

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE ECONOMÍA**

**Disertación previa a la obtención del título de Economista**

***Contabilidad Ambiental. Elaboración de la Cuenta  
Económica de las Emisiones al Aire generadas por fuentes  
móviles en el Ecuador. Periodo 2007-2012.***

**Franco Israel Carvajal Ledesma  
[frank.car325@gmail.com](mailto:frank.car325@gmail.com)**

**Directora: María de los Ángeles Barrionuevo  
[mabarrionuevom@puce.edu.ec](mailto:mabarrionuevom@puce.edu.ec)**

**Quito, noviembre de 2015**

## ***Resumen***

La crisis ambiental y social que ha conllevado el crecimiento económico del mundo, propuso un nuevo desafío a organismos y líderes mundiales para construir nuevos parámetros que sean incorporados en las medidas de crecimiento y desarrollo, el resultado de este esfuerzo global en 1992 fue la propuesta del Desarrollo Sostenible. Para medir los avances de los países hacia este modelo, las Naciones Unidas propusieron complementar a los sistemas de cuentas nacionales con información ambiental. Es así, que este documento hace una revisión de la literatura académica sobre el desarrollo sostenible, las externalidades de contaminación, y del Sistema de Cuentas Ambientales; para entender los problemas de mercado que no permiten gestionar eficientemente los bienes ambientales, y las nuevas estrategias que surgen para visualizar estos efectos negativos en la sociedad. En base a este contexto, la presente disertación de grado buscó desarrollar la Cuenta Económica de las Emisiones al Aire mediante la valoración del costo ambiental que genera la externalidad de la contaminación vehicular (fuentes móviles) específicamente en la pérdida de la calidad del aire, como un efecto negativo que ocasiona la economía del país y el uso del transporte vehicular en el ambiente. Para la valoración se utilizó como referencia los costos que tendrían que incurrir los agentes económicos para disminuir este tipo de contaminación, a través de mejores insumos energéticos y mejores tecnologías en el motor de los vehículos. Así, este estudio presenta información relevante para poder monitorear y evaluar el desempeño económico del país, el crecimiento y estructura del parque vehicular en relación a los efectos y costes ambientales en la calidad del aire.

**Palabras clave:** externalidades por la contaminación, contabilidad económica ambiental, emisiones al aire, fuentes móviles, valoración económica, producto interno neto ambiental.

*A mis queridos padres,  
quienes con su invaluable esfuerzo y dedicación  
me han dado lo mejor de ellos para que pueda ser un hombre de bien,  
y por enseñarme siempre a creer en un presente y futuro mejor.*

*A Dios  
Por estar presente en todo lo que quiero ser*

# **Contabilidad Ambiental. Elaboración de la Cuenta Económica de las Emisiones al Aire generadas por fuentes móviles en el Ecuador. Periodo 2007-2012.**

<i>Introducción</i> .....	10
<i>Metodología de trabajo</i> .....	12
<i>Fundamentación teórica</i> .....	15
1. El Desarrollo Sostenible.....	15
La crisis socio-ambiental.....	15
El concepto del Desarrollo Sostenible.....	16
La sostenibilidad débil.....	19
Nuevas propuestas de indicadores para medir el desarrollo y la sostenibilidad.....	22
El ambiente y las fallas de mercado .....	25
La Valoración Económica Ambiental.....	34
2. La Contabilidad Ambiental-Económica .....	37
Las Cuentas Nacionales y las limitaciones en medir el crecimiento económico.....	37
La Contabilidad Ambiental y Económica .....	40
Contabilidad ambiental y económica de las emisiones al aire.....	46
<i>La contaminación Vehicular en el Ecuador</i> .....	50
La contaminación al aire.....	50
1. Gestión de la Calidad del Aire en el Ecuador.....	51
Antecedentes .....	51
Norma de Calidad del Aire Ambiente Ecuatoriana (NECA) .....	52
Plan Nacional de la Calidad del Aire (PNCA).....	54
Situación de la calidad del aire en las principales zonas urbanas del país.....	58
2. Las fuentes móviles en el Ecuador .....	61
Características del Parque Automotor .....	61
Consumo energético del sector de transporte .....	66
Calidad de los combustibles en el Ecuador .....	71
<i>Cuenta Económica de las Emisiones al Aire por fuentes móviles en el Ecuador</i> .....	74
1. Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional. Exploración Inicial 2008-2012 (SCAN).....	74
Cuentas Ambientales realizadas por el proyecto SCAN .....	75
2. Cuenta Ambiental de Emisiones al Aire en el Ecuador (CEA).....	82
Cuenta de Emisiones al Aire del MAE: datos físicos.....	84
3. Cuenta Económica de las Emisiones al Aire por fuentes móviles y el procedimiento de Valoración.....	94
Valoración económica de la contaminación vehicular por combustión de gasolinas .....	95
Valoración económica de la contaminación vehicular por combustión de diésel.....	104
Cuenta Económica de las emisiones al aire: datos monetarios de la externalidad en la pérdida de la calidad del recurso.....	110
4. Indicadores de la cuenta de emisiones al aire .....	117
<i>Conclusiones</i> .....	129

<i>Recomendaciones</i> .....	133
<i>Referencias bibliográficas</i> .....	136
<i>Anexos</i> .....	142
A. Procedimiento de cálculo para la estimación de emisiones generadas por fuentes móviles	142
B. Factores de emisión para fuentes móviles.....	143

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1 Clasificación de los bienes por propiedades de consumo .....	27
Ilustración 2 Tipos de externalidades.....	30
Ilustración 3 Tipos de soluciones para el tratamiento de externalidades .....	34
Ilustración 4 Resumen de los enfoques y métodos de valoración de los bienes y servicios ambientales .....	36
Ilustración 5 Piramide de información del SEEA .....	42
Ilustración 6 Los cuadrantes de políticas del SEEA.....	43
Ilustración 7 Esquema básico de flujos físicos entre ambiente y economía .....	44
Ilustración 8 Activos ambientales comprendidos en el marco central del SEEA. ....	45
Ilustración 9 Ejemplo de la Cuenta Física de emisiones al aire (Toneladas métricas) .....	49
Ilustración 10 Objetivos del Plan Nacional de la Calidad del Aire .....	55
Ilustración 11 Estructura de programas y proyectos del PNCA.....	56
Ilustración 12 Comportamiento del flujo de las emisiones al aire y los gastos de protección ambiental de la economía .....	83
Ilustración 13 Fuentes de información del cálculo emisiones fuentes móviles.....	84
Ilustración 14 Adaptación de clasificador de tipo de vehículo del SCAN.....	84
Ilustración 15 Clasificador de vehículos según el tipo de uso, por el sector económico al que pertenece. ....	89
Ilustración 16 Ilustración de los costos y porcentajes de mezcla de naftas y bioetanol para Ecopais	96
Ilustración 17 Supuestos utilizados para el método de valoración en base al costo del 5% de bioetanol para mezcla de gasolina Ecopais, en reemplazo de gasolina extra y súper .....	97
Ilustración 18 Supuestos utilizados para el método de valoración en base a la instalación de catalizadores DOC del Proyecto Retrofit del DMQ para vehículos a diesel. ....	105

## Índice de gráficos

Gráfico 1 Externalidad negativa y su efecto en los mercados .....	30
Gráfico 2 Parque automotor del Ecuador .....	62
Gráfico 3 Evolución de ventas de vehículos en el Ecuador .....	62
Gráfico 4 Estructura del parque automotor según año de modelo .....	64
Gráfico 5 Recaudación del IACV .....	65
Gráfico 6 Vehículos motorizados según consumo de combustible .....	66
Gráfico 7 Consumo energético del país por sector .....	67
Gráfico 8 Estructura del consumo energético por tipo de transporte al 2013 .....	68
Gráfico 9 Consumo de gasolina por tipo de vehículo al 2013 .....	68
Gráfico 10 Consumo de diesel por tipo de vehículo al 2013.....	69

Gráfico 11 Producción nacional e importación de gasolinas y naftas.....	70
Gráfico 12 Producción e Importación de Diesel oil.....	70
Gráfico 13 Composición Subsidios en el Ecuador, promedio 2007-2012 .....	72
Gráfico 14 Evolución: crecimiento vehicular, consumo gasolinas, subsidio combustibles.....	73
Gráfico 15 PINAE, costos de agotamiento ambientales (CAA), depreciación capital fijo en relación al PIB.....	80
Gráfico 16 Valoración económica de los activos de petróleo, gas natural y recurso forestal maderable .....	81
Gráfico 17 Desligamiento entre el crecimiento de la economía y la extracción de recursos de petróleo, gas natural y madera. ....	82
Gráfico 18 Emisiones generadas por fuentes móviles (toneladas métricas) .....	85
Gráfico 19 Emisiones por tipo de combustible usado (toneladas métricas).....	87
Gráfico 20 Emisiones al aire por tipo de fuente (toneladas métricas).....	88
Gráfico 21 Emisiones al aire por Sector Económico (toneladas métricas).....	90
Gráfico 22 Estructura de las emisiones por Sector Económico.....	93
Gráfico 23 Evolución y estructura de las emisiones generadas por las industrias.....	94
Gráfico 24 Valor monetario de la degradación del aire por tipo de combustible (miles de dólares). 112	
Gráfico 25 Estructura de los costos ambientales por sector económico (miles de dólares) .....	113
Gráfico 26 Valor monetario de la degradación del aire por la contaminación vehicular de industrias (miles de dólares) .....	116
Gráfico 27 Incremento porcentual del 2007 al 2012 de los costos ambientales de las industrias.....	117
Gráfico 28 Indicador de potencial de reducción de emisiones vehiculares por Ecopaís y Retrofit ....	118
Gráfico 29 Indicador de eficiencia de la economía por cada mil toneladas emitidas al aire.....	119
Gráfico 30 Indicador de intensidad en emitir emisiones por cada millón de dólares en el PIB.....	120
Gráfico 31 Indicador de desligamiento entre el crecimiento económico y emisiones al aire .....	122
Gráfico 32 Indicador de desligamiento entre el consumo final de los hogares y las emisiones de los hogares.....	122
Gráfico 33 Indicador de desligamiento entre el VAB de la Administración Pública, el consumo final del Gobierno.....	123
Gráfico 34 Representación de los CADA en el PIB .....	124
Gráfico 35 Representación de los CADA en relación a los VAB de las industrias.....	126
Gráfico 36 Relación entre las emisiones de las industrias y sus CADA y VAB del año 2012 .....	127

## Índice de tablas

Tabla 1 Contaminantes criterio que se pueden encontrar en la atmósfera según lo establece la NECA .....	53
Tabla 2 Límites máximos permitidos por contaminante.....	54
Tabla 3 Parque automotor según la provincia .....	63
Tabla 4 Parque automotor según el tipo de auto .....	63
Tabla 5 Base imponible, tarifas y factor de ajuste del IACV.....	65
Tabla 6 Estructura del consumo energético del sector transporte.....	67
Tabla 7 Subsidio devengado para los combustibles del Ecuador (millones de dólares).....	72
Tabla 8 Kilometraje Promedio Anual por tipo de Vehículo, año 2010.....	85

Tabla 9 Emisiones al aire por tipo de gas contaminante (toneladas métricas).....	86
Tabla 10 Estructura de las emisiones al aire por tipo de vehículo (toneladas métricas).....	86
Tabla 11 Tabla de Oferta y Utilización de las emisiones al aire por fuentes móviles 2007-2012 (toneladas métricas).....	91
Tabla 12 Resumen emisiones causadas por sector de la economía del país (toneladas métricas).....	93
Tabla 13 Porcentajes de reducción de emisiones en vehículos mediante pruebas en Ruta según diferentes escenarios .....	98
Tabla 14 Estimación de parque automotor a gasolina con carburador y con inyección electrónica ...	99
Tabla 15 Variaciones del 25% y del 1% del parque automotor entre los escenarios de reducción de emisiones.....	99
Tabla 16 Estimación de porcentajes de reducción de emisiones para valoración monetaria .....	100
Tabla 17 Emisiones potencialmente a reducirse por el uso del biocombustible Ecopaís a nivel Nacional.....	100
Tabla 18 Distribución de gasolina extra y súper a nivel nacional (galones).....	101
Tabla 19 Estimación Costo Bioetanol para mezcla de Ecopaís en el mercado nacional (dólares).....	101
Tabla 20 Variables de costos identificados por Estación de Servicio en Proyecto Piloto de Ecopaís .	102
Tabla 21 Valoración monetaria de las emisiones a reducirse para el año 2010 (dólares).....	102
Tabla 22 Estimación costo unitario por tonelada de emisión reducida para el periodo 2007-2012 ..	103
Tabla 23 Valoración monetaria de las emisiones de vehículos a gasolina que degradan el recurso aire (dólares) .....	103
Tabla 24 Grupo de Tecnologías Retrofit para motores de combustible diesel.....	104
Tabla 25 Porcentajes de reducción de emisiones de Catalizadores DOC .....	106
Tabla 26 Emisiones potencialmente a reducirse por la instalación de catalizadores DOC en los vehículos a diesel a nivel Nacional (toneladas) .....	107
Tabla 27 Costos referenciales por vehículo de los catalizadores DOC del programa Retrofit del DMQ .....	108
Tabla 28 Estimación del costo de aplicación de proyecto Retrofit en los vehículos a diesel para cada año 2007-2012 .....	109
Tabla 29 Estimación del costo unitario anual por tonelada reducida en base al uso de catalizadores DOC.....	110
Tabla 30 Valoración monetaria de las emisiones de vehículos a diesel que degradan el recurso aire (dólares) .....	110
Tabla 31 Consolidado de la valoración monetaria de las emisiones vehiculares que degradan el recurso aire.....	111
Tabla 32 Consolidado de las emisiones con impacto en la pérdida de calidad del aire (toneladas métricas).....	112
Tabla 33 Valor monetario de la degradación del aire por sector de la economía (miles de dólares)	114
Tabla 34 Indicador de Intensidad y Eficiencia de las principales industrias del país año 2012 .....	120
Tabla 35 Producto Interno Neto ajustado por los costos ambientales de la degradación del aire (PIADA) .....	125

## **Abreviaciones**

AEADE	Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador
ANDES	Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Suramérica
BCE	Banco Central del Ecuador
CADA	Costos Ambientales degradación del aire en dólares nominales
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CFG	Consumo final del Gobierno
CFH	Consumo final de los hogares
CFN	Corporación Financiera Nacional
CH4	Metano
CIIU	Clasificador Internacional Industrial Uniforme.
CKF	Consumo de capital fijo
CO	Monóxido de carbono
CO2	Dióxido de carbono
COT	Compuestos orgánicos volátiles
COV	Compuestos orgánicos volátiles
CUENCAIRE	Corporación para el mejoramiento del Aire de Cuenca
DMQ	Distrito Metropolitano de Quito.
DOC	Catalizadores para motores a diesel del programa Retrofit del DMQ
ECOPAÍS	Biocombustible con 5% de etanol
EPA	Environmental Protection Agency
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ETAPA	Empresa de Telecomunicaciones, agua potable y alcantarillado de Cuenca
FLACSO	Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales
GEI	Gases efecto Invernadero
HC	Compuestos de hidrocarburos
HE	Huella Ecológica
IACV	Impuesto Ambiental a la Contaminación Vehicular
IBES	Índice de Bienestar Económico Sostenible
ICE	Impuesto a los consumos especiales
IDH	Índice de Desarrollo Humano
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
IPC	Índice de Precios al Consumidor
IPCC	Internacional Panel of Climate Change
IPP	Índice de Precios al Productor
IQCA	Índice Quiteño de Calidad del Aire
IRBPNR	Impuesto redimible a las botellas plásticas no retornables
ISA	Índice de Sustentabilidad Ambiental
IVA	Impuesto al valor agregado
KBEP	Miles de barriles equivalentes de petróleo
MAE	Ministerio del Ambiente
MCPEC	Ministerio Coordinador de la Producción, Empleo y Competitividad
MICSE	Ministerio Coordinador de los Sectores Estratégicos
N2O	Óxido nitroso
NAO	Nafta de alto octano
NBO	Nafta de bajo octano

NECA	Norma de Calidad del Aire Ambiente Ecuatoriana
NOx	Óxidos de nitrógeno
OCDE	la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PIADA	Producto Interno Neto ajustado por los costos de la Degradación del Aire
PIB	Producto Interno Bruto
PIN	Producto Interno Neto
PINV	Producto Interno Neto Verde
PM10	Material particulado menor a 10 micrómetros
PM2.5	Material particulado menor a 2.5 micrómetros
PNCA	Plan Nacional de la Calidad del Aire
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
ppm	Partes por millón
REMMAQ	Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico
SCAN	Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional
SCN	Sistema de Cuentas Nacionales 2008
SEEA	System of Environmental Economic Accounting
SENPLADES	Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo
SOx	Óxidos de azufre
SRI	Servicio de Rentas Internas
TON	Toneladas métricas de gases contaminantes
TOU	Tablas de oferta y utilización
USD	Dólares de los Estados Unidos
VAB	Valor agregado bruto
VAN	Valor Actual Neto

## ***Introducción***

En esta disertación se realiza una propuesta para la elaboración de la Cuenta Económica de las Emisiones al Aire mediante la valoración de los costos ambientales<sup>1</sup> que genera la externalidad de la contaminación de las fuentes móviles del país (contaminación vehicular) en la pérdida de la calidad del aire (degradación). Esta cuenta económica se basa en los principios metodológicos y supuestos que propone el Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica<sup>2</sup>(SEEA en sus siglas en inglés) elaborada por las Naciones Unidas, el Banco Mundial y otros organismos internacionales<sup>3</sup>; y tiene por finalidad presentar datos e indicadores nacionales que permitan evaluar las tendencias de la contaminación del transporte vehicular por agente económico y los costes ambientales generados en la pérdida de calidad de este recurso, en un esquema contable similar al de Cuentas Nacionales<sup>4</sup>.

La cumbre de la Tierra en 1992, marcó el inicio de una nueva etapa para medir el desarrollo, en donde los países miembros de las Naciones Unidas exigieron un cambio de la visión de los modelos de crecimiento y desarrollo hacia un desarrollo inclusivo, equitativo en la distribución de la riqueza, y que reduzca los impactos en la naturaleza. Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 1989) la crisis ambiental ocasionada por el crecimiento económico del mundo se presentó con graves problemas de deforestación en varias regiones, escases de recursos biológicos, alteraciones de las temperaturas por el cambio climático, y las graves presiones ambientales de la contaminación al aire, el suelo y los recursos hídricos.

En lo que respecta a la contaminación del aire, en los últimos años la contaminación atmosférica por causa de las actividades económicas ha constituido un gran problema para la salud humana, la calidad de los ecosistemas, y los cambios del clima. Dicha contaminación ha conllevado a que la calidad del aire en las zonas urbanas que respiran las personas empeore, por ende esta pérdida en la calidad del aire desde la economía ambiental se traduce en costos de externalidades que deben ser incorporados y asumidos por las actividades económicas que la generan; sin embargo desde el esquema económico tradicional estos costos no son incluidos en los mecanismos de medición de crecimiento, debido a la falta de herramientas operativas para medirlos, y a la falta de voluntad empresarial y política (Naciones Unidas, 2002).

En el caso del Ecuador, el país cuenta con pocas investigaciones sobre los efectos y costos económicos de la contaminación del transporte vehicular en la salud de las personas y en la calidad del aire. Como informa el Ministerio del Ambiente (MAE, 2010) en el Plan Nacional de la Calidad del Aire (PNCA) (2010: I), “estos temas no han sido incluidos en los programas de desarrollo urbano y no se han llevado a cabo estudios epidemiológicos relacionados con la contaminación del aire”. Dichas

---

<sup>1</sup> Según el manual de operaciones de Contabilidad Económica Ambiental (Naciones Unidas, 2002), se entiende por costos ambientales aquellos costos privados y sociales derivados del agotamiento y/o degradación del capital natural.

<sup>2</sup> Busca evidenciar información económica y ambiental en cuanto a la disponibilidad de recursos naturales que tiene un país, y las relaciones recíprocas que suceden entre el ambiente y la economía. Constituye el marco estadístico oficial para el desarrollo de cuentas satélites del ambiente en relación al Sistema de Cuentas Nacionales (Naciones Unidas et al, 2014: 27).

<sup>3</sup> Comisión Europea, Fondo Monetario Internacional (FMI), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).

<sup>4</sup> Las Cuentas Nacionales es el conjunto normalizado y aceptado internacionalmente de recomendaciones para la elaboración de mediciones de la actividad económica en un país, basada en principios económicos y contables (Naciones unidas et al, 2008: 1).

investigaciones han abordado este tema desde una perspectiva local y en diferentes periodos de tiempo, sin embargo en el país aún no ha sido analizado este tema desde una perspectiva nacional. Además, han sido pocos los esfuerzos en el país por internalizar los costos de las externalidades causadas por la contaminación vehicular en la estructura de precios de los combustibles o vehículos, y tampoco existen propuestas para integrar estos costos en los indicadores de crecimiento económico del país.

Es así que esta disertación propone aplicar por primera vez la metodología de valoración de las Naciones Unidas para construir una Cuenta Económica de las Emisiones al Aire<sup>5</sup> en el país que permita realizar una evaluación del desempeño económico del Ecuador en relación a los efectos y costes ambientales de la contaminación vehicular en la calidad del aire. Adicionalmente, la información obtenida permite ajustar a los agregados económicos como el Producto Interno Bruto (PIB) a las consideraciones ambientales del aire, con el fin de presentar un indicador de crecimiento de la economía que considere la pérdida de calidad de este recurso.

El primer capítulo de la disertación trata la teoría básica del Desarrollo Sostenible y los problemas ambientales y sociales del crecimiento económico, se explican los nuevos indicadores para medir el bienestar, y las externalidades de la contaminación. Para hacerlo se revisan los análisis de la teoría económica que tratan la problemática y explican las causas de las externalidades y la ineficiencia del mercado en corregir estos problemas. Las propuestas para transparentar estas distorsiones de mercado son los análisis de costos beneficio a través de valoraciones económicas, y la construcción de cuentas ambientales que visualizan las externalidades de la contaminación a nivel macro.

Para contextualizar la problemática en el país, el segundo capítulo explora las principales causas de la contaminación de las fuentes móviles, y los esfuerzos de las administraciones públicas en mejorar la calidad del recurso. Se realiza un análisis muy detallado del parque automotor en relación con su crecimiento y con la composición de vehículos; se explica la situación de la calidad y consumo de combustibles con la estructura de precios y subsidios que el Estado aplica a estos productos, lo cual provoca distorsiones en el mercado que influyen hacia un alto consumo de combustibles, aumento del parque vehicular, y un aumento de la contaminación.

El tercer capítulo constituye el eje principal de esta disertación, el cual presenta la valoración de los costos ambientales de la contaminación vehicular que causan los sectores económicos del país. Para el desarrollo de este capítulo se describen los avances del Ministerio del Ambiente en el desarrollo de la cuenta ambiental de emisiones al aire, como principal insumo para la construcción de la cuenta económica. Luego se aplica el método de valoración de “costos de mantenimiento” propuesto por las Naciones Unidas (2002) en el que se utilizó como referencia los costos que tendrían que incurrir los agentes económicos para disminuir este tipo de contaminación a través de mejores insumos energéticos y mejores tecnologías en el motor de los vehículos, destacando el uso del biocombustible Ecopaís y los catalizadores del programa Retrofit en el Distrito Metropolitano de Quito.

---

<sup>5</sup> Constituye la cuenta satélite ambiental del aire. Una cuenta satélite corresponde a una adaptación y reorganización de las estructuras básicas del SCN con un objetivo específico, en este caso el de identificar las relaciones entre el subsistema económico con el ambiental (Naciones Unidas et al, 2014: 327).

Con la valoración de los costes ambientales, se realizaron indicadores económico ambientales que permiten observar patrones de los sectores económicos con la contaminación y costes generados, principalmente se desarrolla el indicador Producto Interno Neto ajustado por los costos de la degradación del aire el cual permite observar el crecimiento del país considerando aspectos ambientales.

Finalmente se presentan las conclusiones obtenidas por la disertación y las recomendaciones del autor entorno a las posibles soluciones de política para resolver el problema de la externalidad.

## ***Metodología de trabajo***

Para poder realizar esta investigación acerca de construir una cuenta económica de las emisiones al aire generadas por las fuentes móviles en el país, se partió del problema mencionado en la sección anterior, en base a la siguiente pregunta general:

- ¿Cuál es el costo ambiental generado por la contaminación de las fuentes móviles en la pérdida de la calidad del aire en Ecuador para el periodo 2007-2012?

De esta pregunta general se derivaron las siguientes preguntas específicas que guiaron a definir los lineamientos de la investigación y cálculos.

1. ¿Quiénes son los principales agentes económicos que contaminan al aire a través de las fuentes móviles?
2. ¿Cómo se puede aplicar en Ecuador la metodología de valoración de “costos de mantenimiento” propuesta por las Naciones Unidas para la construcción de una cuenta económica de las emisiones al aire?
3. ¿Cómo desarrollar un indicador de crecimiento económico que considere los costos ambientales de la pérdida de la calidad del aire?

Para responder a estas preguntas se plantearon los siguientes objetivos, los cuales constituyen los ejes fundamentales para la elaboración de los siguientes capítulos y análisis. De esta forma el objetivo general de esta disertación es:

- Elaborar una cuenta económica nacional de las emisiones al aire mediante la valoración del costo ambiental generado por la contaminación de las fuentes móviles en la pérdida de la calidad del recurso aire en Ecuador para el periodo 2007-2012.

Los objetivos específicos de la investigación son:

1. Identificar a los principales agentes económicos que contaminan al recurso aire por fuentes móviles.
2. Aplicar la metodología de valoración de “costos de mantenimiento” propuesta por las Naciones Unidas para construir una cuenta económica de las emisiones al aire.

3. Ajustar al indicador Producto Interno Bruto del país para obtener un indicador de crecimiento económico que considere los costos ambientales de la pérdida de calidad del aire.

La elaboración de este estudio se fundamenta en los objetivos del proyecto “Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional” (SCAN) ejecutado por el Ministerio del Ambiente (MAE), como un proyecto piloto para la construcción de la cuenta satélite ambiental del país para un periodo inicial de 2008-2012 el cual fue entregado oficialmente al Banco Central del Ecuador (BCE) para la revisión y validación del estudio. El SCAN busca cuantificar los stocks y agotamiento del capital natural del país, los flujos de extracción y de contaminación entre el ambiente y la economía nacional, y la respuesta de los agentes económicos en compensar los daños ambientales a través de los gastos de protección ambiental. De tal forma que se obtengan indicadores de estado y respuesta en relación al desempeño económico del país con el uso de sus recursos naturales.

Para el desarrollo de este tipo de estudio es necesario aclarar que existen dos temas fundamentales para su realización. El primero, corresponde a la información de inventarios de emisiones vehiculares al aire medidas en toneladas métricas, lo cual constituye la cuenta física; y el segundo, a los costos de la degradación del aire causada por la externalidad de contaminación vehicular, tomando como referencia los costos de tecnologías o insumos de producción que permitan disminuir la contaminación vehicular, para relacionarlos con la valoración de la degradación del aire, lo que constituye la cuenta económica o monetaria.

Para lograrlo, en primer lugar se realizó una amplia revisión bibliográfica del desarrollo sostenible, los fundamentos y orígenes de las fallas de mercado en el ambiente, para entender las causas teóricas de los problemas de la contaminación; también se revisan las limitaciones del Producto Interno Bruto (PIB) y del Sistema de Cuentas Nacionales al no poder contabilizar las externalidades de contaminación en el ambiente.

Para tratar el primer tema sobre la cantidad de emisiones al aire de las fuentes móviles, se utilizó la metodología y bases de datos del MAE del proyecto SCAN con datos del 2008-2012 (MAE, 2014). Para esto, el proyecto SCAN aplicó la metodología del Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI, 2009) para calcular las emisiones generadas por tipo de vehículo, por su antigüedad y tipo de combustible; considerando que para las estimaciones nacionales de emisiones es posible aplicar coeficientes de contaminación de trabajos de investigación de otros países con una estructura económica similar (Naciones Unidas, 2002). Luego para estimar y clasificar las emisiones vehiculares por sector económico, se aplicó la metodología propuesta por el SCAN (MAE, 2014).

Para el desarrollo de la cuenta económica, siendo el principal objetivo de esta investigación, fue necesario aplicar la metodología de valoración de costos de mantenimiento<sup>6</sup> propuesta por las Naciones Unidas en varios de sus manuales de contabilidad ambiental, siendo la metodología aplicada por el INEGI (2009) para este tema en sus cuentas ambientales. En esta metodología existen varias medidas para el efecto, de las cuales se eligieron dos que mostraron mayor relación con los programas aplicados en el país, estas son: sustitución de los insumos de producción sin modificar sus productos aplicando nuevas tecnologías, y actividades para evitar el deterioro del ambiente, por

---

<sup>6</sup> Consiste en saber cuánto costaría evitar la generación de residuos por cambios en los patrones de producción y consumo (Naciones Unidas et al, 2003: 62).

ejemplo captura de las emisiones mediante la instalación de lavadores de gases en los equipos de producción o combustión.

Para la primera medida se evaluó el costo de producir el 5% de bioetanol que necesita un galón de gasolina Ecopaís para sustituir a nivel nacional el consumo de gasolinas extra y súper por el de este biocombustible, que en base al estudio de impacto ambiental de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL, 2008) permite reducir en parte las emisiones vehiculares. Para la segunda medida se hizo un análisis de la implementación de catalizadores (DOC) del programa Retrofit del DMQ en los motores de diesel propuesto por la Secretaría de Ambiente de Quito (2012), los cuales permiten una reducción considerable de las emisiones del parque vehicular a diesel.

Adicionalmente se utilizó la metodología del MAE (2014) para clasificar los costos de mantenimiento por sector económico, de tal forma que se vinculen estos costos ambientales a la información de cuentas nacionales.

## ***Fundamentación teórica***

En este capítulo se presenta una revisión bibliográfica de los principios del desarrollo sostenible y las diferentes posturas entorno a este nuevo modelo, de esta forma se introducen algunas nuevas propuestas para medir el bienestar y la sostenibilidad, y se analizan las externalidades de la contaminación en los bienes y servicios ambientales. Finalmente se introduce a la contabilidad económica ambiental como una nueva propuesta para medir el desarrollo a raíz de las limitaciones que presentan el PIB y las cuentas nacionales por las fallas de mercado, logrando destacar a la contabilidad de emisiones al aire como la metodología operativa para registrar la contaminación de gases, valorar los costos ambientales en la pérdida de calidad de este recurso, e integrar esta información con los indicadores de la economía.

### **1. El Desarrollo Sostenible**

#### **La crisis socio-ambiental**

En la Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, que tuvo lugar en Noruega-Estocolmo en 1972, se plantearon importantes cambios para la sociedad y la economía sobre los fundamentos y las consecuencias del crecimiento económico (Labandeira, León, Vázquez, 2007:19). Las tendencias de desarrollo, de la globalización económica y de la sociedad de consumo, han dado lugar a efectos negativos en la naturaleza y en las condiciones sociales de la humanidad.

Según Jiménez (2001) las consecuencias del crecimiento económico evidencian dos graves crisis que se interrelacionan: la crisis ambiental y la crisis social. La primera crisis se debe a la misma economía de mercado, que en términos prácticos ha conllevado un aumento de la renta per cápita en los países, sobre todo en aquellos desarrollados, conllevando a una mayor extracción y consumo de recursos naturales y energía; lo que provoca mayores emisiones de residuos y presiones en el ambiente. Esto dificulta la capacidad de asimilación de estos residuos y descargas por los ecosistemas (Labandeira et al, 2007:21). Según la OCDE (1989), el crecimiento económico ha causado problemas ambientales latentes como:

- Deforestación: Se estima que cada año desaparecen 17 millones de hectáreas de bosque tropical afectando hábitat de varias especies de animales
- Pérdida de recursos biológicos: la pérdida de especies y la disminución de su variabilidad genética amenaza seriamente a los equilibrios ecosistémicos.
- El Cambio Climático: el Internacional Panel of Climate Change (IPCC) indica un progresivo aumento de la temperatura media de la Tierra que puede causar alteraciones profundas en el sistema climático.
- La contaminación: Las emisiones al aire, al agua y al suelo han afectado la calidad de estos ecosistemas, provocando diferentes externalidades que disminuyen el bienestar social por la prestación de estos servicios ecosistémicos.

La segunda crisis se ve propiciada por el aumento de la población, la pobreza y falta de empleo, seguridad alimentaria, acceso al agua y servicios básicos. Según Labandeira et al (2007), la economía de mercado no es eficiente ni puede auto regularse en la distribución de los recursos y de la riqueza en la población. Ante esto, según el informe sobre el Desarrollo Mundial (Banco Mundial, 1992: 159) 1.250 millones de personas están bajo el umbral de pobreza, cada año mueren 14 millones de personas por hambre y desnutrición, el 20% de la población es dueña del 85% de la riqueza económica y el mismo 20% tiene un nivel de ingresos 150 veces mayor que el 20% de la población más pobre.

Dadas las siguientes consecuencias del crecimiento económico y de la economía de mercado como un sistema que no puede asignar eficientemente los recursos, el Informe Brundtland (1987) concluye que las tensiones ambientales y sociales son insostenibles dado el sistema económico capitalista. Justamente en 1972 las naciones del mundo adoptan una nueva conciencia de la insostenibilidad global, evidenciando los principales problemas ambientales y sociales.

