the Air & Waste Management Association* 50, 1287-1298.
- Cifuentes, L.A., Vega, J., Kopfer, K., and Lave, L.B. (2000b). Effect of the fine fraction of particulate matter versus the coarse mass and other pollutants on daily mortality in Santiago, Chile. *J Air Waste Manag Assoc* 50, 1287-1298.
- Cifuentes, L.A., Borja-Aburto, Victor H., Gouveia, N., Thurston, G., Lee Davis, D. (2001). Assessing the health Benefits of Urban Air Pollution Reductions Associated with Climate Change Mitigation (2000-2020). Santiago, Sao Paulo, México City, and New York City. *Environmental Health Perspectives*, Vol 109, Supplement 3 (Jun., 2001), pp 419-425. Published by: Brogan & Partners.
- Cifuentes, L.A., Krupnick, J., O’Ryan R., Toman, M., *Urban Air Quality and Human Health in Latin America and Caribbean*, October, 2005. Washington, D.C.
- DEIS (2009). <http://deis.minsal.cl/index.asp>.
- EPA (1999). *The Benefits and Costs of the Clean Air Act 1990 to 2010*. November 1999.
- Holz, J.C. (2000). Estimación de costos unitarios en morbilidad y mortalidad y su aplicación para calcular los beneficios del plan de prevención y descontaminación atmosférica de la región metropolitana.
- Ito, K. (2007). Association between coarse particles and asthma emergency department (ED) visits in New York City. Presented at: American Thoracic Society international conference; San Francisco, CA.
- Ortuzar, J., Cifuentes, L.A., Williams, H., 2000, Application of willingness-to-pay methods to value transport externalities in less developed countries. *Environmental and Planning A* 2000, volume 32, pages 2007-2018.

-
- Ostro, B., Sanchez, J.M., Aranda, C., and Eskeland, G.S. (1996). Air pollution and mortality: results from a study of Santiago, Chile. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 6, 97-114.
 - Ostro, B., Eskeland, G., Sanchez, J., Feyzioglu T. Air Pollution and Health Effects: A Study of Medical Visits among Children in Santiago, Chile. *Environmental Health Perspectives*, Vol 107, N° 1 (Jan., 1999), pp. 69-73.
 - Ostro, B.D., and Rothschild, S. (1989). Air pollution and acute respiratory morbidity: an observational study of multiple pollutants. *Environ Res* 50, 238-247.
 - Peel, J.L., Tolbert, P.E., Klein, M., Metzger, K.B., Flanders, W.D., Todd, K., Mulholland, J.A., Ryan, P.B., and Frumkin, H. (2005). Ambient air pollution and respiratory emergency department visits. *Epidemiology* 16, 164-174.
 - Pino, P., Walter, T., Oyarzun, M., Villegas, R., and Romieu, I. (2004). Fine particulate matter and wheezing illnesses in the first year of life. *Epidemiology* 15, 702-708.
 - Ponce de Leon, A., Anderson, H.R., Bland, J.M., Strachan, D.P., and Bower, J. (1996). Effects of air pollution on daily hospital admissions for respiratory disease in London between 1987-88 and 1991-92. *J Epidemiol Community Health* 50 *Suppl* 1, s63-70.
 - Pope, C.A., 3rd, Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K., and Thurston, G.D. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 287, 1132-1141.
 - Schouten, J.P., Vonk, J.M., and de Graaf, A. (1996). Short term effects of air pollution on emergency hospital admissions for respiratory disease: results of the APHEA project in two major cities in The Netherlands, 1977-89. *J Epidemiol Community Health* 50 *Suppl* 1, s22-29.
 - Schwartz, J., and Dockery, D.W. (1992). Increased mortality in Philadelphia associated with daily air pollution concentrations. *The American review of respiratory disease* 145, 600-604.
 - Schwartz, J., and Morris, R. (1995). Air pollution and hospital admissions for cardiovascular disease in Detroit, Michigan. *Am J Epidemiol* 142, 23-35.
 - SGA (1999). Estudio Normas.
 - Spix, C., Heinrich, J., Dockery, D., Schwartz, J., Volksch, G., Schwinkowski, K., Collen, C., and Wichmann, H.E. (1993). Air pollution and daily mortality in Erfurt, east Germany, 1980-1989. *Environ Health Perspect* 101, 518-526.
 - Sunyer, J., Anto, J.M., Murillo, C., and Saez, M. (1991). Effects of urban air pollution on emergency room admissions for chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Epidemiol* 134, 277-286; discussion 287-279.
 - Sunyer, J., Castellsague, J., Saez, M., Tobias, A., and Anto, J.M. (1996). Air pollution and mortality in Barcelona. *J Epidemiol Community Health* 50 *Suppl* 1, s76-80.
 - Sunyer, J., Spix, C., Quenel, P., Ponce-de-Leon, A., Ponka, A., Barumandzadeh, T., Touloumi, G., Bacharova, L., Wojtyniak, B., Vonk, J., *et al.* (1997). Urban air pollution and emergency admissions for asthma in four European cities: the APHEA Project. *Thorax* 52, 760-765.
 - Tellez-Rojo, M., Romieu I., Polo-Peña, M., Ruiz-Velazco, S., Meneses-González, F., Hernández-Avila M. Efecto de la contaminación ambiental sobre las consultas por

