

**PROYECTO DE SUSTITUCION TECNOLOGICA PARA CAMBIO DE
COMBUSTIBLE EN LA FLOTA DE TRANSPORTE PUBLICO EN EL
MUNICIPIO DE POPAYAN**

**PROYECTO MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL)
DE PEQUEÑA ESCALA**



MARIA ISABEL ECHEVERRI A.

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
GRUPO DE INVESTIGACION DE INGENIERIA AMBIENTAL
POPAYAN
2009**

**PROYECTO DE SUSTITUCION TECNOLOGICA PARA CAMBIO DE
COMBUSTIBLE EN LA FLOTA DE TRANSPORTE PUBLICO EN EL
MUNICIPIO DE POPAYAN**

**PROYECTO MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL)
DE PEQUEÑA ESCALA**



**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO COMO REQUISITO PARA
OPTAR AL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL POR:**

MARIA ISABEL ECHEVERRI A.

**DIRECTOR
PAULO MAURICIO ESPINOSA E.
Ingeniero Químico, MSc.**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
GRUPO DE INVESTIGACION DE INGENIERIA AMBIENTAL
POPAYAN
2009**

AGRADECIMIENTOS.

Deseo expresar mi agradecimiento a:

MSc PAULO MAURICIO ESPINOSA ECHEVERRI, Director del Trabajo de Investigación: por su formación profesional, orientación, sus aportes y consejos, durante todo el trabajo.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA – CRC. Por permitirme trabajar con ellos y aportar mis conocimientos en la Entidad.

A mi familia y amigos, que estuvieron presentes durante el desarrollo de mi trabajo apoyándome en todo momento.

Muchas gracias a todos.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	
1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ACTIVIDAD DEL PROYECTO	12
1.1. Titulo de la Actividad del Proyecto	12
1.2. Descripción de la Actividad del Proyecto	12
1.3. Participantes en el Proyecto	14
1.4. Descripción Técnica de las Actividades del Proyecto	15
2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LA LÍNEA	38
2.1. Titulo y referencia de la Metodología de la Línea Base aprobada aplicada a la actividad del Proyecto	38
2.2. Justificación de la escogencia de la metodología y porque es aplicable a la actividad del Proyecto	38
2.3. Descripción de las Fuentes y los Gases limitados en el proyecto	40
2.4. Descripción de como es identificado el escenario de Línea base y la descripción de la Línea base identificada	43
2.5. Reducción de Emisiones	44
2.6. Aplicación de la metodología de monitoreo y descripción del plan de monitoreo	58
2.7. Fecha de terminación de la aplicación del estudio de la Línea base y la metodología de monitoreo y el nombre de las personas/entidades responsables	60
3. DURACIÓN DE LA ACTIVIDAD DEL PROYECTO / PERIODO DE ACREDITACIÓN	61
3.1. Duración de las actividades del proyecto	61
4. IMPACTOS AMBIENTALES	62
4.1. Documentación del análisis de impactos ambientales	62
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFIA	92

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Participantes en el proyecto	14
Tabla 2. Parque automotor estudiado	19
Tabla 3. Distancias máximas y mínimas de las rutas de cada empresa	20
Tabla 4. Composición porcentual de los gases en Colombia	27
Tabla 5. Principales usos del GNC	27
Tabla 6. Presupuesto para conversión de un vehículo que funciona con diesel (motores de 4, 6 y 8 cilindros)	45
Tabla 7. Presupuesto para conversión de un vehículo que funciona con gasolina (motores de 4, 6 y 8 cilindros)	45
Tabla 8. Presupuesto global para conversión del total de la flota estudiada	46
Tabla 9. Índices de poder de calentamiento global de los gases de efecto invernadero	52
Tabla 10. Datos y parámetros para validación	57
Tabla 11. Resumen de las emisiones antes y después de la implementación del proyecto	62
Tabla 12. Datos y parámetros de monitoreo	68

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Mapa de ubicación del proyecto	16
Figura 2. Mapa de las rutas de TransLibertad (microbuses - 5 y buses - 6) y TransPubenza (microbuses - 11)	17
Figura 3. Mapa de las rutas de TransTambo (microbuses - 6), TransPubenza (buses - 8) y Sotracauca (microbuses – 9)	18
Figura 4. Ciclo Diesel (termodinámico)	31
Figura 5. Ciclo Otto (termodinámica)	32
Figura 6. Kit de conversión Diesel a GNV	36
Figura 7. Instalación y funcionamiento de la conversión de motores Diesel	37
Figura 8. Regulador	40
Figura 9. Llave conmutadora electrónica	40
Figura 10. Cilindro	40
Figura 11. Mezclador	41
Figura 12. Diagrama de instalación de vehículos carburados	42
Figura 13. Emisiones totales de CO ₂ en la línea base y con las actividades del Proyecto	63
Figura 14. Participación porcentual de las empresas en las emisiones de CO ₂ (Diesel)	64
Figura 15. Emisiones globales de CO ₂ en LB y con proyecto	65
Figura 16. Porcentaje de reducción de emisiones de CO ₂ por empresa	66
Figura 17. Porcentaje de reducción de emisiones, por tipo de combustible	67

ANEXOS

Anexo 1. Información de los participantes en las actividades del proyecto

Anexo 2. Información financiera pública

Anexo 3. Información de la Línea Base

Anexo 4. Plan de Monitoreo

Anexo 5. Descripción de los proyectos MDL

INTRODUCCION

Las actividades humanas emiten GEI, que están aumentando las concentraciones naturales de estos en la atmósfera. Las moléculas de los GEI tienen la capacidad de absorber y reemitir la radiación infrarroja que proviene del sol y es eminentemente térmica. Estos rayos son reflejados por la superficie de la Tierra hacia el espacio, sin embargo, los GEI absorben esta radiación en la capa inferior de la atmósfera (Troposfera) en orden a mantener el equilibrio energético de la misma, mantienen la radiación “dentro de la Tierra” e influyen en el clima, pero este debe ajustarse de algún modo a los incrementos en las concentraciones de los GEI causados por el hombre.

Por otra parte, como respuesta al calentamiento del planeta, el Convenio de Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto establecieron las bases de un mercado de reducción de emisiones de GEI. Crearon el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) para reducir el costo de cumplimiento de las metas de reducción de emisiones adoptadas por los países industrializados y promover el desarrollo sostenible de países en vía de desarrollo.

La información presentada en la Primera Comunicación Nacional en 2001, dio pie para el desarrollo del Proyecto Nacional Integrado de Adaptación (INAP, financiado por el Banco Mundial) que se presenta como una propuesta piloto para el mundo y que, según sus resultados, podrá ser replicada en otros países, cuyo objetivo es implementar medidas de adaptación e involucrar el tema en la política nacional para comenzar a tomar medidas; esto demuestra que aunque Colombia no está obligado a reducir emisiones, existe un gran interés en buscar alternativas de mitigación, además el tema del calentamiento global fue incluido en el Plan

Nacional de Desarrollo en el 2007, hecho que de igual manera evidencia una voluntad política del gobierno por agendar este tópico a nivel nacional.

Colombia, actuando de manera oportuna, a través del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), con la asistencia del Banco Mundial (BM), el gobierno de Suiza y la ACCEFYN, la cual a su vez recibió asistencia de la GTZ de Alemania, ha conducido un estudio y análisis de estrategias para implementar el MDL en el país.¹ Este estudio analiza el desarrollo actual y potencial del mercado de reducción de emisiones, la competitividad nacional y los beneficios potenciales de participar en el MDL y también propone estrategias para alcanzar el potencial desarrollable en el país.

El Gobierno aumentará la participación en proyectos MDL que permiten reducir las emisiones de GEI. Los proyectos elegibles al MDL que reduzcan emisiones de GEI cuentan en Colombia con un incentivo tributario especial, es decir hay un descuento del IVA de los equipos y las tecnologías que sean importadas para realizar dicha reducción; el MAVDT es el encargado de certificar los proyectos y de realizar los estudios para la otorgación de los beneficios. En cuanto al portafolio de proyectos MDL para el 2007, Colombia contaba con 66 proyectos con los cuales se espera generar ingresos por cerca de US\$700 millones y reducir más de 100 toneladas de CO₂; pertenecientes al sector transporte existen en el 2007, cerca de 6 proyectos MDL, que incluyen el cambio de combustible y sistemas de transporte masivo; cabe resaltar que es este el sector que contribuye en mayor proporción al aumento de emisiones de GEI.

El presente trabajo muestra la aplicación de una metodología de Mecanismo de Desarrollo Limpio, propuesta por el IPCC para el calculo de emisiones de dióxido

¹ Cap. 2 El MDL. Portafolio colombiano de proyectos para el MDL – Sector energía

de carbono del sector transporte tanto en la línea base como en la proyección de los resultados esperados con la implementación del proyecto. Se pretende con este trabajo demostrar la reducción de las emisiones de CO₂, al sustituir el combustible tradicional por Gas Natural Comprimido (GNC), en toda la flota de transporte público colectivo seleccionada en el proyecto, y de esta forma se busca la estabilización de las concentraciones de los GEI propendiendo así por un desarrollo sostenible para la ciudad.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO

1.1. Título de la Actividad del Proyecto

Proyecto de sustitución tecnológica para cambio de combustible en la flota de transporte público en el municipio de Popayán. Proyecto Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) de Pequeña Escala

1.2. Descripción de la Actividad del Proyecto

De la radiación solar que incidente sobre el planeta tierra, cerca del 30% es reflejada al espacio y el resto es absorbida por la atmósfera, los océanos, los continentes y la biomasa sobre el piso. Esta energía absorbida es luego emitida por la tierra como radiación en longitud de onda larga (infrarrojo).

El efecto invernadero es un fenómeno natural que se produce cuando la energía solar radiada por la tierra hacia el espacio es atrapada por ciertos gases que constituyen la atmósfera. Los gases radiactivamente activos que absorben parte de esa energía son llamados gases de efecto invernadero (GEI). Entre los principales están el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los HFC, los PFC, el SF₆ y el ozono. Los clorofluorocarbonos (CFC's) y algunos gases tales como el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM), también contribuyen al efecto invernadero. Como resultado de este efecto se produce un calentamiento global adicional de la atmósfera de la tierra, que no se produciría sin este fenómeno.

Desde la década de los 50, la concentración en la atmósfera de estos gases se ha incrementado de una manera importante, debido al aumento de las actividades humanas causadas por el desarrollo socioeconómico en estos últimos años sobre el planeta. Se cree que este incremento altera la distribución de energía en la atmósfera y en consecuencia afecta el clima en aspectos tales como, aumento de la temperatura media global, cambios en la frecuencia y distribución de la precipitación, cambios en la circulación atmosférica y en el ciclo hidrológico, entre otros. Los gases tienen diferentes contribuciones al efecto de invernadero dependiendo de sus características de absorción de la radiación infrarroja, de su concentración y de su vida media en la atmósfera.

En la ciudad de Popayán se presentan altos niveles de contaminación atmosférica, ocasionados principalmente por las emisiones vehiculares, reflejado en estudios de monitoreo de emisiones, realizados por la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), que a través de la Subdirección de Gestión Ambiental ha implementado un Programa de Monitoreo a Fuentes Móviles, realizando operativos de verificación de gases desde 1997 en los diferentes Municipios de la Jurisdicción del Departamento del Cauca y de igual forma ha otorgado Autorización a diferentes establecimientos para realizar la verificación de emisiones de fuentes móviles desde el año 1999. Según información obtenida de la Secretaria de Tránsito Municipal², Popayán para el 21 de junio de 2007, contaba con un parque automotor de vehículos activos de 7328 particulares, 2989 pertenecientes al servicio público, 185 oficiales y motos activas de 3454; esto implica un parque automotor bastante grande para la ciudad por lo que es necesario buscar alternativas para la reducción de los gases de efecto invernadero producidos por fuentes móviles.

² MONTENEGRO, S.; PALADINES, L. Trabajo de Grado “Estimación de inmisiones a la atmósfera para determinar zonas de riesgo para la salud humana en Popayán – Cauca”. Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería Civil. Programa de Ingeniería Ambiental. 2007

Dentro de las políticas económicas y ecológicas existe el uso racional de los recursos naturales, de esta forma en el país se han destinado muchos recursos financieros al programa de sustitución de combustibles tradicionales (gasolina, diesel) a combustibles alternativos como es el caso del gas natural, del cual existen abundantes reservas en el país, tiene un bajo costo y presenta una menor incidencia en la contaminación del medio ambiente, convirtiéndose así en el combustible más competitivo utilizado en el sector automotriz.

1.3. Participantes en el Proyecto

Tabla 1. Participantes en el proyecto

NOMBRE	ENTIDAD	Desea participar en el proyecto?
Jesús Hernán Guevara Director CRC	Pública	Si
Carlos Alberto Medina SOTRACAUCA	Privada	Si
Jorge Alexander Campo TRANSLIBERTAD	Privada	Si
Jairo Alirio Isdit Achinte TRANSTAMBO	Privada	Si
Antonio Villamarin Ordoñez TRANSPUBENZA	Privada	Si

1.4. Descripción Técnica de las Actividades del Proyecto

1.4.1. Ubicación de las Actividades del Proyecto

1.4.1.1. País Anfitrión: Colombia

1.4.1.2. Región: Cauca

1.4.1.3. Ciudad: Popayán

1.4.1.4. Detalles de la ubicación física, incluyendo información específica de las actividades del proyecto

Popayán es la capital del departamento del Cauca. Ubicada cerca del Volcán Puracé cuya cima se puede apreciar desde la ciudad. Fundada por Sebastián de Belalcázar se encuentra sobre una de las rutas del El Dorado.

Popayán se ubica en el Valle de Pubenza a una altura de 1700 m.s.n.m, en medio de las cordilleras central y occidental y es surcada por el Río Cauca. Por la carretera Panamericana, a 120 km se encuentra la ciudad de Cali. Por la misma carretera hacia el sur a aproximadamente 300 km se encuentra la ciudad de Pasto. La figura 1 presenta la localización de la ciudad de Popayán en el mapa de Colombia.

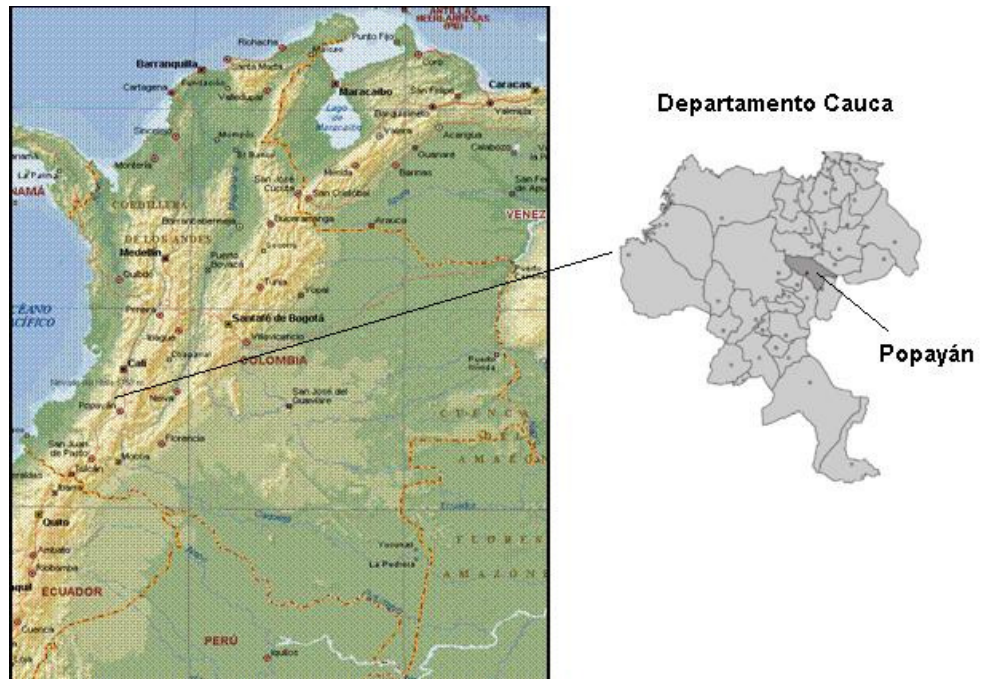


Figura 1. Mapa de ubicación del proyecto

En las figuras 2 y 3, se puede apreciar la distribución en la ciudad de las rutas prestadas por las empresas de transporte público, se observan los recorridos de ida y regreso de cada una de las rutas.

Por medio de estos mapas se determinaron las distancias totales, en kilómetros, diarias y anuales de los recorridos de los vehículos de las empresas.