Para 1987, la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (la Comisión Brundtland) recomienda la necesidad de integrar los parámetros ambientales y sociales con el desarrollo, que según el criterio de esta investigación, una de las principales conclusiones es la siguiente: “La causa mayor del deterioro continuo del medio ambiente es el insostenible modelo de producción y consumo, particularmente en los países industrializados. En tanto que en los países en desarrollo la pobreza y la degradación ambiental están estrechamente interrelacionados” (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo [CNUMAD], 2012).

## **El concepto del Desarrollo Sostenible**

Los años noventa marcan el inicio de una etapa de transición orientada por una coalición de los modelos de crecimiento y desarrollo, hacia nuevas estrategias plasmadas en un compromiso social global. Este momento histórico fue conocido como la “Cumbre de la Tierra” en 1992 donde se oficializa la integración del medio ambiente al desarrollo, esta integración será conocida hasta el presente como el Desarrollo Sostenible.

Su definición se formalizó por primera vez en el documento conocido como Informe Brundtland (1987), fruto de los trabajos de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas. El Desarrollo Sostenible se asumió en el Principio 3º de la Declaración de Río en 1992 y es a partir de este informe cuando se acotó el término inglés “Sustainable Development” (Naciones Unidas, 1992).

Según la declaración en 1992 por parte del equipo de Naciones Unidas, plasmado en la Agenda 21<sup>7</sup>, el desarrollo sostenible consiste en: “Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro, para atender sus propias necesidades” (Naciones Unidas, 1992).

---

<sup>7</sup>Aprobado el 14 de Junio de 1992 por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Es la respuesta que ha dado la comunidad internacional a la petición de la Asamblea General de las Naciones Unidas para elaborar estrategias para detener e invertir los efectos de la degradación del medio ambiente. Se trata de un programa de acción amplio para los gobiernos y organismos de desarrollo.

Luis Jiménez (2001) afirma que este concepto plantea la integración entre medioambiente y desarrollo, una integración de vital importancia dada la crisis ambiental y la crisis social. Como resultado ahora se entiende que los procesos ambientales deben ser entendidos y tratados de forma integral con los procesos sociales. La necesidad de una nueva forma de desarrollo ha logrado que los países del mundo adopten estrategias compartidas en cuanto a la crisis ambiental, pero también los problemas de pobreza y de desarrollo humano deben ser asumidos por todos los países como un problema global (Jiménez, 2001:39). En efecto el desarrollo sostenible demanda conocer las necesidades básicas de todas las personas y brindar a todos la oportunidad de tener una mejor vida (Naciones Unidas, 1987: 37).

Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2003), el principal objetivo del desarrollo sostenible es “el derecho de los seres humanos a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza”, aclarando que el límite principal de este modelo, es el paradigma entre sostenibilidad y desarrollo. El término “sostenible” usado para medir y calificar el desarrollo, tiene un alcance que aún no ha sido clarificado por la ciencia y los especialistas en este tema. Su significado básico es el de sostener, sustentar, mantener, pero también contempla aspectos como soportar, tolerar y llevar, que son palabras acordes al término inglés “sustainable” (Jiménez, 2001:40).

Según el estudio de la CEPAL (2003) sobre Sostenibilidad y desarrollo Sostenible, la noción de desarrollo dentro de esta nueva visión, implica el uso de los recursos naturales para mejorar la calidad de vida de la gente al largo plazo. En tanto la noción de sustentabilidad implica cuidar y mantener los ecosistemas al largo plazo. Para que esto suceda, el fundamento en que se basa este concepto, viene dado por la noción de equilibrio en relación a las capacidades y las limitaciones existentes, esto significa un equilibrio sano entre crecimiento poblacional, capacidad de la naturaleza en proveer recursos y asimilar emisiones, y la vitalidad de una producción eficiente y un consumo razonable (Jiménez, 2001:40).

Por estos argumentos y el positivo alcance que propone el Desarrollo Sostenible, la Cumbre de la Tierra marcó un hito histórico, al demostrar que si la población es pobre y las economías nacionales son débiles, el medio ambiente es más vulnerable, ya que en la mayoría de los casos son países con economías extractivistas. La sobreexplotación de los recursos naturales y la alta dependencia de las finanzas públicas en las rentas de recursos naturales, al mediano y al largo plazo han ocasionado desajustes económicos severos y graves impactos ambientales, empeorando las condiciones sociales y debilitando a las economías (CNUMAD, 2012:2).

En la Comisión de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) definieron el concepto de desarrollo sostenible como un objetivo factible en todo el mundo, ya sea a escala local, nacional, regional o global. Según afirma la CNUMAD (2012), este objetivo puede lograrse si existe una articulación de políticas en los diferentes ámbitos antes mencionados además de una base institucional fuerte y eficiente, y la voluntad de los seres humanos en cambiar sus patrones de producción, consumo, de trabajo y de vida.

El concepto de desarrollo sostenible como una nueva visión del desarrollo para resolver los problemas sociales y ambientales globales, ha sido sujeto de varios debates e interpretaciones, lo

que ha dado paso a la conformación de nuevas corrientes de pensamiento del ambientalismo contemporáneo<sup>8</sup>. Según Pierri (2005) se destacan 3 corrientes a lo largo del debate de la sostenibilidad y el desarrollo.

- a) La corriente humanista crítica: Esta corriente nace a partir de la propuesta del eco-desarrollo<sup>9</sup> con raíces en las ideas de movimientos anarquistas y socialistas, asumiendo que el desarrollo sostenible debe ser construido con la base de un cambio radical social, con el objetivo de atender las necesidades y calidad de vida de los más necesitados, en base a la utilización responsable de los recursos naturales (Pierri, 2005: 28). Tiene por base las ideas teóricas de la ecología social y en menor medida de la economía ecológica, con la que comparte las críticas hacia los problemas económicos dominantes, pero no comparte los postulados de los límites físicos absolutos y en detener el crecimiento económico. Su propuesta de ecología social se centra en promover una “sociedad ecológica” mediante los principios de expandir la vida y preservar los valores comunitarios ambientales de las culturas tradicionales de los pueblos, que serían portadoras de una “sabiduría ambiental perdida”(Martínez Alier, 1995, citado en Pierri, 2005).
  
- b) La corriente ecologista conservacionista o de sostenibilidad fuerte: se fundamenta en los principios de la ecología profunda<sup>10</sup>. Esta corriente tomó fuerza gracias a la discusión ambiental de los años 70 en respuesta de los postulados del crecimiento económico y al crecimiento de la población. La propuesta teórica más clara para respaldar esta corriente fue dada por la economía ecológica, gracias a su fundador el economista Herman Daly (Pierri, 2005: 28). La economía ecológica hace énfasis de la dependencia del sistema socio-económico en los ecosistemas, asumiendo el principio de resiliencia como concepto clave para su fundamentación teórica, que se refiere a la vulnerabilidad de los ecosistemas ante las actividades humanas. Uno de los principales principios de esta corriente, es la no sustituibilidad del capital natural con el capital hecho por el ser humano, al contrario de lo que sostienen los defensores de la sostenibilidad en el sentido débil, en el que si existen niveles de reemplazo entre las diferentes formas de capital. Esta corriente además hace referencia a una visión ecocéntrica para las relaciones humano-naturaleza, en la que se alude al valor intrínseco que tienen los ecosistemas, y a los derechos que tienen las especies no humanas, los sistemas naturales y la biodiversidad de existir en sí mismos (Lopez, 2012).
  
- c) El ambientalismo moderado o sostenibilidad débil: parte de una visión antropocéntrica y desarrollista. Dentro de su propuesta se acepta la existencia de limitaciones que impone la naturaleza a la economía, con esta característica se separa de los supuestos planteados por la economía neoclásica tradicional, la cual tiene la idea de creer en la ausencia de limitaciones naturales para producir crecimiento y riqueza. Este nuevo pensamiento produce el nacimiento de la economía ambiental<sup>11</sup>, que según Pierri (2005) es neoclásica

---

<sup>8</sup> Según Naina Pierri (2005), ambientalismo contemporáneo se refiere al conjunto de ideas y movimientos surgidos en defensa del ambiente en la segunda mitad del siglo XX.

<sup>9</sup> Es un concepto ecocéntrico y su preocupación principal es la ecologización de la economía. Plantea la necesidad de una racionalidad productiva diferente, el uso de la ecotecnología y el problema de la incertidumbre (Marozzi, 1997: 58, citado en Pierri, 2005).

<sup>10</sup> Arne Naess (1973), citado en Pierri (2005).

<sup>11</sup> Pearce y Turner (1995), citado en Pierri (2005).

pero keynesiana y corresponde a la visión de sostenibilidad que proponen los organismos internacionales, con crecimiento económico pero con márgenes de conservación e internalización de externalidades ocasionadas por la contaminación. Esta corriente como se mencionó, reconoce criterios de sustituibilidad entre el capital natural y el capital creado por el ser humano y en este sentido se fundamenta en la productividad y en el desarrollo tecnológico para solucionar los problemas socio ambientales (Daly Cobb, 1989, citado en López, 2012).

Para los fines de esta disertación se aborda solamente el análisis de la perspectiva de sostenibilidad débil, debido a que es el marco de desarrollo que defiende la noción de conceptualizar a los recursos naturales como una forma de capital, y por lo tanto es coherente valorizar monetariamente la pérdida de calidad o agotamiento de este capital. La sostenibilidad débil es esencialmente económica y se centra en el mantenimiento de la renta como se va a explicar en detalle a continuación, mientras que la sostenibilidad fuerte pretende la conservación física de los stocks de los recursos naturales (Serafy, 2002).

Desde esta perspectiva, es teóricamente aceptable, valorizar el costo ambiental de la pérdida de la calidad del aire a través de las herramientas de valoración de la contabilidad ambiental y ajustar a los indicadores de crecimiento económico como al PIB, con los costes ambientales de las externalidades. Las otras visiones del Desarrollo Sostenible, proponen diferentes mecanismos para abordar estos temas, que suponen utilizar otro tipo de herramientas basadas en el análisis de metabolismos sociales.

## **La sostenibilidad débil**

La sostenibilidad desde la perspectiva “débil”, asume que entre el capital económico y el capital natural existen niveles de sustitución, esto significa que el deterioro del capital natural puede ser recuperado mediante la inversión en capital económico (Falconí, 2002:37).

Esta perspectiva parte del criterio de la capacidad de sustitución entre el capital natural y el físico o hecho por el ser humano, y se sustenta en el principio de que el agotamiento de determinados recursos naturales puede ser compensado de alguna forma por el capital físico o humano, a través de cambios tecnológicos, infraestructura, salud, educación, o finalmente por otro tipo de capital económico (López, 2012:265).

Las raíces conceptuales de la sostenibilidad débil, según afirma Falconí (2002), residen en las propuestas de Lewis Gray en 1913 y Harold Hotelling en 1931, quienes establecieron una “regla” acerca del sendero óptimo de extracción de los recursos no renovables. Este óptimo puede darse solamente cuando se maximiza el ingreso neto, el cual es entendido como la sumatoria del valor presente de los flujos futuros que pueden obtenerse por explotar recursos naturales, como por ejemplo recursos minerales y energéticos (Falconí, 2002:38).

Esta regla conocida comúnmente como la regla de Hotelling, depende de la decisión del agente económico, el cual debe comparar la ganancia neta obtenida por vender el recurso natural luego de

invertir esta ganancia a una tasa de interés de mercado con la ganancia a obtener por mantener el recurso intacto para venderlo en el futuro (Falconí, 2002: 38).

Así mismo otra raíz conceptual según afirma Falconí (2002), se remonta a los modelos neoclásicos de crecimiento económico de los años setenta, donde se incorpora el capital natural agotable en el contexto de la economía. Estos modelos se basan en la regla del ahorro-inversión proveniente de la teoría de crecimiento con recursos agotables. Por ejemplo Solow en sus estudios buscaba establecer condiciones que permitieran a una economía crecer indefinidamente bajo el límite de los recursos naturales finitos; así mismo Stiglitz (1974) se centró en entender cómo el crecimiento de la población y el crecimiento económico se ven afectados por el uso de los recursos no renovables, y enfatizó en la posibilidad de sustitución del capital natural con el capital económico, siempre y cuando exista el progreso tecnológico y la eficiencia, para disminuir la vulnerabilidad del desarrollo frente a los límites de la naturaleza (Falconí, 2002:38).

Esta visión de sostenibilidad es la que defiende en la teoría la economía ambiental, la cual presenta una serie de condiciones para alcanzarla. Según Labandeira, León y Vázquez (2007), desde una aproximación neoclásica el capital puede adoptar 3 formas: capital material ( $K_m$ ) derivado de alguna actividad productiva (infraestructura, maquinaria, edificios, etc.); capital humano ( $K_h$ ) entendido como conjunto de conocimientos, habilidades cognitivas y no cognitivas; y el capital natural ( $K_n$ ) que comprende recursos naturales y los recursos ambientales. Esta nueva versión reemplaza a los tres factores de producción tradicionales: capital ( $K_m$ ), trabajo ( $K_h$ ), tierra ( $K_n$ ).

$$K = K_m + K_h + K_n$$

Para entender la posibilidad de sostenibilidad débil, la economía ambiental introduce 2 factores adicionales. El primero se refiere al avance tecnológico, que en si puede mejorar el flujo de servicios obtenido de un stock de capital, logrando afectar positivamente la función de producción que relaciona el resultado con el capital (Labandeira et al, 2007:32). Bajo este esquema el cambio tecnológico puede compensar disminuciones en el stock de capital y evitar que estas pongan en riesgo la sostenibilidad del desarrollo, siempre y cuando estos cambios tecnológicos no ocasionen impactos ambientales.

El segundo factor corresponde al crecimiento poblacional. La crisis ambiental y social ha demostrado que el aumento de la población ha conllevado a problemas de escases y degradación del capital natural, esto significa que la población requiere de más recursos naturales para mantener un nivel de bienestar (Labandeira et al, 2007:31).

Según Falconí (2002) un caso muy clásico de estos modelos es la función de producción del tipo Cobb-Douglas, que se presenta en la siguiente fórmula:

$$Q = K^a * R^b * L^f$$

Donde K es el stock de capital económico, R es el flujo de recursos naturales usados en la producción y L es la oferta de trabajo. En este caso el modelo Cobb Douglas (citado en Falconí, 2002) asume que este modelo tiene rendimientos constantes a escala y que la suma de las elasticidades de K, R y L es

igual a 1 ( $a+b+f=1$ ). De esta forma los modelos neoclásicos caracterizan a la sostenibilidad como la obtención del bienestar social sin tener decrecimiento en el tiempo (Falconí, 2002: 39).

Es necesario entender que en el caso de los recursos naturales no renovables la tasa de reproducción es nula en escala humana, lo que en breves rasgos afirma que el desarrollo sostenible no podría darse. Aun así a raíz de los postulados de Solow y Cobb Douglas, Hartwick (1997)<sup>12</sup> afirma que la inversión de las rentas obtenidas de los recursos naturales no renovables bajo ciertas condiciones, conduce a lineamientos de consumo consistentes con el desarrollo sostenible (Labandeira et al, 2007:32).

Estas condiciones necesarias se resumen en la llamada regla del capital constante. Esta regla desarrollada por Hicks, Page, Hartwick y Solow requiere que el stock total de capital no disminuya a lo largo del tiempo, por lo que es necesario que cada generación deje a las futuras generaciones un stock de capital al menos igual al que recibieron (Labandeira et al, 2007: 33). Esta regla es el centro teórico principal de la sostenibilidad débil, además de que esta regla asume que existen posibilidades de sustitución entre las diferentes formas de capital.

### **Críticas a la Sostenibilidad Débil**

En un debate académico<sup>13</sup> entre Solow, Stiglitz y Daly (1997), los dos primeros plantean que el bienestar no es normalmente dependiente de un tipo específico de capital, y en concreto del capital natural, sino que lo importante es la conservación del stock del capital. Daly hace una fuerte crítica de estos postulados, sobre todo al que se refiere a la perfecta sustitución entre factores. Irónicamente Daly plantea el ejemplo del pastel, en donde si se asume la función de producción de Solow  $y = f(K,L)$ , no se necesita de harina, huevos, leche o azúcar, sino que simplemente la cocina unida a una fuerza de trabajo lo va a realizar, además de que la función no asume límites en la producción ya que no se toma en cuenta los recursos usados ni los desechos, por lo tanto esta teoría no cumple con los principios básicos de la termodinámica. De hecho los recursos naturales y el capital son generalmente no sustituibles, pero si complementarios, y en esto radica el análisis de Daly. Efectivamente el hecho de que puedan tener una misma unidad de medida no significa que puedan ser sustituibles, ya que si fuera el caso, no existirían los problemas de escases y agotamiento de los recursos naturales.

En resumen Daly presenta 2 postulados como crítica a lo que plantean Solow:

- La falta de consistencia con 2 leyes básicas de la termodinámica. La energía ni se crea ni se destruye, se transforma; y no es posible convertir una cantidad de energía a otra forma sin tener pérdidas en el proceso.
- Que el crecimiento pueda continuar sin tomar en cuenta la oferta limitada de los recursos naturales.

Solow (1997) responde a esta crítica preguntando a sus lectores: ¿cuánto podemos seguir creciendo, tomando en cuenta la sostenibilidad de la producción, y la limitada disposición de recursos? Para

---

<sup>12</sup>Hartwick (1977), citado en Falconí (2002)

<sup>13</sup>Foro Georgescu-Roegen versus Solow y Stiglitz, escrito por Herman E. Daly (1997) en el journal Ecological Economicis.

Solow la respuesta dependerá de la importancia de los recursos naturales como insumos en la producción. Solow afirma que sustituir factores de producción con recursos naturales si es posible, empleando mecanismos más eficientes en la producción; por ejemplo si producimos con recursos renovables usando métodos con intensivo capital, se reemplaza a la producción con fuentes no renovables, generando menos desechos al ambiente y menor agotamiento de estos recursos, lo que determinaría una forma de sustitución. Es evidente que lo que propone Solow dependerá a su vez de los avances y el uso de la tecnología.

Joseph Stiglitz (1997), se une al debate y comparte el postulado de Solow al afirmar que los recursos naturales en cierta medida si son sustituibles con otros factores de la producción. Por ejemplo las maquinas pueden reducir desperdicios de recursos que son escasos, es decir que puede reducir cantidades de recursos naturales en la producción y que un incremento en la eficiencia de la producción puede generar menor contaminación y menor uso de energía provocando la sustitución de una cantidad de capital físico por una cantidad menor de recursos naturales, pero que esto estará sujeto a las mejoras tecnológicas, las cuales permiten reciclar recursos. Stiglitz integra a un actor importante en el debate, el Estado y plantea que los mercados no funcionan bien porque estos tienen fallas en la asignación y uso de los recursos naturales por lo que es necesario que el Estado tome acción frente a estas fallas (Stiglitz, 1997).

Labandeira et al (2007: 33), sostiene que la posibilidad de este tipo de sustitución, no implica que sea inmediata o sencilla, esto se debe a que la elasticidad de sustitución suele variar a medida que las disponibilidad relativa de los recursos cambia. En este sentido solo puede existir sustitución del capital natural si es compensado con inversión de alguna de las formas restantes y en ningún caso por el consumo de los beneficios obtenidos. Por tal argumento aplicar la sostenibilidad débil es más complejo que lo que sus críticos puedan afirmar.

### **Nuevas propuestas de indicadores para medir el desarrollo y la sostenibilidad**

La propuesta de desarrollo sostenible en la Cumbre de la Tierra (1992) plasmado en la Agenda 21, expresaba la necesidad de definir indicadores para que el concepto de desarrollo sostenible sea algo medible y alcanzable y deje de ser un concepto difuso. Hasta la actualidad, existen discrepancias sobre las características que deben tener las medidas, métricas e indicadores del desarrollo sostenible y que puedan abarcar varios aspectos de la sostenibilidad. Sin embargo, ha existido un consenso en abarcar los objetivos económicos, sociales, ambientales e institucionales. El problema en establecer indicadores que abarquen estos cuatro objetivos radica en la disponibilidad de información confiable y científica, en las diferentes unidades de medida de las bases de datos (física, monetaria, cuantitativa, cualitativa), en la complejidad de condensar y simplificar la información en indicadores de estado y evolución, y en la interpretación de los resultados (Labandeira et al, 2007: 35).

En los últimos años han surgido nuevos indicadores para medir el desarrollo y la sostenibilidad, en respuesta a las deficiencias que presenta los indicadores de crecimiento económico como el Producto Interno Bruto (PIB), lo cual se tratará en el punto 2 de este capítulo en mayor detalle. Según la literatura académica revisada, los principales indicadores que se han elaborado para medir el desarrollo y la sostenibilidad son: el Coeficiente de Gini, el Índice de Desarrollo Humano (IDH), el

Índice de Sustentabilidad Ambiental (ISA), el Índice de Bienestar Económico Sostenible (IBES), la Huella Ecológica, y el Producto Interno Neto Verde (PINV) el cual se analizara en detalle en el siguiente punto de esta disertación sobre las limitaciones en medir el crecimiento económico.

El Coeficiente de Gini es un índice que mide el estado de la distribución de la riqueza entre individuos u hogares dentro de una economía, logrando definir si la distribución se acerca a la equidad o a la inequidad. Es uno de los indicadores más utilizados para el análisis estadístico de la desigualdad debido a que es factible su cálculo e interpretación, fue ideado por el estadístico italiano Corrado Gini, y es un número entre 0 y 1. Si se acerca al 0 corresponde a una mejor igualdad, mientras que si se acerca al 1 corresponde a una mayor desigualdad. Este coeficiente se obtiene a partir de la Curva de Lorenz<sup>14</sup> y “mide la superficie entre la Curva de Lorenz y una línea hipotética de equidad absoluta, expresada como porcentaje de la superficie máxima debajo de la línea” (Banco Mundial, 2015).

Entre los principales indicadores para medir el desarrollo se destaca el Índice de Desarrollo Humano (IDH) propuesto en 1990 por el PNUD y se publica desde entonces como parte del Informe sobre Desarrollo Humano. Según el PNUD (1990), el desarrollo humano es un proceso mediante el cual se amplían las oportunidades de los individuos, consideradas como prioritarias la vida prolongada y saludable, acceso a la educación y el disfrute de un nivel de vida decente. Es un índice calculado como media aritmética de tres indicadores: renta (en dólares y paridades de poder adquisitivo), educación (tasa de alfabetización en diferentes niveles educativos), y el de salud (esperanza de vida). Toma valores entre 0 y 1, es decir mientras más se acerquen los resultados al 1 mejores resultados muestra un país.

Según el mismo PNUD (1990) este indicador debe evolucionar en la medida que surgen mejores herramientas para medir otros aspectos de la calidad de vida, este organismo afirma que el desarrollo humano no puede limitarse a la idea de que el ingreso pueda ser un sustituto de todas las demás oportunidades del ser humano debido a que justamente este ingreso puede ser utilizado con fines destructivos, es por eso que el ingreso debe considerarse como un medio y no un fin.

El IDH, como se ha observado no incluye aspectos relacionados al ambiente, como el acceso de las personas a un ambiente sano y disfrute de los servicios ecosistémicos, considerados como soportes de vida fundamentales para el bienestar humano. Sin embargo, según afirma Labandeira et al (2007), en las últimas publicaciones del IDH se incluye un capítulo con información sobre ambiente y energía, aspectos que no están considerados en el índice, pero resulta importante que se analicen datos de evolución de variables ambientales y energéticas con datos poblacionales.

En lo que respecta a indicadores de sustentabilidad, el Índice de Sustentabilidad Ambiental (ISA), fue desarrollado por el Foro Económico Mundial en el año 2000, y se compone de 76 variables de igual peso ponderado en el total, que a su vez estas variables se estructuran en 21 indicadores y 5 componentes. Los 5 componentes que integra este indicador son: estado de los ecosistemas, reducción de las presiones ambientales, vulnerabilidad humana ante los impactos ambientales,

---

<sup>14</sup> Es un gráfico usado para representar la desigualdad social en el acceso a recursos o medios de satisfacción de necesidades como el ingreso, el consumo, la tierra o la propiedad de los medios de producción. La curva se construye a partir del ordenamiento de la población, en escala ascendente, de acuerdo al acceso al recurso. El eje de las abscisas (x) representa las proporciones acumuladas de la población, y el eje de las ordenadas (y), las proporciones acumuladas del acceso al recurso (SIISE, 2015).

capacidad social e institucional, y la cooperación global. Este índice toma valores del 0 al 100, siendo el país con un valor más cercano al 100 con un mejor desempeño para alcanzar un desarrollo sostenible (CEPAL, 2007). Las variables que incluye este índice, según afirma la CEPAL, es “sumamente completo” por ejemplo abarca datos sobre: calidad y cantidad de aguas, emisiones contaminantes, consumo y eficiencia energética, parque vehicular, crecimiento poblacional, uso de agroquímicos, gestión ambiental, datos sobre percepción institucional, etc.

Expertos han correlacionado este índice con la tasa de crecimiento del PIB, y el resultado demuestra que “no existe una clara relación en ningún sentido”, lo que propone que son otros factores que explican la sustentabilidad y no el ritmo o formas de crecimiento económico (CEPAL, 2007).

Otro índice de sustentabilidad, es el Índice de Bienestar Económico Sostenible (IBES) fue diseñado por Daly y Coob en 1989, y busca informar sobre la sostenibilidad de los niveles de bienestar que la población de un país está experimentando en un periodo de tiempo. Integra variables económicas, distributivas, sociales y ambientales las que son medidas en una escala única, y ponderadas de acuerdo a los acuerdos de sus diseñadores. El IBES, incluye variables como el consumo ajustado, el coeficiente de Gini, los gastos de protección ambiental de la sociedad, nivel de salud, educación y el acceso de la población a otros bienes y servicios, lo cual presenta una enorme potencialidad para la evaluación y seguimiento de políticas públicas entorno al desarrollo, debido a que puede compararse con otros indicadores como el PIB o el IDH, demostrando ventajas al considerar variables ambientales en su cálculo (CEPAL, 2007). Los resultados de este índice en los países desarrollados han demostrado que mientras el PIB sigue creciendo, el bienestar económico sostenible ha comenzado a decaer.

Otro indicador de sostenibilidad pero desde la perspectiva fuerte es el de Huella Ecológica (HE), el cual mide la carga de una población sobre los ecosistemas, es decir representa el área de tierra o mar biológicamente productiva requerida para satisfacer las necesidades de producción, consumo y generación de residuos de una población. Generalmente la HE se calcula con datos de la FAO, la Agencia Internacional de la Energía, y el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, y uno de los análisis que desprende este índice es el de Huella Ecológica per cápita. La HE en la práctica puede ser calculado a nivel local, nacional, regional o global, y básicamente se calcula a partir de la producción total de un territorio, restando las exportaciones y sumando las importaciones.

$$\text{Consumo neto} = \text{producción doméstica} - \text{importaciones} + \text{exportaciones}$$

El consumo neto de cada producto analizado en el cálculo de HE se divide por la productividad media global por hectárea de cada producto. Con esto se estima la superficie biológica (medido en unidades de hectáreas globales) necesaria para satisfacer las necesidades de alimentación, la demanda de madera, los residuos del consumo de energía, y el uso de la tierra para edificaciones. Finalmente para agregar los resultados en una única cifra, se ponderan los resultados en función de la productividad de cada superficie en términos de biomasa (Labandeira et al, 2007). Es evidente la utilidad de este indicador en poder comparar en una misma unidad de medida la demanda (Huella Ecológica) y la oferta (Capacidad biológica) de la superficie requerida para satisfacer las necesidades de la población, sin embargo este índice tiene ciertas limitaciones al no considerar aspectos

ambientales de la sostenibilidad importantes como la contaminación al aire, al suelo o al agua, el agotamiento de los recursos no renovables, además que no considera variables económicas y sociales (CEPAL, 2007).

La sostenibilidad y su relación con la economía y el desarrollo es actualmente un tema muy debatido. No obstante, es aún más controversial tratar de medir el desarrollo y la sostenibilidad sólo a partir de la utilización de un conjunto de indicadores. Como afirma Falconí (2002), siempre surgirá la siguiente interrogante ¿son los indicadores escogidos los que mejor reflejan la sostenibilidad de una región específica o país? Por este motivo es recomendable la elección de indicadores en base al problema a tratar, la territorialidad, y la disponibilidad de información.

## **El ambiente y las fallas de mercado**

El primer teorema fundamental de la economía del bienestar establece que la economía sólo es eficiente en el sentido de Pareto cuando en el mercado existe libre competencia y los derechos de propiedad están definidos. El segundo teorema de la economía del bienestar establece que toda asignación eficiente, se puede obtener con el funcionamiento del mercado mediante un mecanismo de precios (Stiglitz, 2000: 66). Estas propiedades del funcionamiento del mercado no se cumplen en todos los casos, por lo que es común que los resultados de los mercados sean insatisfactorios. Ante esto surge el pensamiento social de que se puede organizar de diferente forma la economía para poder mejorar el bienestar. Es así que Stiglitz afirma que en el momento en que no se cumplen dichas propiedades se denomina falla de mercado.

Según afirma el mismo autor, para que funcionen los mercados es de vital importancia la presencia del Estado para crear institucionalidad social, jurídica que permita definir adecuadamente los derechos de propiedad y que los contratos de estos derechos sean cumplidos. Los derechos de propiedad son la estructura institucional principal para que los mercados funcionen; sin los derechos de propiedad bien definidos sobre los bienes que se intercambian, los mercados no podrían existir. Por ejemplo, como menciona Labandeira (2007), para los bienes privados el sistema de derechos funciona correctamente, garantizando su uso y exclusividad a los agentes; sin embargo esto no sucede con los servicios ambientales al no estar claro los derechos de propiedad de los mismos.

Una economía en el sentido de Pareto puede ser muy efectiva para la asignación de bienes y servicios que eviten problemas de escasez, por ejemplo si crece la demanda de papas con respecto a la del arroz el precio de las papas subirá, y esta señal hace que los agricultores tengan mayores incentivos para cultivar más papas que arroz. Sin embargo este modelo simple no es aplicable a los bienes y servicios ambientales, porque estos generalmente no son comparados ni vendidos en los mercados al no existir derechos de propiedad definidos para los mismos, por lo que los problemas de escasez y degradación no están contemplados en el mercado, ni tampoco se generan los mecanismos necesarios para una asignación eficiente de los mismos (Glover, 2010).

Para detallar más a fondo el problema que subyace entre el ambiente y los derechos de propiedad, se observa que los mercados en efecto producen a gran escala bienes y servicios que generan desechos y contaminantes al aire, al agua, al suelo que afectan a la calidad de estos ecosistemas como se ha manifestado previamente en este estudio; problemas generados por el mercado que

afectan al bienestar y recaen en la falta de derechos de propiedad, justamente porque no está claro a quién pertenece el derecho de precautelarse que se mantengan las propiedades de calidad y cantidad de los recursos naturales.

Haciendo referencia al segundo teorema de la economía del bienestar, otra característica de este problema es la ausencia de precios. Teóricamente, un sistema de precios podría brindar señales acerca de la escasez de los recursos y obligaría a los individuos a dar los mejores usos con el fin de maximizar el bienestar. Sin embargo, para Mendieta (2008) los precios pueden subestimar el total de servicios de brinda un recurso natural, o bien fracasar en enviar las señales correctas al mercado sobre el verdadero valor del recurso y esto se explica porque el sistema de precios hace que los óptimos privados <sup>15</sup>no concuerden con los óptimos sociales deseados.

Al no cumplirse los principios de la economía del bienestar para que una economía sea eficiente en el sentido de Pareto en relación al ambiente, debido en muchos casos (no necesariamente siempre) a la falta de derechos de propiedad, la ausencia de precios y las fallas de mercado; proponen argumentos válidos para que el Estado actúe como un agente regulador que intervenga y a través de diferentes instrumentos de política pueda ayudar a que la economía llegue a ser eficiente en el sentido de Pareto (Stiglitz, 2000).

Stiglitz identifica que hay seis condiciones en las que los mercados no son eficientes en el sentido de Pareto, es decir seis fallos básicos de mercado, estos son: competencia imperfecta, bienes públicos, externalidades, mercados incompletos, información imperfecta, paro y otras perturbaciones económicas. Sin embargo para los fines de esta investigación se profundizara el análisis en la falla de mercado de bienes públicos, y en el de las externalidades específicamente las de contaminación.

## **Los Bienes Públicos**

Para distinguir entre bienes privados y públicos, se suelen analizar dos aspectos del consumo de los bienes: la rivalidad y la exclusión. El consumo de un bien es rival si este bien es utilizado por alguien y no puede ser utilizado por otro, por ejemplo cuando una persona consume un helado, otra persona no puede consumir el mismo helado. Por otro lado, el consumo es no rival cuando el consumo de un bien por parte de un individuo no impide o disminuye el consumo del mismo bien a otro, además de que el consumo adicional no conlleva a costos marginales adicionales. Un ejemplo clásico de este consumo es el uso de la defensa nacional (Stiglitz, 2000).

El segundo aspecto que se analiza para distinguir entre bienes privados y públicos, es el de la exclusión. El consumo es excluyente cuando es posible impedir el consumo de un bien si los individuos no pagan por su consumo, y no excluyente cuando es imposible o muy costoso excluir a un individuo del uso de un bien, por ejemplo el servicio de un faro, o el servicio de la seguridad nacional. En términos generales los bienes privados tienen las propiedades de rivalidad y de exclusión, mientras que los bienes que son no rivales y no excluyentes se consideran bienes públicos

---

<sup>15</sup> Los óptimos privados se derivan de las decisiones de los individuos con el fin de maximizar su beneficio económico, mientras que el óptimo social es aquel estado de la economía que se deriva del mayor bienestar económico para la sociedad.

de carácter puros. Según afirma Stiglitz (2000), estas propiedades de los bienes hacen que sucedan fallas de mercado.