infecciones respiratorias en niños de la Ciudad de México. *Salud Pública México*, vol.39 n.6 Cuernavaca Nov./Dec. 1997.

- Touloumi, G., Samoli, E., and Katsouyanni, K. (1996). Daily mortality and "winter type" air pollution in Athens, Greece--a time series analysis within the APHEA project. *J Epidemiol Community Health* 50 *Suppl 1*, s47-51.
- Tsai, S.S., Cheng, M.H., Chiu, H.F., Wu, T.N., and Yang, C.Y. (2006). Air pollution and hospital admissions for asthma in a tropical city: Kaohsiung, Taiwan. *Inhal Toxicol* 18, 549-554.
- Tunnicliffe, W.S., Burge, P.S., and Ayres, J.G. (1994). Effect of domestic concentrations of nitrogen dioxide on airway responses to inhaled allergen in asthmatic patients. *Lancet* 344, 1733-1736.
- Tunnicliffe, W.S., Hilton, M.F., Harrison, R.M., and Ayres, J.G. (2001). The effect of sulphur dioxide exposure on indices of heart rate variability in normal and asthmatic adults. *Eur Respir J* 17, 604-608.
- U.S.D.L.B.L.S. (2009). US Inflation Calculator. Consumer Price Index Data from 1913 to 2009. <http://www.usinflationcalculator.com/inflation/consumer-price-index-and-annual-percent-changes-from-1913-to-2008/>. Department of Labor Bureau of Labor Statistics.
- Whittemore, A., Edward, K., Asthma and air Pollution in the Los Angeles Area. July 1980, Vol. 70, N° 7.
- WHO (1987). Air Quality Guidelines for Europe.
- WHO (2000a). Air Quality Guidelines.
- WHO (2000b). Air Quality Guidelines for Europe - Second Edition.
- WHO (2005). Air Quality Guidelines- Global Update (Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe).
- Wietlisbach, V., Pope, C.A., 3rd, and Ackermann-Liebrich, U. (1996). Air pollution and daily mortality in three Swiss urban areas. *Soz Praventivmed* 41, 107-115.
- Wong, C.M., Ma, S., Hedley, A.J., and Lam, T.H. (2001). Effect of air pollution on daily mortality in Hong Kong. *Environ Health Perspect* 109, 335-340.
- Yang, Q., Chen, Y., Krewski, D., Burnett, R.T., Shi, Y., and McGrail, K.M. (2005). Effect of short-term exposure to low levels of gaseous pollutants on chronic obstructive pulmonary disease hospitalizations. *Environ Res* 99, 99-105.
- Yang, Q., Chen, Y., Shi, Y., Burnett, R.T., McGrail, K.M., and Krewski, D. (2003). Association between ozone and respiratory admissions among children and the elderly in Vancouver, Canada. *Inhal Toxicol* 15, 1297-1308.