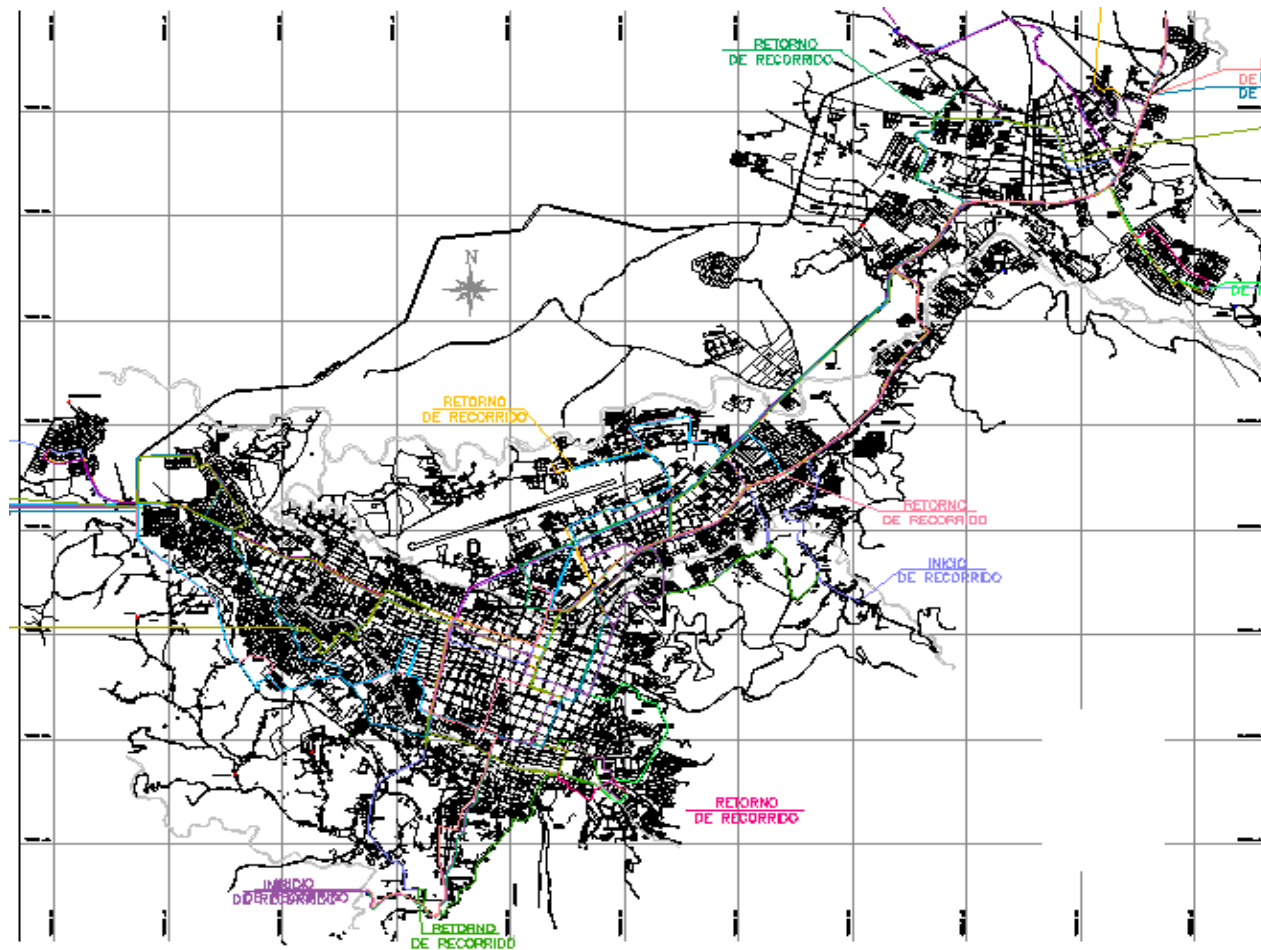


Figura 2. Mapa de las rutas de TransLibertad (microbuses - 5 y buses - 6) y TransPubenza (microbuses - 11)

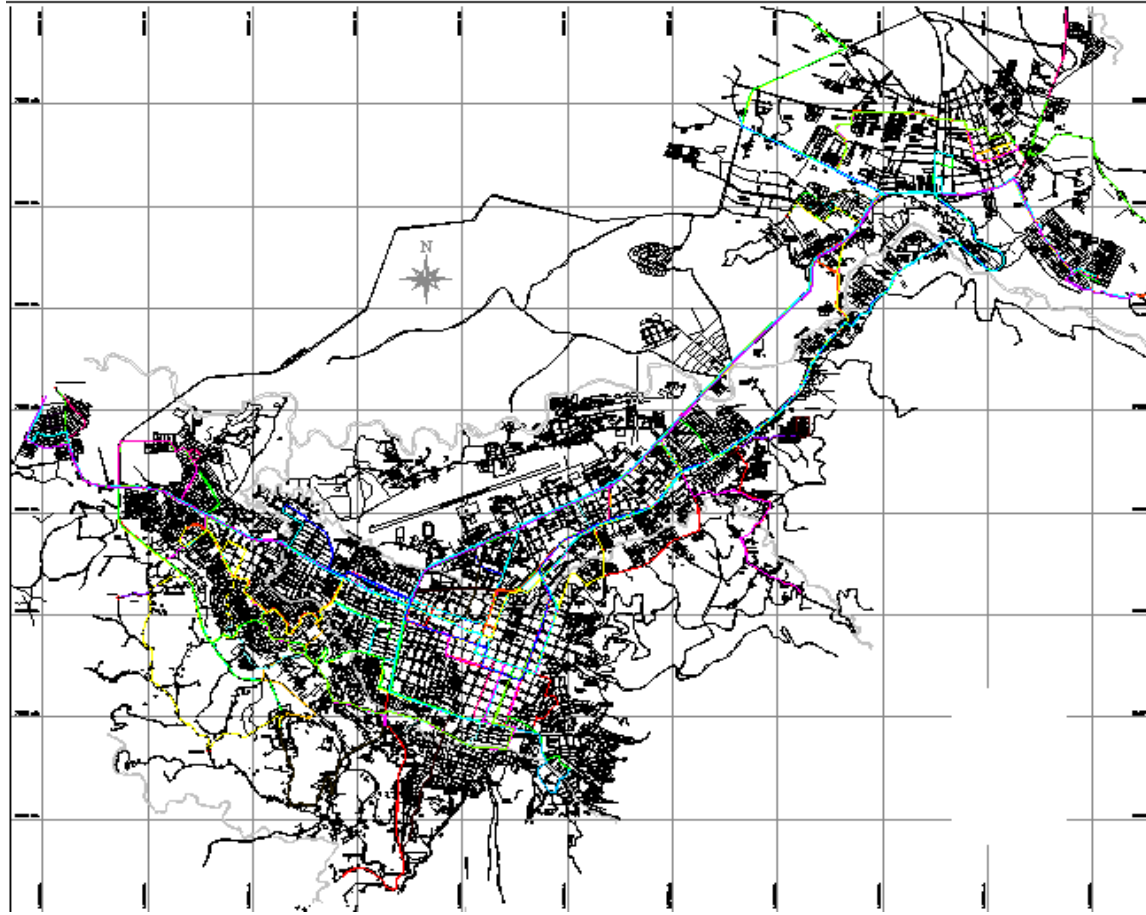


Figura 3. Mapa de las rutas de TransTambo (microbuses - 6), TransPubenza (buses - 8) y Sotracauca (microbuses - 9)

La distribución del parque automotor, objeto de estudio, se especifica en la tabla 2, las distancias máximas y mínimas de cada una de las empresas se muestra en la tabla 3.

El parque automotor se encuentra distribuido por tipo de vehículos, de acuerdo a la capacidad de pasajeros transportados, es decir, los buses tiene una capacidad mayor a 30 pasajeros, seguido de lo Busetones entre 27 y 30 pasajeros, las busetas entre 23 y 27 pasajeros, y por último los microbuses con una capacidad comprendida entre 12 y 19 pasajeros.

Tabla 2. Parque automotor estudiado

Empresa	Número vehículos					Combustible
	Total	Bus	Microbús	Buseta	Buseton	
SOTRACAUCA	118		118			94.2% Diesel 5.8% Gasolina Corriente
TRANSPUBENZA	281	18	177	86		
TRANSTAMBO	84		84			
TRANSLIBERTAD	171	12	76	75	8	
TOTAL	654	30	455	161	8	

Tabla 3. Distancias máximas y mínimas de las rutas de cada empresa

EMPRESA	DISTANCIAS	
	MAXIMA	MINIMA
Sotracauca	33.60	22.40
TransLibertad	35.94	24.64
TransPubenza	33.82	17.48
TransTambo	32.28	27.44

1.4.2. Categorías de las Actividades del Proyecto

De acuerdo con el Apéndice B de las “Modalidades Simplificadas y Procedimientos para Actividades de Proyectos CDM de Pequeña Escala” (versión de Enero 23 de 2003, página web de la UNFCC), el proyecto se puede clasificar como:

Tipo III, Otras actividades de proyectos

Categoría L, Reducción de emisiones en el sector transporte

1.4.3. Tecnología empleada en las actividades del proyecto

El parque automotor de transporte público objeto de estudio, son aquellos vehículos pertenecientes a las empresas Sotracauca, TransLibertad, TransPubenza y TransTambo, radicadas en la ciudad, cuyo desempeño es a través de rutas establecidas (fijas).

Actualmente este parque automotor consta de 654 vehículos de servicio público de pasajeros, pertenecientes a cuatro empresas de carácter privado, dentro de los

cuales 171 pertenecen a la empresa TransLibertad, 118 a Sotracauca, 281 a TransPubenza y 84 a TransTambo. Estos vehículos están clasificados de acuerdo a la capacidad máxima de transporte de pasajeros, donde hay 30 Buses, 455 Microbuses, 8 Busetones y 161 Busetas. Los modelos de los vehículos están comprendidos entre los años 1977 y 2009.

Los vehículos tienen rutas fijas que cubren gran parte de la ciudad de Popayán, con distancias comprendidas entre 17.48 y 35.94 kilómetros, por lo general los vehículos repiten este tipo de recorridos entre 6 y 8 veces al día. De los vehículos que están actualmente en funcionamiento, un 94.2% funcionan con combustible Diesel y el otro 5.8% restante con Gasolina corriente, estos últimos son vehículos de motor de cuatro tiempos.

Descripción de los combustibles

1) Diesel (ACPM)³

El diesel corriente, o el aceite combustible para motores (ACPM), es una mezcla de hidrocarburos entre 10 y 28 átomos de carbono formada por fracciones combustibles proveniente de diferentes procesos de refinación del petróleo tales como destilación atmosférica y ruptura catalítica.

Este producto puede contener pequeñas cantidades de aditivos que permitan mejorar las condiciones de su desempeño y una sustancia química, llamada "marcador", que permita obtener información sobre la procedencia del combustible

³ Diesel Corriente [En línea], Colombia. [Citado en 12 de febrero de 2009]. Disponible en Internet <http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=216&conID=37368>

sin que implique modificación en la calidad del producto. Otro nombre utilizado para este producto es Fuel Oil grado N° 2D.

Está diseñado para utilizarse como combustible en motores tipo diesel de automotores de trabajo medio y pesado que operan bajo condiciones de alta exigencia en vías y carreteras del país, o para generar energía mecánica y eléctrica, y en quemadores de hornos, secadores y calderas. También puede ser usado en máquinas tipo diesel de trabajo medio y pesado que trabajan fuera de carretera, tales como las usadas en actividades de explotación minera, agricultura, construcción, entre otros.

Se clasifica como un líquido inflamable clase II de acuerdo con la Norma 321 de la NFPA (National Fire Protection Association).

Cuando se diseñen plantas de almacenamiento, estaciones de servicio, o cualquier otra instalación para el manejo de este combustible, deben aplicarse las normas NFPA en lo relacionado con la protección contra incendios, las Normas API (American Petroleum Institute) y las reglamentaciones expedidas por las autoridades gubernamentales de control tanto nacional como regional y local.

2) Gasolina Corriente⁴

La gasolina corriente es una mezcla compleja donde puede haber de 200 a 300 hidrocarburos distintos, formada por fracciones combustibles provenientes de diferentes procesos de refinación del petróleo, tales como destilación atmosférica,

⁴ Gasolina Corriente [En línea], Colombia. [Citado en 12 de febrero de 2009]. Disponible en Internet <http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=216&conID=37366>

ruptura catalítica, ruptura térmica, alquilación, reformado catalítico y polimerización, entre otros.

Las fracciones son tratadas químicamente con soda cáustica para eliminar compuestos de azufre tales como sulfuros y mercaptanos que tienen un comportamiento corrosivo y retirar gomas que pueden generar depósitos en los sistemas de admisión de combustibles de los motores. Luego se mezclan de tal forma que el producto final tenga un índice antidetonante IAD ($Ron+Mon/2$) de 81 octanos como mínimo. El índice es una medida de la capacidad antidetonante de la gasolina y la principal característica que identifica el comportamiento de la combustión dentro del motor. Mayor octanaje indica mejor capacidad antidetonante.

Antes de ser distribuida a las estaciones de servicio al público, los mayoristas de la gasolina le adicionan aditivos detergentes dispersantes con el fin de prevenir la formación de depósitos en todo el sistema de admisión de combustibles de los motores (carburadores, inyectores de combustible, lumbreras o puertos de entrada y asientos de las válvulas de admisión). También se adiciona una sustancia química, llamada marcador, que permite obtener información sobre la procedencia del combustible sin que modifique la calidad del producto.

En Colombia se le denomina comercialmente como "Gasolina Corriente". Otros nombres que se le da a este producto son gasolina regular o gasolina unleaded 81.

Esta gasolina se halla diseñada para utilizarse en motores de combustión interna de encendido por chispa y de baja relación de compresión (menos de 9:1). Sin embargo, también puede mantener un comportamiento adecuado en motores de mayor relación pero en altitudes por encima de 2000 metros sobre el nivel del mar. Puede ser mezclada en cualquier proporción con gasolina de mayor o menor octanaje hasta conseguir una mezcla con el octanaje apropiado, según los requerimientos del motor y en cualquier altitud.

Se clasifica como un líquido inflamable clase 1A de acuerdo con la Norma 321 de la NFPA, por lo cual debe tenerse especial cuidado y es indispensable cumplir con los estándares establecidos para el diseño de los tanques de almacenamiento, tuberías, llenaderos y equipo de las estaciones de servicio al público. Este producto es volátil, genera vapores desde una temperatura de -43°C , los cuales al mezclarse con aire en proporciones de 1.1 a 7.6% en volumen producen mezclas inflamables y explosivas.

Cuando se diseñen plantas de almacenamiento, estaciones de servicio, o cualquier otra instalación para el manejo de esta gasolina, deben aplicarse las normas NFPA en lo relacionado con la protección contra incendios, las Normas API y las reglamentaciones expedidas por las autoridades gubernamentales de control tanto nacional como regional y local.

No es recomendable dar a este producto usos diferentes del mencionado anteriormente debido a que los vapores que genera son más pesados que el aire, por lo tanto tienden a depositarse en lugares bajos donde están localizadas normalmente las fuentes de ignición tales como pilotos de estufas, interruptores de

corriente eléctrica, tomas de corriente y puntos calientes tales como lámparas incandescentes, los cuales pueden producir incendios y explosiones.

Debe evitarse el contacto con la piel y la inhalación de vapores debido a que estos son tóxicos y en concentraciones altas pueden causar mareos, pérdida del conocimiento y, en casos extremos, hasta la muerte. Si llegara a ocurrir un accidente de esta naturaleza consiga lo antes posible los cuidados de un médico.

Por ningún motivo almacene gasolina en una casa, apartamento o en cualquier recinto cerrado. El combustible se evapora continuamente y, además de generar una atmósfera de vapores tóxicos, puede causar un incendio o una explosión. Para su manejo seguro utilice ropa impermeable adecuada, gafas y guantes de seguridad.

3) Gas Natural Vehicular (GNV)⁵

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos livianos en estado gaseoso, que en su mayor parte está constituida por metano y etano y en menor proporción por propano, butanos, pentanos e hidrocarburos más pesados. Generalmente, esta mezcla contiene impurezas tales como vapor de agua, gas carbónico y nitrógeno. Otras veces puede contener impurezas como sulfuro de hidrógeno, mercaptanos y helio.

El gas natural se encuentra, al igual que el petróleo, en yacimientos en el subsuelo en uno de los siguientes estados:

⁵ Gas Natural [En línea], Colombia. [Citado en 12 de febrero de 2009]. Disponible en Internet <http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=210&conID=36624>

- Asociado, cuando esta mezclado con el crudo al ser extraído del yacimiento.
- Libre o no asociado, cuando se encuentra en un yacimiento, en el cual sólo contiene gas.

Por lo tanto, su composición, su gravedad específica, su peso molecular y su poder calorífico son diferentes en cada yacimiento. El rango de variación del poder calorífico está entre 900 y 1400 BTU/PC

La composición típica del gas natural (% volumen) es de Dióxido de carbono (CO₂) 0.37, Nitrógeno 1.29, Metano 97.76, Etano 0.38 y Propano 0.20.⁶ La tabla 4, presenta la composición porcentual de los gases obtenidos en Colombia en Cusiana y en la Guajira

⁶ Gas Natural Vehicular ELITEGNV [En línea], Colombia. [Citado en 20 de abril de 2009]. Disponible en Internet <http://www.cngelite.com/Elite.html>

Tabla 4. Composición porcentual de los gases en Colombia

HIDROCARBURO	CUSIANA	GUAJIRA
METANO	78.878	97.974
ETANO	10.015	0.272
PROPANO	3.936	0.052
i-BUTANO	0.608	0.016
n-BUTANO	0.661	0.007
i-PENTANO	0.133	0.006
n-PENTANO	0.104	0.001
HEXANO	0.047	0.013

Fuente: Ecopetrol S.A.

El gas natural se utiliza como materia prima o como combustible en los sectores industrial, petroquímico, termoeléctrico, doméstico, comercial y de transporte terrestre. Sus principales usos por sector son presentados en la tabla 5:

Tabla 5. Principales usos del GNC

SECTOR	USOS
Industrial	<ul style="list-style-type: none">- Refinerías de petróleos- Hierro y acero- Industria de vidrio- Pulpa y papel- Minas de ferroniquel- Industria del cemento- Industria alimenticia- Cerámica- Industria textil

SECTOR	USOS
Petroquímico	<ul style="list-style-type: none"> - Urea - Alcoholes - Etileno - Nitrato de Amonio - Aldhídos - Acetileno - Polietileno
Termoeléctrico	<ul style="list-style-type: none"> - Turbogeneradores - Calderas (turbinas a vapor) - Plantas de cogeneración - Plantas de Ciclo combinado
Doméstico y comercial	<ul style="list-style-type: none"> - Cocinas - Secadoras de ropa - Refrigeración, acondicionamiento del aire - Calentadores de agua - Calefacción - Restaurantes y Hoteles
Transporte	GNVC (Gas Natural Vehicular Comprimido) en reemplazo de la gasolina

Fuente: Ecopetrol S.A.