Otra característica del consumo de los bienes es que pueden ser considerados como puros e impuros, como se mencionó anteriormente los bienes puros cumplen las propiedades de no rivalidad y de no exclusión, como es el caso de gran parte de los bienes públicos (defensa nacional, el uso de un faro). Los bienes impuros al cambio pueden ser rivales o excluyentes o ambos. En la ilustración 1, se realiza una clasificación de los bienes privados y públicos en base a la exclusividad y a la rivalidad.

Considerando estas propiedades se presentan otros tipos de bienes que pueden ser privados como públicos. Es el caso de que cuando un bien es no rival y excluyente, se considera como un bien club, por ejemplo el pago de canales de TV privados, o el acceso a una playa privada. Al cambio, cuando un bien es rival pero no excluyente, se considera como un bien comunal ya que no se consideran los precios para excluir su consumo, debido a que en la mayoría de los casos son bienes suministrados por el Estado o por la naturaleza; por ejemplo el uso de un parque natural público, el uso de una laguna, o el uso del aire.

**Ilustración 1**  
**Clasificación de los bienes por propiedades de consumo**

	Rival	No rival
Excluyente	Bienes privados puros	Bienes Club
No excluyente	Bienes Comunes	Bienes Públicos puros

Fuente: Adaptado de Stiglitz (200) y de Azqueta (2007)  
Elaboración: Franco Carvajal

Para los economistas el problema de los bienes comunes<sup>16</sup> es otro caso donde el mercado falla en asignar el recurso eficientemente debido a que es altamente costoso o imposible negar el acceso a ese bien. Stiglitz menciona que unos de los problemas es la imposibilidad de exclusión, ya no se asigna eficientemente un bien en el sentido de Pareto. Esto se observa en muchos de los bienes suministrados por el Estado, lo cuales pueden ser sobre utilizados, generando pérdidas sociales. Un ejemplo de este problema es el tráfico en una autopista, en el que el sobreuso de este bien genera pérdidas económicas por el tiempo que pierden las personas, y por la contaminación generada en la zona cerca de la autopista, lo cual tiene afectaciones en la salud y en la pérdida de la calidad de un bien ambiental.

En el caso de un bien ambiental, por ejemplo las personas que tienen acceso a un lago tienen incentivos para capturar la mayoría de los beneficios que provee este bien ambiental antes de que otra persona lo haga primero, como por ejemplo los peces, la recreación en la playa y el paisaje. Esta situación puede producir un sobreuso del bien ambiental debido a que no es posible controlar el uso de las personas a través de la exclusión, este ejemplo se cumple siempre y cuando se asuma que los

<sup>16</sup> En 1968 Garrett Hardin publicó “La tragedia de los bienes comunes”, donde afirmaba que si todos tenemos acceso a un pastizal común, cada uno intentará llevar el mayor número de animales posible. La maximización del beneficio de cada individuo era para Hardin la tragedia del pastizal. Decía que si todos hacemos lo mismo, todos perdemos, nadie gana. La propiedad privada era, según Hardin, la solución al abandono y la falta de gestión del bien común. La tesis se repitió hasta el cansancio sin una sólida controversia hasta 1990, cuando Elinor Ostrom publicó “El gobierno de los bienes comunes”(Elespectador, 2015).

individuos buscan maximizar su beneficio propio, y que no existan mecanismos de cooperación entre los individuos.

Estos problemas de exclusión, se dan principalmente en los bienes comunales, y no se debe a la falta de viabilidad de excluir, sino como afirma Stiglitz, por las imperfecciones de la institucionalidad jurídica. Ronald Coase (citado en Stiglitz, 2000), premio Nobel de Economía, afirma que muchos de los problemas de los bienes públicos y de las externalidades se resolverían si se definieran los derechos de propiedad necesarios, que permitan aplicar la exclusión. Sin embargo para Stiglitz, esta solución no siempre resuelve los problemas de exclusión y de los bienes comunales, debido a que no considera el problema del “polizón” o “free rider”. Este problema surge porque no existen los incentivos necesarios para que los usuarios reflejen sus preferencias a pagar por el uso de un bien, debido a que saben que de igual forma se va a suministrar el bien en cuestión.

Elinor Ostrom premio Nobel de Economía en el año 2009 por su trabajo a lo largo de 40 años sobre los bienes comunes y los recursos naturales de propiedad común (citado en Aguilar, 2012), hace una crítica seria a los postulados de la academia tradicional sobre los problemas de bienes públicos, principalmente a la solución que proponen diferentes economistas en privatizar o en definir los derechos de propiedad de un bien comunal natural para resolver problemas como sobreuso y pérdidas en el bienestar social.

Ostrom (2007), cuestionó que los problemas identificados en los bienes comunales acabasen en tragedia como lo propone la academia económica tradicional, debido a que en la práctica dicha propiedad comunal “articulada como institución” con reglas de juego claras entre los usuarios, ha constituido la solución “más adecuada” para la supervivencia de muchas comunidades, siempre que no existan la intervención violenta de los gobiernos o de empresas privadas (Ostrom 2007, citado en Aguilera, 2012). Un ejemplo de esto es lo que ocurre en América Latina cuando los gobiernos expropián tierras comunales o el uso de cuencas hidrográficas a comunidades, para arrendar el uso de estos bienes a empresas transnacionales de minería o agrarias. Según Ostrom “esta es la auténtica tragedia de los bienes comunes y no la hipotética sobre explotación de los recursos mencionada por Hardin (1968)”.

A lo largo de su investigación, Ostrom identificó dos ideas claves para entender el éxito o no de los bienes comunales. La primera idea trata sobre la voluntad de cooperar entre los co-propietarios del recurso natural, esta voluntad por cooperar no es un proceso fácil ya que depende de los intereses colectivos e individuales que tenga la comunidad. La segunda idea trata sobre la “capacidad institucional” de autogestión entre los miembros de la comunidad, para identificar si las reglas parámetros para la gestión del recurso natural son las más adecuadas para su uso sostenible.

Analizando la solución de los derechos de propiedad (propuesto por la academia tradicional), como el de la cooperación y de la institucionalidad entre los propietarios de un bien ambiental (propuesto por Ostrom), proponen que para el caso de la gestión de calidad del aire, se consideren soluciones que van depender en la forma en que la sociedad se organiza y decide gestionar su naturaleza. Además de la localidad en que se pretende solucionar el problema, hay ciertas dificultades en cuanto al análisis local de los bienes comunales. Según presenta Azqueta (1994) los bienes y servicios ambientales comunes pueden ser clasificados en recursos comunes globales (por ejemplo la capa de

ozono, el ciclo hidrológico) los cuales deben ser gestionados de forma mundial, y en recursos comunes locales (por ejemplo un parque natural, un río de ciudad) los cuales son relativamente más fáciles de gestionar (Azqueta, 1994). Estas características tanto locales como institucionales van a determinar la forma adecuada en que una sociedad se plantea solucionar los problemas de mercado.

### **Externalidades de la contaminación**

Cuando el tráfico vehicular contamina el aire en las avenidas de una ciudad se genera un efecto externo para otras personas que disfrutan del aire limpio. La contaminación puede ser analizada desde diferentes ramas de la ciencia, principalmente por las ambientales, sin embargo desde el enfoque económico encaja perfectamente dentro del concepto de externalidad. Según Arrow (1969, citado en Mendieta, 2008: 114) las externalidades son un caso especial de mercados incompletos para los bienes ambientales, y define esta falla de mercado como:

Una externalidad se presenta cuando el consumo de un individuo o la producción de una empresa afectan la utilidad de cualquier otra persona o la función de producción de cualquier otra empresa hasta que las condiciones de optimalidad de Pareto para la asignación de recursos no puedan ser cumplidas.

Las externalidades son un concepto útil para definir aquellas relaciones entre consumidores y productores que no son previstas por el mercado. Por lo general una externalidad es un efecto secundario involuntario y sin compensación por parte de su generador (Stern, 2007: 24). Un ejemplo claro de este problema son los efectos en la salud de las personas ocasionados por las emisiones de gases de transporte e industrias. Efectivamente este efecto externo no logra ser evidenciado a través de los precios de mercado, si no que el impacto cae sobre la producción de utilidad o la de beneficios de las personas o empresas. En más detalle Mendieta (2008) explica que los mercados son incompletos ya que no existe una institución para el intercambio donde las personas paguen por los beneficios externos o paguen un precio por la imposición de costos externos.

Según presenta Tapia (2013) existen varias clasificaciones de las externalidades en función de sus características (ilustración 2), una división bastante generalizada es la que realiza Varian (2006), quien diferencia entre las externalidades en el consumo y las externalidades en la producción. Estos dos tipos de externalidades pueden ser positivas o negativas de acuerdo a los efectos que provoquen en el agente afectado. Las externalidades negativas son las situaciones en las cuales el agente afectado percibe un costo o un decremento en su bienestar generado por la externalidad y que no es compensado. Mientras tanto, la externalidad positiva es el caso en el que el agente percibe un beneficio de la actividad de otro agente, beneficio por el cual no paga ninguna retribución.



Se ha visto entonces que no es posible conducir a la sociedad a maximizar su bienestar mediante el libre comportamiento de los individuos a través de sus propios planes de producción y de consumo. En este sentido se ha demostrado que el equilibrio competitivo (A) no es eficiente en el sentido de Pareto, y que se necesitan de ciertos incentivos económicos para lograr internalizar la externalidad, o dicho de otra forma, maximizar el bienestar social al punto B (Labandeira et al, 2007: 72). Continuando con el ejemplo de la fábrica de papel en un mercado no regulado, la función de costos de la empresa ( $C_f$ ) se representa de la siguiente forma:

$$C_f(b, Z_r, Z_a)$$

Donde  $b$  representa la producción de papel,  $Z_r$  y  $Z_a$  son las emisiones al agua y al aire respectivamente, además que la empresa elige su nivel de producción también puede elegir su nivel de contaminación, por lo tanto el problema de maximización del beneficio viene dado por:

$$\begin{aligned} \text{Max}\pi_b &= P_b b - C_f(b, Z_r, Z_a) \\ &(b, Z_r, Z_a) \end{aligned}$$

Para cumplir las condiciones de maximización se deriva la función de costos en relación a la producción, las descargas al agua y las emisiones al aire, de la siguiente forma:

$$\frac{\delta C_b}{\delta Z_a} = 0; \frac{\delta C_b}{\delta Z_r} = 0; \frac{\delta C_b}{\delta b} = P_b$$

Lo que demuestra la maximización es que la producción de papel implica que las emisiones tanto al aire y agua se llevarán hasta el nivel en que su costo marginal sea cero, debido a que estos bienes ambientales no tienen un precio de mercado ni derechos de propiedad definidos para asumir un tipo de costo por la contaminación generada (Labandeira et al, 2007:73).

### **Posibles soluciones para las externalidades de la contaminación**

Se han desarrollado diferentes alternativas y soluciones para tratar los problemas de la contaminación como externalidad. Para esto surgen soluciones tanto privadas de mercado, como públicas desde el Estado. En el caso de la contaminación vehicular, es necesario considerar que las soluciones deben abarcar diferentes targets, tanto para los consumidores de vehículos como para los productores.

#### *Soluciones de Mercado*

Según presenta Stiglitz (2000), a simple vista las empresas no tienen incentivos para aumentar sus gastos y controlar la externalidad de la contaminación, debido a que estos gastos adicionales pueden ser excesivos, a pesar de que sea evidente un beneficio social y ambiental. Por tal motivo las soluciones de mercado necesitan de una adecuada participación del Estado.

Una primera solución que presenta Tapia (2013) es la de internalizar los costos de la externalidad, mediante la creación de incentivos y de un marco legislativo efectivo para que el generador de la

externalidad y el grupo afectado puedan coordinar los mecanismos necesarios para internalizar el coste ambiental. Esto puede ser posible con el apoyo del Estado, quien debe garantizar que se cumplan los acuerdos entre las partes para la internalización. Las dificultades de esta solución radican en la dificultad de crear los incentivos para que el generador de la externalidad busque internalizarla, o en otro caso mediante la creación de políticas y normas que obliguen la internalización. Además otra dificultad, es que tanto los contaminadores como los afectados puedan llegar a establecer acuerdos y cumplir completamente los compromisos. Es por este motivo que la participación del Estado en cada proceso es fundamental.

Como se mencionó anteriormente, otra solución desde el mercado es la de otorgar derechos de propiedad, siempre y cuando los derechos de propiedad de las partes estén bien asignados y puedan defenderse. No obstante, hay bienes ambientales de carácter territorial que es difícil asignarle un derecho de propiedad al mismo, como es el caso del aire, pues este recurso es un bien común, pero también es un bien preferente, motivo por el cual no puede aplicarse la propiedad. Esto significa que no siempre se puede o es necesario aplicar la solución de los derechos de propiedad.

Otra solución propuesta por Stiglitz (2000, citado en Tapia, 2013), es el fortalecimiento y actualización de la institucionalidad legal que protege a los afectados por las externalidades de contaminación. Como menciona Stiglitz: "Incluso cuando los derechos de propiedad no están perfectamente definidos, el sistema jurídico puede proteger de las externalidades a los individuos afectados... implícitamente, los tribunales han reconocido a los individuos algunos derechos de propiedad". Este mecanismo tiene éxito cuando, los afectados acuden a instancias legales para demandar una compensación por los daños ambientales ocasionados. Un ejemplo de esto, son las demandas de comunidades a empresas petroleras y mineras, por la contaminación de la atmósfera, o por derrames.

### *Soluciones del Estado*

Existen varias razones que hacen que las soluciones privadas o del mercado sean ineficientes o inaplicables, lo que hace necesario la intervención estatal. Generalmente los bienes ambientales son bienes comunales, lo que dificulta que su gestión sea eficiente desde el sentido de Pareto. Otro problema que se mencionó en estos bienes, es el de la información imperfecta que tiene el Estado y los agentes para internalizar esta externalidad, lo que imposibilita valorar adecuadamente las compensaciones de la externalidad. Según la investigación de Tapia (2013), se identifican básicamente dos soluciones desde el Estado: regulación directa y soluciones basadas en el mercado.

Para Stiglitz (2000) la regulación directa contempla básicamente la limitación de las externalidades. Para esto se identifican dos tipos de regulaciones, las regulaciones sobre los resultados y las regulaciones sobre los factores. El primer tipo de regulaciones, está enfocado a los consumidores de vehículos que utilizan diariamente este medio de transporte, y se refiere a la imposición de límites en seguir contaminando. Por otro lado, las regulaciones en los factores establecen las normas de producción con el fin de limitar la creación de la externalidad, el cual está enfocado en los productores de vehículos.

Como ejemplos de este tipo de regulaciones se destacan: el Impuesto a la Contaminación Vehicular en el país, el cual se lo establece de acuerdo a una base imponible que corresponde al cilindraje que tiene el motor de un vehículo y a las tarifas planteadas por el Servicio de rentas Internas (SRI, 2011).

También se destacan las revisiones vehiculares en el Distrito Metropolitano de Quito, que deben pagar los dueños de los vehículos en la matrícula, como una compensación de la contaminación que genera su vehículo por el tiempo de antigüedad.

En el caso de las regulaciones a los factores, un ejemplo de esto en el país es la política de mejorar el octanaje de los combustibles del país. A partir del año 2011 la Gasolina Extra pasó de 81 a 87 octanos<sup>17</sup> y la Súper de 90 a 92 octanos; con esto se han disminuido las emisiones de óxido de azufre lo que pretende mejorar el rendimiento de los automotores (EP Petroecuador, 2013: 116).

Las soluciones del Estado basadas en el mercado, según Stiglitz (2000) lo que buscan es “influir en los incentivos para conseguir unos resultados económicamente eficientes.” Esto se fundamenta en la idea lógica de que el Estado puede intervenir en la economía para incentivar decisiones que conduzcan a una eficiencia en el sentido de Pareto. Tapia en su estudio (2013) identifica 3 posibles soluciones en este esquema: establecer multas e impuestos, establecer subvenciones o exenciones y otorgar permisos transferibles.

Establecer multas e impuestos, constituye la solución más común desde la perspectiva del Estado, el cual se basa en la lógica de imponer un castigo a la producción de la externalidad. Esto se basa en la idea de igualar el costo marginal social con el costo marginal privado, debido a que los costos de las externalidades no asumidas, hace que el costo marginal privado resulte menor al costo marginal social (ver gráfico 1). Para Stiglitz (2000) las multas relacionadas directamente con la cantidad de contaminación “garantizan que las empresas reducirán la contaminación de la forma menos costosa y más eficiente posible” mejorando su productividad. Para esto, el impuesto puede ser progresivo, mediante la aplicación de bases imponibles de acuerdo a rangos de contaminación.

Las subvenciones o exenciones se basan en la búsqueda de incentivos para eliminar o al menos contrarrestar las externalidades de la contaminación. Según Tapia (2013), la justificación de la aplicación de los subsidios para contrarrestar esta externalidad, es que el Estado en lugar de gravar la producción de contaminación, pueda subsidiar los gastos de los agentes que buscan reducirla. Con esto se busca que el beneficio social marginal se iguale con el beneficio privado marginal; de esta manera se podría llegar a un nivel “aceptable” de contaminación. Un ejemplo de este instrumento es la exoneración de aranceles a la importación de vehículos híbridos en el país.

Finalmente el instrumento de permisos transables, lo que busca es que el Estado establezca límites máximos de contaminación que sean óptimos o por lo menos aceptables de acuerdo a parámetros técnicos, para que estos permisos puedan ser transados en un mercado creado por el Estado. Sterner (2007) por ejemplo afirma que este método de control permite que se solucione parcialmente el problema de ausencia de derechos de propiedad o de la existencia de externalidad en el uso de recursos comunes o bienes públicos.

Con este instrumento se incentiva a que una empresa cuya capacidad de contaminar el aire es baja, pueda comercializar el “sobrante” de su permiso, con una empresa cuya capacidad de contaminación es alta y sobrepase el límite máximo permisible. Este intercambio entre empresas en el mercado hipotético de permisos transables, permitirá que la externalidad se reduzca y que el costo marginal privado se iguale al costo marginal social.

---

<sup>17</sup> El octanaje determina la calidad y la capacidad de consumo en la gasolina. Una gasolina con mayor grado de octanos mejora la potencia y el rendimiento del motor, además disminuye el consumo de combustible (El Comercio, 2012).

Las soluciones privadas de mercado como las soluciones desde el Estado proponen instrumentos con prestaciones importantes para la internalización de la externalidad y la reducción de la contaminación. Sin embargo para ambos mecanismos, se necesita de una institucionalidad fuerte y eficiente, que permita crear los mecanismos regulatorios apropiados, y los incentivos necesarios para converger los intereses privados y sociales hacia una gestión sostenible de los bienes ambientales.

En base a las diferentes soluciones tratadas en esta parte de la disertación, en la ilustración 3 se resume las soluciones planteadas para la reducción e internalización de la contaminación como externalidad:



Fuente: Tomado de Tapia (2013), en base a Varios Autores  
Elaboración: Franco Carvajal

## La Valoración Económica Ambiental

Los recursos naturales y servicios ecosistémicos producen una serie de beneficios muy importantes para el bienestar de las personas y el equilibrio del planeta. El equilibrio de estos beneficios puede verse afectado por cualquier actividad económica o política estatal, por lo tanto los impactos causados en el ambiente van a significar cambios en el bienestar de la sociedad.

Estos cambios negativos, para los economistas representan costos económicos, que según lo explicado anteriormente, son causa de las siguientes fallas de mercado: bienes públicos comunes, sus derechos de propiedad no están bien definidos, y los precios de mercado no reflejan su verdadero valor (Mendieta, 2008: 28). En este contexto la economía ambiental ayuda a entender (como una aproximación) el valor que tienen para las personas los bienes brindados por la naturaleza, tomando en cuenta que bajo el esquema de mercado el ambiente carece de precio, pero en la realidad tiene valor.

Según lo presenta Azqueta (1994) y Labandeira et al (2007), el ambiente tiene valor por tres causas fundamentales: es proveedor de insumos naturales para los procesos productivos y para el consumo directo de los hogares, es receptor de residuos y desechos gracias a su capacidad de asimilación, y es un sistema integrado que proporciona los medios necesarios para sostener la vida. Dependiendo del uso del ambiente por la sociedad, estos servicios pueden perder su calidad y escasear, por lo tanto esta noción de pérdida de calidad y de escasez conduce a una valoración en términos económicos ya que a medida que escasean los servicios ambientales, el precio relativo tendría que aumentar. Si se evidencian estos valores, tanto de los beneficios que da a la sociedad, como los impactos de la economía en el ambiente, las personas valorarán las funciones ambientales con mayor conciencia, y más cuando escasean (Labandeira et al, 2007).

Como plantea Azqueta (1994: 11), la valoración monetaria no quiere decir valoración de mercado, sino más bien supone la elección de un denominador común que permita a conveniencia reflejar los cambios en el bienestar de la sociedad y permita gestionar sosteniblemente los bienes y servicios ambientales a través de mejores políticas. La unidad de medida elegida es el dinero, ya que sirve para la comparación relativa entre otros bienes económicos, aunque se han realizado intentos de medirlo en unidades de energía o en tiempo de trabajo (Labandeira et al, 2007).

Sin embargo Gloyer (2010: 16) explica también que esta visión es reconocida como muy limitada, ya que no toma en cuenta ciertos valores intrínsecos de los bienes ambientales que favorecen a otras especies, por ejemplo los beneficios que reciben los animales por la existencia de un bosque o de un río. Inclusive para otras disciplinas de la ciencia el hecho de proponer una valoración monetaria de ciertos bienes de la naturaleza constituye antiético para algo que es invaluable, algo que representa el equilibrio de la vida mismo.

Para Pearce y Turner (1990, citado en Azqueta, 1994: 12) la naturaleza posee un valor intrínseco por sí mismo, por lo tanto posee derechos morales y no necesita del ser humano para otorgarle valor. Esta postura plantea problemas éticos y filosóficos complejos frente a la economía ambiental, sin embargo lo que se busca es dar un valor económico al ambiente porque precisamente el ambiente es importante. Esta visión comparte la postura ética antropocéntrica, la cual afirma que la relación con el ser humano es lo que le da valor al ambiente es decir que la valoración económica se encuentra alineada a un enfoque de sostenibilidad débil.

Ante esto surgen las siguientes preguntas: ¿Qué tipo de valor debe asignarse al ambiente? , ¿Tienen las personas la misma apreciación sobre los beneficios del ambiente?, ¿Qué grupos de individuos deben asignarle un valor al ambiente? Pues bien para esto la economía ambiental ha identificado dos tipos de valor del ambiente que dependen del uso y apreciación de los individuos, estos son el valor de uso y el valor de no uso, que ambos equivalen al valor económico total de un bien ambiental. Para Azqueta (1994) el valor de uso se refiere al uso directo o indirecto que realizan las personas de los bienes ambientales, al mismo tiempo que se ven afectadas por los cambios que sufran estos. Para el mismo autor el valor de no uso al cambio se refiere al deseo de uso futuro o de preservación de un bien ambiental que tiene la sociedad, aunque en la actualidad no realicen un uso directo del mismo.

Para identificar estos dos valores del ambiente, han surgido diferentes enfoques y métodos de valoración que buscan capturar de la mejor forma posible el valor que dan las personas a los bienes ambientales, según Labandeira et al (2007) en la economía ambiental tradicionalmente estos métodos se separan en tres grandes grupos: primero los métodos directos que se basan en los precios observados en los mercados para estimar los impactos ambientales, segundo los métodos indirectos que también utilizan precios de mercado pero de forma indirecta a través de otros bienes del mercado relacionados a un bien ambiental, y tercero los métodos directos de no mercado o métodos de preferencias reveladas que se basan en la construcción de mercados ficticios para los bienes ambientales. Para las Naciones Unidas (2013) en la contabilidad de los ecosistemas, los métodos no se clasifican de la forma tradicional pero mantienen un enfoque muy similar, esta clasificación se presenta en la ilustración 4.

**Ilustración 4**  
**Resumen de los enfoques y métodos de valoración de los bienes y servicios ambientales**

Grupo	Detalle	Métodos
<b>Precios observados en el mercado</b>	Se enfoca en la valoración de los servicios de provisionamiento de insumos, y de activos ambientales que son comercializados como productos en volúmenes importantes y sus precios son publicados periódicamente	<b>Renta neta del recurso:</b> Utiliza información de cuentas nacionales, y se calcula restando de los ingresos brutos de la venta del bien ambiental, los costos de producción, depreciación de activos, impuestos y los salarios pagados. <b>Valor presente neto:</b> utiliza proyecciones sobre el ritmo de extracción futura y de su precio de acuerdo al tiempo de vida del recurso. Estas proyecciones permiten obtener una serie cronológica de las rentas futuras, las cuales son traídas a valor presente utilizando una tasa de descuento referente a las condiciones de riesgo de títulos de deuda pública a largo plazo.
<b>Métodos del costo de abatimiento o evitados.</b>	Estima el valor de un ecosistema o servicio, en base a los costos que serían asociados con la mitigación de daños si se pierde o degrada este servicio ambiental	<b>Costos de mantenimiento:</b> Son costos efectivos o hipotéticos que habrían incurrido los agentes económicos para evitar, disminuir la contaminación, y mantener la capacidad del servicio ambiental. <b>Costos de tratamiento:</b> Son costos efectivos o hipotéticos que habrían incurrido los agentes económicos para mitigar y compensar los daños ocasionados por la pérdida de calidad y ausencia del servicio ambiental.
<b>Métodos de preferencias reveladas</b>	Valoran a los servicios ecosistémicos que no son previstos en un mercado. Estos métodos determinan el valor de un servicio ambiental asociando su valor a otros bienes del mercado y en base a la apreciación de las personas	<b>Costos de viaje:</b> estiman el valor de un servicio ambiental en base a los costos que realizan las personas para lograr visitar un lugar recreacional natural y disfrutar de este servicio. <b>Precios hedónicos:</b> evalúa cómo las cualidades de un servicio ecosistémico afectan el precio que pagan las personas en adquirir ciertos activos fijos, es decir se asocia el valor de un servicio ambiental con la contribución de este al precio de una propiedad. <b>Valoración contingente:</b> Se considera un método directo, y es utilizado cuando no se puede establecer un nexo del servicio ambiental con el consumo de un bien del mercado. Valora a un servicio ambiental en base a la disposición a pagar de un individuo, o de ser compensados por la utilidad de este servicio o por aceptar una disminución de la misma.

Fuente: Naciones Unidas et al (2013), Azqueta (1994).  
Elaboración: Franco Carvajal

## 2. La Contabilidad Ambiental-Económica

### Las Cuentas Nacionales y las limitaciones en medir el crecimiento económico

Se ha logrado identificar que bajo el libre comportamiento del mercado, el sistema económico no es capaz de evidenciar dos principales relaciones entre economía y ambiente. El primero, se refiere a los beneficios que prestan los recursos naturales y los servicios ecosistémicos al desempeño económico de un país y al bienestar de su población. El segundo, se refiere a los efectos negativos de la contaminación generados por las actividades humanas, en degradar y agotar los servicios que prestan los ecosistemas; lo que se conoce para los economistas como externalidades de la contaminación. Ambos problemas, son considerados como fallas del mercado, que en un esquema básico se ven causados porque los derechos de propiedad del ambiente no están bien definidos, debido a que están considerados como bienes de derecho comunal o públicos, lo que no permite una administración adecuada de los mismos a través de un mercado con un sistema de precios que permita al Estado o a un agente económico, establecer pautas de uso y mecanismos de compensación por la contaminación y agotamiento que afectan a un bien ambiental.

Como se ha mencionado anteriormente, la crisis social y ambiental que han ocasionado las economías del mundo, ha mostrado niveles de afectación sin precedentes. Esto ha hecho un llamado a la reflexión a los países del mundo, a que el sistema económico cuente con herramientas que permitan evidenciar las relaciones con el ambiente, tanto para medir los beneficios brindados por la naturaleza como para estimar y valorizar a las externalidades que afectan al ambiente.

Sin embargo el problema aún reside en la visión que mantienen las economías del mundo, en focalizarse en el crecimiento económico como un fin, considerando como un indicador tangible para medir este éxito al Producto Interno Bruto (PIB). No obstante, las formas en que los economistas y autoridades gubernamentales miden el crecimiento y desarrollo aún presentan limitaciones en integrar los aspectos ambientales, tomando en cuenta la importancia de los aportes que brinda el ambiente para el bienestar humano (Naciones unidas, 2002: 1).

El Sistema de Cuentas Nacionales<sup>18</sup>(SCN) es la herramienta más usada para el análisis económico y las decisiones de política económica en un país, ya que en efecto permite observar diferentes ángulos de su desempeño, como el comportamiento de las actividades económicas, el tamaño del ahorro y la inversión, el consumo, la entrada y salida de divisas, la riqueza de sus habitantes, entre otros datos. Por las prestaciones de este sistema, los economistas y políticos en común utilizan al PIB como un indicador que integra gran parte de este desempeño económico y que permite medir el crecimiento del mismo.

Sin embargo una de las principales críticas que se realiza a este indicador, según afirma Falconí (2002), es que el PIB es esencialmente un indicador de corto plazo para medir en unidades monetarias el total de los bienes y servicios finales producidos en un periodo contable. Una tasa de crecimiento alta del PIB es interpretado como una señal de éxito de la política económica y en

---

<sup>18</sup> El SCN es el conjunto normalizado y aceptado internacionalmente de recomendaciones a la elaboración de mediciones de la actividad económica basada en principios económicos y contables (Naciones unidas et al, 2008: 1).

muchos casos como un indicador del aumento del bienestar de la sociedad. El PIB en si mismo es un indicador importante debido a las diferentes áreas que abarca, sin embargo el problema reside cuando se intenta evaluar el desenvolvimiento de un país y el aumento del bienestar de la población, solamente considerando a este indicador.

La discusión sobre el análisis del PIB, se centra cuando se lo utiliza como una medida del bienestar de una sociedad. De hecho existen varias definiciones de lo que significa bienestar y en que se compone; es así que generalmente se refiere al bienestar como la situación de vida de una persona o sociedad, e incluye aspectos como estándares de vida, desarrollo humano, satisfacción con la vida, prosperidad y felicidad. Aspectos que según Gasper (2007) de la CEPAL no son considerados ni medidos en el PIB (citado en CEPAL, 2013: 135).

El bienestar se entiende también como la satisfacción de necesidades básicas, que las personas tengan motivación de cumplir metas personales y de participar en la sociedad; para esto es necesario que existan condiciones sociales favorables, comunidades inclusivas, buena salud, oportunidades de empleo, un medio ambiente saludable y seguridad financiera (Gobierno de Reino Unido, 1999; citado en CEPAL, 2013: 135). Por lo tanto tomar al PIB como un indicador que representa el bienestar de una sociedad es limitado, porque no mide las condiciones de vida de las personas, además de que no permite medir el uso y calidad del ambiente, y la inclusión social (Steinbuka, 2010:1).

Es así que Rober Repetto<sup>19</sup> afirma que “un país podría explotar sus recursos minerales, cortar sus bosques, erosionar su suelo, contaminar sus aguas, y explotar la caza y pesca hasta la extinción, pero la medición del ingreso no se vería afectado por la desaparición de estos activos” (Naciones Unidas et al, 2014).

En este sentido el SCN ha sido criticado por las limitaciones que presenta para considerar aspectos que están afuera del mercado, pero que intervienen en el bienestar de la sociedad. Desde la perspectiva económica y social, se omiten aquellas actividades no remuneradas como el trabajo doméstico o la distribución del ingreso que no se ve reflejado en el indicador del PIB per cápita. Desde la perspectiva ambiental, se cuestiona la falta de contabilizar la degradación y agotamiento de los recursos naturales, los costos ambientales de las externalidades ocasionados por las actividades económicas, y la incapacidad del SCN en no reflejar adecuadamente los gastos de protección ambiental (Falconí, 2002:41). Esto plantea la necesidad de estructurar nuevas metodologías e indicadores para complementar al SCN, que permitan abarcar mejormente aspectos del bienestar y de la sostenibilidad (Steinbuka, 2010:1).

### **Los ajustes recomendados al PIB en relación al ambiente y la propuesta del indicador Producto Interno Neto Verde.**

Según afirma Labandeira et al (2007) el fundamento de ajustar al PIB con los costos ambientales que sufre el capital natural, se basa en “la percepción de que los indicadores económicos como el PIB no reflejan aquellas actividades que afectan al bienestar social y que tienen lugar fuera del mercado, por

---

<sup>19</sup> Miembro destacado del Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible y de los programas de energía y clima de la Fundación de las Naciones Unidas en Washington. Es uno de los economistas ambientales más reconocidos del mundo.

ello pueden dar lugar a decisiones incorrectas en la planificación del desarrollo”. La propuesta de ajustar al PIB en relación a los costos ambientales tuvo lugar formalmente en 1993, por iniciativa de las Naciones Unidas, cuando creó el Sistema de Cuentas Económicas y Ambientales (SEEA por sus siglas en el inglés). La realización de este ajuste ha dado inicio al nacimiento del indicador Producto Interno Neto Verde, el cual es considerado por Hamilton (1994, citado en Labandeira, 2007) como un índice económico de sostenibilidad desde la perspectiva débil.