6 Anexos

Anexo A
Factores de emisión Base Emission Rate, IVE

En este apartado se analizarán los factores de emisión utilizados en el modelo de estimación de emisiones vehiculares IVE, International Vehicle Emissions Model*, el cual se ha utilizado en varias ciudades para estimar sus emisiones. En particular, se ha utilizado en Ciudad de México, Sao Paulo, Nairobi, Beijing, Estambul entre otras. Estos factores se encuentran en el documento llamado Base Emission Rate.

Se han seleccionado 6 categorías de las presentes en IVE, procurando cubrir el grupo de vehículos más pesados faltante en el análisis anterior, estas son:

- Auto/Small Truck Medium: Corresponden a Vehículos de Pasajero y Camionetas medianos.
- Auto/Small Truck Heavy: Corresponden a Vehículos de Pasajero y Camionetas pesadas.
- Truck/Bus Medium: Corresponden a Camiones y Buses Medianos.
- Truck/Bus Heavy: Corresponden a Camiones y Buses Pesados.

Los resultados obtenidos para la categoría Auto/Small Truck, Medianos y Pesados se presentan en la gráfica de la Figura 6-1.

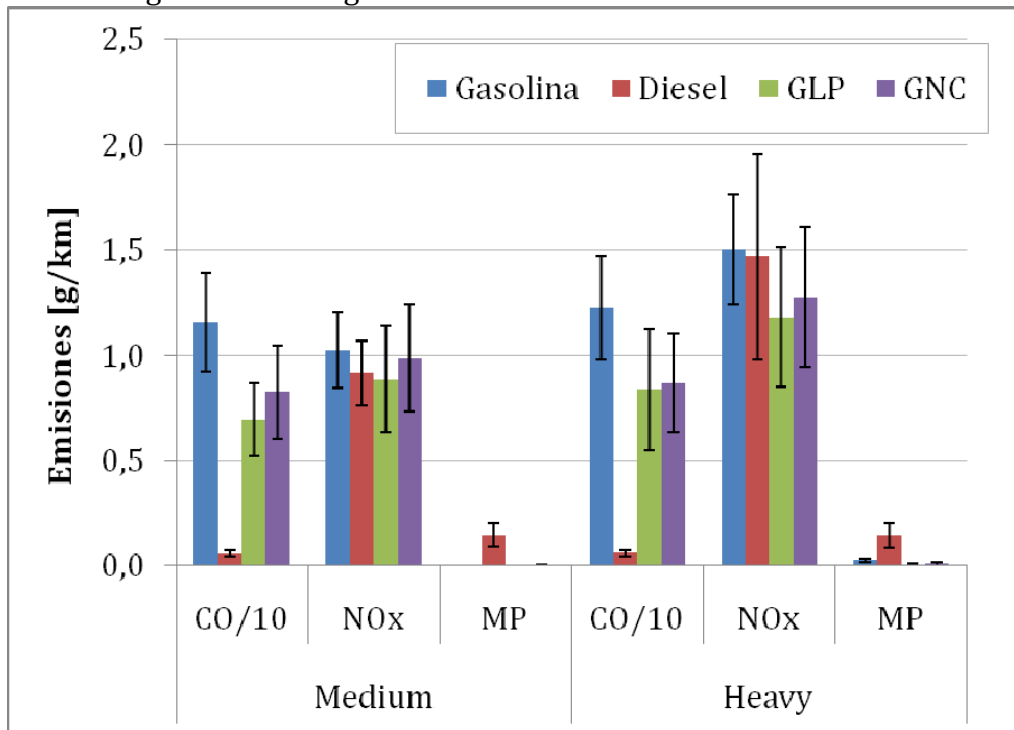


Figura 6-1. Factores de emisión promedio para la categoría Auto/Small Truck.
Fuente: Base Emission Rate, IVE.

En la Figura 6-2 se presenta la fracción porcentual de las emisiones de los vehículos con combustible alternativo con respecto a la gasolina (100% es la emisión utilizando gasolina).