El uso del gas natural como combustible en los anteriores sectores, sustituye energéticos como la electricidad, GLP, ACPM, queroseno, fuel oil, crudos pesados y carbón en el área industrial; y electricidad, GLP, queroseno en el sector doméstico y comercial; y gasolina y diesel en el transporte.

Descripción del funcionamiento general de los motores

El motor de combustión interna, transforma la energía calórica del combustible en energía cinética mediante un proceso de combustión. La energía cinética es la que nos permite dar una utilización práctica al vehículo imprimiéndole movimiento propio.

1) Motores Diesel (Ciclo Diesel)⁷

Llamado así en honor a su inventor (Rodolfo Diesel, ingeniero alemán, 1858-1913), es un motor que emplea como combustible un aceite (gasoil) generalmente obtenido del petróleo que se conoce con el nombre de combustible diesel. Puede utilizar también otros aceites pesados como el fuel-oil o petróleo crudo.

Desde un punto de vista mecánico, el ciclo del motor diesel de cuatro tiempos consta de las siguientes fases:

1. Admisión: con el pistón posicionado en el PMS (punto muerto superior) comienza la carrera descendente y al mismo tiempo se abre la válvula de admisión para llenar de aire limpio aspirado o forzado por un turbocompresor el cilindro, terminando este ciclo cuando el pistón llega al (PMI) y la válvula de admisión se cierra nuevamente.

2. Compresión: el pistón está en el punto muerto inferior (PMI) y empieza su carrera de ascenso, comprimiendo el aire contenido en el cilindro y logrando de esa forma un núcleo de aire caliente en la cámara de combustión por el efecto adiabático.

3. Trabajo: cuando el pistón está a punto de llegar al punto muerto superior (PMS) se inicia la inyección de combustible a alta presión. En este momento se mezclan las partículas de gasóleo pulverizado con el núcleo de aire caliente y se produce el

⁷ Se puede cambiar motor diesel a gas [En línea], Argentina. [Citado en 21 de junio de 2009]. Disponible en Internet <http://www.taringa.net/posts/autos-motos/1212107/Motores-Diesel-%5BMEGAPOST%5D.html>

encendido y la consiguiente expansión de gases por la combustión del gasóleo, moviendo el pistón desde el PMS hacia el PMI y generando trabajo.

4. Escape: concluida la fase de trabajo y habiendo llegado el pistón al (PMI), se abre la válvula de escape al mismo tiempo que el pistón empieza su carrera hacia el PMS y elimina hacia el conducto de escape los gases producidos por la combustión en el cilindro.

De esta forma se puede ver que el ciclo diesel está conformado por cuatro tiempos, por lo que, cuando entra el combustible, este explota por la alta presión y se va quemando en el trayecto.

Un motor diesel funciona mediante la ignición del combustible al ser inyectado en una cámara (o precámara, en el caso de inyección indirecta) de combustión que contiene aire a una temperatura superior a la temperatura de autocombustión, sin necesidad de chispa. La temperatura que inicia la combustión procede de la elevación de la presión que se produce en el segundo tiempo motor, la compresión. El combustible se inyecta en la parte superior de la cámara de compresión a gran presión, de forma que se atomiza y se mezcla con el aire a alta temperatura y presión. Como resultado, la mezcla se quema muy rápidamente. Esta combustión ocasiona que el gas contenido en la cámara se expanda, impulsando el pistón hacia abajo. La biela transmite este movimiento al cigüeñal, al que hace girar, transformando el movimiento lineal del pistón en un movimiento de rotación.

Para que se produzca la autoinflamación es necesario pre-calentar el aceite-combustible o emplear combustibles más pesados que los empleados en el motor

de gasolina, empleándose la fracción de destilación del petróleo comprendida entre los 220 y 350 °C, que recibe la denominación de gasóleo.

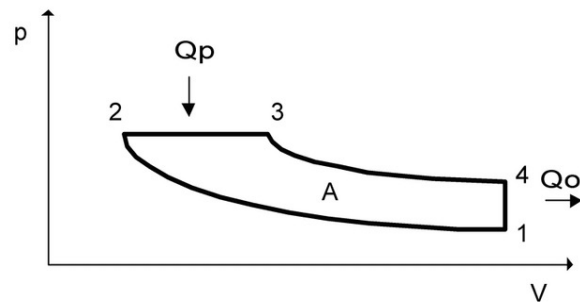


Figura 4. Ciclo Diesel (termodinámico)⁸

- 1 – 2. Compresión adiabática reversible (isentrópica)
- 2 – 3. Proceso isóbaro reversible
- 3 – 4. Expansión isentrópica. Hasta el volumen inicial
- 4 – 1. Proceso isocórico. Desde la presión final a la presión inicial

2) Motor a Gasolina (Ciclo Otto)

Conocido también como motor de encendido por chispa, utiliza como combustible gasolina, cuya volatilidad permite que sea fácilmente vaporizada y mezclada con el aire para comprimirla dentro de los cilindros del motor. La mezcla comprimida es encendida mediante un arco eléctrico proporcionado por la bujía, al saltar por ésta una corriente eléctrica de alto voltaje, el cual es producido por el sistema de encendido.

⁸ Ciclo del Diesel [En línea]. [Citado en 21 de junio de 2009]. Disponible en Internet http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_del_di%C3%A9sel

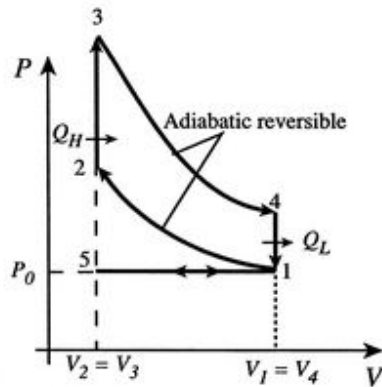


Figura 5. Ciclo Otto (termodinámica)⁹

- 5 – 1. Admisión de la mezcla vapor de gasolina y aire al motor
- 1 – 2. Compresión de la mezcla (aumento de P y T)
- 2 – 3. Combustión (chispa). Volumen constante
- 3 – 4. Expansión
- 4 – 1. Caída de presión instantánea. Se abre la válvula de presión. Transferencia de calor a volumen constante
- 1 – 5. Se abre la válvula de escape y hay liberación de los gases producto de la combustión

Adaptación de motores Diesel a Gas¹⁰

Las opciones tecnológicas para el desarrollo del GNC en el mercado de transporte pesado para Argentina, son:

⁹ Motor de combustión interna (Ciclo Otto) [En línea]. [Citado en 21 de junio de 2009]. Disponible en Internet <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Termodinamica/node45.html>

¹⁰ El tiempo del gas. Utilización del gas comprimido y el futuro del gas natural líquido en el transporte [En línea], Argentina. [Citado en 21 de junio de 2009]. Disponible en Internet http://www.adigas.com.ar/Novedades/Conferencia_Secretaria_%20de%20energia_16-07-02.pdf

Vehículos dedicados

Los vehículos disponibles son los Mercedes Benz fabricados en Brasil (Ómnibus OH1623 y Camiones equivalentes). Actualmente los precios de esos vehículos dedicados a GNC con respecto a sus similares diesel son del orden del 10% superior (18 mil a 25 mil pesos argentinos más).

Actualmente, están en construcción dos ómnibus El Detalle con Motores Cummins importados. La motorización Cummins a gas natural tiene amplia difusión en el mundo (citaremos a Pekín: más de 2,500 unidades), con resultados comprobados. Se presentan como la opción técnica más segura, con garantía y servicio posventa y más eficiente en términos de aprovechamiento energético y económico, dado el diseño del motor.

Las limitaciones para su uso son la difícil ecuación económica del transporte: tarifas en pesos controladas; costos de combustible y repuestos dolarizados; y la ausencia de crédito.

Dualización

Consiste en agregar a un vehículo diesel un "kit" que permite la alimentación con gas natural y aire, por un lado, y gasoil por el circuito de combustible. Es una tecnología no invasiva comprobada a nivel internacional (experiencia en Chile y Estados Unidos), y con posibilidades de masificarse.

Se logra una sustitución parcial del gasoil con un porcentaje del orden del 60% ~ 70%. Los costos de implementación de esta tecnología no son altos y oscilan para vehículos de 10 - 16 toneladas alrededor de 20 a 25 mil pesos para cada ómnibus o camión, dependiendo de la autonomía requerida.

La dualización ofrece una solución económica buena pero parcial, también en lo que se refiere a la mejora del medio ambiente.

Se está realizando una prueba piloto de dualización con la firma argentina "CRAM" e intentando con la firma norteamericana ITG, sobre camiones y buses. Pronto podrán tenerse resultados.

Ottolización (Conversión ciclo otto)

Implica modificaciones estructurales de varios componentes del motor diesel (pistones; tapa de cilindro; válvulas) de manera que el motor funcione con gas natural como combustible exclusivo, o bien con naftas. Para el óptimo funcionamiento son necesarias otras adaptaciones (adecuación de la transmisión, por ejemplo). Convertir el motor al ciclo Otto, implica montar bujías de encendido y un nuevo sistema de control del motor.

Se están realizando experiencias serias en la Argentina (Tomasetto Achille con *know how* italiano y ente de certificación).

Los valores que se manejan para la conversión del ciclo son del orden de los 32 a 35 mil pesos por unidad. Sin embargo es elevada la pérdida de eficiencia energética (del orden del 20%)

Todavía no se tienen datos definitivos sobre estos proyectos. La experiencia en el proceso de gasificación en los motores ciclo diesel, induce a prudencia: en la cámara de combustión modificada se producen fenómenos de sollicitaciones térmicas con consiguientes tensiones mecánicas difíciles de prever y que requieren cuidadosas observaciones.

Resultados no repetibles o inseguros pueden causar mayor costo de mantenimiento al transportista o dificultades operativas, que pueden poner en riesgo el éxito del proyecto.

Repotenciación o Remotorización

Consiste en sustituir el motor diesel del vehículo por un motor a GNC. Se trata de seleccionar un motor adecuado para el vehículo en cuestión y de realizar todas las modificaciones estructurales (sistema de enfriamiento sistema de carga de GNC; transmisión y anclaje de la carrocería y otras).

Al momento en el mercado local la oferta de motores GNC fabricados en Argentina es nula. La firma Deutz ha declarado a la "Secretaría de Industria" su disponibilidad para construir motores dedicados al GNC.

Cummins ofreció la remotorización a un costo de 30 mil dólares, de los cuales 21 mil dólares corresponden al costo del motor origen USA.

Para el caso de Colombia, la empresa Elite GNV¹¹, tiene un software/hardware que permite hacer conversión vehicular de los motores Diesel para que trabajen 100% con combustibles limpios (gas natural, propano, hidrógeno)



Figura 6. Kit de conversión Diesel a GNV

El sistema consiste en un kit para la utilización de GNC, GLP o HIDROGENO como combustible, en de todo tipo de motor transformado de ciclo Diesel a ciclo Otto.

El kit consta de los elementos tradicionales de un kit de conversión, cuyo regulador de presión depende de la potencia del motor, e incorpora un modulo electrónico de control cuyas funciones son el encendido secuencial programable,

¹¹ Gas Vehicular ELITE gnv [En línea]. [Citado en 26 de junio de 2009]. Disponible en Internet <http://www.cngelite.com/Elite.html>

el control del lazo cerrado y la función de protección del sistema mediante monitoreo de las variables de funcionamiento.

El sistema fue específicamente diseñado para permitir en los motores de ciclo Otto, controlar el avance en condiciones con y sin carga, para optimizar su performance y reducir al máximo los niveles de consumo.

El Sistema incorpora funciones que permiten a los usuarios una completa flexibilidad en el mapeo del avance, aplicado a un encendido secuencial y adaptándose a todo tipo de combustible, ya sea gaseoso o líquido e independientemente de sus características específicas.

El equipo consta de un sistema de detección y control de condición de parada, ante la presencia de condiciones de falla. Las características calidad de fabricación de los componentes, nos permiten ofrecer un producto confiable y con excelentes niveles de performance en cualquier condición de trabajo

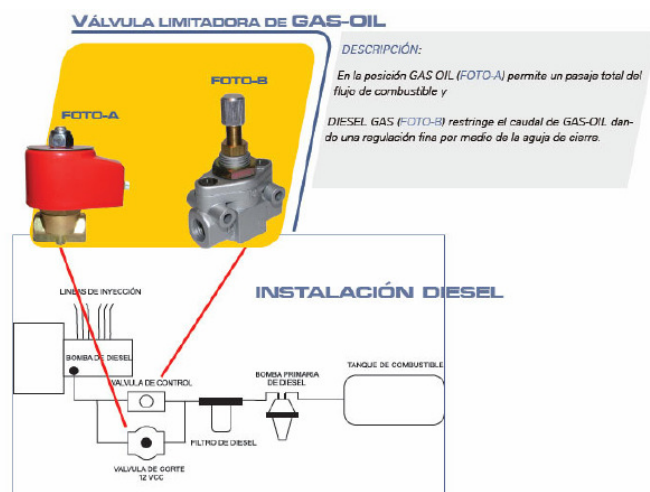


Figura 7. Instalación y funcionamiento de la conversión de motores Diesel

Cuando un motor funciona 100% diesel lo hace de la misma manera que originalmente lo hacia, sin ninguna alteración ni cambios en sus parámetros de energía. Un motor alimentado con un sistema Dual-Fuel no puede funcionar al 100% con gas, porque la temperatura de ignición del gas natural es de 650° C, y como bien es conocido que en los ciclo diesel el encendido del combustible es por compresión, lo cual hace que la temperatura generada no es suficiente para encender la mezcla del aire/gas natural. Para que un motor funcione 100% a gas debe realizarse una conversión profunda otolizando el mismo. Los motores convertidos al sistema no sufren ninguna perdida de potencia.

Lejos de tener efectos negativos, la operación 100% Gas alarga la vida del motor dado que el gas es un combustible mas limpio que el diesel generando menos residuos de carbón y bajando la contaminación del lubricante, además es de destacar que las temperaturas de trabajo se mantienen en los parámetros habituales.

La parametrizacion se realiza una vez colocado el equipo y se tomaran los resultados de la misma con el motor a plena potencia y carga, estos datos deben tomarse con combustible liquido (gas oil) y con temperatura de escape, agua y sensor de detonación o pistoneo. Estos valores son tomados como lo máximo admisible y nunca deben sobrepasarse. En el caso de que alguno de estos parámetros se acercara en forma imprudente a los valores máximos el microprocesador hará que el equipo deje de funcionar.

Las características de los motores en los que el sistema puede ser usado, van desde motores de cuatro tiempo de 4 a 6 cilindros, y hay versiones de 12 y 24 cilindros, y con cilindrada desde los 2000 a 20000 centímetros cúbicos.

Las aplicaciones de estos motores pueden ser motores estacionarios y vehiculares, incluyendo camiones, buses, tractores, vehículos 4x4 y utilitarios.

Como los motores Diesel trabajan con compresiones de cilindro elevadas, es necesario realizar los siguientes trabajos en el, para disminuir la relación de compresión:

- Desmontar la culata, y perforar para instalar juego de bujías.
- Desmontar y rebajar los pistones en el torno para disminuir su tamaño y así la compresión.
- Re instalar la culata e instalar las bujías, si es necesario poner nuevo empaque de culata.
- Re instalar los pistones y si es necesario poner un nuevo set de anillos de pistón.
- Instalar el DIESEL CONVERSION KIT.

Adaptación de motores de Gasolina a Gas

Los componentes instalados¹² en una conversión tienen las siguientes funciones:

1. Regulador: Reduce la presión del gas a presión atmosférica, regula la entrada del gas al motor y climatiza automáticamente el gas para que trabaje a la temperatura adecuada para evitar el efecto “Joul Thompson”, congelación del gas.

¹² RecertiGasTech. Centro especializado en Gas Natural. Información Técnica [En línea], Colombia. [Citado en 22 de junio de 2009]. Disponible en Internet <http://www.gastechcolombia.com/tecnica.htm>



Figura 8. Regulador

2. Manómetro de presión: Marca la presión y cantidad del gas.

3. Llave conmutadora electrónica: Coordina y controla el paso de gas a gasolina y viceversa e indica la cantidad de carga de gas que tiene el sistema.



Figura 9. Llave conmutadora electrónica

4. Cilindro: Almacena el gas comprimido vehicular con el cual va a trabajar el vehículo. Es elaborado en acero y material blindado. Existen de varios tamaños según las necesidades de autonomía de los vehículos.



Figura 10. Cilindro

5. Válvula de cilindro autoventeante: Comunica el cilindro con todo el sistema y tiene la capacidad de cerrarse automáticamente cuando se presenta un cambio brusco de presión.

6. Control de mezcla: Puede ser electrónico – lazo cerrado para carros de inyección, ó mecánico – lazo abierto para vehículos con sistema de carburador.

7. Emulador de inyectores: Corta automáticamente el paso de la gasolina cuando el vehículo está trabajando en gas.

8. Variador y/o corrector de avance: Corrige y/o adelanta la chispa cuando el vehículo está trabajando en gas.

9. Mezclador: Dosifica la cantidad de combustible (gas) que pasa al sistema, dependiendo del cilindraje del vehículo.



Figura 11. Mezclador

10. Válvula de carga: A través de ésta, se conecta el surtidor de gas en la estación de servicio para llenar el cilindro.