La incorporación de este tipo de indicadores busca poner en evidencia el costo del agotamiento y pérdida de calidad del capital natural como consecuencia de los procesos productivos y de consumo. Otros autores como Fander Falconí (2002) asumen que estos costos ambientales pueden ser considerados como una forma de depreciación del capital natural, y este concepto nace a raíz del trabajo realizado por Robert Repetto en el World Resources Institute.

El primer paso histórico para ajustar al PIB fue en 1968, cuando las Naciones Unidas consideraron la depreciación<sup>20</sup> del capital económico de un país en el cálculo del PIB, generando el indicador Producto Interno Neto (PIN), considerado como un indicador más relevante para medir el desarrollo. A raíz de este ajuste, se tuvieron mejores argumentos para incluir la depreciación del capital natural en las Cuentas Nacionales. En sí, el PINV es un índice resultante de la metodología de cuentas ambientales o verdes y su cálculo se lo realiza aplicando la siguiente ecuación:

$$PINV = PIB - (D1 + D2)$$

Donde:

PINV= Producto Interno Neto Verde

PIB= Producto Interno Bruto

D1= Depreciación del capital producido por el hombre, conocido en cuentas nacionales como el consumo de capital fijo

D2= Depreciación del capital natural, entendido como los costes ambientales por agotamiento y degradación ambiental.

Repetto hizo algunas aplicaciones de este indicador en Indonesia, en donde obtuvo un Producto Interno Neto Verde (PINV), luego de deducir del PIB la depreciación del petróleo, recursos forestales y erosión del suelo. Una de sus principales conclusiones fue que mientras el PIB creció a una tasa anual del 7.1% de 1971 a 1984 (período cubierto por el estudio), el PINV sólo se incrementó al 4% anual (Repetto, 1992, citado en Falconí, 2002).

Otro ejemplo es el caso de México, con el nombre del indicador Producto Interno Neto Ecológico (PINE), llevado a cabo por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI), con la cooperación técnica del Banco Mundial (BM) y la Oficina de Estadística de la Organización de las Naciones Unidas. Los primeros resultados obtenidos fueron para la serie 1985-1990, constituyendo un proyecto de investigación pionero a nivel mundial. Actualmente este indicador para México

---

<sup>20</sup> Representa la declinación experimentada durante el periodo contable, en el valor corriente de los activos fijos que posee y los que utiliza un productor, a consecuencia del deterioro físico, de la obsolescencia normal o de daños accidentales normales.

muestra que, los costos por agotamiento y degradación ambiental en relación al PIB, disminuyeron del 8,5% al 6.3% para el periodo 2003-2012.

Las limitaciones de este índice se presentan en la dificultad para acceder a datos sobre los beneficios marginales de extracción de los recursos naturales a nivel nacional, por lo que se suelen utilizar datos de ingresos y costos promedios para estimar los beneficios netos de la extracción de un recurso. Además, se ha observado la dificultad en valorar los daños ambientales en términos monetarios, y los métodos de valoración son igual de controversiales. Según Labandeira et al (2007), el PINV en sí mismo no brinda información sobre la sustentabilidad de la economía, sin embargo, el aporte de este indicador es integrar variables ambientales en las medidas de crecimiento económico.

## La Contabilidad Ambiental y Económica

La propuesta de la contabilidad ambiental o verde, nace en la Cumbre de la Tierra en 1992 a la par de la iniciativa del Desarrollo Sostenible, y se la ha considerado como un medio prometedor para alcanzar la sostenibilidad ambiental desde un enfoque débil (El Serafy, 2002: 15). La contabilidad ambiental nace con el propósito de integrarse como una cuenta satélite<sup>21</sup> al SCN, para establecer los efectos que tiene en el ambiente las formas de producción y consumo, y determinar los efectos al largo plazo del uso de los recursos naturales. Uno de los aspectos más relevantes de la contabilidad ambiental es que permite construir indicadores que miden el progreso de los países en términos de desarrollo sostenible; como es el caso del indicador del PIB sostenible o PIB verde que toma en cuenta los costos por agotamiento y degradación de los recursos naturales (Guerra, 2010: 47).

Es así que a principios de los años 80, el PNUMA tomó la iniciativa de explorar las formas en que se podían mejorar las cuentas nacionales, de tal forma que consideren los cambios de los bienes y servicios ecosistémicos. En 1993 la División de Estadística de las Naciones Unidas publicó el *Manual de contabilidad nacional: contabilidad ambiental y económica integrada* citado habitualmente como SEEA<sup>22</sup>, constituía la primera publicación de las Naciones Unidas que construía un esquema para contabilizar de forma sistemática los activos ambientales y los flujos de recursos del medio ambiente.

Esta publicación fue considerada como una versión “provisional” debido a que los conceptos y análisis de los métodos aún se encontraban en revisión. En el mismo año se fundó el Grupo de Londres<sup>23</sup> sobre contabilidad verde o ambiental, con el fin de crear un espacio en que profesionales, expertos y analistas de diferentes países pudieran compartir sus experiencias en la elaboración de cuentas económico-ambientales. Este grupo ayudó a crear convergencias en cuanto a los conceptos y métodos de valoración propuestos en el SEEA; por lo cual sobre la base de este grupo en el año 2000

---

<sup>21</sup> Una cuenta satélite corresponde a una adaptación y reorganización de las estructuras básicas del SCN con un objetivo específico, en este caso el de identificar las relaciones entre el subsistema económico con el ambiental (Naciones Unidas et al, 2014: 327).

<sup>22</sup> System of Environmental Economic Accounting

<sup>23</sup> Creado en Londres en 1993. Es un grupo informal de expertos en temas de economía, medioambiente y recursos naturales; que se reúne anualmente para la revisión y comparación de trabajos por los participantes hacia el desarrollo de las cuentas ambientales.

la División de Estadística de las Naciones Unidas y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) publican un nuevo manual titulado: *Contabilidad ambiental y económica integrada: Manual de operaciones* (Naciones Unidas, Comisión Europea, Fondo Monetario Internacional, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, Banco Mundial, 2014).

A raíz de estas publicaciones, se continuaron realizando revisiones de los mismos, conllevando a una nueva publicación en el año 2003; pero sería recientemente en el año 2014 cuando las Naciones Unidas en conjunto con otros organismos internacionales<sup>24</sup> publican el “*Sistema de Contabilidad ambiental y económica 2012, Marco Central*” como un sistema estadístico de norma internacional, que llega a consensuar los conceptos y las metodologías de medición, estructuras de información, análisis, indicadores y valoración económica (Naciones Unidas et al, 2014: 22).

### **Relevancia del Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica (SEEA) para la política pública**

El SEEA es considerado como un sistema con diferentes prestaciones tanto para fortalecer los sistemas de estadística nacionales, como para mejorar la efectividad de las políticas en torno al desarrollo sostenible. Con la información del SEEA se podrían responder las siguientes preguntas:

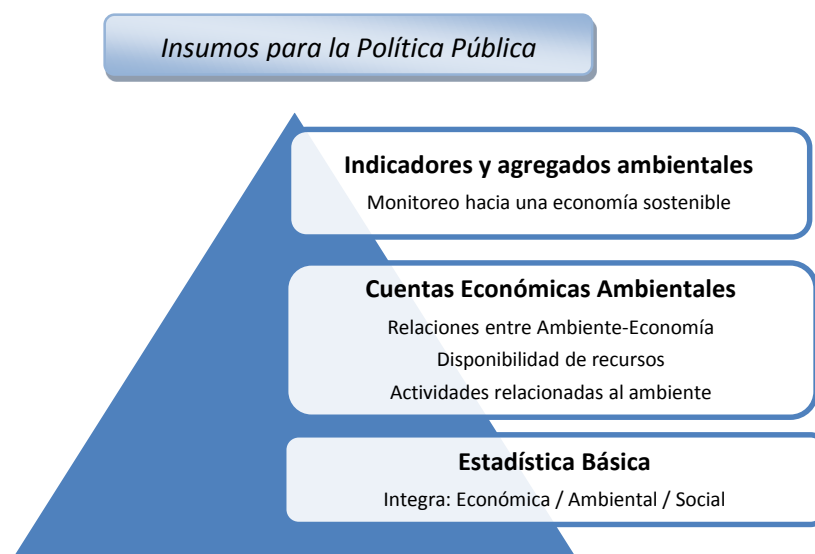
- ¿El crecimiento del PIB es sostenible o simplemente el país crece económicamente a costa del agotamiento y degradación del capital natural?
- ¿Se están extrayendo demasiado rápido los recursos renovables sin planes de esperar su renovación?
- ¿Se están extrayendo demasiado rápido los recursos no renovables sin planes de su sustitución?
- ¿Es posible contabilizar las presiones ambientales que las actividades económicas generan y que afectan a la salud y el bienestar de las personas?

Desde el primer enfoque (ilustración 5), el SEEA permite vincular la estadística base económica, ambiental y social para integrarla de acuerdo a los mismos principios del SCN, siendo esto una ventaja considerable porque la información se encuentra aislada y desarticulada con las prioridades de política. Así mismo el SEEA permite un análisis detallado del estado y las relaciones de un determinado recurso con la esfera económica a través del desarrollo de las cuentas ambientales.

---

<sup>24</sup> Comisión Europea, Fondo Monetario Internacional, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, Banco Mundial.

**Ilustración 5**  
**Pirámide de información del SEEA**



Fuente: Naciones Unidas et al (2014)  
Elaboración: Franco Carvajal

La relevancia del SEEA para el desarrollo de políticas se vincula con las políticas sobre desarrollo sostenible, es así que la información resumida e integrada a través de indicadores puede proporcionar una visión más amplia sobre los temas relativos a la sostenibilidad, realizar modelos y escenarios para evaluar los efectos de la política pública en un país, y en general para informar sobre diferentes áreas de interés del ambiente para los tomadores de decisiones (Naciones Unidas et al, 2014).

En la ilustración 6 se presentan los cuadrantes de políticas del SEEA relacionados al desarrollo sostenible. El primer cuadrante busca asegurar que los hogares puedan acceder a recursos y servicios seguros y asequibles. El SEEA puede brindar información sobre los costos asociados a la prestación de los servicios básicos de agua, energía, consumo de los hogares en unidades físicas y los impactos que los afectan. El segundo cuadrante se refiere a la asignación de recursos desde un enfoque intergeneracional, y el SEEA brinda información sobre la intensidad en el uso de recursos o de contaminación, agotamiento de los recursos, gastos en protección ambiental y sobre la eficiencia en la producción y consumo. En el tercer cuadrante se ubican políticas para el mejoramiento del estado de los ecosistemas, y el SEEA puede proporcionar información sobre las condiciones del ciclo de agua, ciclo de carbono, biodiversidad y otros servicios que son usados por la economía.

Finalmente el cuarto cuadrante de políticas apunta a aumentar la adaptación y mitigación ante los impactos ambientales, por tal motivo el SEEA presenta información sobre inversiones para estos fines.

**Ilustración 6**  
**Los cuadrantes de políticas del SEEA**



Fuente: Naciones Unidas et al (2014)  
Elaboración: Franco Carvajal

### **Estructura del Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica (SEEA)**

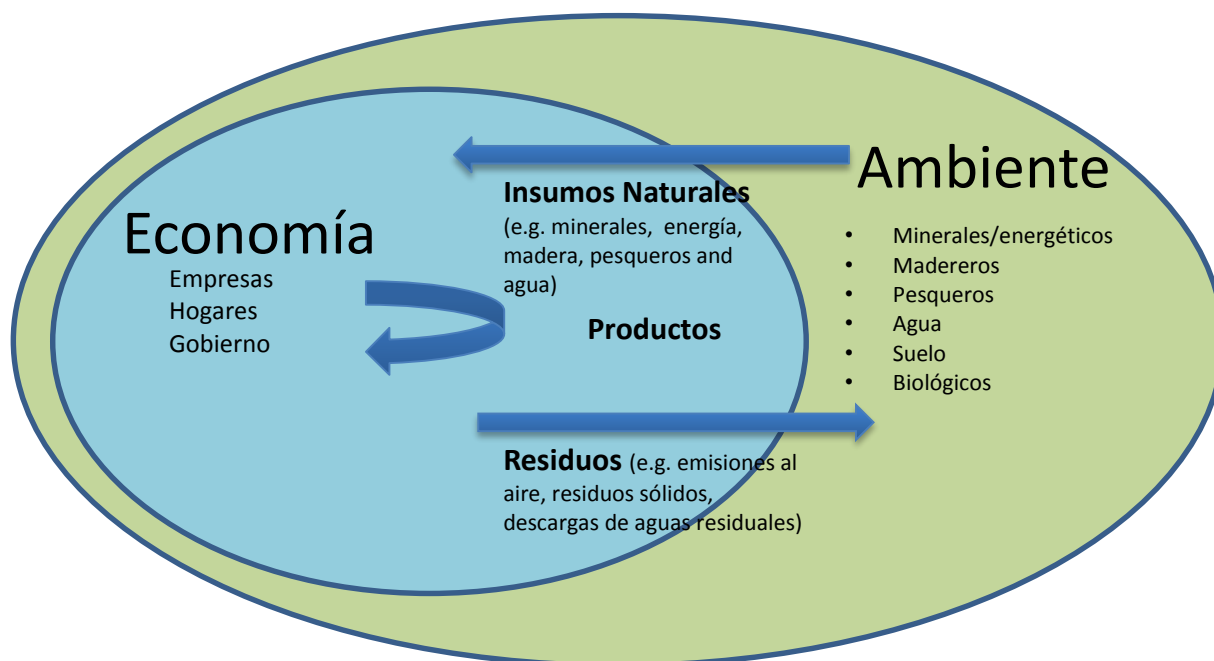
El marco central del SEEA busca evidenciar información económica y ambiental en cuanto a la disponibilidad de activos ambientales que tiene un país, y las relaciones recíprocas que suceden entre el ambiente y la economía. El SEEA aplica los conceptos contables, las estructuras y reglas que presenta el SCN a la información ambiental y a la par permite la integración de información sobre ambiente y recursos naturales (medida en términos físicos) con la información económica (medida en términos monetarios) (Naciones Unidas et al, 2014: 27).

La estructura contable del SEEA comprende 3 esferas: a) los flujos físicos entre el ambiente y la economía; b) las existencias de activos ambientales y sus variaciones; y c) las actividades relacionadas con el ambiente. Para estos fines el SEEA ha logrado definir las fronteras de medición relativas a la economía y al medio ambiente, y asegurar que la información pueda organizarse de forma coherente para la aplicación en diferentes países y para diferentes análisis.

### **Cuentas de Flujos**

Los flujos físicos representan el flujo de materiales y de energía que se dan entre el ambiente y la economía. Como se observa en la ilustración 7, los flujos que se dirigen del ambiente a la economía se consignan como insumos naturales los cuales son extraídos por las industrias para luego entrar a la esfera económica, estos comprenden recursos de: minerales y energéticos, madereros, pesqueros, agua, suelo y otros recursos biológicos.

**Ilustración 7**  
**Esquema básico de flujos físicos entre ambiente y economía**



Fuente: Naciones Unidas et al, 2014  
 Elaboración: Franco Carvajal

Los flujos que suceden dentro de la economía se conocen como productos de bienes y servicios que son “el resultado de un proceso de producción dentro de la economía”, los cuales se presentan en los cuadros de oferta y utilización en unidades monetarias del SCN. La oferta se dá por las diferentes industrias que extraen insumos naturales y los transforman en productos elaborados, la demanda o la utilización de esta producción de bienes y servicios, se da por otras industrias, por los hogares y gobierno. El SEEA realiza un análisis de este flujo de productos que se basan en insumos naturales, presentando la oferta y utilización en unidades físicas (Naciones Unidas et al, 2014: 63).

El tercer flujo que se dirige de la economía al ambiente se conoce como flujo de residuos. Los residuos son “corrientes de materiales sólidos, líquidos o gaseosos, o de energía, que los establecimientos y los hogares eliminan, descargan o emiten en procesos de producción, consumo o acumulación” por lo general se refieren a emisiones a la atmósfera, descargas de aguas residuales y la generación de desechos sólidos (Naciones Unidas et al, 2014: 64).

### **Cuentas de Activos Ambientales**

El marco central (Naciones Unidas et al 2014: 141) presenta a los activos ambientales como, “el entorno biofísico de la Tierra que proporcionan beneficios a la humanidad y permiten mantener los equilibrios ecosistémicos”, los beneficios proporcionados comprenden: insumos para la producción, sumidero de desechos, habitats naturales, regulación del clima, entre otros (Naciones Unidas, 2002), desde una perspectiva antropocéntrica, los activos ambientales consisten en el capital natural o patrimonio natural que tiene un país sin tener en cuenta directamente las relaciones entre esos elementos como partes de ecosistemas (Naciones Unidas et al, 2014: 140).

Como se presenta en la ilustración 8, son siete los elementos que se consideran activos ambientales dentro del marco central del SEEA, estos son: recursos minerales y energéticos, la tierra, los recursos del suelo, los recursos madereros, los recursos pesqueros, otros recursos biológicos y los recursos hídricos; hay que considerar que el agua de los mares y el aire en la atmósfera no se están comprendidos entre los activos ambientales en el marco central del SEEA (Naciones Unidas et al, 2014: 142).



Fuente: Naciones Unidas et al (2014)  
Elaboración: Franco Carvajal

El SEEA permite la elaboración de cuentas especiales para cada tipo de activo ambiental y presenta las fronteras de medición en términos físicos y monetarios. En términos físicos los activos ambientales comprenden la totalidad de recursos que pueden proporcionar beneficios a la humanidad, por ejemplo el total de tierras productivas, no productivas o en estado de conservación; mientras que en términos monetarios el alcance se limita a aquellos que tienen valor económico y pueden ser extraíbles o usados de acuerdo a los principios de valoración del SCN, por ejemplo, solamente se valora a las tierras que generan un beneficio económico en el tiempo. El SEEA propone el método del valor actual neto <sup>25</sup>(VAN) como el método oficial para la valoración económica de los activos ambientales.

### **Cuentas de Actividades ambientales**

Estas cuentas presentan información sobre las transacciones entre los agentes económicos que pueden ser consideradas de carácter ambiental. Representan aquellas actividades que se focalizan en la protección y la conservación del medio ambiente. También se consideran a los impuestos y subsidios del gobierno, como un esfuerzo de la política pública en “influir en el comportamiento de los productores y los consumidores respecto del medio ambiente” (Naciones Unidas et al, 2014: 106).

Estas transacciones están incorporadas en el marco contable de las cuentas nacionales, pero no pueden ser identificadas con facilidad debido a que los tipos de clasificaciones y la estructura de las

<sup>25</sup> El método del VAN propone utilizar proyecciones sobre el ritmo de extracción futura de recursos y proyecciones de su precio de acuerdo al tiempo de vida o de extracción del activo. Estas proyecciones permiten obtener una serie cronológica de las rentas o ingresos futuros del activo, las cuales se basan en los antecedentes de los ingresos previstos en la información de cuentas nacionales. Estas proyecciones de ingresos futuros, son traídos a valor presente utilizando una tasa de descuento referente a las condiciones de riesgo de títulos de deuda pública a largo plazo (Naciones Unidas et al, 2014: 156).

cuentas no lo permiten. En vista de esta dificultad el SEEA presenta alternativas para reconocer el propósito de cada transacción y organizarlas en cuentas (Naciones Unidas et al, 2014: 106). La contabilidad ambiental realiza especial énfasis en las cuentas de protección ambiental y las estadísticas del sector de los bienes y servicios ambientales, ya que facilitan información sobre la respuesta de la sociedad ante los problemas escasos y degradación de los recursos naturales.

La utilidad de estas cuentas radica en la labor de evaluar si los recursos económicos son utilizados eficientemente para reducir las presiones que ejerce la economía sobre el ambiente, manteniendo su capacidad de generar beneficios (Naciones Unidas et al, 2014: 106).

## **Contabilidad ambiental y económica de las emisiones al aire**

En el marco central del SEEA 2012, la contabilidad ambiental de las emisiones al aire o atmósfera es contemplado en las cuentas de flujos físicos, y corresponden al flujo de residuos que sucede entre la economía y el ambiente (ver ilustración 7), es decir que la economía es el generador de emisiones, y el ambiente es el receptor y asimilador de esta contaminación. Por lo tanto este tipo de cuenta registra la generación de esas emisiones por las unidades económicas residentes, clasificado por tipos de contaminantes en unidades físicas, y permite estimar el valor económico o costo de mitigar las emisiones generadas (Naciones Unidas et al, 2014: 94).

Esta cuenta forma parte del conjunto de análisis que permite realizar una cuenta satélite ambiental vinculada a las cuentas económicas tradicionales de un país, la cual permite cuantificar las emisiones generadas por las actividades económicas hacia el aire, mediante la construcción de tablas de oferta y utilización físicas que detallan información sobre el agente económico causante y el tipo de contaminante emitido. Para el alcance del análisis se aplica el principio de residencia, el cual consiste en que se debe tomar en cuenta solamente las emisiones generadas por las unidades residentes en un territorio nacional (Naciones Unidas et al, 2014: 94).

La estructura contable de las emisiones al aire que propone el SEEA 2012 en términos físicos (toneladas de contaminantes) se presenta en la ilustración 9, el cual presenta una versión reducida pero muy similar al de la tabla de oferta y utilización del SCN. En la izquierda se presenta el cuadro de oferta de emisiones generadas por las industrias y los hogares, según el tipo de gas contaminante. Las industrias se clasifican según categoría del CIU<sup>26</sup> tomando en cuenta la relevancia de la emisión generada, ya que si el caso lo amerita se pueden agrupar diferentes industrias. Los hogares pueden subdividirse según la actividad o la necesidad de la información, como por ejemplo en transporte, calefacción y otras actividades. Las emisiones que genera el Gobierno deben ser presentadas en su categoría CIU (Administración Pública); y en otra clasificación llamada acumulación, se atribuyen las emisiones de los vertederos controlados por los gobiernos locales, que corresponden a las emisiones provenientes de la producción y consumo de periodos anteriores (Naciones Unidas et al, 2014: 97). La parte derecha del cuadro presenta la información del uso, que corresponde a la cantidad de emisiones que recibe el ambiente a través del aire.

---

<sup>26</sup> Clasificador Internacional Industrial Uniforme.

Para los fines de esta disertación, las emisiones que generan los automóviles corresponden a la clasificación de emisiones por fuentes móviles, y tienen especial importancia en esta cuenta debido a que tanto las industrias, los hogares y gobierno utilizan este medio de transporte para el desarrollo de sus diferentes actividades. Ante esto se establece que las emisiones de los automóviles se atribuyen a la naturaleza del agente económico o actividad económica que la genera, lo cual ayuda a establecer el causante de la emisión.

La contabilidad de las emisiones al aire en términos monetarios se entiende como la valoración de los costes generados por la externalidad de la contaminación gaseosa en la degradación del aire, y pérdidas en el bienestar de la población. Esta contabilidad debe tener un tratamiento especial, y su metodología se basa en el capítulo 9 de la publicación del SEEA 2003<sup>27</sup> y en el capítulo 3 de la publicación del manual de operaciones del SEEA 2000.

En efecto la asimilación de la contaminación gaseosa vehicular e industrial, conllevan a problemas en la pérdida de la calidad del aire y esto ocasiona ciertos costos para el bienestar y salud de las personas; en tal sentido las emisiones de gases son la causa de la degradación de este servicio ambiental. Los datos físicos suelen ser más precisos que los datos monetarios, pero cuando se trate de reducir y restringir la cantidad de emisiones, surge la pregunta de cuál es el coste de la externalidad, o cuánto costaría disminuirla. Por lo cual el SEEA 2003 presenta metodologías para la valoración del coste de la externalidad en la degradación de un recurso o ecosistema (aire, suelo, agua, cuencas hidrográficas, bosques, reservas) y cómo incorporar los costos ambientales de la degradación en las cuentas nacionales.

Para integrar los datos físicos de la contaminación y los costos de la externalidad en la degradación del aire en las cuentas nacionales, existen dos problemas: el primero es cómo poner un valor a la degradación, y el segundo cómo integrar estos valores en las cuentas nacionales. La metodología establece que el objetivo no es realmente medir la degradación perfectamente, sino presentar información para idear políticas que reduzcan las causas de la degradación y sus costos ambientales y sociales.

Por lo cual la idea principal de la valoración de las externalidades de las emisiones consiste en saber cuánto costaría evitar la generación de residuos por cambios en los patrones de producción y consumo (United Nations, European Commission, International monetary Fund, Organisation for Economic Co-operation and Development, World Bank, 2003: 62), y es en esta aproximación en la cual se basa esta disertación para la valoración de la externalidad de las emisiones vehiculares en la degradación del aire.

Otro componente para valorar las externalidades de la contaminación al aire, es la estimación de los costes causados por daños en la salud humana. Este enfoque es una divergencia del enfoque común del SCN, el cual no mide el bienestar derivado del consumo, sino que simplemente registra el

---

<sup>27</sup> El SEEA 2012 no presenta metodologías para la valoración monetaria de la degradación, ya que el grupo de expertos en el tema (Grupo de Londres) descarta la valoración de la degradación debido a las diferentes controversias que puede implicar para el SCN, debido a que no se ha llegado a un consenso del método de valoración a usarse. Aun así las propuestas de la publicación del SEEA 2003 han sido aceptadas y aplicadas por diferentes países, como Holanda, Dinamarca y México.

consumo con el objetivo de medir un mínimo de satisfacción ganada por las personas. Sin embargo tomar en cuenta los costos por daños a la salud humana complementa a los indicadores de desarrollo (Naciones Unidas et al, 2003: 62).

La degradación es rara vez una condición absoluta, esto dependerá de las normas ambientales establecidas en un país para saber si la contaminación causada es excesiva. La norma más rigurosa consiste en que la contaminación no debe ser mayor a la capacidad de asimilación de la atmósfera (Naciones Unidas et al, 2003:394).

Los métodos de valoración basados en el costo, se pueden entender desde dos perspectivas. La primera es que se puede prevenir el daño antes de que suceda, y la segunda remediando el daño después de que haya sucedido. El nombre de costo de mantenimiento es un término genérico para los métodos basados en el costo, además de que es evocador al principio de mantener las funciones ambientales (Naciones Unidas et al, 2003: 396).

Por lo cual se presentan 5 medidas para estimar los costos que la externalidad de la contaminación genera en la degradación de los ecosistemas, los cuales pueden ser utilizados, de acuerdo a la disponibilidad de información, e interés de la política pública (Naciones Unidas, 2002:28).

- 
1. Reducción o suspensión de la actividad productiva que genera las emisiones (se sustrae el valor agregado de dicha actividad)
  2. Cambios en los patrones de producción de las industrias y consumo de los hogares.
  3. Sustitución de los insumos de producción sin modificar sus productos aplicando nuevas tecnologías
  4. Actividades para evitar el deterioro del ambiente, por ejemplo captura de las emisiones mediante la instalación de lavadores de gases en los equipos de producción o combustión.
  5. Restauración del ambiente por medio de actividades de limpieza.
-

**Ilustración 9**  
**Ejemplo de la Cuenta Física de emisiones al aire (Toneladas métricas)**

Tabla de oferta de emisiones al aire										Tabla de utilización de emisiones al aire	
Generación de emisiones									Acumulación	Oferta total de emisiones	Flujos al medio ambiente
Tipos de contaminantes	Industrias					Hogares			Emisiones de vertederos		Usos total de emisiones
	Agricultura	Minería	Manufacturas	Transporte	Otras	Transporte	Calefacción	Otras			
Dióxido de carbono											
Metano											
Óxido nitroso											
Monóxido de carbono											
Compuestos orgánicos volátiles											
Amoniaco											
Partículas PM10, PM2,5											

Fuente: SEEA 2012, Naciones Unidas et al 2014.

Elaboración: Franco Carvajal

## ***La contaminación Vehicular en el Ecuador***

Después de haber analizado los fundamentos teóricos en los que se basa este estudio, en el siguiente capítulo se realiza una descripción histórica de la gestión de la calidad del aire en el país desde sus inicios así como los lineamientos del nuevo Plan Nacional para la Calidad del Aire (PNCA) realizado por el Ministerio del Ambiente. Se analizan las características y causas de la contaminación del aire tanto institucionales como económicas y energéticas, mediante el análisis del crecimiento del parque automotor y su estructura, el consumo energético, y la influencia de algunas políticas económicas en este problema de contaminación, como es el caso de los subsidios a los combustibles y del reciente impuesto a la contaminación vehicular.

### **La contaminación al aire**

El Ministerio del Ambiente del Ecuador (2010), en el Plan Nacional de la Calidad de Aire (2010), define al aire como “la mezcla gaseosa cuya composición normal es, de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica”.

La contaminación atmosférica constituye la alteración de la calidad del aire por la adición de gases y partículas sólidas o líquidas al mismo, en proporciones distintas a las naturales, que pueden poner en peligro la salud del hombre, de las plantas y de los animales (Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México [INEGI], 2009).

La contaminación atmosférica se origina por causas naturales y antropogénicas. Por causas naturales se entiende a la contaminación generada por fenómenos naturales, por ejemplo las erupciones volcánicas. Las causas antropogénicas se refieren a las emisiones de gases y partículas liberadas al aire por los agentes económicos debido a los procesos de producción, consumo y acumulación (Naciones Unidas et al, 2014: 94). Las emisiones al aire corresponden a la forma de contaminación proveniente de actividades humanas.

Según el Ministerio del Ambiente (MAE, 2010: VII) la contaminación al aire se la puede clasificar según su fuente: fuentes fijas de combustión y fuentes móviles. Las emisiones dependen de la eficiencia de los procesos de combustión, la tecnología aplicada y la calidad de los combustibles.

- **Fuente fija de combustión:** “Constituyen las instalaciones que tienen como finalidad desarrollar procesos industriales, comerciales o de servicios que emiten contaminantes al aire debido a procesos de combustión desde un lugar fijo o inamovible” (MAE, 2010: VII).
- **Las fuentes móviles:** constituyen las unidades motrices que sirven como medio de transporte y generan emisiones contaminantes. Las fuentes móviles incluyen a automóviles, camiones, motocicletas, buses, busetas, etc. La principal fuente móvil de contaminación del aire es el automóvil, puesto que produce grandes cantidades de monóxido de carbono (CO) y cantidades menores de óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COV) (INEGI, 2009).

Considerando que se pretende medir la contaminación al aire causada por las diferentes actividades económicas, las fuentes naturales no son consideradas dentro de este estudio por no estar vinculadas con las actividades humanas.

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT, 2013) realiza una clasificación de las emisiones al aire en base a la calidad del aire y al cambio climático. Es así que cuando se desea realizar un análisis de la calidad del aire es necesario realizar un inventario de contaminantes criterio o comunes los cuales incluye: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx), partículas menores a 10 micrómetros (PM10) y menores a 2.5 micrómetros (PM2.5), compuestos orgánicos volátiles (COV), hidrocarburos (HC), y plomo (Pb). Al cambio si se desea conocer el origen de las emisiones que causan el cambio climático, es necesario hacer un inventario de gases efecto invernadero (GEI) que incluyen: el dióxido de carbono (CO2), el metano (CH4), óxido nitroso (N2O).

## **1. Gestión de la Calidad del Aire en el Ecuador**

La gestión de la calidad del aire, se refiere a las políticas y estrategias que tiene el país para mantener las características físicas y químicas del aire aceptables para el bienestar humano y el equilibrio de los ecosistemas. En este primer punto del capítulo, se presenta una descripción histórica de la gestión del recurso aire, los parámetros de importantes de la Norma de Calidad del Aire Ambiente Ecuatoriana (NECA), se analiza el Plan Nacional de la Calidad del Aire (PNCA), el cual presenta los lineamientos de política actuales para abordar los problemas de la calidad de este recurso en el país, y finalmente se presenta en breves rasgos la situación de la calidad del aire en las principales zonas urbanas del país, como son Quito, Guayaquil y Cuenca.

### **Antecedentes**

En el país la gestión de la calidad del aire comenzó a partir del año de 1976 con la aprobación de la Ley de “Prevención y Control de la Contaminación Ambiental”. En este año se implementa la primera Red de monitoreo atmosférico (Red Ecuair) que funcionaría hasta el año 1994, la cual logra recopilar la información histórica sobre la calidad del aire de las ciudades de Quito, Guayaquil, Cuenca, Esmeraldas y Ambato; siendo la única referencia informativa sobre el estado de la calidad del aire en el país para esa época (Ministerio del Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, 2003: 89).

En el año 1996, el Estado decide crear el Ministerio del Ambiente (MAE), como la autoridad nacional encargada de la política, estrategias y normativa ambiental del país, y de vincular en este proceso al sector público, privado y sociedad civil. En 1998 el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) en conjunto con el Colegio de Ingenieros Químicos de Pichincha, Ministerio de Energía y Minas, Fundación Natura, Escuela Politécnica Nacional, ESPE y otras instituciones formaron el comité de “Gestión Ambiental” con el objetivo de “revisar y aprobar los límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de Gasolina y Diesel”. A pesar de establecer estos límites, el país no pudo contar con un programa de vigilancia para el cumplimiento de estas normas, ni

tampoco con una política ambiental clara en cuanto a la calidad del aire en el país (Ministerio del Ambiente et al, 2003: 91).

Para el año 2002 el MAE convoca a representantes del Ministerio de Salud, Dirección Metropolitana de Medio Ambiente, Instituto Nacional de Meteorología, Fundación Natura, Consejo Nacional de Tránsito, y a las unidades ambientales de municipios; para desarrollar un grupo interinstitucional y multidisciplinario que pueda brindar asesoramiento al MAE para la elaboración de las políticas, leyes y estrategias ambientales a ser presentadas en el PNCA (Ministerio del Ambiente et al, 2003: 92), pero sería recientemente en el 2010 cuando finalmente el MAE publica este Plan. La iniciativa nacional encabezada por el MAE para el control de las emisiones al aire, se fundamentó en las propuestas establecidas a nivel internacional, además de recibir financiamiento externo para diferentes programas.