* <http://www.issrc.org/ive/>

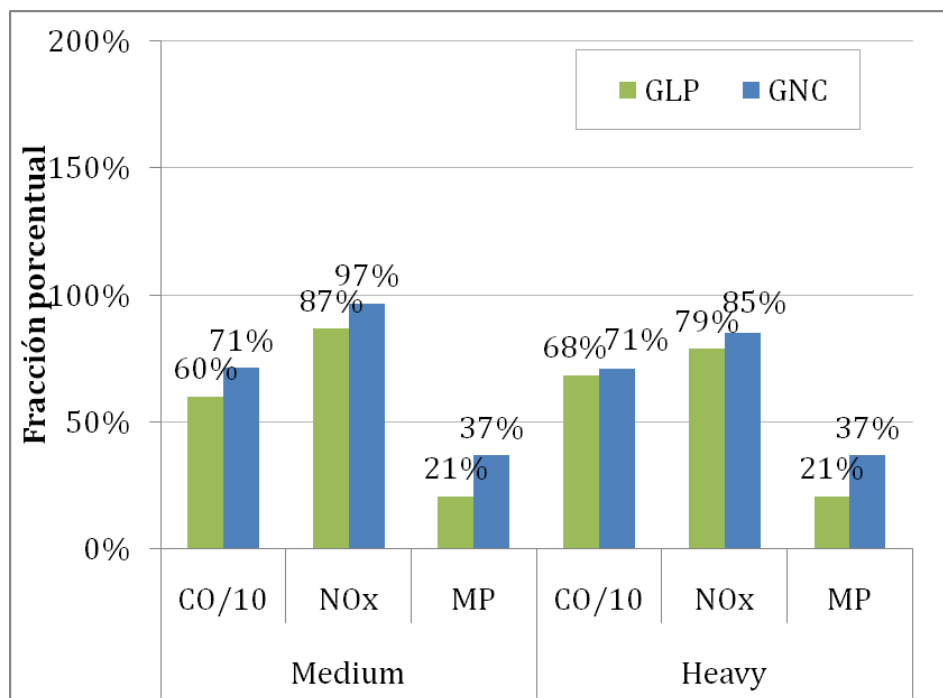


Figura 6-2. Fracción porcentual de emisiones de combustibles gaseosos con respecto a la gasolina (100% es la emisión de gasolina). Categoría Auto/Small Truck.
Fuente: Base Emission Rate, IVE.

Se observa, para esta categoría, una reducción en las emisiones de CO, resultado contradictorio con lo observado de acuerdo a los datos de 3CV. Esta reducción sería, para el grupo Medium, de un 40% en el caso de GLP, y un 29% en el caso de GNC. Para el grupo Heavy se tiene una reducción del 32% con GLP y 29% con GNC.

Para el NOx se tienen reducciones entre un 3 y un 13% en el grupo Medium, y de un 5 a un 21% en el grupo Heavy. Para el MP se tiene una reducción idéntica en ambos grupos, y corresponde al 79% con GLP y 63% con GNC.

En general, para esta categoría se observa una reducción en todas las emisiones consideradas.

La comparación con respecto a las emisiones de Diesel se presentan en la Figura 6-3.