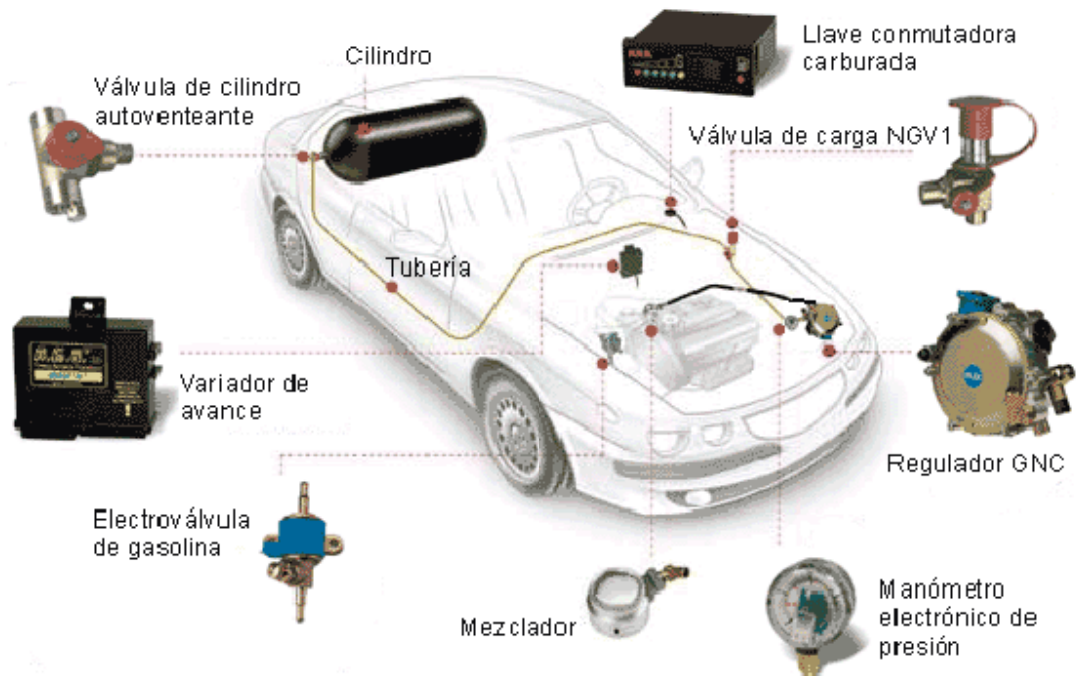


Figura 12. Diagrama de instalación de vehículos carburados¹³

1.4.4. Cantidad estimada de reducción de emisiones para el período de acreditación

La aplicación de la metodología escogida, permitió demostrar que verdaderamente si hay reducción de emisiones vehiculares de CO₂ al sustituir el combustible, por otros más amigables con el medio ambiente. Hay que resaltar que al utilizar el GNC como combustible, no solo reduce las emisiones de CO₂, sino también de otros contaminantes atmosféricos, y que de igual manera, son muy perjudiciales para la salud humana, entre los encontramos los NO_x, SO_x, PM, entre otros.

¹³ Ibid

Para el periodo de acreditación del proyecto, se tienen reducciones apreciables de CO₂, mayores del 20% (*Ver literal 2.5.4. Resumen de la estimación de reducción de emisiones*). Se observan variaciones en los valores de reducción de las emisiones, entre las empresas, esto debido a que las condiciones de funcionamiento de los vehículos de las empresas es diferente, es decir, las distancias de las rutas (recorridos), la cantidad de pasajeros transportados por vehículo, el consumo y tipo de combustible utilizados, son específicos para cada empresa.

La empresa que contribuye en mayor proporción con las emisiones de CO₂ producto del uso del combustible Diesel, es TransPubenza en un 36%, seguida de TransLibertad con 29%, Sotracauca 20% y TransTambo con un 15% (*Ver literal 2.5.4. Resumen de la estimación de reducción de emisiones*).

La reducción de emisiones estimada para el periodo de acreditación respecto a los vehículos diesel convertidos a gas es de 30.34% mientras que el porcentaje de reducción de emisiones para los vehículos a gasolina es de 40.88%, es decir, se tiene un promedio global de 35.61% de reducción de emisiones de CO₂ para el período de acreditación del proyecto (*Ver literal 2.5.4. Resumen de la estimación de reducción de emisiones*).

1.4.5. Financiación pública de las actividades del Proyecto

El presupuesto que se muestra en la tabla 6, esta basado en la cotización realizada a ELITE gnv para conversión de vehículos diesel a gas (hecha el 24 de junio de 2009)

Condiciones de la empresa encargada de hacer la conversión vehicular (ELITE gnv):

Las conversiones de motores de 8 cilindros tienen un sobre costo del 20%, los estimados son de la siguiente manera:

Microbuses, Busetones y Busetas: Motores de 4 y 6 cilindros

Buses: Motores de 8 cilindros

Todos los vehículos convertidos se convierten bajo la norma técnica Colombiana según decreto 80582 del ministerio de minas y energía y certificados por Bureau Veritas, Icontec o Cotecna.

Todas las conversiones tienen garantía de 12 meses por defectos de fabricación de los equipos o por malas prácticas de instalación., el mal uso de los equipos o de manejo de los vehículos no están cubiertos por la garantía

Precio: Precios Unitarios en Pesos Colombianos.

Pago: 100% pago anticipado mediante consignación o transferencia bancaria.

Entrega del vehiculo: 8 días hábiles después de confirmación del pago.

Validez de la oferta: 30 días calendario a partir de la fecha.

Tabla 6. Presupuesto para conversión de un vehículo que funciona con diesel (motores de 4, 6 y 8 cilindros)

Partes	COSTO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Kit de conversión 4 y 6 cilindros	3.500.000	2.051'000.000
Trabajo de la culata	300.000	175'800.000
Trabajo de torno de los pistones	350.000	205'100.000
Anillos de Pistón	250.000	146'500.000
Empaquetadura de la Culata	180.000	105'480.000
TOTAL DE PARTES	4.580.000	2.683'880.000
Cilindros para GNC		
Cilindro de 100 L (25 m ³) presión de trabajo 3000 psi	1.200.000	703'200.000
Con válvula de cierre electrónica		
Costos de instalación		
6 Días 2 Técnicos	2.200.000	1.289'200.000
TOTAL (4-6 cilindros, 586 entre buseton, microbús, busetas)	7.980.000	4.676'280.000
TOTAL (8 cilindros, 30 buses. Sobre costo 20%)	9.576.000	287'280.000
TOTAL		4.963'560.000

Tabla 7. Presupuesto para conversión de un vehículo que funciona con gasolina (motores de 4, 6 y 8 cilindros)

	COSTO UNITARIO (\$)	NUMERO DE VEHICULOS	COSTO TOTAL (\$)
Sistema de aspiración			
Motor de 4 y 6 cilindros	2'500.000	38	95'000.000
Motor de 8 cilindros	3'100.000	0	
Sistema secuencial***			
Motor de 4 y 6 cilindros	4'200.000	38	159'600.000
Motor de 8 cilindros	4'800.000	0	
TOTAL			159'600.000

*** Se escoge este tipo de sistema por su mayor eficiencia y tecnología

Tabla 8. Presupuesto global para conversión del total de la flota estudiada

ITEM	COSTO (\$)
Conversión vehicular	
Conversión de vehículos Diesel a GNC	4.915'680.000
Conversión de vehículos gasolina a GNC	159'600.000
Subtotal conversión vehicular	5.075'280.000
Administración del Proyecto	507'528.000
Costos de asesorías profesionales	507'528.000
Costos de monitoreo	253'764.000
TOTAL	6.344'100.000

Según la tabla 8, el costo total del proyecto estimado, para la fecha, es de 6.344'100.000 de pesos (moneda corriente)

Con lo cual, los compromisos adquiridos por los entes financieros del proyecto, son los siguientes:

KfW Carbon Found: \$1.500'000.000

Aportes Sector Privado:

- Empresas de Transporte Público: \$1.345'000.000

Aportes Sector Público:

- Ministerios: \$2.000'000.000
- Corporación Autónoma Regional del Cauca y la Alcaldía Municipal: \$1.500'000.000

Un CER corresponde a la reducción de una tonelada de dióxido de carbono equivalente. La equivalencia corresponde al potencial de efecto invernadero de cada gas, y se expresa en unidades equivalentes de CO₂ (CO₂e) para efectos de simplicidad en los cálculos.

El precio de los CER'S, para el 26 de Junio del presente año, es de 13.40 Euros/tonelada CO₂e¹⁴ (40.784 pesos/tonelada)

Dineros q entran al proyecto por la venta de CER's: \$336'957.234 año

Recuperación de la inversión: 18.83 años

Duración total del proyecto: 7 años con posibilidad de 2 prorrogas de 7 años cada una, es decir, la inversión del proyecto se recupera en su totalidad con las actividades del mismo.

¹⁴ Point Carbon (Providing critical insights into energy and environmental markets) [En línea]. [Citado en 26 de junio de 2008]. Disponible en Internet <http://www.pointcarbon.com/>

2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LÍNEA BASE

2.1. Título y Referencia de la Metodología de Línea Base aprobada aplicada a la actividad del Proyecto

Título: Introducción de vehículos de baja emisión a vehículos de transporte público

Referencia: AMS-III.S.

Versión número: 01

Fecha: EB 36, Anexo 23, 30 de Noviembre de 2007

2.2. Justificación de la escogencia de la metodología y porque es aplicable a la actividad del Proyecto

Se visitaron cada una de las empresas dedicadas al transporte público de la ciudad, con el fin de recolectar la mayor cantidad de información contenida en las bases de datos actualizadas, del parque automotor de transporte público que funciona actualmente en la ciudad.

Se solicito a las empresas información tal como: identificación de las rutas de funcionamiento vehicular, el tipo y modelo de vehículos inscritos en las empresas, la cantidad de consumo de combustibles (Diesel y Gasolina), el número de recorridos (vueltas) diarios de los vehículos, el número promedio y total de pasajeros transportados por año (por ruta).

Debido a que las empresas en su gran mayoría, carecen de mucha información detallada del parque automotor como tal y su funcionamiento, se hicieron adecuaciones a la información obtenida para poder trabajar con ella.

La identificación de las rutas, incluyendo la distribución y las distancias, se determinaron por medio de mapas de Autocad suministrados por los ingenieros de vías, de la Universidad del Cauca, basados en estudios realizados por ellos en años anteriores.

Por razones de limitación de detalle en la información, además de las características del parque automotor de Popayán, en cuanto a su distribución, tamaño y tipo de vehículos; daban las condiciones óptimas para hacer un proyecto de pequeña escala, de esta forma se buscaron metodologías aprobadas por el IPCC para este tipo de proyectos y que además se acogiera a las condiciones existentes de la ciudad, y a los objetivos que se tenían propuestos de sustitución de combustible para reducción de emisiones de CO₂ vehicular.

Aunque hay varias metodologías, la que más se acerca a las condiciones específicas y a los objetivos planteados para la ciudad de Popayán es la referente a la “Introducción de vehículos de baja emisión a vehículos de transporte público”. Esta metodología tienen las siguientes especificaciones:

- Aplicación restringida a las actividades referentes al transporte comercial de pasajeros que funcionan con rutas identificadas (establecidas)
- Tipo de vehículos acogidos por esta metodología son autobuses (transporte público)

- Exige que no haya cambio en las condiciones de servicio de cada una de las rutas, ni un cambio perceptible de su tendencia natural, en las tarifas del servicio prestado.
- No incluye medidas para causar una interrupción modal del transporte (ej: cambio del sistema de autobús a un sistema de tren subterráneo)
- Los vehículos de bajas emisiones especificados en la metodología, funcionan con combustibles alternativos (biodiesel, gas natural, etc)

Esta condiciones y restricciones de la metodología coinciden en gran medida con la situación actual de la ciudad de Popayán, por esta razón se seleccionó la metodología señalada.

2.3. Descripción de las Fuentes y los Gases limitados en el proyecto

Fuentes:

Las fuentes generadoras de GEI, limitadas al estudio, son el parque automotor que actualmente consta de 654 vehículos de servicio público de pasajeros, pertenecientes a cuatro empresas de carácter privado, dentro de los cuales 171 pertenecen a la empresa TransLibertad, 118 a Sotracauca, 281 a TransPubenza y 84 a TransTambo. Estos vehículos están clasificados de acuerdo a la capacidad máxima de transporte de pasajeros, donde hay 30 Buses, 455 Microbuses, 8 Busetones y 161 Busetas. Los modelos de los vehículos están comprendidos entre 1977 y 2009.

De los vehículos que están actualmente en uso, un 94.2% funcionan con combustible Diesel y el otro 5.8% restante con Gasolina corriente, estos últimos son vehículos de motor de cuatro tiempos.

Los vehículos tienen rutas establecidas que cubren gran parte de la ciudad de Popayán, con distancias comprendidas entre 17.48 y 35.94 kilómetros, por lo general los vehículos hacen este tipo de recorridos entre 6 y 8 vueltas al día.

Gases limitados en el proyecto:

Dióxido de carbono (CO₂): gas incoloro e inodoro que existe naturalmente en la atmósfera de la tierra. Las emisiones de dióxido de carbono resultado de las actividades humanas, contribuyen con el 60% del incremento del efecto invernadero en el planeta (PNUMA, 2001). La mayor fuente de emisiones de este gas es la combustión de combustibles fósiles (carbón, gas natural, petróleo y sus derivados). La deforestación también es una fuente importante de dióxido de carbono, ya que libera el carbono contenido en la biomasa (IPCC, 2001b). Desde épocas pre-industriales (1750), la concentración de CO₂ en la atmósfera ha aumentado un 31% y las proyecciones establecen que en 2100 este incremento estará entre un 75% y 350%. Las concentraciones actuales de CO₂ en la atmósfera no tienen precedentes en los últimos 420.000 años (IPCC, 2001).

Metano (CH₄): es el hidrocarburo más abundante y estable en la atmósfera. La estimación mas reciente de su tiempo en la atmósfera es de 11 años (IPCC, 1993). Las reacciones químicas es las que participa dentro de la troposfera pueden llevar a la producción de ozono y la reacción con radicales hidroxilo (OH) en la estratosfera produce vapor de agua. Esto es importante, porque tanto el ozono como el vapor de agua son gases de invernadero, al igual que el CO₂ que es el producto final de la oxidación del metano. Lagunas fuentes antropogénicas importantes de metano son las operaciones en las minas de carbón, la producción de gas natural, los arrozales, la ganadería y la quema de biomasa; también se

forma metano por la descomposición bacteriana de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas.

Óxido nitroso (N₂O): es un importante gas de invernadero con una vida atmosférica de 110-168 años (WMO, 1992). Después de ser liberado es prácticamente inerte y rara vez participa en reacciones químicas en la troposfera.

Es la fuente principal de NO_x en la estratosfera, lo que está contribuyendo al agotamiento del ozono estratosférico. Más del 20% de las emisiones globales totales terrestres naturales de N₂O y el 50% de las emisiones totales de N₂ pueden deberse a emisiones terrestres naturales (IPCC, 1993). La fuente antropogénica más importante de N₂O es el aumento de uso de fertilizantes nitrogenados, otras fuentes potenciales son la combustión de combustibles fósiles y la quema de biomasa (Manuales de Programa de Inventario de Emisiones de México, 1997)

Tabla 9. Índices de poder de calentamiento global de los gases de efecto invernadero

Gas de efecto invernadero	Índices de poder de calentamiento global
Dióxido de carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	21
Óxido nitroso (N ₂ O)	310
Hidrofluorocarbonados (HFC)	140-11700
Perfluorocarbonados (PFC)	6500-9200
Hexafluoruro de azufre (SF ₆)	23900

Fuente: FONAM, Perú¹⁵

¹⁵ El cambio Climático y el Efecto Invernadero [En línea], Perú. [Citado en 23 de junio de 2008]. Disponible en Internet <http://www.fonamperu.org/general/mdl/cc.php>

2.4. Descripción de como es identificado el escenario de Línea base y la descripción de la Línea base identificada

El escenario de Línea Base para el proyecto, se identificó teniendo en cuenta las condiciones actuales de funcionamiento de transporte público en la ciudad y definiendo cuales son los problemas ambientales que afronta actualmente Popayán, de esta forma determinando cuales son los ocasionados por el uso de combustibles fósiles, como suministro de energía para el transporte colectivo urbano.

Se realizaron visitas a cada una de las empresas encargadas del transporte público en la ciudad, solicitando la información del parque automotor que estaba actualmente en funcionamiento y cuales eran las condiciones específicas de cada recorrido.

Posteriormente se procedió a la adecuación de la información recolectada para poder emplear la metodología aprobada por el IPCC para este tipo de proyectos, de igual forma la información recolectada en las empresas no era suficiente para cumplir con los requerimientos de la metodología, situación que nos llevó a basarnos en información utilizada en otros estudios con condiciones similares.

La línea base identificada hace referencia a que el parque automotor de transporte público de pasajeros esta conformado actualmente por 654 vehículos (ver descripción del parque automotor en las tablas 2, 3 y en las figuras 2, 3).

Las emisiones calculadas de CO₂, para la línea base producto del uso de Diesel son 25021.98 tCO₂/año y las ocasionadas por la Gasolina 984.52 tCO₂/año, hechos que nos determinan las condiciones ambientales actuales de la ciudad.

2.5. Reducción de Emisiones

2.5.1. Explicación de opciones metodológicas

Línea Base

Inicialmente se calcularon los factores de emisión de CO₂ por pasajero por kilómetro para cada vehículo de la línea base (BEFi). Este factor de emisión se determina utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 1:

$$BEF_i = \frac{\sum_j \sum_I D_i * \eta_{BLV_i} * NCV_j * EF_{CO_2,j}}{P_i * dp_i}$$

Donde:

BEFi: El factor de emisión de Línea base por kilómetro para el vehículo de línea base i (Km tCO₂/pasajeros)

Pi: Total de pasajeros anuales transportados por cada vehículo de línea base i (pasajeros)

dpi: La distancia promedio anual de transporte por persona por cada vehículo de línea base i (Km)

Di: Distancia Total viajada por cada vehículo de línea base i (Km)

- η_{BLVi} : Eficiencia del combustible utilizado por cada vehículo de línea base i
(cantidad de combustible/Km)
- NCV_j : Valor calorífico neto o capacidad calorífica del combustible j (MJ/
cantidad de combustible)
- $EF_{CO_2, j}$: Factor de emisión de CO_2 de j combustible usado por el vehículo de
línea base (t CO_2 /contenido de energía del combustible).