Según presenta el primer diagnóstico de la calidad del aire en el país (Ministerio Ambiente et al 2003, 93) los asuntos de calidad de este recurso en la política pública, han sido resagados debido a problemas de carácter institucional, legal, financiero, técnico y social. Así mismo la gestión de este recurso ha sido tratado a nivel local, con algunos avances, pero sin contar con directrices de planificación, ejecución y seguimiento.

## **Norma de Calidad del Aire Ambiente Ecuatoriana (NECA)**

El NECA se basa en las directrices que establece la Organización Mundial de la Salud (OMS) en cuanto a los niveles de concentración del material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre, medidas que han sido desarrolladas por investigadores y científicos de alto nivel de la organización (Secretaría del Ambiente del DMQ, 2014:7). La misma OMS recomienda que cada país construya sus propias normas de calidad de acuerdo a su propia realidad social y económica tomando en cuenta las condiciones de sus localidades.

La NECA fue publicada el 7 de junio de 2011 como la norma técnica obligatoria para evaluar el estado de la contaminación atmosférica en el país, y tiene como objetivo principal salvaguardar la salud de la población, salvaguardar el estado de los ecosistemas por efectos de la contaminación del aire (Secretaría del Ambiente del DMQ, 2014:8). Esta normativa establece los métodos de medición de las concentraciones de los contaminantes criterio y de los contaminantes no convencionales, con sus límites máximos permisibles. En la tabla 1 se presenta las características, fuentes principales y efectos sobre la salud de los contaminantes considerados como criterio según la normativa.

**Tabla 1**  
**Contaminantes criterio que se pueden encontrar en la atmósfera según lo establece la NECA**

Contaminante	Características	Fuentes Principales	Efectos sobre la Salud
Óxidos de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Gas rojizo marrón de olor fuerte y penetrante. Puede producir ácido nítrico, nitratos y compuestos orgánicos tóxicos.	Procesos de combustión (vehículos, plantas industriales, centrales térmicas, incineradores).	Causa irritación pulmonar, bronquitis, pulmonía, reducción significativa de la resistencia respiratoria a las infecciones. Exposición continua a altas concentraciones incrementa la incidencia de enfermedades respiratorias en los niños, agravamiento de afecciones en individuos asmáticos y enfermedades respiratorias crónicas.
Material Particulado (PM <sub>10</sub> )	Material particulado suspendido de diámetro menor a 10 µm.  Partículas de material sólido o gotas líquidas suspendidas en el aire.  Pueden presentarse como polvo, niebla, aerosoles, humo, hollín, etc.	Erosión eólica, tráfico en vías sin pavimento y actividades de construcción.  Procesos de combustión (industria y vehículos de automoción).	Produce irritación de las vías respiratorias, agrava el asma y favorece las enfermedades cardiovasculares.  Causa deterioro de la función respiratoria (corto plazo). Asociado con el desarrollo de enfermedades crónicas, el cáncer o la muerte prematura (largo plazo).
Material Particulado (PM <sub>2.5</sub> )	Material particulado suspendido menor a 2.5 µm.	Procesos de combustión (industrias, generación termoeléctrica). Incendios forestales y quemas.  Purificación y procesamiento de metales.	Tiene la capacidad de ingresar al espacio alveolar o al torrente sanguíneo incrementando el riesgo de padecer enfermedades crónicas cardiovasculares y muerte prematura.
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	Gas incoloro de olor fuerte. Importante precursor de sulfatos e importante componente de partículas respirables.	Procesos de combustión. Centrales termoeléctricas, generadores eléctricos. Procesos metalúrgicos. Erupciones volcánicas. Uso de fertilizantes.	Altas concentraciones ocasionan dificultad para respirar, conjuntivitis, irritación severa en vías respiratorias, y en pulmones.  Causante de bronco constricción, bronquitis y traqueítis y bronco espasmos, agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares existentes y la muerte.
Monóxido de Carbono (CO)	Gas incoloro, inodoro e insípido.	Procesos de combustión incompleta. Los vehículos a gasolina constituyen la fuente más importante.	La hipoxia (falta de oxígeno) puede afectar al corazón, cerebro, plaquetas y endotelio de los vasos sanguíneos. Asociado a la disminución de la percepción visual, capacidad de trabajo, destreza manual y habilidad de aprendizaje.
Ozono (O <sub>3</sub> )	Gas incoloro, inodoro a concentraciones ambientales y componente principal del smog foto químico.	No es emitido directamente a la atmósfera, se produce por reacciones fotoquímicas entre óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles, bajo la influencia de la radiación solar.	Concentraciones altas producen irritación ocular, de nariz y garganta, tos, dificultad y dolor durante la respiración profunda, dolor subesternal, opresión en el pecho, malestar general, debilidad, náusea y dolor de cabeza.

Fuente: Secretaría del Ambiente del DMQ, 2014  
Elaboración: Franco Carvajal

En lo que refiere a los límites máximos permitidos, la NECA establece los siguientes parámetros presentados en la tabla 2. Las unidades habituales para expresar la concentración de los contaminantes en el aire ambiente son microgramos/metro cúbico (µg/m<sup>3</sup>) y miligramos/metro cúbico (mg/m<sup>3</sup>).

**Tabla 2**  
**Límites máximos permitidos por contaminante**

Contaminante	Valor*	Unidad	Periodo de Medición	Excedencia permitida
<b>PM10</b>	50	µg/m <sup>3</sup>	Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 1 año	No se permite
	100	µg/m <sup>3</sup>	Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 24 horas	No se permite
<b>PM 2.5</b>	15	µg/m <sup>3</sup>	Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 1 año	No se permite
	20	µg/m <sup>3</sup>	Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 24 horas	No se permite
<b>SO2</b>	60	µg/m <sup>3</sup>	Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 1 año	No se permite
	125	µg/m <sup>3</sup>	Concentración en 24 horas de todas las muestras colectadas	No se permite
	500	µg/m <sup>3</sup>	Concentración en un período de 10 minutos de todas las muestras colectadas	No se permite
<b>CO</b>	10	mg/m <sup>3</sup>	Concentración en 8 horas consecutivas	1 vez por año
	30	mg/m <sup>3</sup>	Concentración máxima en 1 hora	1 vez por año
<b>O3</b>	100	µg/m <sup>3</sup>	Concentración máxima en 8 horas consecutivas	No se permite
<b>NO2</b>	40	mg/m <sup>4</sup>	Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 1 año	No se permite
	200	µg/m <sup>4</sup>	Concentración máxima en 1 de todas las muestras colectadas	No se permite

\*Deben reportarse en las siguientes condiciones 25°C de temperatura y 76 mm de presión atmosférica

Fuente: Secretaría del Ambiente del DMQ, 2014

Elaboración: Franco Carvajal

## Plan Nacional de la Calidad del Aire (PNCA)

La Constitución del Ecuador (2008) establece en su Artículo 14 “el reconocimiento al derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir”. En su Artículo 395, establece que el Estado debe “garantizar un modelo de desarrollo sustentable, ambiental y económicamente equilibrado” (Asamblea Constituyente, 2008: art 14, art 395).

En base a lo expuesto, el PNCA surge de la necesidad de que el país cuente con políticas y estrategias para un desarrollo y uso sostenible del aire, el mismo que servirá de marco para una adecuada regulación, seguimiento, control, y coordinación de los actores involucrados en la gestión de la calidad del aire (Ministerio del Ambiente, 2010: I).

Según el diagnóstico del MAE en el PNCA (2010), las causas fundamentales de la contaminación del aire en el país están relacionadas con:

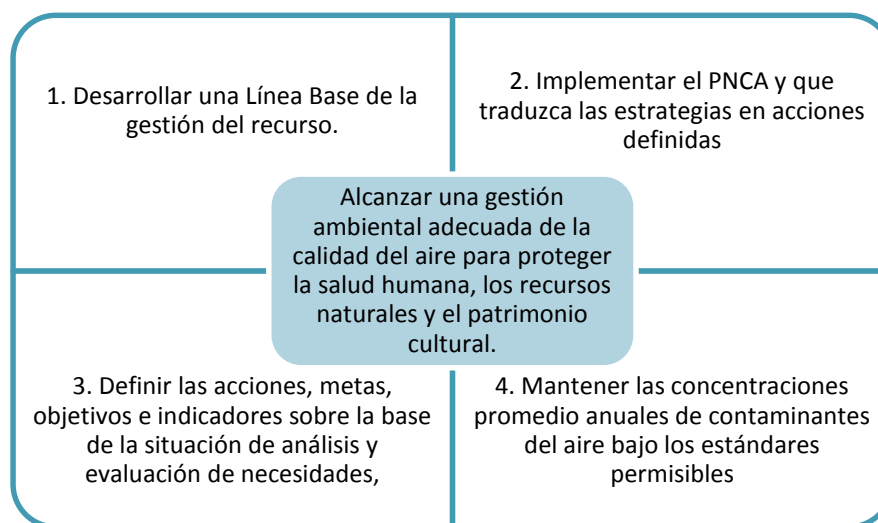
- La falta de planificación de las zonas urbanas
- La mala calidad de los combustibles
- La falta de estándares ambientales en los procesos productivos industriales
- La falta de inversión en tecnologías eficientes
- La explotación y refinación de hidrocarburos.

Además según este diagnóstico, establece que los principales problemas institucionales que tiene el país para gestionar eficientemente este recurso se debe a:

- Falta de seguimiento de convenios
- Deficiente ejecución legislativa
- Debilidad institucional y presupuestaria del MAE
- La Información ambiental del aire es dispersa, escasa y poco confiable.

EL PNCA propone diferentes políticas, estrategias y objetivos para resolver los problemas expuestos. Estas propuestas se presentan a continuación en la ilustración 10:

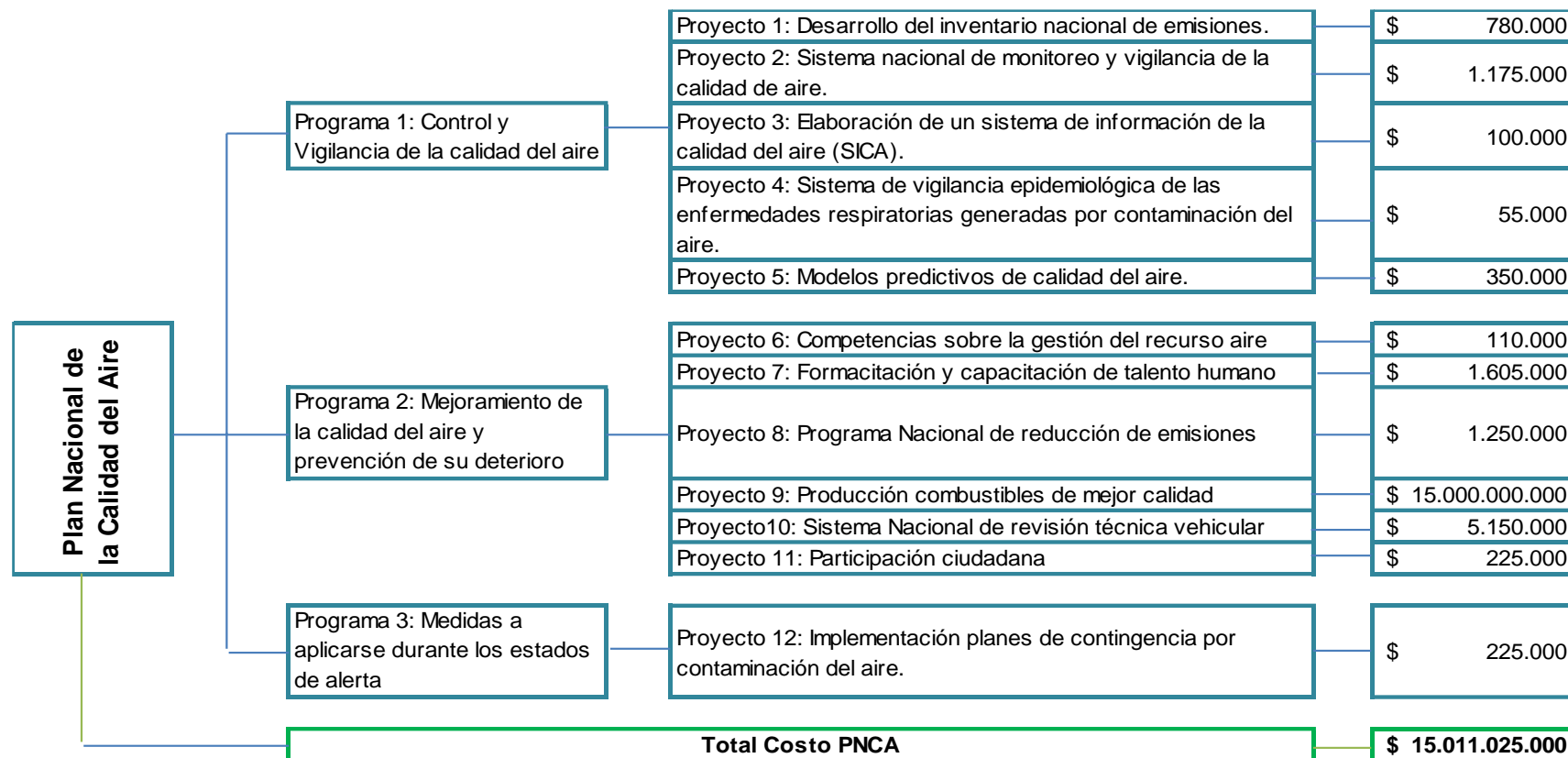
**Ilustración 10**  
**Objetivos del Plan Nacional de la Calidad del Aire**



Fuente: Plan Nacional de la Calidad del Aire 2010  
Elaboración: Franco Carvajal

Dentro del marco de los objetivos, el MAE a través del PNCA ha propuesto la ejecución de programas que permitan alcanzar dichos objetivos y resolver los problemas institucionales y de contaminación, al mediano y largo plazo con un costo estimado del PNCA de 15.011 millones de dólares (Ministerio del Ambiente, 2010:2), sin embargo en el documento del PNCA no se aclara un tiempo aproximado de ejecución, ni tampoco las fuentes de financiamiento para el mismo, que en opinión del investigador esto constituye una limitación relevante para el cumplimiento de los objetivos del PNCA. En la ilustración 11 se presentan los programas con los proyectos y el costo total de lo que implica la ejecución del PNCA.

**Ilustración 11**  
**Estructura de programas y proyectos del PNCA**



Fuente: Plan Nacional de la Calidad del Aire 2010  
Elaboración: Franco Carvajal

El proyecto 9 “Producción de combustibles de mejor calidad para fuentes móviles y fijas” constituye el rubro de mayor gasto dentro del PNCA con 15.000 millones de dólares, debido a que la principal fuente de contaminación del aire constituye la combustión de gasolinas por parte de las fuentes móviles (Ministerio del Ambiente, 2010:54). Sin considerar al proyecto 9 que representa casi el 100% del total del presupuesto del PNCA, los proyectos 10, 7, 2 y 8 son los proyectos que mayores recursos necesitan para su ejecución.

Dentro del programa 2 “mejoramiento de la calidad del aire y prevención de su deterioro”, el proyecto 8 y el proyecto 9 proponen un tratamiento directo en la disminución de las emisiones al aire generadas por las fuentes móviles. El proyecto 8, en su componente 8.1 “Mejoramiento del control y prevención de la contaminación generada por fuentes móviles” propone incentivos y medidas para disminuir la contaminación del parque vehicular como:

- Prestamos de la Corporación Financiera Nacional CFN para la compra de vehículos de transporte público que cumplan con la norma EURO 3<sup>28</sup>
- Menores impuestos para la importación de vehículos, piezas, catalizadores y repuestos que aseguren la disminución de emisiones.
- Impulsar el uso de bicicletas y construcción de ciclo vías por medio de los Gobiernos autónomos descentralizados municipales.
- Control de vehículos en sitios de alta contaminación.

Además el componente propone políticas enfocadas a la planificación territorial urbana, planes maestros de transporte público eficientes, planes de movilidad vehicular y de transporte público. La ejecución del componente 8.1 tiene un costo estimado de 525.000 dólares (Ministerio del Ambiente, 2010: 49). El proyecto 9 afirma que la producción de combustibles en el país derivados del petróleo son analizados en base a parámetros de calidad por el INEN, sin embargo estos no responden a criterios ambientales ni de salud pública en base a parámetros internacionales (Ministerio del Ambiente, 2010: 56). Este proyecto propone las siguientes acciones para su implementación:

- Actualizar los parámetros de calidad de combustibles en base a los estándares internacionales
- Evaluar el costo beneficio de la calidad del aire
- Evaluar la factibilidad social, económica y técnica de la aplicación de nuevas tecnologías para mejorar la calidad de los combustibles.
- Evaluar el uso de mejores tecnologías para vehículos.

Las propuestas del PNCA, representan esfuerzos de todo el Estado en mejorar la gestión y calidad del recurso aire. La ejecución de este plan debe responder a la articulación de las diferentes instituciones encargadas de vigilar y monitorear la contaminación atmosférica, como es el caso del MAE, los gobiernos autónomos descentralizados y los departamentos técnicos; además de que el Estado disponga del presupuesto necesario y la apertura legislativa para aplicarlo.

---

<sup>28</sup> Las normas Euro establecen los límites de emisiones al medioambiente provenientes de las fuentes móviles (automóviles, camiones, autobuses, etc.).

## **Situación de la calidad del aire en las principales zonas urbanas del país**

La calidad del aire, según se discute en un primer documento del diagnóstico de la calidad del aire en el Ecuador (Ministerio del Ambiente, 2003: 115), es definida como: “el conjunto de concentraciones de componentes presentes en el aire en un momento en estudio, que satisfacen la salud, el bienestar de la población, el equilibrio ecológico, y los materiales con valor económico”. La calidad del aire tiene una relación directa con la salud de las personas ya que el aire es un recurso vital para la vida humana, y su degradación conlleva a enfermedades respiratorias graves y afectar la calidad de vida de las personas. Según un estudio realizado por el Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (2008) sobre la calidad del aire en su ciudad, una persona respira en promedio unas 17 veces por minuto; esto significa que por día una persona respira alrededor de 15 kg de aire.

Según presenta el PNCA (Ministerio del Ambiente, 2010: 4) el Ecuador cuenta con pocas investigaciones sobre la calidad del aire y los efectos de la contaminación en la salud de la población. En efecto los esfuerzos en medir la calidad del aire en el país, se han desarrollado de diferentes formas y avances a nivel local y urbano, principalmente en la ciudad de Quito, y con limitados esfuerzos para Cuenca y Guayaquil.

Según el Ministerio del Ambiente (2003: 101) gracias a proyectos de monitoreo y gestión de la calidad del aire por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) en la década de los 70, 80 y 90. La Red Ecuairé permitió un primer análisis del deterioro de la calidad del aire en el país, este programa de monitoreo se basa en realizar registros históricos de la evolución de parámetros ambientales del aire en sitios de muestreo, frecuencias y tiempos establecidos; el cual permitió definir el estado de la calidad del aire. El estudio tomó en cuenta a las ciudades de Quito, Esmeraldas, Cuenca, Ambato y Guayaquil en un periodo de análisis de 1976-1990.

En general la Red Ecuairé determinó que las partículas totales en suspensión y las partículas sedimentales representan los contaminantes de mayor contaminación. Por ejemplo en las ciudades de Quito y Guayaquil estos contaminantes superan las normas hasta en un 100%, y el PM 10 alcanzó los niveles máximos permitidos, también determinó que aumentaron las tendencias de los niveles de gases de SO<sub>2</sub>, CO y NO<sub>x</sub>. Como conclusión el estudio determinó que se ha observado un deterioro de la calidad del aire en las 5 ciudades antes descritas en el periodo de 1976 a 1990 debido al incumplimiento de las normas establecidas, y las tendencias crecientes de los contaminantes descritos (Ministerio del Ambiente, 2003: 101).

El PNCA realiza un diagnóstico de la calidad del aire en el país más actual para el año 2010, tomando en cuenta a las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca. Otro estudio importante para conocer la calidad del aire en el país, es el “Informe sobre el estado del medio ambiente Geo Ecuador 2008” realizado por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO), el MAE, y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2008), el cual constituye un retrato integral de los diferentes problemas ambientales del país. Según este informe, el país no cuenta con información precisa del estado actual de la calidad del aire, debido a que su gestión es una política reciente, y por problemas de institucionalidad y presupuesto.

### *Situación de la calidad del aire en Quito*

En el año 2004 se conformó la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito (CORPAIRE), institución encargada de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico (REMMAQ) y el desarrollo del Índice Quiteño de Calidad del Aire (IQCA). En la actualidad Quito es la única ciudad en el país que tiene una red automatizada de monitoreo atmosférico. Esta red cuenta con 6 estaciones meteorológicas, 9 estaciones de monitoreo para medir la concentración de los contaminantes criterio, y un centro de control para el procesamiento de la información con equipos de laboratorio (Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Ministerio del Ambiente de Ecuador, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2008: 39).

En cuanto al IQCA, este índice contempla las concentraciones de los siguientes contaminantes: material particulado fino (PM 2.5), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y el ozono (O<sub>3</sub>). El IQCA es una escala entre 0 a 500, con 5 rangos de valores que expresan categorías de calidad, y mientras más alto es el valor del IQCA mayor es el nivel de contaminación atmosférica. El rango entre 0 a 50 indica un nivel óptimo o deseado, el rango de 51 a 100 un nivel bueno, mientras que los rangos del 101 al 500 muestran niveles de precaución, alerta, alarma y de emergencia según el aumento (Secretaría de Ambiente del DMQ, 2014:11).

En la actualidad el Municipio de Quito a través de la Secretaría del Ambiente, es la entidad encargada de realizar el monitoreo de la calidad del aire de la ciudad presentando información diaria de las concentraciones de los contaminantes, niveles de alerta y con informes anuales de la calidad del aire de Quito.

Según presenta el Informe de Calidad del Aire de Quito 2013, las concentraciones de monóxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) fueron ligeramente mayores a las del 2012, pero desde el año 2005 los niveles de concentración en el aire regional urbano se han reducido en un 14,6%, mientras que las concentraciones a nivel calle desde el año 2006 se redujeron en un 10%. A pesar de esta reducción el nivel de NO<sub>2</sub> continua superando la norma a nivel de calle, y esto se debe al incremento del parque automotor de la ciudad, los cuales no cuentan con catalizadores eficientes (Secretaría del Ambiente del DMQ, 2014: 1).

Las concentraciones de material particulado PM<sub>10</sub> han ido disminuyendo en la última década, se observa que en el periodo 2004 al 2006 este contaminante se redujo en un 44%, para los siguientes años las concentraciones no presentan cambios significativos. Mientras que según el informe 2013 las concentraciones del material particulado PM<sub>2.5</sub> superan la norma establecida por la NECA en todas las estaciones de monitoreo, aun así desde el año 2004 al 2008 las concentraciones promedio anuales de este contaminante disminuyeron en un 33% (Secretaría del Ambiente del DMQ, 2014: 2).

La concentración promedio de 2013 del monóxido de carbono (CO) cumplió con los límites permisibles en todas las estaciones de monitoreo. Se observa que existe una disminución sostenida de las concentraciones medias de CO desde el año 2003 en un 54%. Según afirma la Secretaría del Ambiente del DMQ (2014), esta disminución se debe a la calibración de los vehículos a gasolina en la revisión técnica vehicular, además de que han salido del parque automotor vehículos con carburador y al aumento de vehículos con catalizadores.

En lo que respecta a la contaminación del dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), para el año 2013 no supera la norma de calidad de aire tanto en el promedio diario como anual. Se observa que la disminución de las concentraciones diarias a partir del año 2005 ha sido del 77%, debido a la mejora del octanaje de los combustibles vendidos en el DMQ. En lo que respecta al ozono (O<sub>3</sub>), la norma de calidad de este contaminante no supera los límites permisibles en ninguna de las estaciones monitoreadas para el año 2013, a excepción de la estación de Guamaní; y según afirma este informe, desde el año 2004 los niveles de O<sub>3</sub> han disminuido en un 30%.

#### *Situación de la calidad del aire en Guayaquil*

Según el MAE (2010), en la ciudad de Guayaquil no existe una red de monitoreo permanente de la calidad del aire, lo que no ha permitido establecer tendencias de la contaminación al aire. Sin embargo existen estudios y esfuerzos en diferentes años en la ciudad sobre este tema.

En el año 2003 el Municipio de la ciudad realizó un estudio sobre la calidad del aire y otros aspectos relacionados, como la calidad de los combustibles que se venden en las gasolineras, y las emisiones vehiculares. Las mediciones de calidad del aire fueron hechas en 51 puntos de la ciudad, se evaluaron a 649 vehículos para estimar las emisiones, y se analizaron muestras de diesel y gasolina en diferentes gasolineras. Para medir los niveles de contaminación el estudio utilizó el índice de calidad ORAQUI<sup>29</sup> mediante el cual se observa que las emisiones de CO, O<sub>3</sub>, y compuestos orgánicos volátiles (COV) se encontraban por debajo de los límites permisibles, por lo cual el estudio concluye que la calidad del aire en Guayaquil es “aceptable”. En este resultado el estudio afirma que las condiciones geográficas y urbanísticas de la ciudad ayudan a que los contaminantes no se concentren y se dispersen (Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Ministerio del Ambiente de Ecuador, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2008: 39).

#### *Situación de la calidad del aire en Cuenca*

En la ciudad de Cuenca la gestión de la calidad del aire ha sido un tema de poca gestión y de resultados que no han tenido continuidad desde los años 90 hasta el año 2005. Cuenca inicia con un plan de monitoreo de la calidad del aire urbano en el año 1997 a cargo de la Empresa de Telecomunicaciones, agua potable y alcantarillado de Cuenca (ETAPA) sin tener continuidad ni institucionalidad. En el 2006 se creó la Corporación para el mejoramiento del Aire de Cuenca (CUENCAIRE) mediante el cual la ciudad obtuvo importantes equipos de monitoreo adquiridos por ETAPA, a fin de que se continúe con el monitoreo (Ministerio del Ambiente, 2010: 13).

Desde la creación de CUENCAIRE se han desarrollado varios estudios sobre la calidad de aire de la ciudad, por ejemplo se determinó que en el Centro Histórico de la ciudad las concentraciones de COV, NO y el SO<sub>2</sub> y los niveles de contaminación de PM<sub>2.5</sub> sobrepasan la norma de calidad en todos los puntos de medición; este problema ha generado la migración de ciertas especies de aves del centro hacia la periferia de la ciudad. Estos resultados según afirma FLACSO, MAE, PNUMA (2008)

---

<sup>29</sup> Índice que se fundamenta en las normas de calidad de la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos.

constituyen una línea base para la institucionalización de una política de monitoreo de la calidad del aire de la ciudad, que genere información constante y actual.

## **2. Las fuentes móviles en el Ecuador**

### **Características del Parque Automotor**

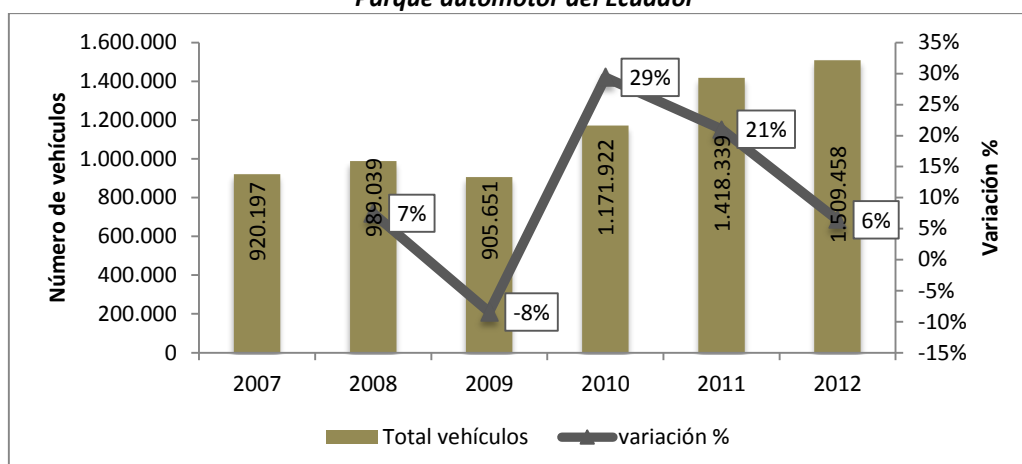
Este punto del estudio realiza un análisis de las fuentes móviles en el país representado por el parque automotor, y presenta un análisis de la información sobre la composición y antigüedad de los vehículos que circulan en el país, el consumo y calidad de las gasolinas y diesel, y de algunos instrumentos de política económica fiscal que influyen en cierta medida en el aumento o disminución de la contaminación vehicular, como los subsidios a los combustibles y la aplicación del impuesto a la contaminación vehicular.

La contaminación del aire urbano en el país es generada principalmente por el parque vehicular, siendo el mayor responsable de las emisiones de contaminantes criterio (Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Ministerio del ambiente de Ecuador, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2008:38). Las fuentes móviles, constituyen principalmente los vehículos motorizados, aunque técnicamente se incluyen dentro de este grupo el transporte marítimo, transporte aéreo y transporte ferroviario, pero para los fines de este estudio se considera solo a los vehículos motorizados matriculados del país debido a que es posible aplicar el principio de residencia y por la facilidad de obtener información.

En el país el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2012) se encarga de recopilar la información del parque automotor desde diferentes fuentes como: la Comisión de Tránsito y Transporte Terrestre, la Dirección General de Tránsito y la Comisión de Tránsito del Guayas.

Como se presenta en el gráfico 2, para el año 2012 el total de vehículos del país alcanza un total de 1.509.408, es decir un 64% más que el total del año 2007 (920.197 autos). Según los datos, desde el 2009 se observa un crecimiento continuo del parque automotor, principalmente entre el año 2009 y 2010 con el 29%, explicado por el aumento de busetas (83%), motocicletas (68%) y autos pesados de carga (78%).

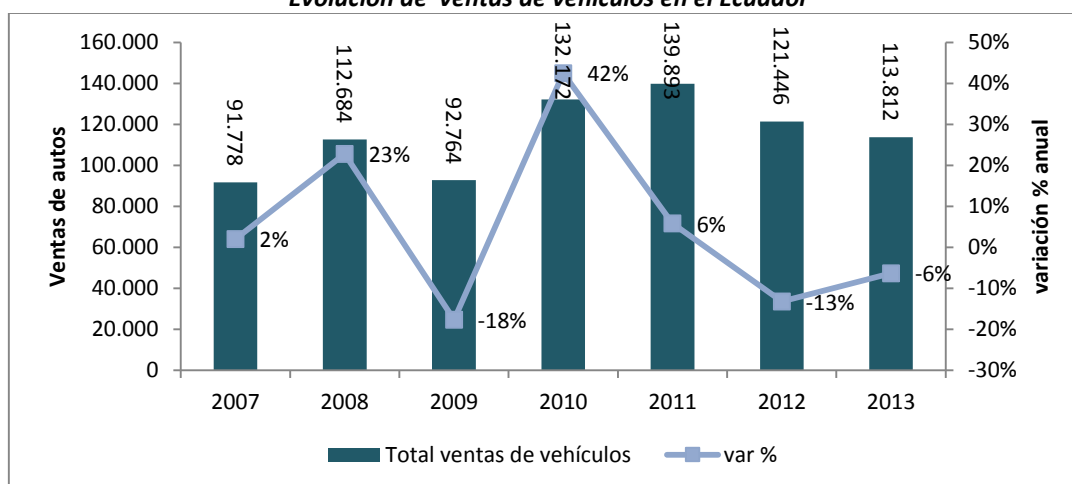
**Gráfico 2**  
**Parque automotor del Ecuador**



Fuente: INEC, 2012  
Elaboración: Franco Carvajal

El aumento del parque automotor se debe principalmente por la compra de autos nuevos de los hogares y empresas. Según las cifras que presenta la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) las ventas de vehículos ha aumentado desde el año 2007 al 2012 en un 32%, mostrando un mayor crecimiento en las ventas del año 2010. Como se observa en el gráfico 3, según la AEADE (2010: 4) el gasto fiscal, la liquidez del sistema financiero y las facilidades crediticias ayudaron a que varios sectores de la economía del país se recuperasen luego de la crisis económica del 2009, como es el caso del sector automotriz que decayeron sus ventas en un 18%; pero gracias a las condiciones generadas, en el año 2010 las ventas de autos aumentó en un 42%, marcando un hito record de ventas del sector automotriz.

**Gráfico 3**  
**Evolución de ventas de vehículos en el Ecuador**



Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE) 2013  
Elaboración: Franco Carvajal

En el análisis del parque automotor por provincia, se observa que en promedio en el periodo analizado, las provincias de Azuay, Guayas, Los Ríos, Manabí, Pichincha, y Tungurahua concentran el 75% del total de vehículos motorizados, comparado al 25% del resto de provincias del país (tabla 3); además si se toma en cuenta a Pichincha y Guayas, ambas provincias concentran el 50% del parque

automotor total. Se observa que las provincias que mostraron un mayor incremento de sus vehículos desde el año 2007 al 2012 fueron Manabí en un 143%, Los Ríos en un 98%, Pichincha en un 62%, y el Guayas en un 58%.