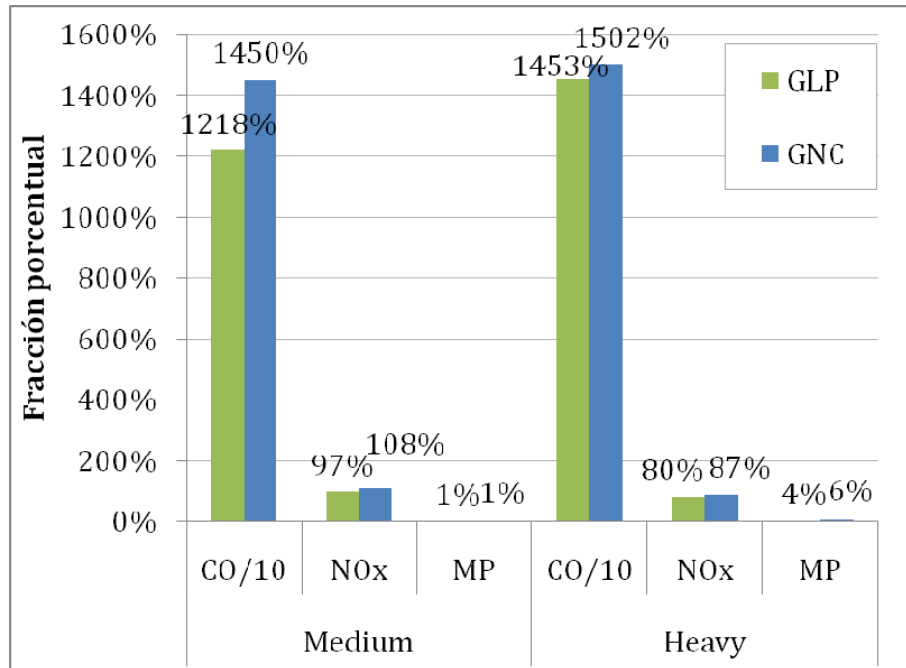


Figura 6-3. Fracción porcentual de emisiones de combustibles gaseosos con respecto al diesel (100% es la emisión de diesel). Categoría Auto/Small Truck.

En vista que el diesel tiene una emisión baja debido a las características del motor, se tiene un incremento de entre 12 a 15 veces en las emisiones de este contaminante al utilizar combustibles gaseosos. Se tiene una reducción del 94 al 99% en las emisiones de material particulado, reflejándose un gran beneficio al utilizar combustibles gaseosos. Los valores de NOx son similares entre ambos grupos y corresponden al 80 a 108% con respecto al combustible convencional.

A continuación se analiza la categoría Truck/Bus. Los factores de emisión promedio corresponden a los presentados en el gráfico de la Figura 6-4.

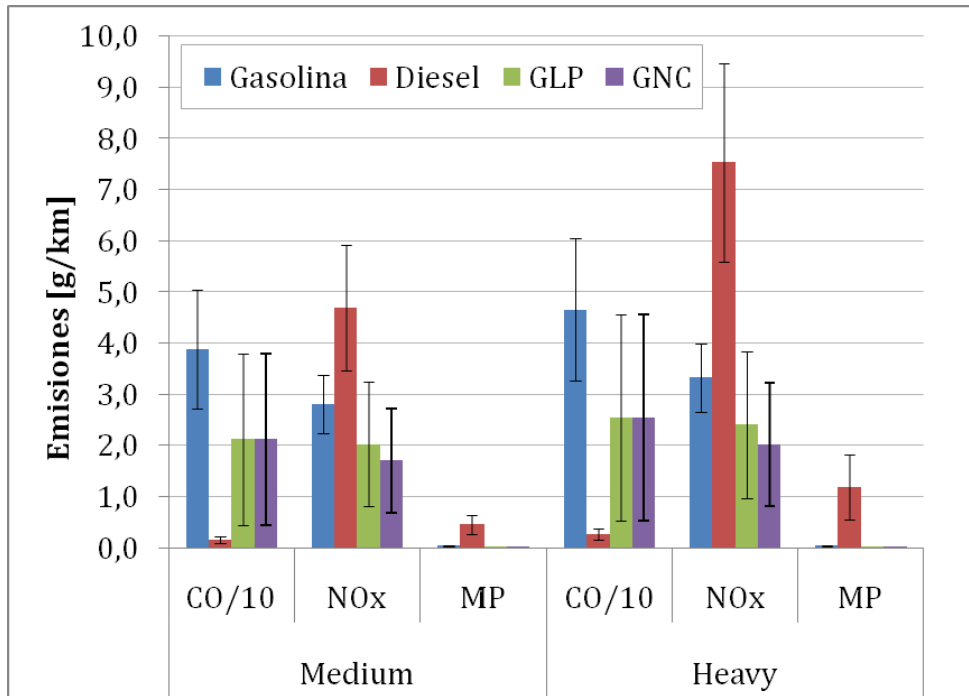


Figura 6-4. Factores de emisión promedio para la categoría Truck/Bus.
Fuente: Base Emission Rate, IVE.