Posteriormente se calcularon los valores de emisiones totales para la línea base, utilizando la ecuación 2:

Ecuación 2:

$$BE_y = \sum P_{i,y,k} * BEF_i * dp_{i,y}$$

Donde:

- $P_{i,y,k}$: Total de "k" pasajeros anuales transportados por cada vehículo de
proyecto "i", en año "y", sobre "k" ruta
- BE_y : Emisiones de línea base Totales en el año "y" (t CO_2 /año)
- $dp_{i,y}$: Distancia Anual promedio de transporte por vehículo de proyecto "i" en
año "y" (kilómetro)

Emisiones de la Actividad del Proyecto

Las emisiones de la actividad del proyecto son determinadas dependiendo del consumo de combustible consumido por los vehículos, según la ecuación 3:

Ecuación 3:

$$PE_y = \sum_j \sum_i FC_{i,j,y} * NCV_j * EF_{CO_2,j}$$

Donde:

PE_y: Emisiones totales de proyecto en año y (tCO₂/año)

FC_{i,j,y}: Consumo de j combustible por vehículo i en año y (cantidad de combustible)

NCV_j: El valor calorífico neto de j de combustible

EF_{CO₂,j}: El factor de emisión de CO₂ de combustible usado por el vehículo de línea base (tCO₂/el contenido de energía del combustible).

2.5.2. Datos y parámetros disponibles para la validación

Tabla 10. Datos y parámetros para validación

Dato / Parámetro:	Total de pasajeros/año	Distancia recorridos por rutas	Consumo de combustibles utilizados	Eficiencia de combustibles	Poder calorífico de los combustibles	Factor de emisión de CO₂	Equivalente energético entre combustibles	Consumo de GNC
Unidad Dato:	Pasajeros	Kilómetro	Galones ACPM y Gasolina	Galón/Km	MJ/Unidad de volumen (galón o m ³)	tCO ₂ /MJ	Galón / m ³	m ³
Descripción:	Cantidad transportado anualmente por los vehículos	Distancias de las rutas por el número de vueltas promedio diarias	Consumo de combustible de cada vehículo de cada empresa	Consumo de combustible por cada kilómetro recorrido	Cantidad de energía contenida por unidad de volumen de los combustibles	Cantidad de CO ₂ emitido por cada unidad energética del combustible	Equivalente energético	Consumo de combustible de cada vehículo de cada empresa
Fuente del dato usado:	Cada empresa de transporte	Mapas de rutas. Diseñado por UNICAUCA	Cada empresa de transporte	Calculo propio	Propiedades de los combustibles colombianos (Gasolina ¹⁶ , Diesel ¹⁷ y GNV ¹⁸)	EIA – Energy information Administration U.S. Government ¹⁹	Calculo propio	Calculo propio

¹⁶ Ingeniería civil y Medio Ambiente [En línea], Colombia. [Citado en 19 de julio de 2008]. Disponible en Internet www.miliarium.com/prontuario/tablas/normasmv/tabla2-3.htm

¹⁷ Comisión reguladora de energía [En línea], México. [Citado en 10 de mayo de 2009]. Disponible en Internet <http://www.cre.gob.mx/registro/resoluciones/1996/res05296.pdf>

¹⁸ Sistema de Información de petróleo y gas colombiano [En línea], Colombia. [Citado en 22 de mayo de 2009]. Disponible en Internet www.sip.gov.co/cupos/documentos/precio_combustibles/2001/bltjul_2001pdf

Dato / Parámetro:	Total de pasajeros/año	Distancia recorridos por rutas	Consumo de combustibles utilizados	Eficiencia de combustibles	Poder calorífico de los combustibles	Factor de emisión de CO₂	Equivalente energético entre combustibles	Consumo de GNC
Valor aplicado:	Diferentes, dependiendo de la empresa y de las rutas	Diferentes, dependiendo de la empresa y de las rutas	Dependiendo de cada empresa y vehículo	Dependiendo de los consumos de combustible y las distancias de las rutas	Diesel: 147.65 Gasolina:124.72 GNC: 37.67	Diesel: 6.93 *10 ⁻⁵ Gasolina: 6.72 *10 ⁻⁵ GNC: 5.03 * 10 ⁻⁵	1 gal Diesel : 4.55 m ³ GNC 1 Gal gasolina: 3.83 m ³ GNC	Dependiendo de cada empresa y vehículo
Justificación de los datos o descripción de métodos de medida y los procedimientos aplicados realmente :	Los registros internos de cada empresa.	Mapas en Autocad	Los registros internos de cada empresa.	Calculados a partir de las distancias y el consumo de combustible	Valores para los combustibles colombianos	Valores para los combustibles colombianos	Valores necesarios para poder hacer los cálculos de consumo de GNC al hacer la sustitución de combustible	Consumo de GNC equivalente A los consumos actuales de Diesel y Gasolina respectivamente
Comentarios:								

¹⁹ EIA – Energy information Administration. Official Energy Statistics from the U.S. Government [En línea], Estados Unidos. [Citado en 22 de mayo de 2009]. Disponible en Internet <http://www.eia.doe.gov/>

2.5.3. Cálculo de las reducción de emisiones

CALCULO MODELO

Para la empresa Sotracauca:

Vehículo 1: Distancia Total (Di) = 59141 km/año

Cantidad de combustible (Diesel) = 3623.97 galones /año

Cantidad de combustible (GNC) = (3623.97 * 4.55) = 16489.08m³/año

Número de pasajeros (Pi) = 6520 pasajeros/año

Distancia promedio por pasajero (dpi) = 9.07 km/año

Eficiencia (BLVi) = 0.061

Para el Diesel:

Capacidad calorífica (NCV_j) = 147.65 MJ/gal

Factor de emisión CO₂ (FE_{CO2}) = 6.93x10⁻⁵ tCO₂/MJ

Para el GNC:

Capacidad calorífica (NCV_j) = 29.25 MJ/m³

Factor de emisión CO₂ (FE_{CO2}) = 5.03x10⁻⁵ tCO₂/MJ

Aplicación de la ecuación 1:

$$BEFi = \frac{(59141 * 0.061 * 147.65 * 6.93 \times 10^{-5})}{(6520 * 9.07)} = 6.27 * 10^{-4} \text{ Km tCO}_2/\text{pasajero}$$

Ecuación 2:

$$BEy = (6520 * 6.27 * 10^{-4} * 9.07) = 37.08 \text{ tCO}_2/\text{año}$$

Ecuación 3:

$$PEy = (16489.08 * 29.25 * 5.03 \times 10^{-5}) = 24.26 \text{ tCO}_2/\text{año}$$

EL consumo de combustible, en este caso de GNC, se calculó por medio de los equivalentes energéticos entre el diesel, la gasolina y el GNC. En el caso del Diesel y el GNC, el cálculo se realizó de la siguiente manera:

1. Calculo de la densidad de los combustibles en condiciones estándar

$$\rho_{ACPM} = 800 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{Gasolina} = 680 \text{ Kg/m}^3$$

Se asume un comportamiento de gas ideal para al GNV, entonces:

$$\rho_{GNV_{gas\ ideal}} = 0.65 \text{ Kg/m}^3$$

2. Valores de LHV (Low Heating Value)

$$LHV_{ACPM} = 44 \text{ MJ/Kg}$$

$$LHV_{GNV} = 45 \text{ MJ/Kg}$$

$$LHV_{Gasolina} = 43.5 \text{ MJ/Kg}$$

3. Cantidad de energía por unidad de volumen

$$\rho * LHV = \text{Energía} / \text{Volumen}$$

- ACPM = 35200 MJ/m³
- GNV = 29.25 MJ/m³
- Gasolina = 29580 MJ/m³

4. Calculo del equivalente energético

$$ACPM/GNV = 35200/29.25 = 1203.42$$

Es decir, 1m³ ACPM \cong 1203.42m³ GNV

$$\text{Gasolina/GNV} = 29580/29.25 = 1011.28$$

Es decir, 1m^3 gasolina $\cong 1011.28\text{m}^3$ GNV

5. Por cada unidad de volumen de GNV, cuantos galones de ACPM y de Gasolina se necesitan

$$\frac{1203.42 \text{ m}^3 \text{ GNV}}{1 \text{ m}^3 \text{ ACPM}} * \frac{1 \text{ m}^3 \text{ ACPM}}{264.17 \text{ gal ACPM}} = 4.55 \text{ m}^3 \text{ GNV/gal ACPM}$$

$$\frac{1011.28 \text{ m}^3 \text{ GNV}}{1 \text{ m}^3 \text{ Gasolina}} * \frac{1 \text{ m}^3 \text{ Gasolina}}{264.17 \text{ gal Gasolina}} = 3.83 \text{ m}^3 \text{ GNV/gal ACPM}$$

Resumiendo:

$$1 \text{ galón de ACPM} \cong 4.55 \text{ m}^3 \text{ GNV}$$

$$1 \text{ galón de Gasolina} \cong 3.83 \text{ m}^3 \text{ GNV}$$

La reducción de emisiones se calcula haciendo la diferencia entre las emisiones totales de la línea base y las emisiones totales de las actividades del proyecto.

$$\text{Reducción: } \text{BEy} - \text{PEy} = 37.08 - 24.26 = 12.82 \text{ tCO}_2/\text{año}$$

Se reducen 12.82 tCO_2 al año, por el hecho de hacer la sustitución de combustible en este vehículo.

De esta forma se continuó haciendo los cálculos para cada uno de los vehículos y de cada una de las empresas, objeto de estudio.

2.5.4. Resumen de la estimación de reducción de emisiones

Tabla 11. Resumen de las emisiones antes y después de la implementación del proyecto

EMPRESA		SOTRACAUCA	TRANSPUBENZA	TRANSLIBERTAD	TRANSTAMBO
#VEHÍCULOS		118	243 Diesel 38 Gasolina	171	84
BEFi Factor de emisión de CO2 Km/Pasajero	Emisiones Diesel	0.09	0.18	89.24	0.02
	Emisiones Gasolina		0.019		
EMISIONES TOTALES LB (tCO ₂ /MJ)	Emisiones Diesel	5033.89	8889.86	7385.38	3712.86
	Emisiones Gasolina		984.52		
EMISIONES TOTALES ACTIVIDAD DEL PROYECTO (tCO ₂ /MJ)	Emisiones Diesel/GNC	3400.67	7487.81	3145.56	3128.36
	Emisiones Gasolina/GNC		852		
REDUCCION DE EMISIONES (%)		32.44	15.77 Diesel 40.88 Gasolina	57.41	15.74

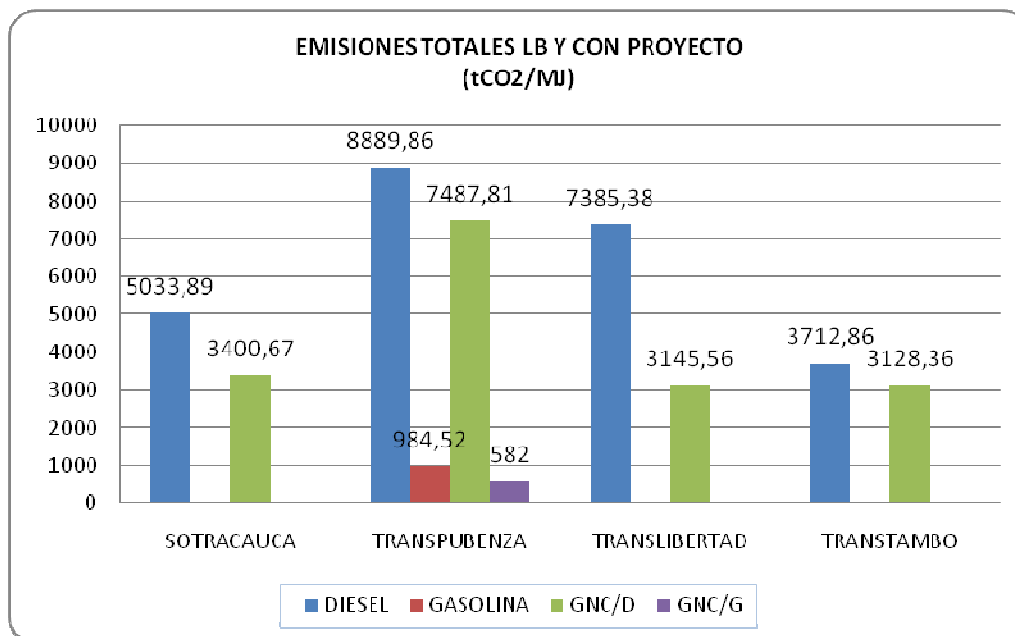


Figura 13. Emisiones totales de CO₂ en la línea base y con las actividades del Proyecto

Las emisiones totales de CO₂ en la línea base y con las actividades del proyecto, calculadas para cada empresa, que se muestran en la figura 4, la variabilidad apreciable en las emisiones de cada empresa se debe a los recorridos, las cantidades pasajeros y el consumo de combustible. Las condiciones de funcionamiento de los vehículos son diferentes, entre las empresas e incluso dentro de la misma empresa entre las rutas, es decir, la cantidad de gente transportada por cada vehículo y las distancias de los recorridos son específicos para cada ruta y cada empresa, además de los consumos de combustible. Los mayores valores en las emisiones de CO₂ se observan en la empresa TransPubenza, ya que esta, además de ser la que tiene mayor cantidad de vehículos, tiene las rutas más concurridas, o más utilizadas por la gente en la ciudad y la distribución de las rutas cubren gran parte de la ciudad; en la información recolectada de la cantidad de pasajeros transportados anualmente por

esta empresa, se notó que es casi el doble de los transportados por las otras empresas. Seguida de la empresa TransLibertad, Sotracauca y por ultimo, mostrando las menores emisiones esta la empresa TransTambomo; esta situación se ve reflejada en la figura 5, con la participación porcentual de las empresas a las emisiones totales de CO₂, donde la empresa con mayor participación es TransPubenza con un 36% y la de menor participación es TransTambo con un 15%.

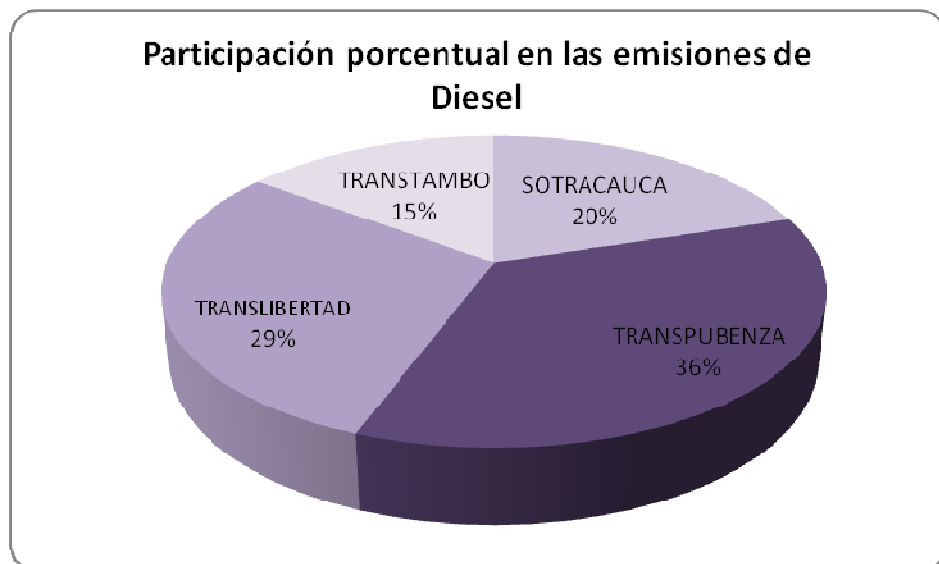


Figura 14. Participación porcentual de las empresas en las emisiones de CO₂ (Diesel)

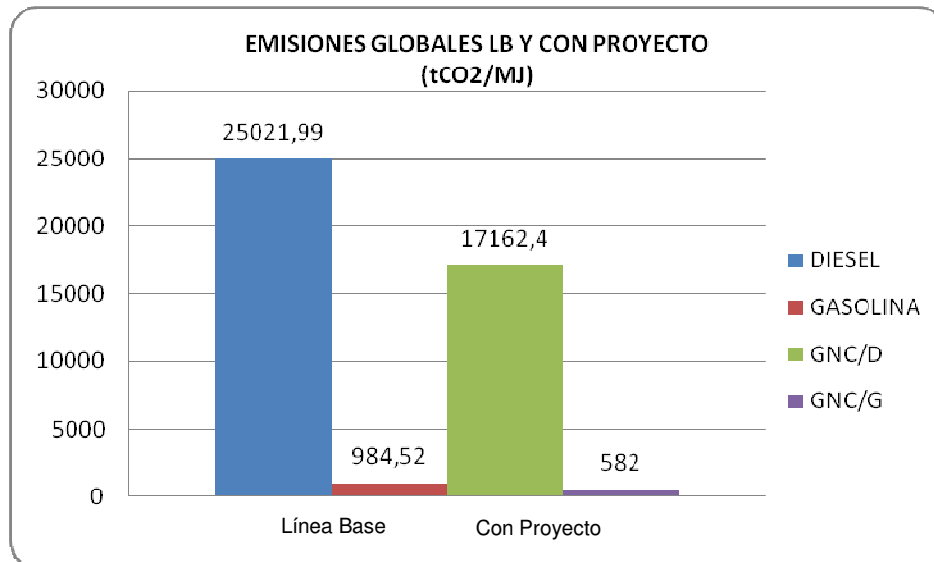


Figura 15. Emisiones globales de CO₂ en LB y con proyecto

La figura 6, es producto de la suma de las cuatro empresas, muestra las emisiones globales totales, tanto para la línea base como para cuando se ejecuten las actividades del proyecto. Las emisiones de CO₂, producidas por los vehículos diesel son bastante mayores que las producidas por los vehículos que funcionan gasolina, esto es debido basicamente a dos razones principales, a primera es porque hay mayor número de vehículos que funcionan a diesel, el 94.2% de la flota de estudio trabaja con este tipo de combustible, mientras que el 5.8% es a gasolina; por otro lado, por las características propias de los combustibles en cuanto a la pureza, la composición química, y los poderes caloríficos, siempre el diesel contamina más, es decir, emite mas contaminantes de diferentes tipos (partículas y gases) que la gasolina.