**Tabla 3**  
**Parque automotor según la provincia**

Provincia	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Part. Prom	Var % 2007-2012
AZUAY	73.405	80.695	72.881	82.682	90.952	92.590	7%	26%
GUAYAS	253.003	244.174	238.824	302.901	358.654	399.516	26%	58%
LOS RÍOS	34.932	45.192	38.928	59.602	78.306	69.124	5%	98%
MANABÍ	49.238	61.522	60.685	84.195	114.895	119.886	7%	143%
PICHINCHA*	290.068	282.855	213.999	266.724	269.529	347.694	25%	62%
TUNGURAHUA	46.206	50.356	43.747	57.895	70.364	70.497	5%	53%
resto de prov.	173.345	224.245	236.587	317.925	435.639	410.151	25%	137%
<b>TOTAL</b>	<b>920.197</b>	<b>989.039</b>	<b>905.651</b>	<b>1.171.924</b>	<b>1.418.339</b>	<b>1.509.458</b>		

\*Pichincha hasta el año 2008 matriculaba a los autos de la actual provincia Santo Domingo de los Tsachilas antes de su separación.

Fuente: INEC, 2012

Elaboración: Franco Carvajal

Si se analiza la composición del parque automotor por tipo de auto, se observa en la tabla 4 que los autos livianos (autos y jeeps) representan en promedio el 51%, seguido por las camionetas el 21%, las motocicletas el 15%, los vehículos pesados (camiones, tanqueros, tráileres, volquetas) el 9%, y busetas (de personas y de carga) y buses (buses y colectivos) representan el 3% en conjunto.

Adicionalmente, se observa que los tipos de autos con mayor crecimiento entre el año 2007 al 2012 son: las motocicletas que aumentan de 78.323 unidades a 296.086 unidades, los autos pesados pasan de 78.323 a 143.558 vehículos, las busetas aumentaron un 69%, y los autos livianos un 53%.

**Tabla 4**  
**Parque automotor según el tipo de auto**

Tipo de Auto	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Part. Prom	Var % 2007-2012
Autos	481.966	525.524	477.247	590.182	679.449	739.676	51%	53%
Busetas	25.503	18.900	11.085	20.301	26.954	43.211	2%	69%
Buses	10.925	9.881	6.518	8.755	11.891	11.700	1%	7%
Camionetas	218.632	242.122	216.459	242.114	250.667	275.227	21%	26%
Pesados	71.513	75.717	72.522	128.946	144.603	143.558	9%	101%
Motocicletas	78.323	110.489	106.979	179.855	301.349	296.086	15%	278%
otros	33.335	6.406	14.841	1.769	3.426		1%	
<b>TOTAL</b>	<b>920.197</b>	<b>989.039</b>	<b>905.651</b>	<b>1.171.922</b>	<b>1.418.339</b>	<b>1.509.458</b>		

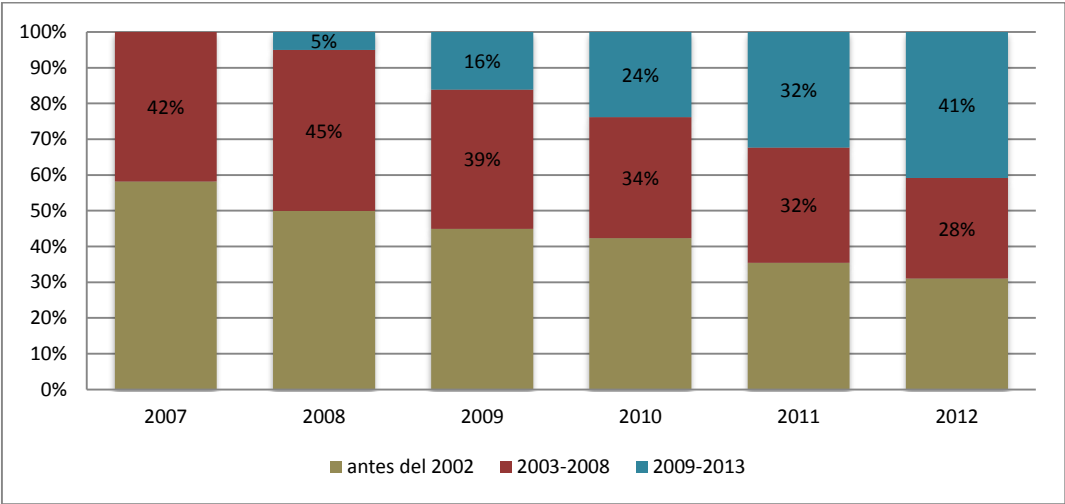
Fuente: INEC

Elaboración: Franco Carvajal

Otro análisis relevante para entender la contaminación de las fuentes móviles, es el análisis del parque automotor según su antigüedad o año modelo de fabricación, debido a que brinda una idea general de la cantidad de vehículos que son mayor contaminantes debido al desgaste del motor por

el pasar del tiempo. Como se presenta en gráfico 4, para el año 2007 el 58% de los autos correspondían a modelos de fabricaciones anteriores o iguales al año 2002 (desde los años 60), mientras que el 42% de los autos correspondían a modelos de autos relativamente nuevos entre el 2003-2008. Para el año 2012 la tendencia muestra un panorama diferente, pues se observa que los autos con año modelo antes del 2002 representaron el 31%, los autos del periodo 2003-2008 representaron el 28%, y los autos relativamente nuevos el 41% del total. La estadística del parque vehicular demuestra que el 70% del parque automotor presenta menores características de contaminación que el 30% restante, debido a que sus características mecánicas son de mejor tecnología y se encuentran en mejor estado.

**Gráfico 4**  
**Estructura del parque automotor según año de modelo**



Fuente: INEC  
Elaboración: Franco Carvajal

**Impuesto Ambiental a la Contaminación Vehicular (IACV)**

Para la CEPAL (2005:31) la inclusión de impuestos ambientales en una reforma fiscal tiene como principal finalidad “incentivar una reducción de la contaminación y la degradación ambiental e inducir un mejor desempeño ambiental de los agentes económicos”, según la CEPAL esto significa que los impuestos ambientales tienen el fin de corregir externalidades de contaminación, y no el de una recaudación fiscal.

Es así que en el Ecuador, según el Servicio de Rentas Internas (SRI, 2011), los impuestos de enfoque ambiental fueron considerados por primera vez en la Reforma Tributaria del año 2011 “Ley de Fomento Ambiental y Optimización de los Ingresos del Estado” tomando en cuenta al impuesto ambiental a la contaminación vehicular (IACV) y el impuesto a las botellas plásticas. En el caso del IACV, su política está enfocada en la “contaminación ambiental producida por los vehículos motorizados de transporte terrestre” debido a la combustión de gasolinas y diesel, y a la capacidad de consumo de combustibles de los vehículos (Servicio de Rentas Internas [SRI], 2011). El IACV se lo establece de acuerdo a una base imponible que corresponde al cilindraje que tiene el motor de un vehículo y a las tarifas planteadas por el SRI tomando en cuenta un factor de ajuste. El factor de ajuste es un porcentaje que se relaciona con el potencial de contaminación de los vehículos en

relación con los años de antigüedad o a la tecnología de combustión del motor. La base imponible, la tarifa y el factor de ajuste se detallan en la tabla 5.

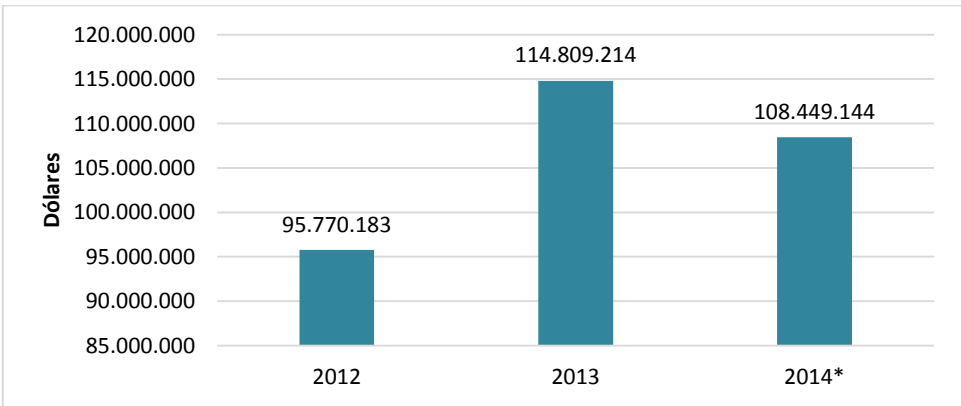
**Tabla 5**  
**Base imponible, tarifas y factor de ajuste del IACV**

Cilindraje centímetros cúbicos (cc)	Tarifa USD/cc
menor a 1.500	0
1.501 - 2.000	0,08
2.001 - 2.500	0,09
2.501 - 3.000	0,11
3.001 - 3.500	0,12
3.501 - 4.000	0,24
Más de 4.000	0,35
Factor ajuste	Factor %
Antigüedad (años)	
menor a 5 años	0%
de 5 a 10 años	5%
de 11 a 15 años	10%
de 16 a 20 años	15%
mayor a 20 años	20%
híbridos	-20%

Fuente: Servicio de Rentas Internas (SRI), 2011  
Elaboración: Franco Carvajal

Este impuesto toma en cuenta algunas consideraciones que permiten a los dueños de los vehículos exonerarse de este pago. Por ejemplo se exoneran del pago: vehículos de propiedad del Estado, transporte público, transporte escolar, taxis, transporte relacionado con actividades productivas, ambulancias, vehículos clásicos, vehículos eléctricos, vehículos para personas con discapacidad (SRI, 2011). Según los datos de recaudación de este impuesto (gráfico 5), el SRI se propuso una meta de recaudación para el año 2012 de 69.900.000 dólares, pero los resultados superaron la meta propuesta alcanzando un total de 95.770.183 dólares. Para el año 2013 la recaudación crece en un 20% y hasta noviembre de 2014 el SRI registra un monto recaudado de 108.449.144 millones de dólares.

**Gráfico 5**  
**Recaudación del IACV**



\*Enero a noviembre de 2014  
Fuente: Servicio de Rentas Internas 2012, 2013, 2014  
Elaboración: Franco Carvajal

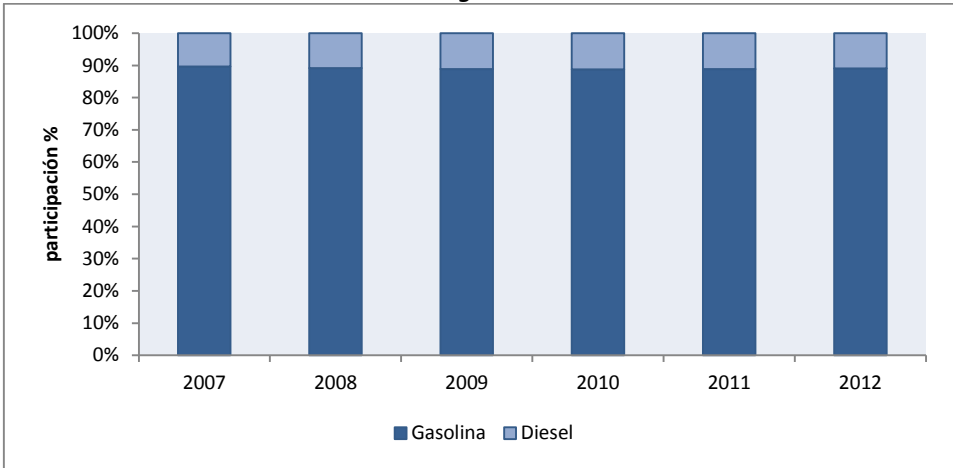
Si bien la recaudación tributaria ha ido en aumento, los resultados pueden ser engañosos e inclusive pueden dar una incorrecta interpretación sobre el impacto de este impuesto en la disminución de la contaminación vehicular. En rasgos generales la mayor recaudación de este impuesto corresponde en parte al constante aumento del número de autos del país, que según datos del INEC (2013), se observa por ejemplo que el parque automotor creció del año 2012 al año 2013 en un 14% con un número de ventas para este año de 113.812 autos. La evaluación de impacto y seguimiento de este impuesto es clave para poder presentar resultados que identifiquen si el impuesto está logrando su objetivo de disminuir la contaminación vehicular.

### Consumo energético del sector de transporte

El crecimiento económico del país, y el crecimiento poblacional de las zonas urbanas, requieren cada vez más de grandes cantidades de energía para satisfacer las necesidades de producción, consumo, movilización de vehículos, y energía eléctrica para hogares y empresas; por lo que este aumento de demanda de energía provoca mayores presiones en la calidad del aire (Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Ministerio del ambiente de Ecuador, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2008: 42).

El análisis de la contaminación de las fuentes móviles, se relaciona con el consumo de combustibles fósiles del parque automotor. En el gráfico 6 se visualiza el consumo por tipo de combustibles vehiculares, se observa que el 90% del total de vehículos consume gasolinas, mientras que el 10% restante consume diesel.

**Gráfico 6**  
**Vehículos motorizados según consumo de combustible**

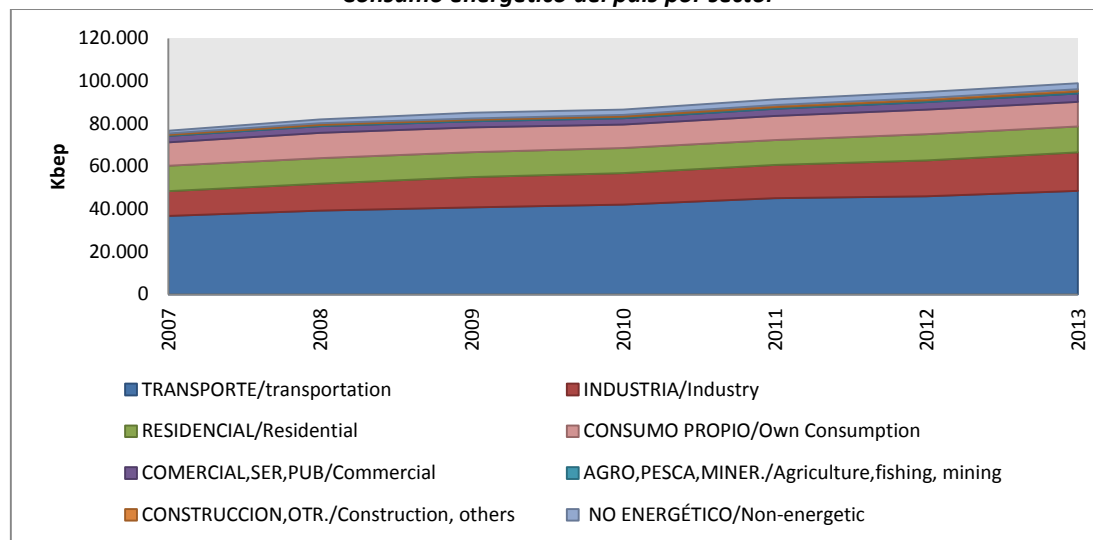


Fuente: INEC  
Elaboración: Franco Carvajal

Con estas características, la información de balances energéticos que presenta el Ministerio Coordinador de los Sectores Estratégicos (MICSE, 2014), permite tener un panorama general del consumo de energía de las fuentes móviles (Sector transporte en los balances energéticos) en relación a otros sectores económicos, la evolución de consumo, y la estructura de consumo en relación a gasolinas y diésel y por tipo de auto. En el gráfico 7 se presenta el consumo energético por sector en todo el país, en el que se observa que el sector transporte es el mayor consumidor de

energía<sup>30</sup> con el 48,5% del total, como promedio entre los años 2007-2013, pasando de un consumo de 36.804 Kbp<sup>31</sup> en el 2007 a 48.551 Kbp en el 2013. En segundo lugar el sector industrial consume el 16,7%, y los hogares como sector residencial el 13,6%.

**Gráfico 7**  
**Consumo energético del país por sector**



Fuente: MICSE 2014  
Elaboración: Franco Carvajal

Según los datos del MICSE (2014), el consumo de energía del sector de transporte al año 2013, está compuesto principalmente por el 46% de gasolinas, el 42% de diésel y el 9,5% de fuel oil. El consumo de gasolina paso de 670 millones de galones en el 2007 a 1.039 millones de galones en el 2013 demostrando un crecimiento del 55%; por otra parte el consumo de diésel oil paso de 651 millones de galones a 870 millones de galones en el mismo periodo, mostrando un crecimiento de 34% (Tabla 6).

**Tabla 6**  
**Estructura del consumo energético del sector transporte**

Tipo de energía	Unidad	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Var. (%) 2007/2013
Electricidad	GWh	10	10	10	10	10	10	10	-
Gas Licuado	miles kg	-	1.046	9.518	11.108	11.474	10.714	9.590	817%
Gasolinas / Naftas	miles gal	670.461	729.738	781.991	855.029	914.911	950.889	1.039.057	55%
Kerosene y Jet fuel	miles gal	110.729	111.368	108.810	109.746	111.502	108.420	121.422	10%
Diesel Oil	miles gal	651.000	702.038	718.223	732.030	788.780	821.890	870.645	34%
Fuel Oil	miles gal	182.879	182.458	182.418	157.999	171.711	147.249	115.669	-37%

Fuente: MICSE 2014  
Elaboración: Franco Carvajal

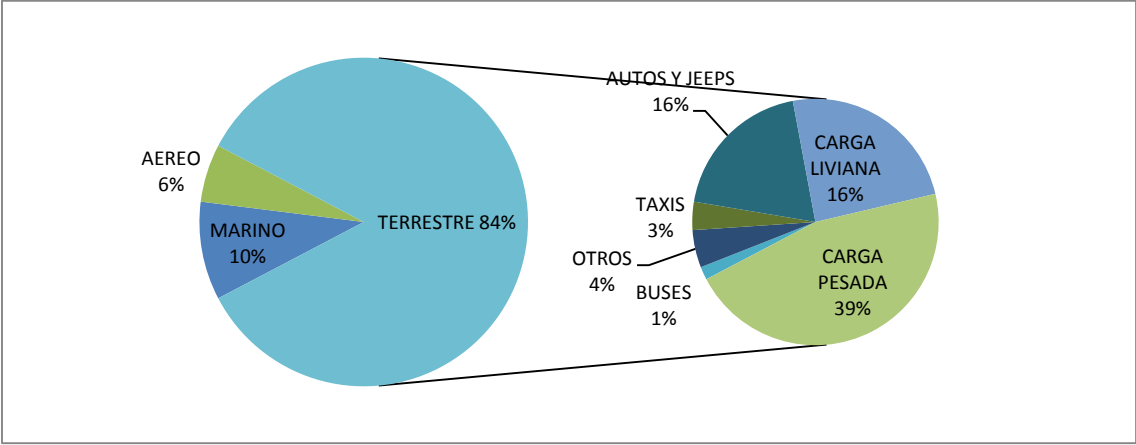
La información de balances energéticos del MICSE, permite también discriminar el consumo energético de este sector por tipo de transporte; es así que según la metodología<sup>32</sup> del MICSE, al año

<sup>30</sup> Se toma en cuenta: electricidad, gas licuado, gasolinas/nafta, kerosene, diésel y fuel oil (MICSE, 2014)

<sup>31</sup> La unidad de medida es en mmiles de barriles equivalentes de petróleo

2013 el 84% del consumo energético de este sector fue realizado por el transporte terrestre, el 10% por el marino, y el 6% por el aéreo. De este 84% de consumo, se observa en el gráfico 8, que el 39% es consumido por transporte terrestre de carga pesada, el 16% por carga liviana, el 16% por autos y jeeps, el 3% por los taxis, el 1% por los buses y finalmente el 4% por otros vehículos.

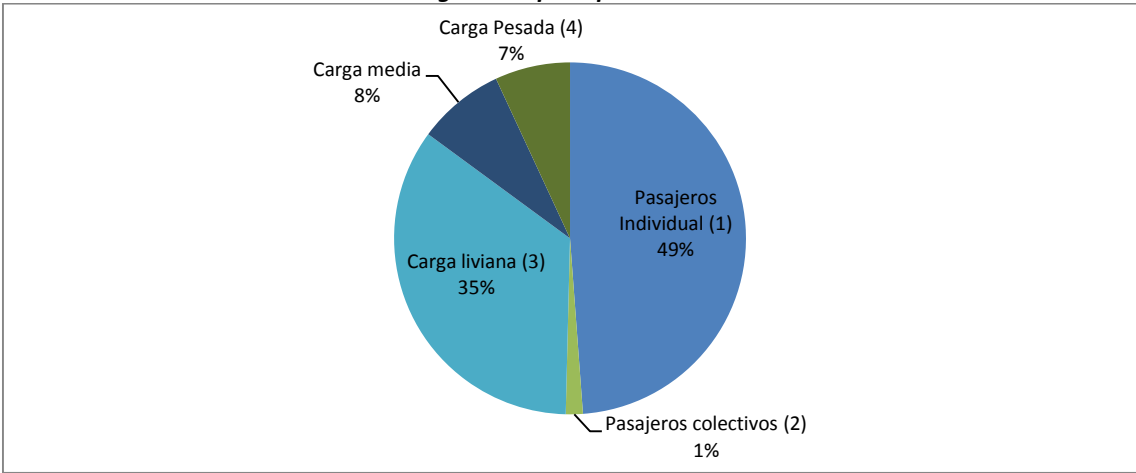
**Gráfico 8**  
**Estructura del consumo energético por tipo de transporte al 2013**



Fuente: MICSE 2014  
Elaboración: MICSE

Si se considera solamente el consumo de gasolinas, se observa en el gráfico 9, que de 1.039 millones de galones de gasolina, el 49% fue consumido por autos de pasajeros individual (autos, jeeps, taxis, motos), el 35% por autos de carga liviana (camionetas de hasta 3 ton y furgonetas de carga), y el 15% por vehículos de carga media y pesada (camiones, tráileres y volquetas), y el 1% por pasajeros colectivos como buses y furgonetas.

**Gráfico 9**  
**Consumo de gasolina por tipo de vehículo al 2013**



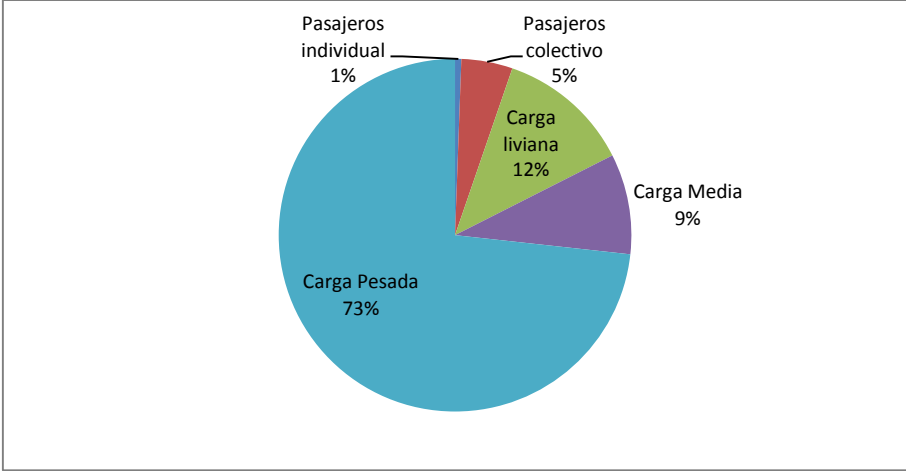
- (1) Autos, jeeps, taxis y motos
- (2) Furgonetas de pasajeros y buses
- (3) Camionetas de hasta 3 ton y furgonetas de carga
- (4) Camiones, trailers y volquetas

Fuente: MICSE 2014  
Elaboración: MICSE

<sup>32</sup> Considera un recorrido promedio por vehículo de 20 mil kilómetros anuales, y se basa en la metodología realizada por el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energía Renovable (MICSE, 2014: 37).

Como se presenta en el gráfico 10, el consumo de diésel fue de 870 millones de galones para el año 2013, este consumo se distribuyó en: 82% por vehículos de carga pesada y mediana, el 12% por carga liviana, el 5% por vehículos de pasajeros colectivo, y el 1% por vehículos de pasajero individual.

**Gráfico 10**  
**Consumo de diésel por tipo de vehículo al 2013**



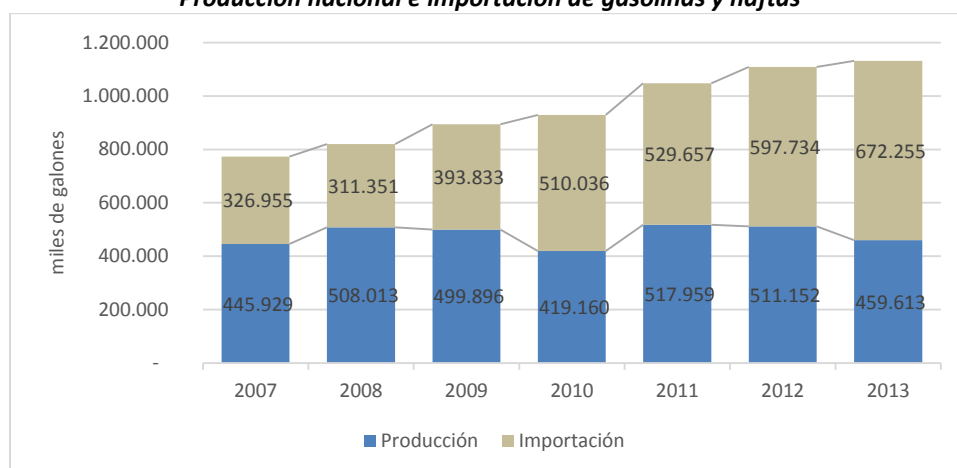
Fuente: MICSE 2014  
Elaboración: MICSE

En lo que respecta a la demanda de combustibles, el Ecuador al ser un país productor de petróleo no logra satisfacer su demanda de combustibles debido a que no posee la infraestructura necesaria para procesar y refinar el crudo necesario para satisfacer completamente la demanda interna. Esto obliga al país a importar combustibles de alto octanaje (de mejor calidad para la combustión en un motor) y los mezcla con la producción nacional de derivados hasta alcanzar el límite requerido por los estándares de calidad de gasolinas<sup>33</sup> planteados por la misma política de gobierno; sin embargo la calidad de los combustible utilizados es considerada como baja en comparación con la calidad de los combustibles utilizados en la Unión Europea, característica del sector energético del país que influye en la combustión de los vehículos y por ende una mayor contaminación al aire (Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales et al, 2008:44). El tema de la calidad de los combustibles se tratará en mayor detalle en el siguiente punto de la disertación.

Como se observa en el gráfico 11, para el año 2007 la producción nacional de gasolinas en las tres refinerías del país era mayor a la cantidad importada, con una representación en el total de oferta del 58% comparado al 42% de las importaciones. Sin embargo, a partir del año las importaciones aumentan considerablemente, superando a la cantidad producida por las refinerías, este aumento alcanzó el 59% del total de oferta de gasolinas, comparado con la producción nacional que representó el 41% en el 2013.

<sup>33</sup> Gasolina Extra de 87 octanos y la Súper de 92 octanos.

**Gráfico 11**  
**Producción nacional e importación de gasolinas y naftas**

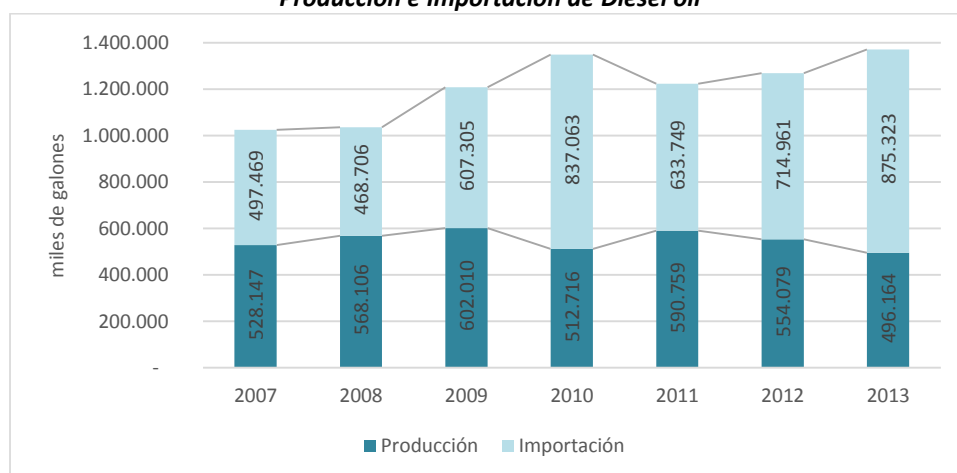


Fuente: MICSE 2014  
Elaboración: Franco Carvajal

En lo que respecta a la oferta de diesel oil (gráfico 12), para el año 2007 la producción nacional era mayor a lo que se importaba de este combustible, es así que para el año 2007 representó el 52% comparado al 48% de las importaciones, pero esta relación comienza a cambiar a partir del año 2009 cuando las importaciones crecen hasta alcanzar una participación del 64% comparado a la producción nacional que representó el 36% en el año 2013. En términos de tasas de variación, la producción nacional disminuye un 6% entre el 2007 y 2013, mientras que las importaciones aumentan en un 76% entre el mismo periodo.

La disminución de la producción de derivados tanto de gasolinas como de diesel, se debió por paros programados de mantenimiento y de reparación en las unidades de las refinerías del país, principalmente en la refinería Esmeraldas. Además el aumento considerable de las importaciones se debió a un aumento del consumo de derivados del sector de transporte, y del sector de la construcción principalmente por la construcción de carreteras y de infraestructura en el país (EP Petroecuador, 2013).

**Gráfico 12**  
**Producción e Importación de Diesel oil**



Fuente: MICSE 2014  
Elaboración: Franco Carvajal

## Calidad de los combustibles en el Ecuador

Según informa el PNCA (MAE, 2010), en el país se producen combustibles derivados del petróleo que cumplen los parámetros de calidad propuestos por el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN). Estos parámetros son establecidos en comités técnicos que consideran la capacidad técnica de producción de las refinerías del país así como los aspectos económicos; sin embargo estos parámetros “no responden a criterios ambientales y tampoco a criterios de salud pública” por lo que la calidad de los combustibles era considerada baja hasta antes del año 2011 cuando se ejecuta el Plan de Mejoramiento de la Calidad de los Combustibles con el objetivo de mejorar la calidad de la gasolina y del diesel Premium .

A partir del año 2011 la Gasolina Extra pasó de 81 a 87 octanos<sup>34</sup> y la Súper de 90 a 92 octanos; con esto se han disminuido las emisiones de óxido de azufre logrando reducir el contenido de azufre de las gasolinas de 7.000 partes por millón (ppm) a 250 ppm y se mejora el rendimiento de los automotores. La calidad del Diesel Premium se considera relativamente buena, ya que tiene un contenido de azufre de hasta 150 ppm, por debajo de los 250 ppm que establece la norma INEN (EP Petroecuador, 2013: 116).

Con esta política, el Ecuador es considerado como uno de los países con “mejor calidad de combustibles a nivel regional”, sin embargo a pesar de este aumento en la calidad, el nivel de octanaje se acerca al estándar mínimo de octanaje de gasolinas que demanda la Unión Europea de 95 octanos, lo cual no permite la implementación de mejoras tecnológicas en el proceso de combustión de los motores vehiculares (EP Petroecuador, 2013).

Otra de las iniciativas del gobierno para mejorar la calidad de los combustibles ha sido la producción de biocombustibles. Es así que se implementa el proyecto piloto de gasolina “Ecopaís” que tiene un componente de 95% de gasolina extra con un 5% de etanol que se extrae de la caña de azúcar, y es distribuida en 23 gasolineras de Guayaquil. Otro proyecto supone mejorar la calidad del diesel mediante la mezcla con aceite de palma entre el 5% al 10%, para producir biodiesel logrando un mejor rendimiento y menor contaminación (EP Petroecuador, 2013).

Adicionalmente, el gobierno al mediano plazo se ha trazado la meta de cumplir con las normas de calidad EURO 5 vigentes en Europa, proponiendo financiar estos proyectos con los recursos provenientes de los denominados “impuestos verdes”.<sup>35</sup>

### Subsidios a los combustibles

Según la Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Suramérica (Andes, 2014) el Ecuador es el tercer país de Suramérica con el precio de gasolina más barato luego de Venezuela y Bolivia. El costo barato

---

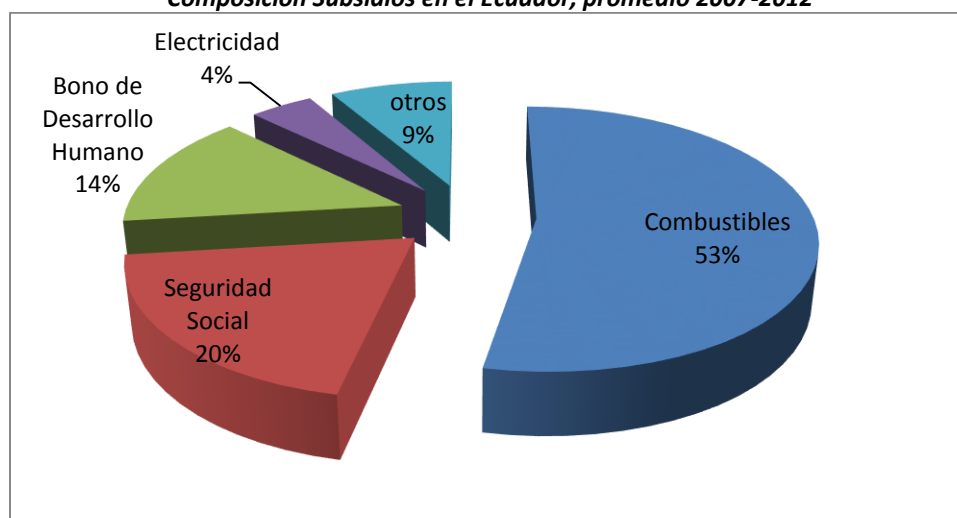
<sup>34</sup> El octanaje determina la calidad y la capacidad de consumo en la gasolina. Una gasolina con mayor grado de octanos mejora la potencia y el rendimiento del motor, además disminuye el consumo de combustible (El Comercio, 2012).