La fracción porcentual de emisiones de combustibles gaseosos con respecto a la gasolina se presenta en la Figura 6-5.

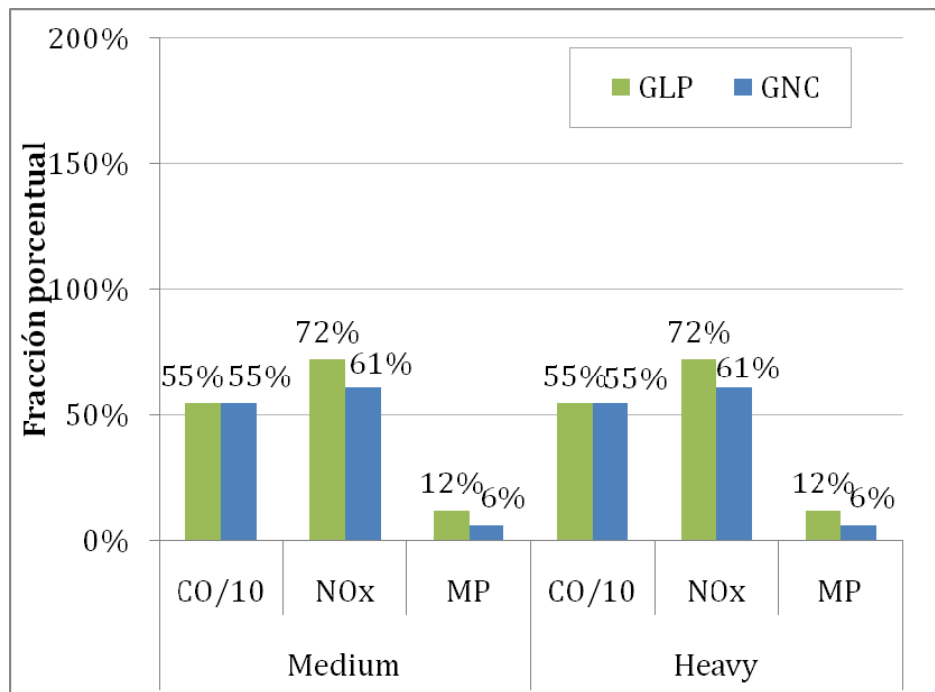


Figura 6-5. Fracción porcentual de emisiones de combustibles gaseosos con respecto a la gasolina (100% es la emisión de gasolina). Categoría Truck/Bus.

Se tiene que para ambos grupos, Medium y Heavy, las reducciones son las mismas.

En el caso del CO, se tiene una reducción al 55% tanto con GLP como con GNC. Para el NOx, se tiene una reducción de 28% con GLP y 39% con GNC. En esta categoría más pesada, la reducción de MP con GLP y GNC llega al 88 y al 94% respectivamente.

Se observa, en general, una reducción en las emisiones consideradas para esta categoría con respecto a la gasolina.

En la Figura 6-6 se presenta la fracción porcentual de emisiones con combustibles gaseosos con respecto al diesel.