Al hacer la sustitución de combustible, en ambos casos, se observa una reducción de las emisiones de CO₂ bastante considerables, aunque se guardan de cierta manera las proporciones, siendo mayor las emisiones para los vehículos diesel convertidos a gas (GNC/D).

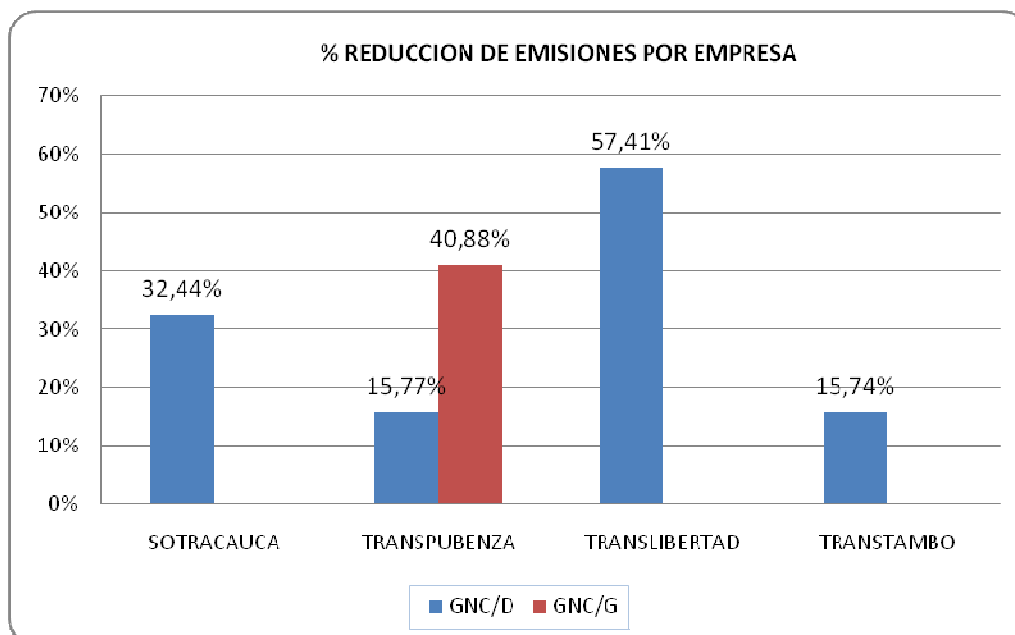


Figura 16. Porcentaje de reducción de emisiones de CO₂ por empresa

A pesar de ser TransLibertad, la empresa con los segundos mayores volúmenes de contaminación, muestra el mayor porcentaje de reducción de emisiones al hacer la sustitución de combustible, aunque es difícil dar una justificación a esta situación, lo más probable es que sea debido a los consumos de combustible ya que como en anteriores ocasiones se mencionó, los consumos de combustible variaba entre las empresas, no hay un parámetro de comparación del comportamiento del consumo de los vehículos entre las empresas ni las marcas.

En cuanto al porcentaje de reducción de emisiones de TransPubenza es bajo por los consumos de combustible producto de los grandes recorridos que hace la empresa.

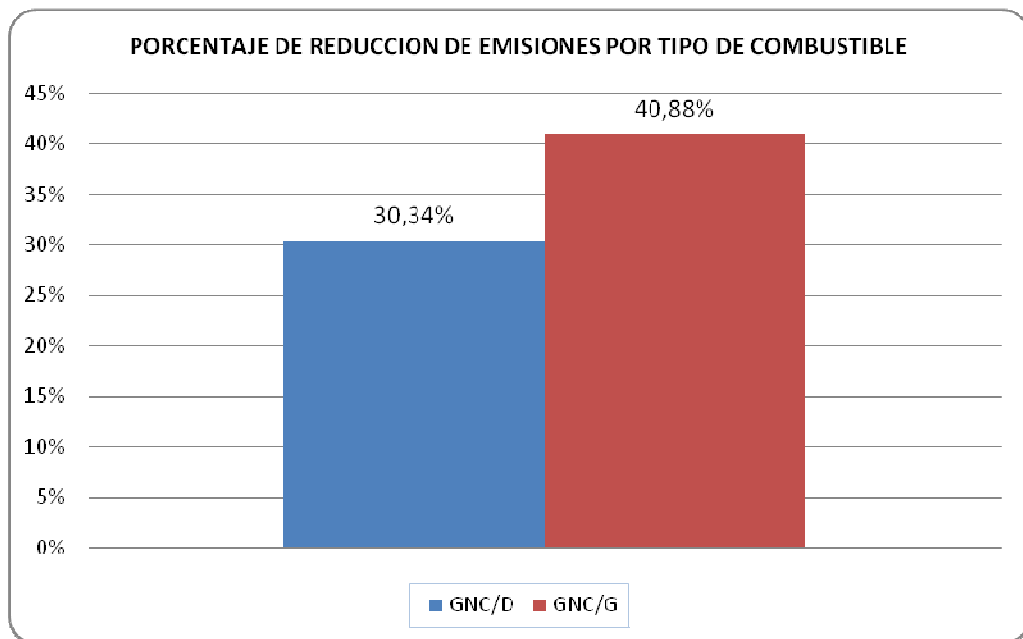


Figura 17. Porcentaje de reducción de emisiones, por tipo de combustible

Lo positivo de estos resultados es que la reducción de las emisiones independientemente de las empresas y del combustible, es bastante mayor del 20% y se encuentra dentro de los valores esperados según algunos reportes existentes de las empresas que hacen la conversión de los vehículos.

2.6. Aplicación de la metodología de monitoreo y descripción del plan de monitoreo

2.6.1. Datos y parámetros de monitoreo

Tabla 12. Datos y parámetros de monitoreo

Abreviación	Ítem, Unidad	Método de monitoreo/ Ítem
$DTPJ,i,y,k$	Distancia total viajada por el vehículo "i" en el año "y" en la ruta "k" (Km/año)	Registros conducidos y mapas de rutas, confirmados con lecturas odométricas
η_{BLVi}	Eficiencia del vehículo de la línea base (km/cantidad de combustible)	Registros de las empresas en cuanto a distancias recorridas (rutas) y los consumos de combustible
FCi,j,y ECi,y	Consumo del combustible "j" (o electricidad) por el vehículo "i", en el año "y" (cantidad de combustible o electricidad consumida)	La compra o registros de consume, el valor mas alto es tomado para asegurar la conservación
$NCVj$	Valor calorífico neto del combustible "j" (energía contenida en el combustible/cantidad de combustible)	Valores específicos del país o del IPCC
$EFCO2,j$ $EFelec$	Factor de emisión del combustible o electricidad usada por el vehículo de la línea base (tCO ₂ /contenido de energía del combustible)	Valores específicos del país o del IPCC
Pi	Total de pasajeros transportados anualmente por cada vehículo de la línea base	Datos supervisados antes de la iniciación del proyecto
Pi,y,k	Total de pasajeros anuales transportados por cada vehículo del proyecto en el año "y" y sobre la ruta "k"	Datos supervisados durante el proyecto
Di	Distancia total anual viajada por cada vehículo de la línea base	Datos supervisados antes del inicio del proyecto
Dpi	Distancia promedio anual transportada por persona para cada vehículo de la línea base	Supervisado por registros de la empresa
dpi,y	Distancia promedio anual transportada por persona para cada vehículo "i" del proyecto	Supervisado por registros de la empresa
Dk,y	Distancia de la ruta "k" para el año "y"	Supervisado por registros de la empresa
SLk,y	Nivel de servicio en términos del total de pasajeros en la ruta "k" y en el año "y"	Supervisado para cada ruta de cada empresa Ej. Registros del conductor y mapas de rutas, más ingresos por ventas
$SLBL,k$	Nivel de servicio, en términos del total de pasajeros en la ruta "k", antes y después del proyecto	Determinado por los registros de las compañías Ej. Registros del conductor y mapas de rutas, más ingresos por ventas

2.6.2. Descripción del Plan de Monitoreo

Para el monitoreo se pretende analizar los niveles de emisión generados en la combustión de motores GNC, garantizando permanentemente los niveles de reducción de contaminantes atmosféricos respecto a motores convencionales.

Debido a los costos del proyecto es conveniente utilizar la metodología de los factores de emisión ($EF_{CO_2,j}$), ya que el gas natural no representa problemas de residuos ni contaminantes por combustión incompleta, como se generan en motores de gasolina y diesel, además es una de las formas más económicas y precisas de calcular un máximo de emisiones, por el consumo total del GNC mensual y anual ($FC_{i,j,y}$), además de los niveles de servicio de los vehículos, en cuanto a las distancias de los recorridos ($D_i, D_{k,y}$) y al número de pasajeros transportados ($SL_{k,y}, SL_{L,k}$).

Por lo tanto el plan de monitoreo es mantener estadísticas de consumo en todas las estaciones de servicio ($FC_{i,j,y}$) GNC de la ciudad y calcular mediante los factores de emisión, los niveles de CO₂ mensuales y anuales por toneladas.

Controlar periódicamente mediante centros de diagnóstico Automotor, las emisiones generadas por mal funcionamiento y deterioro de las partes mecánicas de los motores a GNC. Este diagnóstico se realizará para cada uno de los vehículos, cuantificando su evolución y progreso en cuanto a consumo de combustible y emisiones producidas.

Realizar encuestas a las empresas para determinar rendimiento, economía y comparación del nuevo sistema respecto al tradicional, para conocer el punto de vista de la gente como un indicador de la eficiencia del proceso.

2.7. Fecha de terminación de la aplicación del estudio de la Línea base y la metodología de monitoreo y el nombre de las personas/entidades responsables

Fecha aplicación de la Línea Base: 20 Septiembre de 2008

Aplicación de la metodología de monitoreo: A partir de la puesta en marcha del proyecto

Responsables:

- CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
Subdirección de Gestión Ambiental
Ingeniera Lourdes Ximena
Técnica Amalia Alegría Córdoba
Teléfono: 8203232 - 8203243
Dirección: carrera 7 1N – 28 Edif. Edgar Negret Dueñas

**3. DURACION DE LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO / PERIODO
ACREDITADO**

3.1. Duración de las actividades del proyecto

3.1.1. Fecha de iniciación de las actividades del proyecto

20 Septiembre de 2008

3.1.2. Expectativa de vida operacional del proyecto

7 Años con posibilidad de solicitud de dos prórrogas (7 años cada una)

4. IMPACTOS AMBIENTALES

4.1. Documentación del análisis de impactos ambientales

Antes de la implementación del Proyecto

Los principales contaminantes generados por la combustión en motores vehiculares son los óxidos de nitrógeno, los de azufre, el dióxido de carbono, el ozono y el material particulado. Los Óxidos de Azufre (SO_x) se producen por combustión de combustibles fósiles (carbón y petróleo) en motores, plantas generadoras de electricidad y procesos industriales. De la combustión de derivados del petróleo pesados (Fuel, Gasoil, etc.) proviene el 75% de las emisiones de óxido de azufre, el cual (SO_2) tiene una importante capacidad para reaccionar con otros contaminantes. El Material Particulado (PM_{10}) es el único contaminante atmosférico que no tiene composición química definida, teniendo como componentes principales: polvo, hollín, plomo, sulfatos e hidrocarburos. Sus fuentes principales son los vehículos, los procesos industriales y la calefacción de residencias.

La línea base del estudio muestra que las emisiones de CO_2 , producidas anualmente por el funcionamiento de los vehículos de transporte público en la ciudad que actualmente utilizan combustibles fósiles, son elevadas para una ciudad con las características de ubicación y desarrollo con las que cuenta Popayán. Los valores de emisión de CO_2 en cuanto al uso de vehículos a diesel es de 25021.99 tCO_2/MJ y a los vehículos a gasolina es de 984.52 tCO_2/MJ , los valores de emisión de los vehículos diesel son bastante mayores a los de gasolina debido a que los primeros están en mayor proporción (94.2%) frente a un 5.8% a

los de gasolina, además de las características de los combustibles (Ver ítem 2.5.4).

Impactos ambientales después de la implementación del Proyecto²⁰

El gas natural es una alternativa muy interesante, debido a la insignificante emisión de partículas y a la nula emisión de SO₂ que es el contaminante con mayor incidencia en la formación de la lluvia ácida.

Las emisiones de CO₂, producto del uso del GNV, para el período de acreditación del proyecto de los vehículos diesel convertidos, es de 17162.4 tCO₂/año y de los vehículos a gasolina convertidos es de 582 tCO₂/año. Siendo así, la reducción de emisiones estimada para el periodo de acreditación respecto a los vehículos diesel convertidos a gas es de 30.34% mientras que el porcentaje de reducción de emisiones para los vehículos a gasolina es de 40.88%, es decir, se tiene un promedio global de 35.61% de reducción de emisiones de CO₂ para el período de acreditación del proyecto (*Ver literal 2.5.4. Resumen de la estimación de reducción de emisiones*).

Esto dará a la ciudad unas condiciones de vida mejores en cuanto a la propensión de enfermedades respiratorias a las cuales se encuentra expuesta hoy en día, ocasionadas básicamente por la emisión de contaminantes atmosféricos producto del uso de combustibles fósiles.

²⁰ Quince mil vehículos convertidos a GNV: IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE GAS NATURAL VEHICULAR [En línea], Colombia. [Citado en 4 de Mayo de 2009]. Disponible en Internet <http://www.mintransporte.gov.co/prensa/online/noticia.asp?titulo=Quince+mil+veh%EDculos+convertidos+a+GNV%3A+IMPLEMENTACION+DEL+SISTEMA+DE+GAS+NATURAL+VEHICULAR+VA+SOBRE+RUEDAS>

Efectos económicos: Las tarifas de venta al público de GNV está reglamentada por Resolución del Ministerio de Minas 8-2035 de agosto de 1995. Esta resolución refiere el precio del GNV como el 60% del precio de un galón de gasolina corriente SIN SOBRETASA en calorífica de un galón de gasolina, es decir, hay un ahorro mínimo del 50% respecto a la gasolina.

Hay disminución en los costos de operación del vehículo, menor desgaste del motor y períodos mas largos para los cambios de aceite.

Se cuenta con una seguridad energética, debido a que el recurso es propio de Colombia con reservas probadas para más de 20 años, con probabilidades de incrementarse, gracias a las exploraciones que están haciendo en la costa Atlántica

CONCLUSIONES

- ✓ Utilizando la metodología aprobada por el IPCC para la determinación de las concentraciones del CO₂ de la línea base para Popayán, se encontró, que las emisiones vehiculares, producto del uso de combustibles fósiles, actualmente son del orden de 25021.99 tCO₂/año para los vehículos que funcionan a Diesel y 984.52 tCO₂/año para los de Gasolina, teniendo una participación en las emisiones totales del 94.2% y 5.8% respectivamente.

- ✓ Según la estimación de emisiones de CO₂ vehicular, en el momento de la implementación de las actividades del proyecto, se espera una reducción global del 35.61%, en donde los vehículos convertidos que hacen mayor aporte a dicha reducción son los que utilizaban Gasolina con un 40.88%. De esta forma la reducción de las emisiones vehiculares con la implementación del proyecto aportan en gran medida al desarrollo sostenible de la ciudad.

- ✓ Para este tipo de proyectos es importante hacer uso de las metodologías establecidas y aprobadas por el IPCC, tanto para la determinación de las emisiones del línea base y las emisiones con la implementación de las actividades del proyecto, como para el diseño de los documentos requeridos (PIN, PDD). Garantizando así la obtención de la Carta de Respaldo y la Carta de Aprobación Nacional.

- ✓ Para la implementación del proyecto se debe hacer una inversión inicial de 6.344 millones de pesos, que con la venta de los CER's y el ahorro de

combustible por parte de las empresas de transporte, se espera recuperar el total de la inversión en un periodo menor al acreditado para el proyecto, se espera que la recuperación se haga en un lapso de tiempo no mayor a los 18 años.

RECOMENDACIONES

- Es importante que los entes gubernamentales y privados estén interrelacionados, y que exista una comunicación constante.

- Las empresas encargadas del transporte público en la ciudad, deberían hacer una unificación de la información por medio de formatos, sistematizando la información, que de esta forma faciliten el desarrollo de diferentes estudios.

- El aire, es un recurso que en el país no es muy estudiado, debido a principalmente a las características que este tiene, además las tecnologías utilizadas para el estudio de este campo implican altos costos y la información es escasa, pero basados en la importancia que tiene este recurso en el desarrollo de la vida del planeta, es de gran relevancia que los futuros ingenieros ambientales hagan su aporte y desde la Universidad se construyan proyectos orientados hacia este recurso y se busque la financiación de los mismos a través de las diferentes opciones disponibles.