<sup>35</sup> Están considerados total y parcialmente entre los siguientes impuestos: impuesto a la renta única para la actividad productiva del banano; impuesto al valor agregado (IVA); impuesto a los consumos especiales sobre todo a los vehículos motorizados (ICE); impuesto a la contaminación vehicular (IACV); impuesto redimible a las botellas plásticas no retornables (IRBPNR); y el impuesto a la salida de divisas (El Comercio, 2012).

de los combustibles se explica porque el Ecuador aplica una política de subsidios a la gasolina y diesel con el objetivo principal de beneficiar a la producción y comercio y mantener estable los costos del transporte masivo.

Según cifras del Ministerio de Finanzas (2013) los subsidios a los combustibles son el rubro de mayor gasto en la composición de subsidios del país, tomando mayor importancia en comparación con los subsidios de enfoque social como el de la seguridad social y el Bono de Desarrollo Humano (gráfico 13). Se observa que este rubro ha representado el 53% en promedio entre el periodo 2007-2012, pasando de un total de 1.690 millones de dólares en el 2007 a 2.867 millones de dólares en el 2012, y a 3.800 millones dólares en el 2013.

**Gráfico 13**  
**Composición Subsidios en el Ecuador, promedio 2007-2012**



Fuente: Ministerio de Finanzas  
Elaboración: Franco Carvajal

Como se presenta en la tabla 7, al analizar la composición del subsidio por tipo de combustibles, resulta que el subsidio al diesel es el que más representa en el total subsidiado, representando en promedio para este periodo el 44%, seguido por el subsidio a las gasolinas/naftas con el 30%, y el gas licuado de petróleo importado (GLP) con el 22%.

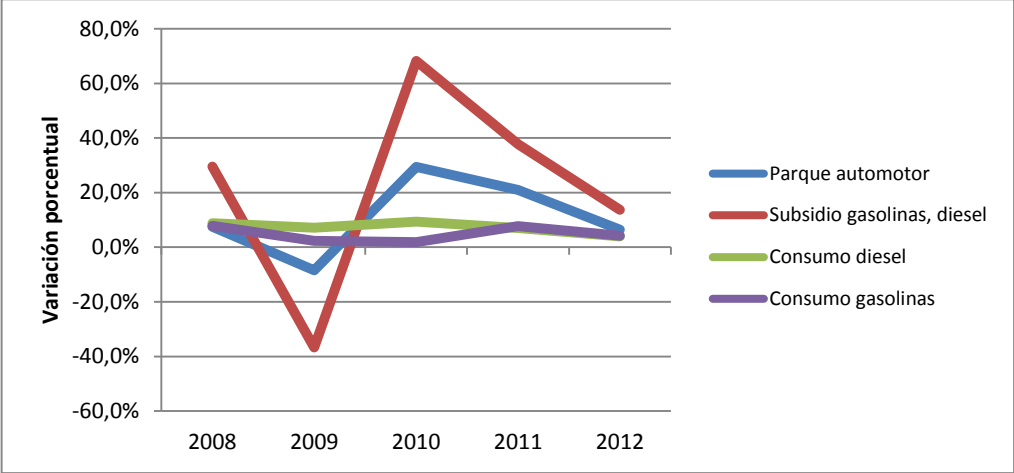
**Tabla 7**  
**Subsidio devengado para los combustibles del Ecuador (millones de dólares)**

Subsidios a combustibles	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Promedio 2007-2012
Diesel importado	648	889	537	956	1.254	1.364	44,4%
GLP nacional	47	52	45	49	67	24	2,4%
GLP importado	651	647	418	611	571	656	29,6%
Gasolina/Nafta Importado	343	395	276	412	631	779	22,2%
Jet Fuel importado		3	1	94	48	44	1,3%
<b>Total Subsidio</b>	<b>1.690</b>	<b>1.986</b>	<b>1.277</b>	<b>2.122</b>	<b>2.571</b>	<b>2.867</b>	

Fuente: Ministerio de Finanzas  
Elaboración: Franco Carvajal

Si se observa el crecimiento del parque automotor y del consumo de gasolinas (gráfico 14), se constata que el bajo precio de las gasolinas debido al subsidio que mantiene el Gobierno, ha alentado al aumento de la compra de vehículos lo que ha elevado el consumo de la gasolina extra, súper y de diesel, y consecuentemente esto produce un aumento de la contaminación vehicular, como se explicará en el siguiente capítulo.

**Gráfico 14**  
**Evolución: crecimiento vehicular, consumo gasolinas, subsidio combustibles**



Fuente: Ministerio de Finanzas  
Elaboración: Franco Carvajal

Según el portal Andes en una entrevista al Ministro de la Política Económica, Econ. Patricio Rivera, afirma que el gobierno tiene propuesto focalizar el subsidio a la gasolina desde el año 2016, mediante un mecanismo de “cupa de consumo”, mientras que el diesel utilizado para transporte pesado y para la generación de energía eléctrica no variará su precio.

## ***Cuenta Económica de las Emisiones al Aire por fuentes móviles en el Ecuador***

Después de haber realizado un análisis descriptivo de la contaminación vehicular en el país, en este capítulo se presenta una propuesta para la realización de la Cuenta Económica de las emisiones al aire, mediante la valoración del costo ambiental generado por la contaminación de las fuentes móviles en la pérdida de la calidad del recurso aire. La realización de la Cuenta Económica se fundamenta en los datos presentados en la Cuenta Física de emisiones al aire realizada por el proyecto piloto “Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional (SCAN) periodo 2008-2012” como la aplicación de la propuesta internacional de cuentas económicas ambientales (SEEA), y como la representación de la Cuenta Satélite Ambiental en el país (temas explicados anteriormente en el capítulo 1 de este estudio). Además se fundamenta en la aplicación de la metodología de valoración de “costos de mantenimiento” propuesto por las Naciones Unidas para valorizar los costos ambientales de la contaminación en la calidad del ambiente.

Para introducir a la cuenta económica, se presenta la estructura y principales avances del proyecto SCAN, los resultados y prestaciones de la cuenta física de emisiones al aire, y se procede a explicar los supuestos y pasos metodológicos aplicados para la valoración de la externalidad de la contaminación por fuentes móviles en este estudio. Consecuentemente se presentan los resultados de la valoración económica por agente económico para el periodo 2007-2012, y la realización de una serie de indicadores económico-ambientales que relacionan las presiones de contaminación al aire con datos de agregados económicos. Finalmente se presentan los resultados y análisis del indicador Producto Interno Neto ajustado a los costos de la degradación del aire (PIADA).

### **1. Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional. Exploración Inicial 2008-2012 (SCAN).**

En Mayo del 2009 en el Taller Ambiental: Política Ambiental Nacional, Mercado de Carbono y Código Ambiental, la presidencia del país generó el compromiso presidencial de “Realizar la Contabilidad de la Parte Biofísica y el PIB Verde”. Este compromiso se fundamenta en el artículo 14 de la Constitución de la República del 2008, el cual propone el “reconocimiento al derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice el buen vivir”. También en su artículo 395, establece que el Estado debe garantizar un modelo de desarrollo sustentable, ambiental y económicamente equilibrado.

Se fundamenta en el Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017, objetivo 7, el cual plantea: “Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad”, en la política 7.2 “Conocer, valorar, conservar y manejar sustentablemente el patrimonio natural”, y dentro de esta política propone dos lineamientos estratégicos para poder lograrlo (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2013: 281).

1. Desarrollar un sistema de valoración integral del patrimonio natural y sus servicios ecológicos que permita su incorporación en la contabilidad nacional.
2. Internalizar los costos de uso de los recursos naturales y las externalidades negativas derivadas de actividades económicas y procesos productivos que afectan al patrimonio natural.

En el Ecuador, el Ministerio del Ambiente a partir del año 2012, asume la elaboración del proyecto piloto “Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional SCAN” para desarrollar una exploración inicial con datos para el periodo 2008-2012. Los objetivos del SCAN consisten en elaborar e integrar la información referente a la disponibilidad de activos ambientales que tiene el país en términos físicos y valorarlos en términos monetarios; y presentar cuantitativamente las relaciones y flujos que existen entre el ambiente y la economía nacional en lo que refiere a:

- Provisión de insumos naturales
- Oferta y utilización de los recursos naturales como productos en la economía nacional.
- Descargas y emisiones que generan los procesos productivos y de consumo a la naturaleza.
- Los gastos y transacciones de la economía destinados a la protección y conservación del ambiente.

El SCAN propone ser un sistema nacional que integre la estadística económica con la estadística ambiental, permitiendo realizar diferentes tipos análisis sobre el estado y tendencias del uso de recursos naturales específicos, identificar a los agentes económicos que mayor presión ejerzan en el ambiente, identificar a las actividades ambientales que tienen fines de protección ambiental, valorar los costos ambientales de agotamiento y degradación del capital natural, identificar brechas de información, entre otros. La información del SCAN propone ser resumida a través de indicadores que permitan evaluar diferentes problemáticas ambientales en relación con la economía, de tal forma que se obtenga información clave para el apoyo en la formulación de la política pública.

El proyecto SCAN presenta su información a través de cuentas ambientales, cuadros de oferta-utilización, e indicadores para el periodo comprendido entre 2008-2012. Los procesos metodológicos para la construcción de las diferentes cuentas se basan en la metodología SEEA 2012, y en la cooperación técnica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI), quienes han aportado al proyecto SCAN con su capacitación, conocimiento y estrategias de construcción de las cuentas (Ministerio del Ambiente, 2014).

## **Cuentas Ambientales realizadas por el proyecto SCAN**

### **Cuentas de Activos Ambientales**

Las Cuentas de Activos Ambientales analizan la disponibilidad, variación y agotamiento de los recursos del país, presentando información clave para evaluar y monitorear el uso y gestión del capital natural considerando aspectos de sostenibilidad. Las cuentas desarrolladas en esta área de la contabilidad ambiental son: Cuenta de Petróleo y Gas Natural (CPGN), Cuenta Forestal Maderable (CFM) y la Cuenta de Uso y Cobertura de la Tierra (CUCT).

### *Cuenta de Petróleo y Gas Natural (CPGN)*

La CPGN se define como un marco contable que proporciona una descripción detallada sobre la disponibilidad, variaciones y agotamiento del capital petrolero y de gas natural que tiene el país como parte de su patrimonio natural considerando solamente a las reservas probadas en los yacimientos en producción y en no producción para un periodo inicial de 2008-2012. La información se presenta en unidades físicas, y se valora económicamente los stocks y el costo de agotamiento de los mismos considerando que son recursos naturales no renovables. Además la CPGN pone de manifiesto el aporte de estos recursos a la economía nacional, principalmente a las finanzas públicas; y se detalla la oferta y uso de estos recursos en datos físicos y monetarios, como insumos para la producción en la economía interna, y como exportaciones que se envían al resto del mundo (MAE, 2014).

Como principales resultados de la CPGN, se destaca que las reservas de petróleo del país disminuyeron en un 13% del 2008 al 2012, pasando de tener 3.740 millones de barriles de petróleo en reservas probadas, a 3.254 millones de barriles. De estas reservas se extrajeron en total 906 millones de barriles; de los cuales el 63% corresponde a empresas públicas y el 37% a empresas privadas, además estos recursos generaron un total de 47.175 millones de dólares como ingresos petroleros para las arcas fiscales. En cuanto a la valoración de estos recursos, el SCAN estimó que el país tenía en una riqueza petrolera de 91.670 millones de dólares al año 2012, con un costo estimado de agotamiento de 4.730 millones de dólares, es decir el 5,4% del PIB nominal de ese año (MAE, 2014).

En el caso del gas natural, las reservas probadas de este recurso aumentaron de 165 mil millones de pies cúbicos (29.489 Kbp) a 422 mil millones de pies cúbicos (75.169 Kbp). De estas reservas se extrajeron un total de 52,2 mil millones de pies cúbicos durante este periodo, destinados principalmente a la producción de energía eléctrica en la central Termogas de Machala. En cuanto a la valoración de estos recursos, el estudio estimó un valor del stock de 1.301 millones de dólares al año 2012, con un costo estimado de agotamiento de 39,5 millones de dólares, es decir el 0,05% del PIB nominal de ese año (MAE, 2014).

### *Cuenta Forestal Maderable (CFM)*

La CFM presenta información sobre la disponibilidad y variaciones de los recursos forestales maderables del país, tanto en unidades físicas (volumen de m<sup>3</sup>, hectáreas) como en unidades monetarias valorando los stocks que están disponibles para la extracción, para un periodo inicial de 2008-2012. El SCAN clasifica estos stocks de acuerdo a su origen y disponibilidad, como recursos forestales bajo categoría de conservación, recursos forestales disponibles para la extracción, y recursos forestales plantados (plantaciones forestales). La CFM permite analizar el incremento y decremento causado por restauración y protección, la deforestación del recurso (tala legal, ilegal y cambio de uso del suelo); permitiendo conocer el estado y evolución de estos recursos renovables. Adicionalmente se analiza la oferta y uso de la madera extraída por los sectores económicos del país incluyendo a las importaciones y exportaciones (MAE, 2014).

Como principales resultados de la CFM, se destaca que los recursos forestales disponibles para la extracción disminuyeron en un 20% del 2008 al 2012, pasando de 8,1 millones de ha a 6,5 millones de ha. Según la publicación del MAE (2014), el 80% del aprovechamiento maderero está vinculado a la pérdida de cobertura boscosa por cambio de uso de suelo, mientras que el aprovechamiento formal bajo licencias constituye el 20%. En cuanto a la valoración de estos recursos, el SCAN estimó un valor de los recursos maderables disponibles para la extracción de 19.888 millones de dólares al año 2012. Además el SCAN menciona que la reforestación y el crecimiento natural de los bosques disponibles para la extracción no superan la tasa de extracción, por lo que se registra un uso “insostenible” de este tipo de stock maderero, sin embargo los stocks madereros bajo categoría de conservación han aumentado en este periodo debido al aumento de áreas protegidas.

#### *Cuenta de Uso y Cobertura de la Tierra (CUCT).*

La CUCT describe detalladamente los cambios que sufre la superficie del territorio nacional, ya sea por cambios en la cobertura vegetal o por el tipo de uso de las actividades antrópicas en la tierra. La CUCT utiliza información geográfica y satelital que realiza el MAE y el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), para evidenciar principalmente las tendencias de uso de la tierra en cuanto a la expansión de la frontera agrícola por diferentes tipos de cultivos, la expansión de las zonas urbanas, la deforestación y restauración de los bosques, entre otros. Para la exploración inicial del SCAN, la CUCT dispone información para los años 1990, 2000 y 2008.

Como principales resultados de la CUCT, se observa que la superficie de área natural desde 1990 hasta el 2008 ha disminuido en un 10% (1' 787 262 ha), mientras que la superficie relacionada con las actividades humanas ha aumentado en un 38% (2' 676 855 ha). Según la publicación del SCAN (2014), “este cambio acelerado afecta la calidad de los servicios ambientales y la capacidad de la naturaleza para regenerarse y proveer los insumos y servicios que se requiere para vivir y desarrollarse”. Además, desde el año 1990 el porcentaje de obras de infraestructura ha crecido considerablemente (46 654 ha), siendo el período entre 1990 y 2000 cuando se incrementó esta superficie en mayor proporción.

### **Cuentas de Flujos Ambientales**

Estas cuentas tienen el objetivo de analizar los efectos recíprocos entre el ambiente y la economía nacional principalmente la presión que ejercen los agentes económicos del país en el ambiente, considerando a este último como receptor de todos los residuos generados. Los avances del SCAN en desarrollar estas cuentas son: Cuenta de Emisiones al Aire (CEA), Exploración Cuenta de Flujos de Agua (CFA), Exploración Cuenta de Residuos Sólidos (CRS). La descripción del alcance y resultados de la CEA, se trata en detalle en el siguiente punto del estudio, justamente porque constituye una parte fundamental de esta disertación.

#### *Exploración Cuenta de Flujos de Agua (CFA)*

Este tipo de cuenta hace el seguimiento del agua extraída por las unidades económicas, el uso, consumo y descargas que realizan estas unidades a los recursos hídricos del país con información

exploratoria obtenida de las encuestas<sup>36</sup> ambientales a empresas que realiza el INEC para el año 2012, como año en que inicia a levantar este tipo de información (MAE, 2014). El alcance de esta cuenta constituye simplemente una exploración metodológica con datos exploratorios, debido a la falta de estadística base confiable y representativa que describan los usos de agua por parte de los agentes económicos del país. Sin embargo, la CFA en esta primera exploración ha logrado identificar los problemas y brechas de información que presenta la estadística de agua en el país, principalmente en temas de disponibilidad de agua dulce superficial y subterránea, y en temas de calidad de las cuencas hidrográficas.

Como principales resultados, la CFA establece que el problema más grave que tiene el país, en cuanto a información de la estadística del agua es su confiabilidad, además de encontrarse incompleta y, en algunos casos desactualizada. Además, se constata que las industrias reciben agua principalmente a través de una red pública, pero en cuanto a la extracción de agua realizada directamente desde un cuerpo hídrico, esta se da principalmente desde cuerpos de aguas superficiales (76%) y aguas subterráneas (21%). Las industrias que mayor agua demandan son las de suministro de electricidad (38% del total demandado), la de suministro de agua (32%) y los hogares (17%) (MAE, 2014).

#### *Exploración Cuenta de Residuos Sólidos (CRS)*

En lo que respecta a la CRS, el MAE presenta una exploración metodológica con resultados preliminares sobre la generación de residuos sólidos por los hogares para el año 2010, en base a la información que registran los GADs municipales sobre la recolección de basura, e informan al MAE a través del Programa Nacional de Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS). La CRS hace un análisis de las brechas de información que tiene el país en cuanto a gestión de los residuos sólidos, lo que constituye un problema para una regulación ambiental adecuada, debido principalmente a la falta de institucionalidad en las administraciones municipales en tratar los temas ambientales. También presenta algunas recomendaciones para la integración de información sobre la generación de residuos sólidos de las industrias a través de las encuestas ambientales a empresas que realiza el INEC. Sin embargo para esta cuenta aún no se han publicado datos exploratorios, por lo que no ha sido posible presentar sus resultados.

### **Cuentas de Gastos de Protección Ambiental**

Según afirma la publicación del SCAN, las Cuentas de Gastos de Protección Ambiental (CGPA) buscan cuantificar las erogaciones monetarias realizadas por los sectores institucionales del país destinadas a la prevención, reducción y eliminación de la contaminación en la biodiversidad y ecosistemas. Por este motivo, el reconocimiento de los GPA, es considerado como un indicador tangible del compromiso que puede tener el Ecuador para proteger el ambiente (MAE, 2014). El SCAN en particular ha desarrollado las estimaciones de GPA realizadas por el sector público gobierno central (años del 2008 al 2012), sector hogares (año 2011), y sector de las Instituciones Sin Fines de Lucro al

---

<sup>36</sup> Según informa el MAE, en la encuesta ambiental del INEC no se incluye al sector agropecuario por dificultades en levantar este tipo de información en el sector

Servicio de los Hogares (ISFLSH) (año 2009), no considerando al sector de las industrias por la indisponibilidad de información al inicio del proyecto (MAE, 2014).

En el caso del sector público Gobierno Central, se presentan los GPA en base a la información de las cédulas presupuestarias del Presupuesto General del Estado Gobierno Central, considerando los gastos devengados según el funcional E "Protección ambiental y de la biodiversidad" en el que se puede desagregar la información por diferentes programas como: protección ambiental, tratamiento de desechos, tratamiento de aguas servidas, protección del suelo y aguas subterráneas, protección de la fauna y la flora, protección de hábitats, investigación y desarrollo de la protección ambiental, entre otros (MAE, 2014).

Como resultados del GPA sector público gobierno central, se constata que estos gastos se han mantenido en constante crecimiento, pasando de 61,5 millones de dólares a 101,3 millones entre el 2008 y 2012, con un acumulado para este periodo de 485,7 millones. Así mismo, se observa que el GPA del gobierno central aumentó su participación en el PIB, pasando del 0,10% al 0,12%. Según afirma el MAE (2014), se puede comprobar que estos esfuerzos se han concentrado en las funciones E11 "Protección Ambiental", E81 "Investigación y Desarrollo de la Protección Ambiental", y E91 "Administración, gestión y apoyo de la protección ambiental" que en total suman el 82% del total de GPA como promedio para este periodo.

En el caso del GPA de los hogares, el estudio del sector se concentró exclusivamente en el análisis del consumo final de los hogares como gasto de consumo individual. Para esto se considera como GPA el monto que los hogares pagan por el servicio de gestión de los desechos sólidos al Municipio, el cual es considerado como gasto de consumo final en la cuenta. Esta información es obtenida de las encuestas del INEC y de estudios realizados por el PNGIDS del MAE solamente para el año 2011 (MAE, 2014). Como resultados se constata que el GPA de los hogares a nivel nacional fue de 24,2 millones de dólares.

Para estimar el GPA de las (ISFLSH), el SCAN considera la información del Censo Económico de 2010, en el que se identificaron 16.469 establecimientos que tienen una personería jurídica como ISFLSH y el 60,6% de éstos cuenta con un RUC. El SCAN evaluó la información del censo en relación a 3 consultas sobre 3 tipos de gastos: a) manejo de desechos, b) investigación y desarrollo y c) capacitación y formación, y se consideró como GPA para este sector el gasto en manejo de desechos con información para el año 2009. Según informa el SCAN, este sector destino un total para GPA de 52.426 dólares.

### **Indicadores económico-ambientales**

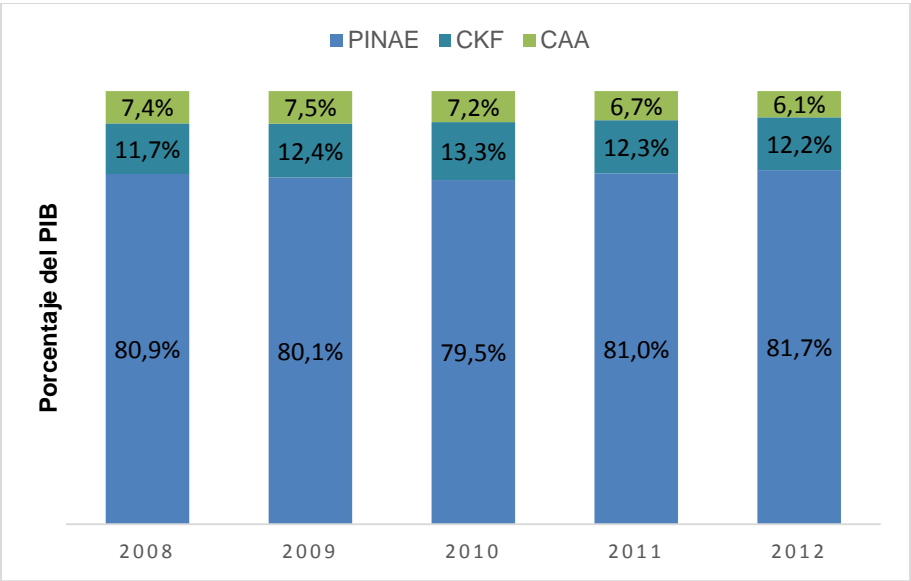
La publicación del SCAN (MAE, 2014) menciona que se presentaron indicadores para cuatro tipos de análisis. El primer tipo corresponde a la presentación del indicador *Producto Interno Neto Ambiental del Ecuador*<sup>37</sup> (PINAE), el cual representa un indicador de crecimiento económico que incluye el costo de agotar el capital natural de los recursos naturales analizados en el SCAN (petróleo, gas natural, forestal maderable); el segundo corresponde a la realización de agregados sobre activos ambientales; y el tercero corresponde a la elaboración de indicadores sobre las relaciones entre ambiente y economía.

---

<sup>37</sup> PINAE es la denominación adoptada para el Ecuador. En el ámbito internacional se lo denomina PIB Verde o PIN Verde.

Para el primer tipo de análisis, se destaca la propuesta del indicador PINAE (gráfico 15), en el que se observa que durante el periodo de análisis la economía (en dólares nominales) creció en un 9,2% promedio anual, pero los costos de agotamiento de los activos ambientales considerados crecen en menor medida en un 8% promedio anual, además estos costos tienden a representar relativamente menos en el crecimiento económico a partir del año 2010, pasando del 7,2% al 6,1% en relación al PIB. Que según el MAE, esto muestra un comportamiento “positivo” para este periodo, ya que el objetivo es que en el tiempo los costos ambientales estimados tiendan a disminuir en relación al crecimiento económico del país (MAE, 2014).

**Gráfico 15**  
**PINAE, costos de agotamiento ambientales (CAA), depreciación capital fijo en relación al PIB**



CAA: Costos de agotamiento de los activos ambientales de petróleo, gas natural y el recurso forestal maderable.  
 CKF: Consumo de capital fijo

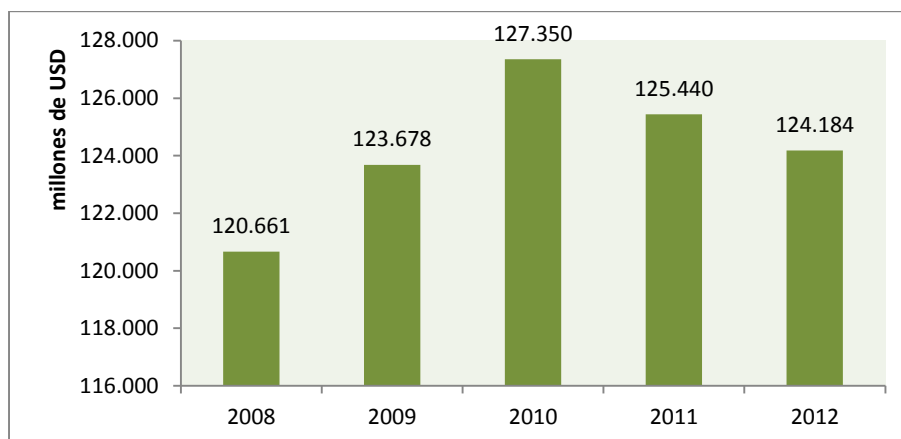
Fuente: BCE (2014), Equipo Proyecto Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional (SCAN) (2014)

Elaboración: Equipo técnico y consultor proyecto Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional (SCAN) del Ministerio del Ambiente (MAE).

En cuanto al segundo tipo de indicadores, se destaca el indicador integración del valor del capital natural medido en dólares para los stocks de petróleo, gas natural y forestal maderable (gráfico 16). Según la metodología aplicada por el SCAN, se constata que el valor estimado de los stocks de estos tres recursos fue de 120.661 millones de dólares para el año 2008, aumentando a 124.184 millones para finales de 2012, explicado por el aumento de las rentas económicas de estos recursos en la economía que está relacionado con el aumento de los precios principalmente del petróleo (MAE, 2014).

**Gráfico 16**

**Valoración económica de los activos de petróleo, gas natural y recurso forestal maderable**



Fuente: Cuenta de recurso forestal maderable y cuenta de petróleo y gas natural para el Ecuador, exploraciones iniciales. Ministerio del Ambiente.

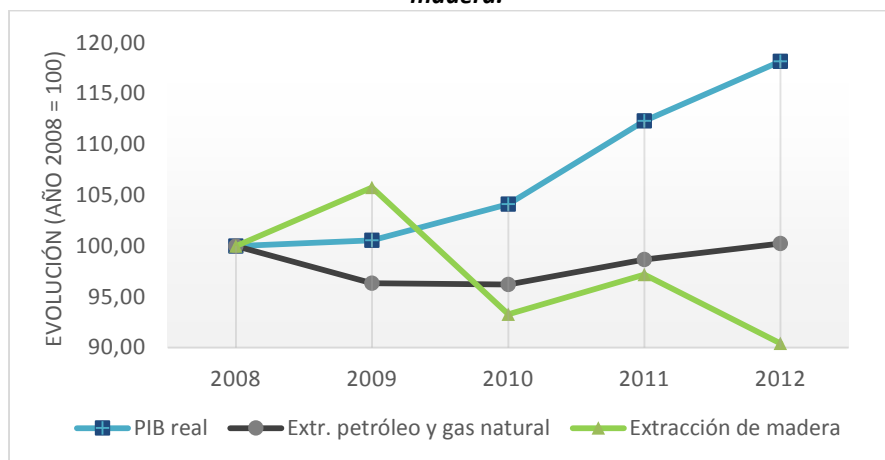
Elaboración: Equipo Técnico proyecto Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional (SCAN) del Ministerio del Ambiente (MAE).

Finalmente, del tercer grupo de indicadores se destaca el indicador de desligamiento entre el crecimiento del PIB real y la extracción de recursos naturales, que para el caso del indicador desarrollado por el SCAN (gráfico 17), se considera la extracción de petróleo, gas natural y los recursos madereros. Los indicadores de desligamiento<sup>38</sup> buscan visibilizar tendencias, en el que el crecimiento de la economía real ocurra con un uso cada vez menor de recursos naturales o a su vez con una generación menor de residuos al ambiente, esto significa que el crecimiento económico genera menor presión en el uso de un recurso natural (MAE, 2014). En efecto se observa que existe un desligamiento positivo entre el PIB real y la extracción de petróleo para los años de 2008-2010, sin embargo para los siguientes a pesar de que la tasa de crecimiento del PIB sea mayor a la tasa de extracción no se observa un desligamiento pronunciado. En lo que respecta a la extracción de madera, se observa comienza a existir un desligamiento positivo a partir del año 2009, debido principalmente a las políticas del MAE en la regulación de licencias para el aprovechamiento forestal (MAE, 2014).

<sup>38</sup> Estos indicadores relacionan variables de datos físicos (toneladas de recursos extraídos, toneladas de residuos) con variables monetarias (PIB, valor agregado), y buscan visibilizar estas tendencias en el tiempo. Un desligamiento positivo surge cuando la tasa de crecimiento del agregado económico analizado es mayor a la tasa de crecimiento del flujo ambiental (extracción, o generación de residuos), este comportamiento de un sector o de la economía en su conjunto es positivo, debido a que la presión ambiental disminuye. Cuando sucede lo contrario se define como desligamiento negativo (MAE, 2014).

**Gráfico 17**

**Desligamiento entre el crecimiento de la economía y la extracción de recursos de petróleo, gas natural y madera.**



Fuente: Cuenta del recurso forestal maderable y cuenta de petróleo y gas natural para el Ecuador, exploraciones iniciales. Ministerio del Ambiente.

Elaboración: Equipo técnico y consultor proyecto Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional (SCAN) del Ministerio del Ambiente (MAE).

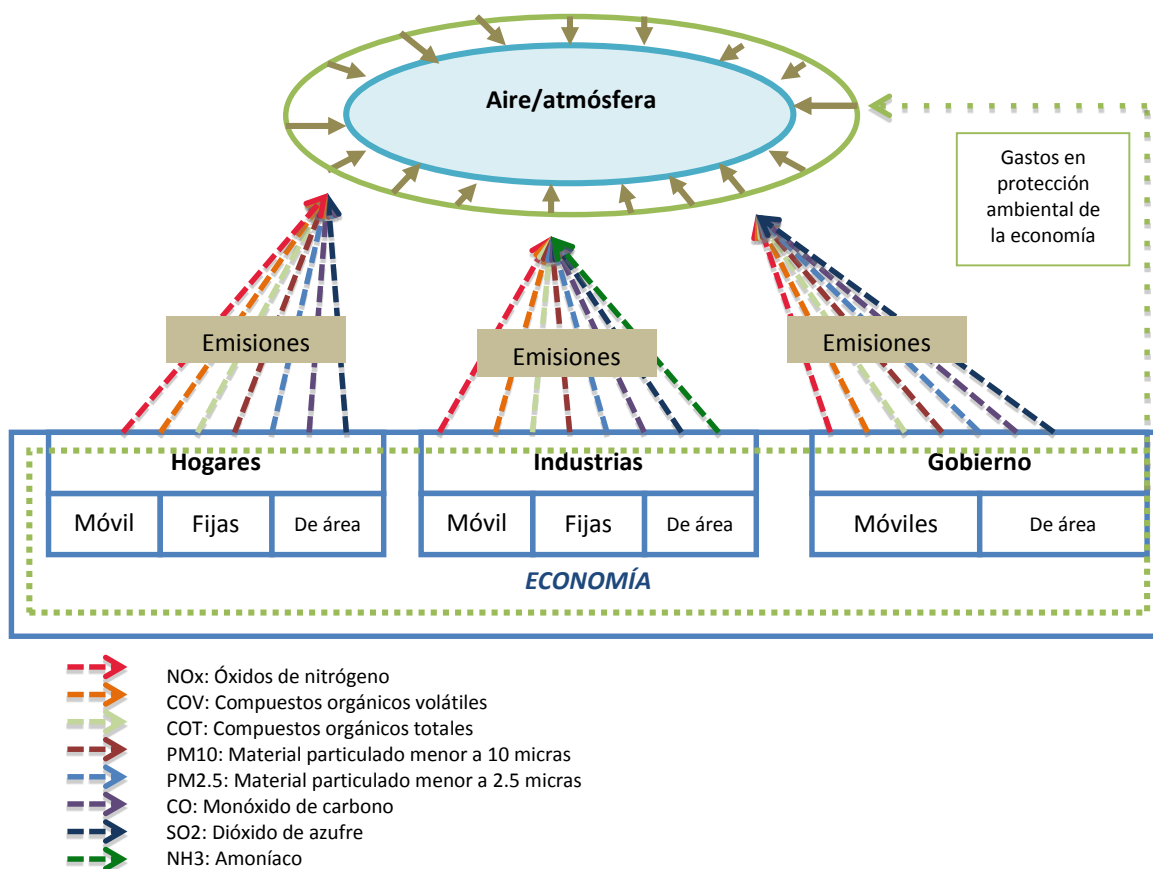
## 2. Cuenta Ambiental de Emisiones al Aire en el Ecuador (CEA)

La publicación del MAE (2014) “Cuenta de Emisiones al Aire” realizada por el SCAN, presenta información física, en toneladas de emisiones contaminantes criterio, de acuerdo a la generación que causan los sectores económicos (industrias, hogares, gobierno), y por tipo de fuente emisora según sus características físicas y de espacio (móviles, fijas, área). La cuenta de emisiones al aire del SCAN, se define como un marco contable que proporciona una descripción detallada de la cantidad de emisiones que genera la economía del país a la atmósfera, identificando a los sectores de la economía que mayor presión generan en la atmósfera (Ministerio del Ambiente, 2014:16).