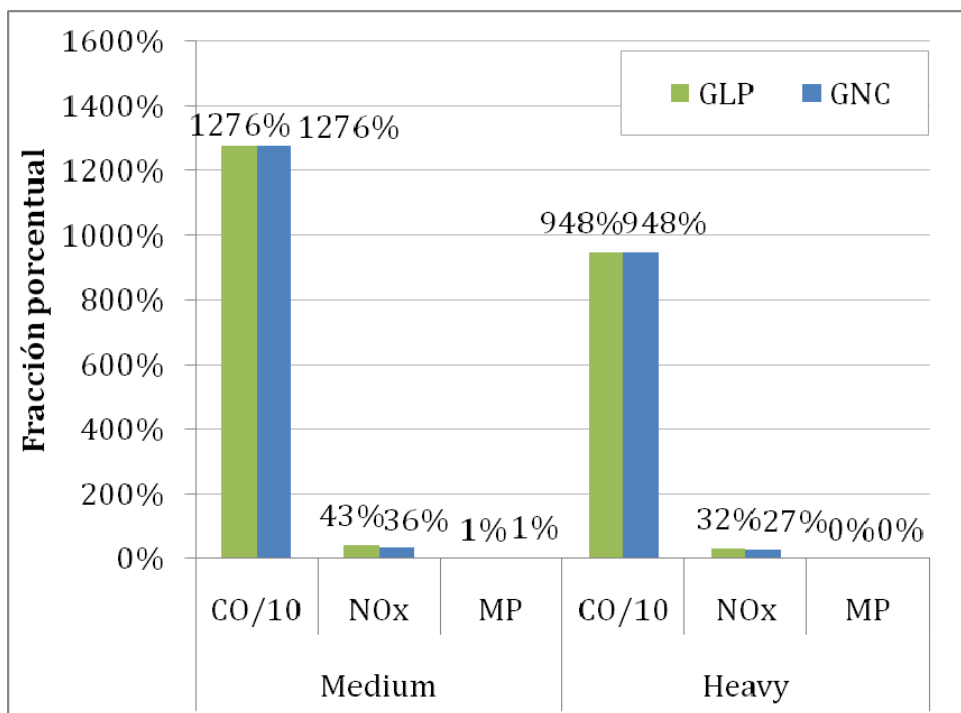


Figura 6-6. Fracción porcentual de emisiones de combustibles gaseosos con respecto al diesel (100% es la emisión de diesel). Categoría Truck/Bus.

Para el grupo Medium, se tiene un incremento en 12 veces en las emisiones de CO. El NOx se reduce a un 43 y un 36% en el caso de GLP y GNC respectivamente. El MP representa un 1% del valor de la emisión del diesel para ambos combustibles gaseosos.

Para el grupo Heavy, se tiene un incremento en 9 veces las emisiones de CO para ambos combustibles gaseosos, al compararlo con el diesel. EN NOx se ve reducido al 32 y el 37% en GLP y GNC; respectivamente. Tal como se observó en la categoría anterior, las emisiones de MP se reducen prácticamente a 0 con los combustibles anteriores.

A modo de síntesis, la Tabla 6-1 presenta las fracciones porcentuales de emisiones con combustibles gaseosos, con respecto a las de combustibles convencionales.

**Tabla 6-1. Síntesis de fracciones porcentuales de emisiones de vehículos con combustible gaseoso con respecto a vehículos convencionales (100% es la emisión del vehículo convencional).
Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de Base Emission Rate, IVE.**

Categoría	Grupo	Comparación con Contaminante	Gasolina		Diesel	
			GLP	GNC	GLP	GNC
Auto/ Small Truck	Medium	CO/10	60%	71%	1218%	1450%
		NOx	87%	97%	97%	108%
		MP	21%	37%	1%	1%
	Heavy	CO/10	68%	71%	1453%	1502%
		NOx	79%	85%	80%	87%
		MP	21%	37%	4%	6%
Truck/Bus	Medium	CO/10	55%	55%	1276%	1276%
		NOx	72%	61%	43%	36%
		MP	12%	6%	1%	1%
	Heavy	CO/10	55%	55%	948%	948%
		NOx	72%	61%	32%	27%
		MP	12%	6%	0%	0%

De la Tabla 6-1 se aprecia que las variaciones en las emisiones pueden ser muy distintas en cada categoría, por lo cual no se puede calcular una reducción media agrupando todas ellas. De acuerdo con esta fuente, sólo se tienen incrementos en las emisiones al utilizar combustibles gaseosos en NOx y en CO. En este último contaminante el incremento puede ser de hasta 10 veces o más al compararlo con diesel, debido a que las emisiones para ese combustible son bajas. En general, el mayor impacto de un cambio de tecnología de combustibles líquidos gaseosos se tendría en las emisiones de Material Particulado, que se reducen de forma importante en todas las categorías.