ANEXOS

**ANEXO 1. INFORMACIÓN DE LOS PARTICIPANTES EN LAS ACTIVIDADES
DEL PROYECTO**

Organización:	Corporación Autónoma Regional del Cauca - CRC
Dirección:	Carrera 7 1N – 28 Edif. Edgar Negret Dueñas
Ciudad	Popayán
Estado/Región	Cauca
Código postal	
País	Colombia
Teléfono	8203232 - 8203243
FAX:	
e-mail:	
Representado por	
Título	Director
Apellido	Guevara
Nombre	Jesús Hernán
Departamento	
Celular	
Fax directo	
Teléfono directo	
e-mail personal	

Organización:	SOTRACAUCA
Dirección:	Carrera 9 # 60 N 113
Ciudad	Popayán
Estado/Región	Cauca
Código postal	
País	Colombia
Teléfono	
FAX:	
e-mail:	
Representado por	
Título	Gerente
Apellido	Medina
Nombre	Carlos Alberto
Departamento	
Celular	
Fax directo	
Teléfono directo	
e-mail personal	

Organización:	TRANSPUBENZA
Dirección:	
Ciudad	Popayán
Estado/Región	Cauca
Código postal	
País	Colombia
Teléfono	
FAX:	
e-mail:	
Representado por	
Título	Gerente
Apellido	Villamarin Ordoñez
Nombre	Antonio
Departamento	
Celular	
Fax directo	
Teléfono directo	
e-mail personal	

Organización:	TRANSLIBERTAD
Dirección:	Calle 5 # 50 - 195
Ciudad	Popayán
Estado/Región	Cauca
Código postal	
País	Colombia
Teléfono	
FAX:	
e-mail:	
Representado por	
Título	Gerente
Apellido	Campo
Nombre	Jorse Alexander
Departamento	
Celular	
Fax directo	
Teléfono directo	
e-mail personal	

Organización:	TRANSTAMBO
Dirección:	Calle 4 # 17 - 49
Ciudad	Popayán
Estado/Región	Cauca
Código postal	
País	Colombia
Teléfono	8211022
FAX:	
e-mail:	
Representado por	
Título	Gerente
Apellido	Isdirh Achinte
Nombre	Jairo Jair
Departamento	
Celular	
Fax directo	
Teléfono directo	
e-mail personal	

ANEXO 2. INFORMACIÓN FINANCIERA PÚBLICA

El presupuesto que se muestra en la tabla 6, esta basado en la cotización realizada a ELITE gnv para conversión de vehículos diesel a gas (hecha el 24 de junio de 2009)

Condiciones de la empresa encargada de hacer la conversión vehicular (ELITE gnv):

Las conversiones de motores de 8 cilindros tienen un sobre costo del 20%, los estimados son de la siguiente manera:

Microbuses, Busetones y Busetas: Motores de 4 y 6 cilindros

Buses: Motores de 8 cilindros

Todos los vehículos convertidos se convierten bajo la norma técnica Colombiana según decreto 80582 del ministerio de minas y energía y certificados por Bureau Veritas, Icontec o Cotecna.

Todas las conversiones tienen garantía de 12 meses por defectos de fabricación de los equipos o por malas prácticas de instalación., el mal uso de los equipos o de manejo de los vehículos no están cubiertos por la garantía

Precio: Precios Unitarios en Pesos Colombianos.

Pago: 100% pago anticipado mediante consignación o transferencia bancaria.

Entrega del vehiculo: 8 días hábiles después de confirmación del pago.

Validez de la oferta: 30 días calendario a partir de la fecha.

Tabla 6. Presupuesto para conversión de un vehículo que funciona con diesel (motores de 4, 6 y 8 cilindros)

Partes	COSTO (\$)
Kit de conversión 4 y 6 cilindros	3.500.000
Trabajo de la culata	300.000
Trabajo de torno de los pistones	350.000
Anillos de Pistón	250.000
Empaquetadura de la Culata	180.000
TOTAL DE PARTES	4.580.000
Cilindros para GNC	
Cilindro de 100 L (25 m ³) presión de trabajo 3000 psi	1.200.000
Con válvula de cierre electrónica	
Costos de instalación	
6 Días 2 Técnicos	2.200.000
TOTAL (4-6 cilindros)	7.980.000
TOTAL (8 cilindros)	9.576.000
Parque automotor 4-6 cilindros (586 entre Buseton, microbus, buseta)	4.676'280.000
Parque automotor 8 cilindros (30 buses. Sobrecosto 20%)	287'280.000
TOTAL	4.963'560.000

Tabla 7. Presupuesto para conversión de un vehículo que funciona con gasolina (motores de 4, 6 y 8 cilindros)

	COSTO UNITARIO (\$)	NUMERO DE VEHICULOS	COSTO TOTAL (\$)
Sistema de aspiración			
Motor de 4 y 6 cilindros	2'500.000	38	95'000.000
Motor de 8 cilindros	3'100.000	0	
Sistema secuencial***			
Motor de 4 y 6 cilindros	4'200.000	38	159'600.000
Motor de 8 cilindros	4'800.000	0	
TOTAL			159'600.000

*** Se escoge este tipo de sistema por su mayor eficiencia y tecnología

Tabla 8. Presupuesto global para conversión del total de la flota estudiada

ITEM	COSTO (\$)
Conversión vehicular	
Conversión de vehículos Diesel a GNC	4.915'680.000
Conversión de vehículos gasolina a GNC	159'600.000
Subtotal conversión vehicular	5.075'280.000
Administración del Proyecto	507'528.000
Costos de asesorías profesionales	507'528.000
Costos de monitoreo	253'764.000
TOTAL	6.344'100.000

Según la tabla 8, el costo total del proyecto estimado, para la fecha, es de 6.344'100.000 de pesos (moneda corriente)

Con lo cual, los compromisos adquiridos por los entes financieros del proyecto, son los siguientes:

KfW Carbon Found: \$1.500'000.000

Aportes Sector Privado:

- Empresas de Transporte Público: \$1.345'000.000

Aportes Sector Público:

- Ministerios: \$2.000'000.000
- Corporación Autónoma Regional del Cauca y la Alcaldía Municipal: \$1.500'000.000

Un CER corresponde a la reducción de una tonelada de dióxido de carbono equivalente. La equivalencia corresponde al potencial de efecto invernadero de cada gas, y se expresa en unidades equivalentes de CO₂ (CO₂e) para efectos de simplicidad en los cálculos.

El precio de los CER'S, para el 26 de Junio del presente año, es de 13.40 Euros/tonelada CO₂e²¹ (40.784 pesos/tonelada)

Dineros q entran al proyecto por la venta de CER's: \$336'957.234 año

Recuperación de la inversión: 18.83 años

Duración total del proyecto: 7 años con posibilidad de 2 prorrogas de 7 años cada una, es decir, la inversión del proyecto se recupera en su totalidad con las actividades del mismo.

KfW Carbon Found²²

Este Fondo ha sido diseñado como un programa de compras para todo tipo de proyectos basados en certificados de emisión. Los participantes en el Fondo son principalmente empresas y otras entidades público/privadas cuyo estatus financiero es considerado suficiente para tomar parte el programa de adquisición. Por estatus financiero se considera empresas con grado de inversión. La adquisición de CERs es realizada a nombre del KfW para las cuentas individuales

²¹ Point Carbon (Providing critical insights into energy and environmental markets) [En línea]. [Citado en 26 de junio de 2008]. Disponible en Internet <http://www.pointcarbon.com/>

²² JIMENEZ MORI, R., Mecanismo de desarrollo limpio para el Financiamiento Ambiental de América Latina. Documento de Trabajo #3. Octubre, 2007. Centro de estudios Económicos y Desarrollo empresarial – CEEDE. Disponible en internet <http://www.ceede.org.pe/download/DTN7_FondosdeCarbono.pdf

de los participantes del Fondo. Es decir, después de comprados los certificados son transferidos a los participantes de acuerdo a su contribución individual al programa. El KfW realiza la selección en interés de los participantes del Fondo, en aspectos como el rendimiento y el riesgo de tales títulos. Los títulos deben ser transables en el Sistema de Comercio de Emisiones Europeas, lo cual es un pre requisito para la inclusión de un proyecto en el portafolio²³.

Hasta mediados del año 2007 el portafolio de reducción de emisiones del Fondo de Carbono del KfW estaba conformado en un 25% por proyectos localizados en Latinoamérica, principalmente en el área de energía renovable.

²³ Ello implica que el proyecto debe haber sido diseñado e implementado en el marco del MDL, es decir, debe ser de participación voluntaria, reduciendo mesurablemente y a largo plazo alguno de los gases que causa el efecto invernadero. Asimismo, el proyecto debe haber sido realizado en un país que haya ratificado el Protocolo de Kyoto

ANEXO 3. INFORMACIÓN DE LA LÍNEA BASE

Ver medio magnético (CD)

ANEXO 4. PLAN DE MONITOREO

Para el monitoreo se pretende analizar los niveles de emisión generados en la combustión de motores GNC, garantizando permanentemente los niveles de reducción de contaminantes atmosféricos respecto a motores convencionales.

Debido a los costos del proyecto es conveniente utilizar la metodología de los factores de emisión ($EFCO_{2,j}$), ya que el gas natural no representa problemas de residuos ni contaminantes por combustión incompleta, como se generan en motores de gasolina y diesel, además es una de las formas mas económicas y precisas de calcular un máximo de emisiones, por el consumo total del GNC mensual y anual ($FCi_{j,y}$), además de los niveles de servicio de los vehículos, en cuanto a las distancias de los recorridos ($D_i, D_{k,y}$) y al número de pasajeros transportados ($SL_{k,y}, SLB_{L,k}$).

Por lo tanto el plan de monitoreo es mantener estadísticas de consumo en todas las estaciones de servicio ($FCi_{j,y}$) GNC de la ciudad y calcular mediante los factores de emisión, los niveles de CO₂ mensuales y anuales por toneladas.

Controlar periódicamente mediante centros de diagnostico Automotor, las emisiones generadas por mal funcionamiento y deterioro de las partes mecánicas de los motores a GNC. Este diagnostico se realizará para cada uno de los vehículos, cuantificando su evolución y progreso en cuanto a consumo de combustible y emisiones producidas.

Realizar encuestas a las empresas para determinar rendimiento, economía y comparación del nuevo sistema respecto al tradicional, para conocer el punto de vista de la gente como un indicador de la eficiencia del proceso.

Datos y parámetros de monitoreo

Abreviación	Ítem, Unidad	Método de monitoreo/ Ítem
<i>DTPJ,i,y,k</i>	Distancia total viajada por el vehículo "i" en el año "y" en la ruta "k" (Km/año)	Registros conducidos y mapas de rutas, confirmados con lecturas odométricas
η_{BLVi}	Eficiencia del vehículo de la línea base (km/cantidad de combustible)	Registros de las empresas en cuanto a distancias recorridas (rutas) y los consumos de combustible
<i>FCi,j,y</i> <i>ECi,y</i>	Consumo del combustible "j" (o electricidad) por el vehículo "i", en el año "y" (cantidad de combustible o electricidad consumida)	La compra o registros de consume, el valor mas alto es tomado para asegurar la conservación
<i>NCVj</i>	Valor calorífico neto del combustible "j" (energía contenida en el combustible/cantidad de combustible)	Valores específicos del país o del IPCC
<i>EFCO2,j</i> <i>EFelec</i>	Factor de emisión del combustible o electricidad usada por el vehículo de la línea base (tCO ₂ /contenido de energía del combustible)	Valores específicos del país o del IPCC
<i>Pi</i>	Total de pasajeros transportados anualmente por cada vehículo de la línea base	Datos supervisados antes de la iniciación del proyecto
<i>Pi,y,k</i>	Total de pasajeros anuales transportados por cada vehículo del proyecto en el año "y" y sobre la ruta "k"	Datos supervisados durante el proyecto
<i>Di</i>	Distancia total anual viajada por cada vehículo de la línea base	Datos supervisados antes del inicio del proyecto
<i>dpi</i>	Distancia promedio anual transportada por persona para cada vehículo de la línea base	Supervisado por registros de la empresa
<i>dpi,y</i>	Distancia promedio anual transportada por persona para cada vehículo "i" del proyecto	Supervisado por registros de la empresa
<i>Dk,y</i>	Distancia de la ruta "k" para el año "y"	Supervisado por registros de la empresa
<i>SLk,y</i>	Nivel de servicio en términos del total de pasajeros en la ruta "k" y en el año "y"	Supervisado para cada ruta de cada empresa Ej. Registros del conductor y mapas de rutas, más ingresos por ventas
<i>SLBL,k</i>	Nivel de servicio, en términos del total de pasajeros en la ruta "k", antes y después del proyecto	Determinado por los registros de las compañías Ej. Registros del conductor y mapas de rutas, más ingresos por ventas

ANEXO 4. DESCRIPCION DE LOS PROYECTOS MDL

CAMBIO CLIMÁTICO²⁴

El efecto invernadero es un proceso natural, que consiste en la retención por acción de ciertos gases presentes en la atmósfera, de una determinada fracción de la radiación solar que incide sobre la tierra. Este fenómeno ha dado lugar a unas condiciones climáticas propicias para el desarrollo de vida en el planeta. Sin embargo, como resultado de las actividades humanas se ha alterado el proceso en un grado tal, que existe hoy una sincera y demostrada preocupación por los efectos a mediano y largo plazo, que la interferencia humana puede ocasionar sobre el balance natural en el planeta.

La acción humana está representada por la emisión de volúmenes crecientes de GEI, que aumentan la capacidad de retención de radiación solar de la atmósfera. Esta situación provoca incrementos en la temperatura del planeta y cambios en el clima mundial, lo que a su vez se traduce en aumentos del nivel del mar, transformación de los ecosistemas, modificación de los pisos térmicos y trastornos de los patrones de lluvias y vientos. Los potenciales efectos devastadores sobre la biodiversidad y sobre las condiciones de vida de sectores vulnerables de la población mundial, han centrado la atención de gobiernos, organizaciones no gubernamentales, empresas y la sociedad civil sobre las causas de la interferencia del hombre en el balance natural del efecto invernadero.

²⁴ Oficina Colombiana para la Mitigación del Cambio Climático [En línea], Colombia. [Citado en 13 de mayo de 2008]. Disponible en Internet http://www.cecodes.org.co/cambio_climatico/ocmcc.htm

La causa del incremento hasta niveles perjudiciales de la concentración de GEI, se ha encontrado en la emisión creciente de estos gases por las actividades industriales, agrícolas, forestales y de transporte, combinada con una disminución de las zonas boscosas capaces de fijar el carbono de la atmósfera. La combustión de hidrocarburos, carbón y biomasa asociada a estas actividades, conlleva la emisión de grandes volúmenes de gases que contribuyen al efecto invernadero.

La responsabilidad humana con el problema que representa el cambio climático es ineludible, situación que ha sido reconocida plenamente y ha movilizó a los países para encontrar soluciones que ataquen las causas del problema y mitiguen sus consecuencias.

CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMATICO (UNFCCC)²⁵

El interés de la comunidad internacional por el problema del cambio climático condujo a la redacción de la UNFCCC. El texto de la Convención fue aprobado el 9 de mayo de 1992 y representó un avance significativo. En ella, los países reconocen que la contribución humana al efecto invernadero es un problema común de toda la humanidad y necesita acciones oportunas y decididas para contrarrestarlo. Con este propósito, se establece como objetivo último de la Convención "la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático." Este objetivo debería lograrse "en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio

²⁵ Oficina Colombiana para la Mitigación del Cambio Climático [En línea], Colombia. [Citado en 13 de mayo de 2008]. Disponible en Internet http://www.cecodes.org.co/cambio_climatico/ocmcc.htm

climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible".

En la Convención se reconoce que debido a su proceso temprano de industrialización, existe un conjunto de países que históricamente ha hecho una contribución mayor al efecto invernadero. Por este motivo se determinó que este grupo de países (Partes Anexo I) debería tener una mayor responsabilidad y tomar las acciones más decididas con miras a enfrentar el problema del cambio climático. La Convención establece como uno de sus principios el derecho al desarrollo sostenible de cada una de las Partes y reconoce que "todos los países, especialmente en desarrollo, necesitan tener acceso a los recursos necesarios para lograr un desarrollo económico y social sostenible".

La Convención entró en vigor el 21 de marzo de 1994 y hasta el momento ha sido ratificada por 186 países. Colombia aprobó la Convención sobre Cambio Climático mediante la Ley 164 de 1994 y es Parte desde el 20 de junio de 1995.

Las Partes de la Convención se reúnen anualmente, las últimas reuniones se llevaron a cabo en Marrakesh, Marruecos, del 29 de octubre al 10 de noviembre de 2001 y en Nueva Delhi, India, del 23 de octubre al primero de noviembre de 2002, Milán, Italia, del primero al doce de diciembre de 2003.

PROTOCOLO DE KYOTO (PK)²⁶

El desarrollo de los acontecimientos desde la presentación de la Convención de Cambio Climático, demostró que eran necesarias medidas más decididas para enfrentar el problema. Fue así como en 1997 se redactó el PK, en donde se establecen compromisos cuantificados de reducción de GEI para los países industrializados. Los compromisos de reducción establecidos suponen una disminución del 5.2% respecto a las emisiones de 1990, efectiva en el periodo 2008-2012. Para que el Protocolo entre en vigor debe ser ratificado por al menos 55 Partes, incluidas aquellas Partes Anexo I que contribuyan con al menos el 55% de las emisiones de CO₂ de los países desarrollados en 1990. Hasta agosto de 2003 117 Partes han ratificado el Protocolo, incluyendo 32 países industrializados que contribuyen con un 44.29% de las emisiones. El PK fue aprobado por el Congreso de la República por la Ley 629 de diciembre de 2001. Los gases controlados por el Protocolo de Kyoto son el dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

El PK reconoce los altos costos económicos y sociales que implica el cumplimiento de las metas de reducción aceptadas por las Partes Anexo I. Como respuesta, el Protocolo establece tres mecanismos de flexibilidad complementarios a las reducciones que los países hagan en su territorio, que permitirán a éstos alcanzar sus objetivos de una manera más eficiente. Son éstos:

- **Comercio de emisiones:** Bajo este esquema los países con compromisos de reducción podrán intercambiar entre sí sus cuotas asignadas de emisión.

²⁶ Ibid

- **Implementación conjunta:** Este mecanismo permite la participación de varios países Anexo I en proyectos de reducción de emisiones. Las reducciones de emisiones que da a lugar el proyecto en cuestión pueden ser distribuidas entre los países que toman parte en el proyecto.
- **Mecanismo de Desarrollo Limpio:** El MDL permite la ejecución de proyectos de reducción de emisiones en el territorio de países que no tienen compromisos de reducción de emisiones. Las reducciones de emisiones resultantes del proyecto pueden ser adquiridas por un país o una empresa con compromisos de reducción de emisiones.

MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL) ²⁷

El MDL es uno de los tres mecanismos de flexibilidad para la reducción de GEI establecidos en el PK. MDL es un mecanismo diseñado para promover la inversión en proyectos que reduzcan o capturen emisiones de GEI en países en vía de desarrollo. Es el único mecanismo del PK que promueve las alianzas entre países desarrollados y en vía de desarrollo.

Objetivos

Los principales objetivos del MDL son:²⁸

- Ayudar a los países en vía de desarrollo a alcanzar el desarrollo sostenible.

²⁷ Mecanismo de Desarrollo Limpio [En línea], Colombia. [Citado en 13 de mayo de 2008]. Disponible en Internet <http://www.co2.org.co/?IDPagina=56>

²⁸ Principales objetivos del MDL [En línea], Colombia. [Citado en 13 de mayo de 2008]. Disponible en Internet <http://www.co2.org.co/?IDPagina=57>

- Contribuir al objetivo primordial de la UNFCCC²⁹ para estabilizar la concentración de GEI en la atmósfera en niveles que prevengan una interferencia antropogénica peligrosa en el sistema climático.
- Ayudar a los países incluidos en el Anexo I del PK (países desarrollados) a cumplir el compromiso de reducción de emisiones establecido en el artículo 3 del Protocolo.

Como funciona³⁰

Los proyectos que reduzcan emisiones de GEI, implementados en los países en desarrollo, pueden aplicar al MDL para vender Certificados de Reducción de Emisiones (Certified Emission Reductions, CERs), también conocidos como Bonos de Carbono, con lo cual se pueden conseguir fondos para la financiación o que ayuden a eliminar barreras que impidan la realización del proyecto. Los CERs son comprados por los países industrializados para cumplir con sus compromisos de reducción de emisiones.

Un CER corresponde a la reducción de una tonelada de dióxido de carbono equivalente. La equivalencia corresponde al potencial de efecto invernadero de cada gas, y se expresa en unidades equivalentes de CO₂ (CO₂e) para efectos de simplicidad en los cálculos.

A pesar de que ya existen varios tipos establecidos de proyectos MDL, cualquier proyecto que reduzca emisiones de GEI, puede aspirar a vender CERs. Existen procedimientos a través de los cuales los desarrolladores de proyectos pueden

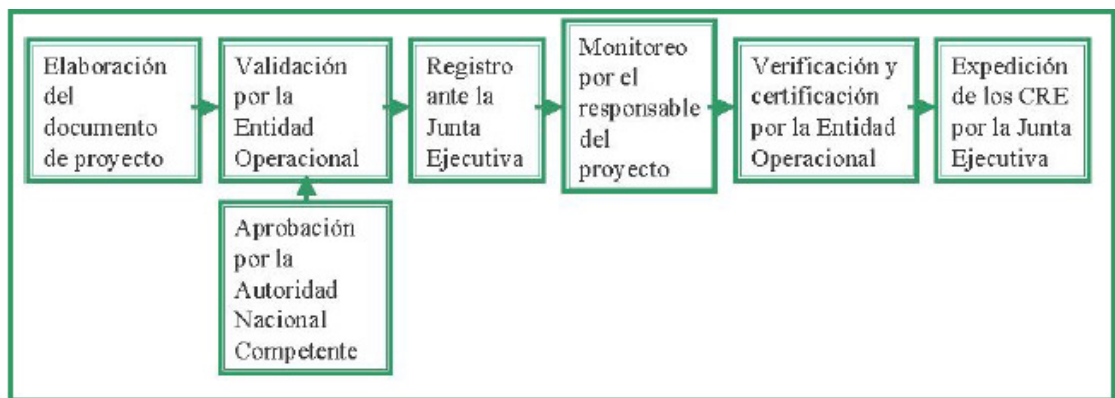
²⁹ United Nations Framework Convention on Climate Change UNFCCC

³⁰ Como funciona el MDL [En línea], Colombia. [Citado en 13 de mayo de 2008]. Disponible en Internet <http://www.co2.org.co/?IDPagina=72>

proponer nuevas categorías de proyectos, así como las metodologías para su implementación y monitoreo.

Ciclo de proyecto MDL³¹

Un proyecto del MDL debe seguir los siguientes pasos hasta obtener los CERs:



Ciclo de proyectos MDL

1. Formulación y diseño del proyecto. Esta tarea está a cargo del responsable o promotor del proyecto.
2. Aprobación por la Autoridad Nacional designada. El proyecto es aprobado por la AND en función de su contribución al desarrollo sostenible del país.
3. Validación por una Entidad Operacional. La validación por una Entidad Operacional consiste en una evaluación del proyecto por una entidad independiente.
4. Registro ante la Junta Ejecutiva del MDL. El registro es solicitado por la Entidad Operacional ante la Junta Ejecutiva del MDL.

³¹ Oficina Colombiana para la Mitigación del Cambio Climático [En línea], Colombia. [Citado en 13 de mayo de 2008]. Disponible en Internet http://www.cecodes.org.co/cambio_climatico/ocmcc.htm

5. Monitoreo. El monitoreo consiste en el seguimiento y registro de determinada información que debe hacer el responsable del proyecto.
6. Verificación y certificación por una Entidad Operacional La verificación es la revisión independiente de los resultados del monitoreo. La certificación es la constancia dada por la Entidad Operación de las reducciones que el proyecto ha dado a lugar.
7. Expedición de los CER por la Junta Ejecutiva. La Junta Ejecutiva expide los CER a partir de la certificación entregada por la Entidad Operacional

Actores³²

Dentro del ciclo del proyecto intervienen diferentes actores de los cuales los más importantes son:

- Proponente del proyecto: Quien realiza la actividad de proyecto MDL.
- Consultores: Para la parte técnica o para la implementación como MDL (como el CNPMLTA).
- Autoridad Nacional Designada (DNA): Ente nacional (en Colombia es el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, a través del Grupo de Mitigación de Cambio Climático), que aprueba la ejecución de los proyectos MDL en el país.
- Entidad Operacional Designada (DOE): Son entes verificadores externos. Las DOE evalúan los proyectos según los requisitos y criterios definidos por la UNFCCC, para recomendar su registro y la emisión de CERs.
- Junta Ejecutiva de MDL (CDM Executive Board): Organismo de la UNFCCC que aprueba y registra los proyectos. Es la última instancia en el proceso de

³² Ibid

registro. Además, la Junta Ejecutiva es la máxima instancia para evaluación de metodologías, procedimientos y modalidades relacionados con el MDL.

- Compradores, brokers, fondos, etc, que intervienen en el comercio de los CERs internacionalmente.
- Interesados locales (stakeholders): Personas externas al proyecto que pueden verse afectadas o que desean llevar a cabo una vigilancia del mismo. Pueden ser comunidades vecinas, ONGs, autoridades ambientales, etc.

Clasificación de los Proyectos³³

Los proyectos MDL pueden ser clasificados de varias maneras, siendo la más simple la de proyectos fuente y proyectos sumidero. Los proyectos tipo fuente son aquellos que reducen las emisiones de GEI directamente en la fuente, a través de mejoramiento de la eficiencia energética, la generación eléctrica por fuentes renovables, el cambio de combustibles, etc. Los proyectos sumidero son básicamente proyectos forestales, tanto de forestación como de reforestación, que absorben CO₂ de la atmósfera y lo fijan como biomasa.

De igual manera, los proyectos pueden clasificarse por su tamaño o escala, los cuales se definen según varios criterios mutuamente excluyentes como el número de CERs previstos, la capacidad instalada en proyectos energéticos, entre otros. La escala del proyecto es muy importante (un proyecto puede ser de pequeña o gran escala) para el cálculo financiero de la implementación del proyecto como MDL, ya que los costos de implementación (principalmente los llamados costos de transacción), varían sustancialmente de uno a otro. De igual manera, los

³³ Clasificación de los Proyectos MDL [En línea], Colombia. [Citado en 13 de mayo de 2008]. Disponible en Internet <http://www.co2.org.co/?IDPagina=69>

procedimientos y metodologías a seguir son más simples cuando se trata de proyectos de pequeña escala.

Oportunidades para Colombia del GNV³⁴

El Gas Natural Vehicular se ha presentado como una oportunidad para el país en términos económicos y ambientales. De acuerdo a proyecciones realizadas por el Ministerio de Minas y Energía, Colombia cuenta con reservas de gas natural para los próximos 20 años. Adicionalmente, la interconexión gasífera con Venezuela permite acceder a las reservas del vecino país que representan por lo menos 150 años de producción de dicho combustible.

Por otra parte, el gas natural a diferencia de otros combustibles no está sujeto a los vaivenes de las tasas de cambio ni de los precios internacionales. Sumado a esto, el gobierno nacional se ha comprometido a que el precio del galón equivalente de Gas Natural Vehicular continúe siendo como hasta ahora el 60% del precio de la gasolina en Barrancabermeja sin sobretasa. Este compromiso permite que las bondades económicas del Gas Natural Vehicular sean fácilmente transferibles al consumidor final.

En cuanto a las calidades ambientales del Gas Natural Vehicular es claro que las emisiones contaminantes por el uso de este combustible son inferiores e incluso nulas, comparadas con las de otros combustibles. Es así como por ejemplo el Gas Natural Vehicular reduce las emisiones de gases responsables del efecto invernadero y de buena parte de las enfermedades respiratorias en los grandes centros urbanos.

³⁴ Gas Natural Vehicular: Una oportunidad para el sector y para el país [En línea], Colombia. [Citado en 26 de febrero de 2009]. Disponible en Internet <http://www.mundoautos.net/1gnv.htm>

Desde 1999, la Financiera Energética Nacional y el Ministerio de Transporte realizaron un documento base para la puesta en marcha de líneas de financiación para la conversión a Gas Natural Vehicular de buena parte del parque automotor de pasajeros a nivel urbano.

Para el año 2000, ya se habían establecido mesas de trabajo entre los Ministerios de Transporte, Minas y Energía y el de Medio Ambiente, con el fin de obtener mayores beneficios para los colombianos y poder contar con mecanismos de financiación adecuados para los transportadores y toda la cadena gasera (distribuidor de gas en las ciudades, estaciones de servicio y talleres de mantenimiento). De igual forma el gobierno empezó con campañas de divulgación y capacitaciones sobre los beneficios económicos y ambientales del uso del gas.

Según informes de Ecopetrol S.A.³⁵, en el 2007, el país se posicionó como el tercer latinoamericano con mayor número de automotores que hacen uso del gas natural. Colombia superó en junio del mismo año la meta de 200 mil vehículos convertidos a gas natural. La nueva marca se logró porque en los primeros cinco meses de este año fueron convertidos cerca de 24.000 vehículos. En los últimos años el consumo de este energético se ha venido incrementando sostenidamente. Sólo en 2006 aumentó 60% con respecto a 2005.

³⁵ 200 mil vehículos a gas Ruedan por Colombia [En línea], Colombia. [Citado en 4 de Mayo de 2009]. Disponible en Internet <http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?conID=40247&catID=200&parID=22537>

Cada uno de los 200 mil vehículos convertidos ha permitido reducir hasta en un 40% las emisiones de monóxido de carbono con respecto a motores de inyección electrónica y en más de un 70% en motores carburados.

El crecimiento permanente del número de automotores que utilizan este combustible obedece en parte a los llamados "bonos" para la conversión, cuyo valor oscila entre \$400.000 y \$1.000.000 por conversión, aportes hechos por Ecopetrol y los diferentes agentes de la industria. En este incentivo, que se inició en el año 2003, Ecopetrol ha invertido más de 12 millones de dólares.

Las metas de largo plazo apuntan a que hacia el año 2015 más de 500.000 vehículos usen gas natural y en el año 2020 se complete un millón de automotores.

El impulso al gas natural vehicular forma parte del plan integral que adelanta Ecopetrol para mejorar la calidad de los combustibles y contribuir a la protección del medio ambiente. Esta estrategia contempla proyectos como la construcción de la planta de hidrotatamiento en la refinería de Barrancabermeja, el plan de ampliación de la refinería de Cartagena, el programa de importación de diesel de alta calidad para mezclarlo con el nacional y la incursión de la empresa en el mercado de los biocombustibles a través de Ecodiesel S.A. En estos cinco proyectos se realizarán inversiones superiores a los US\$2.000 millones hasta el 2011.

BIBLIOGRAFIA

- Oficina Colombiana para la Mitigación del Cambio Climático [En línea], Colombia. [Citado en 13 de mayo de 2008]. Disponible en Internet < http://www.cecodes.org.co/cambio_climatico/oc_documentos.htm >
- Que hace Colombia ante el Calentamiento Global? [En línea], Colombia. [Citado en 13 de mayo de 2008]. Disponible en Internet <<http://www.universia.net.co/noticias/noticiadeldia/quehacecolombiaanteelcalentamientoglobal2.html> >
- Cartagena Entra al Futuro [En línea], Colombia. [Citado en 13 de mayo de 2008]. Disponible en Internet <<http://www.transcaribe.gov.co/documentos/Licitaciones%202007/MDL/PR ESENTACION%20DE%20MDL%20TRANSCARIBE.pdf> >
- Boletín: Mecanismo de Desarrollo Limpio [En línea], Colombia. [Citado en 13 de mayo de 2008]. Disponible en Internet <<http://www.co2.org.co/UserFiles/File/Boletines/Boletín%20MDL%2001%20de%202008.pdf> >
- Cambio Climático, Prioridad para Colombia [En línea], Colombia. [Citado en 13 de mayo de 2008]. Disponible en Internet <http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido_imprimir.aspx?catID=441&conID=901&pagID=493 >

- Appendix B1 of the simplified modalities and procedures for small-scale CDM project activities. Indicative Simplified Baseline and Monitoring Methodologies for Selected Small-Scale CDM Project Activity Categories [En línea], Europa. [Citado en 20 de mayo de 2008]. Disponible en Internet < <http://cdm.unfccc.int/Projects/pac/ssclistmeth.pdf> >

- Anexo II Modalidades y procedimientos simplificados para las Actividades de Proyectos en Pequeña Escala del Mecanismo para un Desarrollo Limpio [En línea], Europa. [Citado en 20 de mayo de 2008]. Disponible en Internet <http://cdm.unfccc.int/Reference/Documents/AnnexII/Spanish/ann_II_sp.pdf>

- III. C. Emission reductions by low-greenhouse gas emitting vehicles [En línea], Europa. [Citado en 20 de mayo de 2008]. Disponible en Internet <http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/CDMWF_AM_LN3RQSIJ4EL987WI68NW0SZFOI4PM>

- III. B. Switching fossil fuels [En línea], Europa. [Citado en 20 de mayo de 2008]. Disponible en Internet <http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/CDMWF_AM_UW3T7OSMNKZY7EY43QKEO14O77L255>

- III.S. Introduction of low-emission vehicles to commercial vehicle fleets [En línea], Europa. [Citado en 20 de mayo de 2008]. Disponible en Internet <http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/CDM_AMSF01BV5SB5QCENPM5K5QV1C5B2TUL4>

- III.T. Plant oil production and use for transport applications [En línea], Europa. [Citado en 20 de mayo de 2008]. Disponible en Internet <http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/CDM_AMS3R6PD32XS27WJ432NM7YJW42C24ZY2 >
- Proyectos Transporte [En línea], Perú. [Citado en 20 de mayo de 2008]. Disponible en Internet <<http://www.fonamperu.org/general/transp/proyectos.php> >
- Guía Práctica para Desarrolladores de Proyectos [En línea], Perú. [Citado en 20 de mayo de 2008]. Disponible en Internet <<http://www.fonamperu.org/general/mdl/documentos/guiamdifonam.pdf> >
- Principales Actores en el Mercado del Carbono [En línea], Perú. [Citado en 20 de mayo de 2008]. Disponible en Internet <<http://www.fonamperu.org/general/mdl/actores.php> >
- United Nations Framework Convention on Climate Change [En línea], Europa. [Citado en 27 de junio de 2008]. Disponible en Internet <<http://unfccc.int/2860.php> >
- JIMENEZ MORI, R., Mecanismo de desarrollo limpio para el Financiamiento Ambiental de América Latina. Documento de Trabajo #3. Octubre, 2007. Centro de estudios Económicos y Desarrollo empresarial – CEEDE. Disponible en internet <http://www.ceede.org.pe/download/DTN7_FondosdeCarbono.pdf >
- Quince mil vehículos convertidos a GNV: IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE GAS NATURAL VEHICULAR [En línea], Colombia. [Citado en 4 de Mayo

- de 2009]. Disponible en Internet <http://www.mintransporte.gov.co/prensa/online/noticia.asp?titulo=Quince+mil+veh%EDculos+con+vertidos+a+GNV%3A+IMPLEMENTACION+DEL+SISTEMA+DE+GAS+NATURAL+VEHICULAR+VA+SOBRE+RUEDAS>
- EIA – Energy information Administration. Official Energy Statistics from the U.S. Government [En línea], Estados Unidos. [Citado en 22 de mayo de 2009]. Disponible en Internet <http://www.eia.doe.gov/>
 - Sistema de Información de petróleo y gas colombiano [En línea], Colombia. [Citado en 22 de mayo de 2009]. Disponible en Internet www.sip.gov.co/cupos/documentos/precio_combustibles/2001/bltjul_2001.pdf
 - Comisión reguladora de energía [En línea], México. [Citado en 10 de mayo de 2009]. Disponible en Internet <http://www.cre.gob.mx/registro/resoluciones/1996/res05296.pdf>
 - Ingeniería civil y Medio Ambiente [En línea], Colombia. [Citado en 19 de julio de 2008]. Disponible en Internet www.miliarium.com/prontuario/tablas/normasmv/tabla2-3.htm
 - Point Carbon (Providing critical insights into energy and environmental markets) [En línea]. [Citado en 26 de junio de 2008]. Disponible en Internet <http://www.pointcarbon.com/>