Los hogares generan emisiones por la combustión de gasolinas de los automóviles particulares livianos y las camionetas (fuentes móviles), también por el uso de gas doméstico (fuentes fijas), y por el uso de disolventes para el mantenimiento y limpieza (fuentes de área) (MAE, 2014:16). Las industrias generan emisiones por la combustión de gasolinas de los vehículos pesados, buses y busetas, y autos de alquiler (fuentes móviles), también por el uso de combustibles para procesos productivos como en: sector de transformación energética (crudo, derivados, gas natural), industrias manufactureras, centrales eléctricas, construcción y minería. Las industrias generan emisiones además por el uso de pesticidas, disolventes para pintados, productos de aerosol, la producción de las ladrilleras, las gasolineras y el tráfico aéreo (MAE, 2014:16).

Finalmente el gobierno emite contaminantes al aire por la combustión de gasolinas de vehículos municipales y estatales de tipo livianos, pesados, camionetas, busetas y buses. También por las emisiones de disolventes usados y las emisiones por los rellenos sanitarios administrados por los GADs municipales. En la ilustración 12 se presenta en detalle el comportamiento de los agentes económicos en cuanto a la emisión de gases contaminantes (MAE, 2014:16)

**Ilustración 12**  
**Comportamiento del flujo de las emisiones al aire y los gastos de protección ambiental de la economía**



Fuente: Cuenta de Emisiones al Aire para el Ecuador: exploración inicial, Ministerio del Ambiente (2014).

Elaboración: Equipo Técnico Proyecto Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional (SCAN) del Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE).

Los insumos de información de la CEA realizada por el MAE, presentan un importante desafío para diseñar y poner en marcha instrumentos de política pública que logren disminuir la contaminación, incentivar mecanismos de producción y consumo limpios, y determinar los efectos que pueden causar en la salud poblacional. Además esta herramienta de información permitirá realizar un monitoreo del impacto de políticas implementadas en solucionar los problemas de contaminación, y un reflejo del crecimiento económico del país en relación a la generación de estos contaminantes.

No obstante, la CEA realizada por el MAE no cuenta con una valoración monetaria de la contaminación de gases que afectan a la calidad aire, en consistencia con la metodología de una Cuenta Satélite Ambiental. La realización de la Cuenta Económica de las Emisiones al Aire, propone presentar información clave para apoyar a las políticas de regulación ambiental, políticas estatales en base al "principio del que contamina paga", que permitan integrar los costos de las externalidades de contaminación mediante diferentes instrumentos de política. Gracias a esta información, se pueden identificar a los principales sectores contaminantes por tipo de residuo y el costo de la externalidad generada por la contaminación vehicular, y establecer señales de alarma sobre la cantidad de contaminantes emitidos. Por lo tanto la información de esta disertación constituye un aporte clave para complementar el trabajo realizado por el proyecto SCAN del MAE.

## Cuenta de Emisiones al Aire del MAE: datos físicos

El cálculo de las emisiones en datos físicos que realiza el MAE en la CEA, se basa en la metodología de cálculo de estimación de emisiones realizada por el INEGI (2009), por las recomendaciones de cálculo del Manual de operaciones de Contabilidad Ambiental (Naciones Unidas, 2002), y las fuentes de información se detallan en la ilustración 13.

**Ilustración 13**  
**Fuentes de información del cálculo emisiones fuentes móviles**

	Fuentes de Información	
	Primaria	Secundaria
<b>Parque automotor nacional</b>	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos	
<b>Recorrido promedio anual</b>	Agencia Nacional de Tránsito Ministerio de Transporte y Obras Públicas	
<b>Factores de Emisión</b>	Secretaría de Movilidad Quito, Inventario de Emisiones Atmosféricas	México: Gobierno del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2004. Memorias de Cálculo de Fuentes Móviles. INEGI

Fuente: Cuenta de Emisiones al Aire para el Ecuador: exploración inicial, Ministerio del Ambiente (2014).  
Elaboración: Franco Carvajal

Según la publicación del MAE (2014), la cantidad de vehículos del parque automotor se basa en la estadística de matriculación vehicular que es publicada por el INEC anualmente. Para esto el SCAN realizó una adaptación de la clasificación que tiene la estadística del INEC con la clasificación adecuada de vehículos que se necesita para estimar las emisiones, con el fin de utilizar los factores de emisión por tipo de vehículo que utiliza el INEGI de México para la estimación de emisiones por fuentes móviles a nivel nacional. Esto se debe a que en el Ecuador no existen estudios en relación a estos factores (MAE, 2014). La clasificación del parque vehicular se estructura de la siguiente manera.

**Ilustración 14**  
**Adaptación de clasificador de tipo de vehículo del SCAN**

Adaptación SCAN*	Categorías de vehículos del INEC
<b>Livianos</b>	vehículos particulares livianos
<b>Furgonetas</b>	furgonetas y buses pequeños de hasta 25 plazas
<b>Buses</b>	vehículos destinados al transporte de pasajeros de más de 32 plazas
<b>Camionetas</b>	camionetas de una o doble cabina
<b>Pesados</b>	vehículos de transporte de carga

\*Adaptación necesaria para el uso de factores de emisión, por tipo de vehículo y antigüedad que utiliza el INEGI, para la estimación de las emisiones criterio en México, y que se utilizan para estimar las emisiones vehiculares en el país.  
Fuente: Cuenta de Emisiones al Aire para el Ecuador: exploración inicial, Ministerio del Ambiente (2014).  
Elaboración: Franco Carvajal

Luego el segundo paso consiste en estimar el recorrido total de los vehículos en base a los promedios de kilometraje promedio anual que informa el Ministerio de Transporte y Obras públicas como un dato único para el año 2010 (Tabla 8).

**Tabla 8**  
**Kilometraje Promedio Anual por tipo de Vehículo, año 2010**

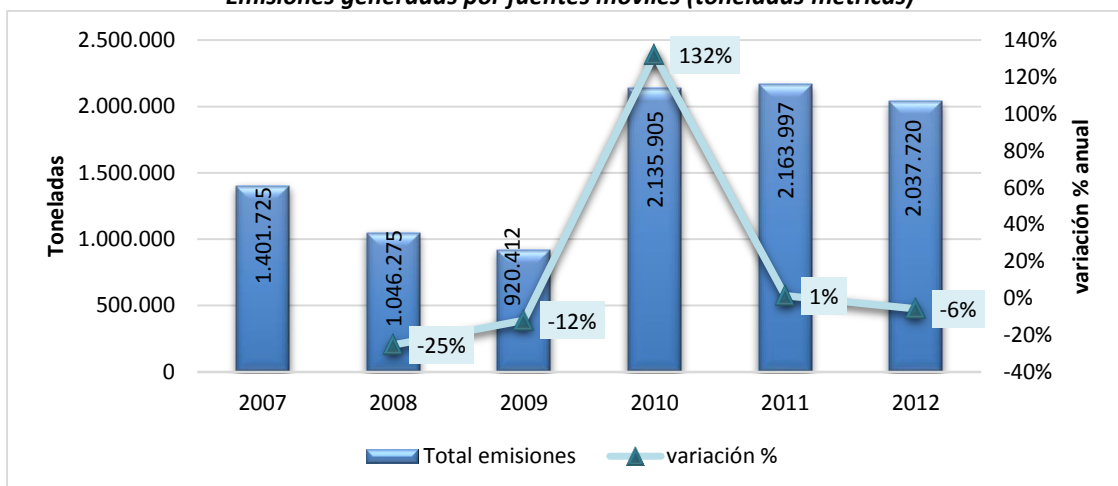
Tipo de Vehículo	Kilometraje Promedio Anual
Livianos	22.266
Furgonetas	90.000
Buses	90.000
Camionetas	22.266
Pesados	80.000
Motos	22.266

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Cuenta de Emisiones al Aire para el Ecuador: exploración inicial, Ministerio del Ambiente (2014).  
Elaboración: Franco Carvajal

El procedimiento de estimación se presenta en el Anexo A, con las fórmulas de cálculo, y en el Anexo B se presentan los factores de emisión del INEGI utilizados para la estimación.

En el gráfico 18, en base a los datos de la Cuenta de Emisiones al Aire (2014), se presentan estos resultados. Se observa que para el año 2007 se emitieron a la atmósfera 1.401.725 toneladas, mostrando un notorio incremento en los siguientes años, alcanzando 2.037.720 de toneladas en el año 2012, esto significa un aumento del 45%. Para el año 2010 el volumen de emisiones aumenta drásticamente en un 132%; este aumento se explica por el crecimiento del parque automotor como en un 29% como se ha explicado en el capítulo anterior de este estudio. Principalmente por el aumento de este año de las busetas (83%), motocicletas (68%) y autos pesados de carga (78%) que en su mayoría utilizan gasolina como combustible, además del hito histórico de ventas de autos en el 2010 que registra el mercado nacional. Del año 2011 al 2012 las emisiones generadas disminuyen en un 6%, debido a que los vehículos son de fabricación reciente con mejor tecnología de combustión (MAE, 2014: 34).

**Gráfico 18**  
**Emisiones generadas por fuentes móviles (toneladas métricas)**



Fuente: Cuenta de Emisiones al Aire para el Ecuador: exploración inicial, Ministerio del Ambiente (2014).  
Elaboración: Franco Carvajal

En la tabla 9 se presenta la composición de las emisiones generadas por tipo de contaminante. Se observa que el monóxido de carbono (CO) es el contaminante mayor emitido a la atmósfera, el cual representa en promedio el 76,7%, seguido por los compuestos orgánicos totales (COT) con el 8%, los compuestos orgánico volátiles (COV) con el 7,4%, los óxidos de nitrógeno (NOx) con el 7,2%, y finalmente las PM10 y PM 2.5 en menor medida. Se observa además que las emisiones de CO muestran el mayor crecimiento emitido en este periodo, es decir del 47%. Según la Secretaría del Ambiente de Quito (2014), los problemas que causa este contaminante relacionados a la salud humana, pueden causar la hipoxia (falta de oxígeno) que afectan al corazón, cerebro, plaquetas y endotelio de los vasos sanguíneos, esto se asocia a la disminución de la percepción visual, capacidad de trabajo, destreza manual y habilidad de aprendizaje.

**Tabla 9**  
**Emisiones al aire por tipo de gas contaminante (toneladas métricas)**

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Var % 2007-2012	Part. Prom. 2007-2012
<b>PM10</b>	4.233	5.791	4.899	6.585	7.514	5.708	34,9%	0,4%
<b>PM2.5</b>	3.574	4.962	4.177	5.600	6.383	4.633	29,6%	0,3%
<b>CO</b>	1.093.369	752.914	667.848	1.706.754	1.702.366	1.607.439	47,0%	76,7%
<b>NOx</b>	89.338	102.236	86.676	118.290	130.964	119.967	34,3%	7,2%
<b>COV</b>	101.398	87.026	75.633	143.077	152.008	143.636	41,7%	7,4%
<b>COT</b>	109.813	93.344	81.178	155.600	164.763	156.337	42,4%	8,0%
<b>Total</b>	<b>1.401.725</b>	<b>1.046.275</b>	<b>920.412</b>	<b>2.135.905</b>	<b>2.163.997</b>	<b>2.037.720</b>		

Fuente: Cuenta de Emisiones al Aire para el Ecuador: exploración inicial, Ministerio del Ambiente (2014).  
Elaboración: Franco Carvajal

El segundo análisis que se puede realizar a las emisiones generadas por las fuentes móviles, consiste por el tipo de vehículo. En la tabla 10 se observan estos resultados, que en promedio en este periodo, el 57% de las emisiones totales son generadas por el uso de vehículos pesados de carga, seguido por los autos livianos con el 15%, las camionetas con el 11%, las furgonetas y buses que representan el 9%, y finalmente las motos con el 8%. Las emisiones de vehículos que más aumentaron del 2007 al 2012 son las de las motos (263%), los pesados (79%) y las de buses (38%); mientras que las emisiones que decrecieron son las generadas por furgonetas (-49%) y camionetas (-32%).

**Tabla 10**  
**Estructura de las emisiones al aire por tipo de vehículo (toneladas métricas)**

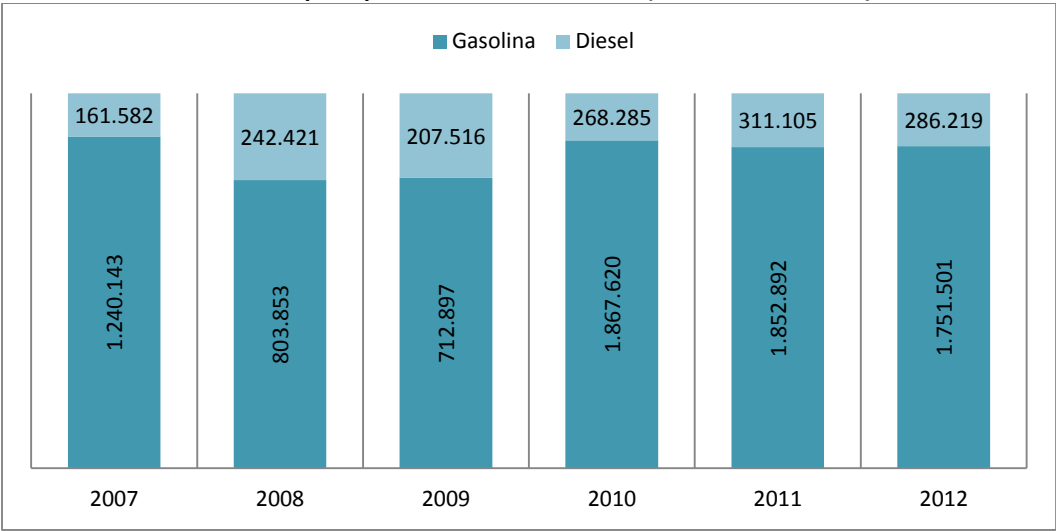
Tipo de vehículo	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Part. Prom 2007-2012
Livianos	217.014	205.198	167.965	203.474	239.946	269.946	15%
Furgonetas	196.556	86.498	71.707	61.972	78.421	104.496	7%
Buses	37.081	31.526	19.376	26.842	38.731	51.168	2%
Camionetas	180.139	179.065	154.129	153.029	148.257	122.498	11%
Pesados	712.339	463.497	429.817	1.561.105	1.441.902	1.277.175	57%
Motos	58.597	80.490	77.418	129.484	216.740	212.437	8%
<b>Total</b>	<b>1.401.725</b>	<b>1.046.275</b>	<b>920.412</b>	<b>2.135.905</b>	<b>2.163.997</b>	<b>2.037.720</b>	

Fuente: Cuenta de Emisiones al Aire para el Ecuador: exploración inicial, Ministerio del Ambiente (2014).  
Elaboración: Franco Carvajal

En lo que respecta a las emisiones generadas por tipo de combustible, en el gráfico 19 se observa que las emisiones de los automóviles a combustión de gasolina representan en promedio el 84% del total, mientras que las emisiones de los automóviles a diesel equivalen al 16%. Los datos demuestran un crecimiento del 41% de las emisiones por combustión de gasolina del 2007 al 2012, mientras que las emisiones de diesel a pesar de ser menores muestran un crecimiento mayor del 77% en el mismo periodo. Los contaminantes que mayor fueron emitidos al 2012 por la combustión de gasolina son, el CO con el 85% y los COT con el 7%. Los contaminantes mayor emitidos por la combustión de diesel son el CO con el 43% y el NOx con el 27%.

Se debe recordar que los vehículos a gasolina representan el 90% del parque automotor y los que usan diesel el 10% (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2012), pero en mayor medida se explica porque la combustión de gasolina genera mayor contaminación de gases, comparado con la contaminación generada por el diesel.

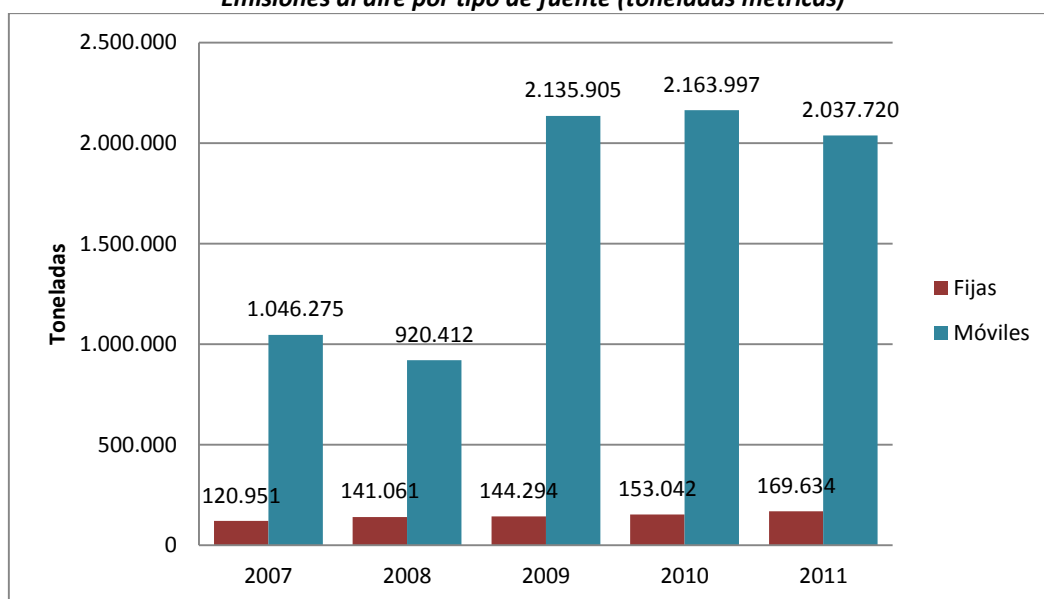
**Gráfico 19**  
**Emisiones por tipo de combustible usado (toneladas métricas)**



Fuente: Cuenta de Emisiones al Aire para el Ecuador: exploración inicial, Ministerio del Ambiente (2014).  
Elaboración: Franco Carvajal

Como se observa en el gráfico 20, según la base de datos de la Cuenta de Emisiones al Aire (MAE, 2014), las fuentes móviles representan en promedio el 91% de las emisiones generadas al aire en relación a las emisiones por fuentes fijas (industrias y fuentes estacionarias).

**Gráfico 20**  
**Emisiones al aire por tipo de fuente (toneladas métricas)**



Fuente: Cuenta de Emisiones al Aire para el Ecuador: exploración inicial, Ministerio del Ambiente (2014).  
Elaboración: Franco Carvajal

### Tabla de Oferta y Utilización de las emisiones al aire por fuentes móviles

Como se mencionó anteriormente, la CEA busca registrar las emisiones en unidades físicas (toneladas métricas) causadas por las unidades económicas residentes. Este registro debe ser estructurado en base a las tablas de oferta y utilización físicas (TOU) con la clasificación de industrias CIIU, para tener una misma sintonía con las Cuentas Nacionales del país. Las emisiones que generan los automóviles como fuentes móviles, tienen un especial tratamiento ya que tanto las industrias, los hogares y gobierno utilizan este medio de transporte para el desarrollo de sus diferentes actividades, esto significa que se deben atribuir estas emisiones de acuerdo a la actividad económica que la genera.

Sin embargo el trabajo realizado por el INEGI en su metodología no logra construir un cuadro de oferta y uso físico de las emisiones al aire. El proyecto SCAN (MAE, 2014) presenta una metodología para clasificar las emisiones de fuentes móviles por actividad y sector económico realizando los siguientes pasos y supuestos:

1. Se clasifica a las emisiones del parque automotor de acuerdo al sector económico (ilustración 15): Para esto se utilizan las bases de datos del parque automotor del INEC en base a la clasificación por el tipo de uso de los vehículos: Particulares, de alquiler, estatales, municipales y se las asocia al su respectivo sector económico.

### Ilustración 15

#### Clasificador de vehículos según el tipo de uso, por el sector económico al que pertenece.

Sector Económico	Vehículo según tipo de uso INEC	Clasificador CIU
<b>Industrias</b>	Alquiler: livianos, camionetas, furgonetas, buses, pesados, motos.	H: Transporte y Almacenamiento
	Particulares: buses, furgonetas, pesados	A, B, C, D, E, F, G, H, resto de industrias
<b>Hogares</b>	Particulares: livianos, camionetas, motos	Hogares
<b>Gobierno</b>	Vehículos de uso del Estado y Municipales: livianos, camionetas, furgonetas, buses, pesados, motos.	Gobierno

A: Agricultura, avicultura, ganadería, pesca

B: Explotación de minas y Canteras.

C: Industrias manufactureras

D: Suministro electricidad, gas vapor.

E: Distribución agua.

F: Construcción

G: Comercio

Fuente: Cuenta de Emisiones al Aire para el Ecuador: exploración inicial, Ministerio del Ambiente (2014).

Elaboración: Franco Carvajal

2. Para el caso de las industrias: se analizan la cantidad de activos en vehículos que tienen las industrias de acuerdo a la información de la Superintendencia de Compañías para obtener la participación porcentual por industria (clasificación CIU), luego este porcentaje se multiplica por la cantidad de emisiones que generan los siguientes vehículos del grupo de particulares: buses, furgonetas y pesados. Para los vehículos que están considerados como de alquiler se asume que forman parte de la industria de transporte y almacenamiento (H).
3. Para el caso de los hogares, se asume que las emisiones de los siguientes vehículos del grupo de particulares forman parte de este sector: livianos, particulares, camionetas y motos.
4. Para el caso del gobierno: se asume que las emisiones de los vehículos de uso del Estado y Municipales pertenecen a este sector.

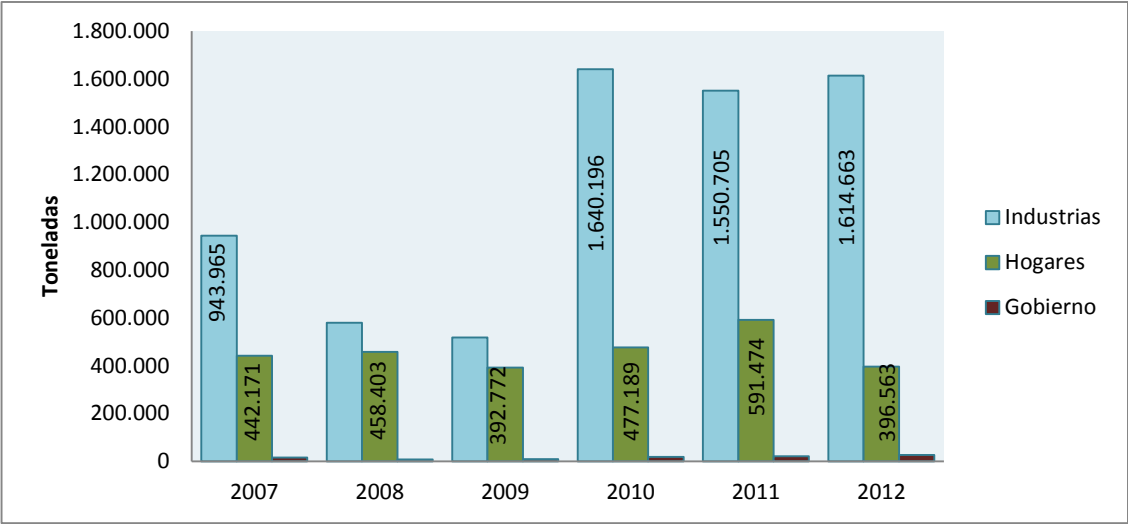
Los resultados de este registro en base a los supuestos establecidos, se presentan en la tabla 11 para el periodo 2007-2012. En la parte izquierda se presenta la oferta de emisiones al aire por tipo de contaminante, es decir la cantidad de contaminantes en toneladas métricas que generan los sectores económicos del país en un periodo contable, haciendo énfasis las industrias, los hogares y las administraciones públicas como el gobierno. Sin embargo la CEA publicada por el MAE presenta una TOU física total de emisiones generadas tanto móviles, fijas como de área; por lo que para los fines de esta disertación era necesario construir una TOU física específica de las emisiones generadas por las fuentes móviles. Para esto, el autor tuvo acceso a las bases de datos del proyecto SCAN para lograr cumplir con este objetivo e identificar a los principales sectores de la economía que generan específicamente contaminación vehicular.

En la parte derecha de la tabla 11 se presenta la utilización de estos contaminantes por parte del ambiente, y se entiende como la cantidad de emisiones que recibe la atmósfera desde la economía nacional debido a los procesos productivos y de consumo. Además se debe tomar en cuenta que la oferta y la utilización son equivalentes conforme lo estipula el SCN. Como el objetivo de este registro

se refiere a la generación de emisiones de la economía, y la asimilación de las mismas por medio de la atmósfera, según propone el SEEA (Naciones Unidas et al 2014), no es preciso construir una TOU desagregada por todas las industrias según la clasificación de la CIIU, sino más bien es conveniente identificar aquellas actividades más relevantes y en todo caso poder agruparlas según sea la disponibilidad de la información, y adaptación para una mejor explicación de los datos.

En el gráfico 21 y tabla 12 se presentan los resultados en resumen de la TOU física, y se observa que las emisiones por fuentes móviles de las industrias son las de mayor representatividad con el 68% en el total como promedio para este periodo. Este sector pasó de generar 943.965 toneladas a 1.614.663 toneladas en el 2012, demostrando un incremento del 71%. Se observa además que a diferencia del aumento de las emisiones de los hogares y gobierno, las emisiones de las industrias del año 2009 al 2010 muestran un comportamiento similar al crecimiento del parque automotor (29%) y el aumento de ventas de vehículos (42%) ya que se triplican para este año.

**Gráfico 21**  
**Emisiones al aire por Sector Económico (toneladas métricas)**



Fuente: Cuenta de Emisiones al Aire para el Ecuador: exploración inicial, Ministerio del Ambiente (2014).  
Elaboración: Franco Carvajal

**Tabla 11**  
**Tabla de Oferta y Utilización de las emisiones al aire por fuentes móviles 2007-2012 (toneladas métricas)**

Gas/Sector	Tabla de oferta de emisiones vehiculares al aire											Tabla utilización emisiones vehiculares al aire				
	Industrias										Hogares	Gobierno	Oferta emisiones fuentes móviles	Flujos al medio ambiente	Uso de emisiones fuentes móviles	
	A	B	C	D	E	F	G	H	Industrias	Transporte				Transporte	Emisiones liberadas a la atmósfera	
	Agricultura, AV, G, P	Explotación de minas, canteras	Manufacturas	Suministro de electricidad, gas	Distribución de agua	Construcción	Comercio	Transporte		Resto de industrias						
2007	CO	38.792	24.875	131.865	8.872	9.972	140.151	156.071	122.087	110.315	743.000	338.883	11.487	1.093.369	1.093.369	1.093.369
	COT	3.452	2.214	11.735	790	887	12.473	13.890	13.950	9.817	69.208	39.291	1.314	109.813	109.813	109.813
	COV	3.173	2.034	10.785	726	816	11.462	12.764	12.978	9.022	63.759	36.419	1.220	101.398	101.398	101.398
	NOx	2.816	1.806	9.574	644	724	10.176	11.332	15.981	8.009	61.062	26.852	1.424	89.338	89.338	89.338
	PM10	173	111	587	39	44	624	695	954	491	3.717	438	78	4.233	4.233	4.233
	PM2.5	149	96	507	34	38	539	601	829	425	3.219	289	67	3.574	3.574	3.574
	<b>Total general</b>	<b>48.555</b>	<b>31.135</b>	<b>165.054</b>	<b>11.105</b>	<b>12.481</b>	<b>175.425</b>	<b>195.352</b>	<b>166.778</b>	<b>138.079</b>	<b>943.965</b>	<b>442.171</b>	<b>15.588</b>	<b>1.401.725</b>	<b>1.401.725</b>	<b>1.401.725</b>
2008	CO	22.140	9.792	67.201	5.283	6.032	68.766	82.132	64.303	69.679	395.328	352.596	4.990	752.914	752.914	752.914
	COT	2.811	1.243	8.532	671	766	8.730	10.427	10.346	8.846	52.371	40.176	797	93.344	93.344	93.344
	COV	2.628	1.162	7.976	627	716	8.162	9.748	9.748	8.270	49.036	37.242	749	87.026	87.026	87.026
	NOx	3.798	1.680	11.529	906	1.035	11.797	14.090	16.502	11.954	73.291	27.734	1.211	102.236	102.236	102.236
	PM10	280	124	851	67	76	871	1.040	1.114	882	5.306	409	77	5.791	5.791	5.791
	PM2.5	246	109	746	59	67	763	911	977	773	4.650	246	67	4.962	4.962	4.962
	<b>Total general</b>	<b>31.902</b>	<b>14.110</b>	<b>96.834</b>	<b>7.613</b>	<b>8.692</b>	<b>99.089</b>	<b>118.348</b>	<b>102.990</b>	<b>100.404</b>	<b>579.982</b>	<b>458.403</b>	<b>7.890</b>	<b>1.046.275</b>	<b>1.046.275</b>	<b>1.046.275</b>
2009	CO	17.764	7.829	57.083	3.881	4.431	60.831	75.444	66.639	65.432	359.335	302.308	6.205	667.848	667.848	667.848
	COT	2.195	968	7.054	480	548	7.517	9.323	9.744	8.086	45.914	34.267	997	81.178	81.178	81.178
	COV	2.050	903	6.587	448	511	7.019	8.705	9.153	7.550	42.927	31.769	937	75.633	75.633	75.633
	NOx	2.869	1.265	9.220	627	716	9.825	12.185	14.187	10.568	61.462	23.827	1.387	86.676	86.676	86.676
	PM10	209	92	672	46	52	716	888	985	770	4.432	375	93	4.899	4.899	4.899
	PM2.5	183	81	587	40	46	625	776	861	673	3.870	226	81	4.177	4.177	4.177
	<b>Total general</b>	<b>25.270</b>	<b>11.138</b>	<b>81.202</b>	<b>5.521</b>	<b>6.304</b>	<b>86.534</b>	<b>107.322</b>	<b>101.569</b>	<b>93.080</b>	<b>517.940</b>	<b>392.772</b>	<b>9.700</b>	<b>920.412</b>	<b>920.412</b>	<b>920.412</b>

Continuación tabla 11

Gas/Sector	Tabla de oferta de emisiones vehiculares al aire											Tabla utilización emisiones vehiculares al aire				
	Industrias											Hogares	Gobierno	Oferta emisiones fuentes móviles	Flujos al medio ambiente	Uso de emisiones fuentes móviles
	A	B	C	D	E	F	G	H	Industrias	Emisiones liberadas a la atmósfera						
	Agricultura, AV, G, P	Explotación de minas, canteras	Manufacturas	Suministro de electricidad, gas	Distribución de agua	Construcción	Comercio	Transporte		Resto de industrias	Transporte	Transporte				
2010	CO	83.290	50.406	203.586	14.177	18.054	266.442	301.699	173.117	215.398	1.326.166	368.870	11.718	1.706.754	1.706.754	1.706.754
	COT	6.837	4.138	16.712	1.164	1.482	21.872	24.767	17.338	17.682	111.992	41.698	1.909	155.600	155.600	155.600
	COV	6.253	3.784	15.285	1.064	1.355	20.004	22.651	16.030	16.172	102.599	38.681	1.797	143.077	143.077	143.077
	NOx	5.086	3.078	12.432	866	1.102	16.270	18.423	17.930	13.153	88.340	27.186	2.764	118.290	118.290	118.290
	PM10	342	207	836	58	74	1.094	1.239	1.202	884	5.936	470	178	6.585	6.585	6.585
	PM2.5	297	180	726	51	64	951	1.076	1.048	769	5.162	283	155	5.600	5.600	5.600
	<b>Total general</b>	<b>102.106</b>	<b>61.793</b>	<b>249.577</b>	<b>17.379</b>	<b>22.132</b>	<b>326.633</b>	<b>369.855</b>	<b>226.664</b>	<b>264.057</b>	<b>1.640.196</b>	<b>477.189</b>	<b>18.521</b>	<b>2.135.905</b>	<b>2.135.905</b>	<b>2.135.905</b>
2011	CO	58.998	67.053	328.957	20.578	15.579	290.568	260.800	88.390	95.263	1.226.187	461.513	14.666	1.702.366	1.702.366	1.702.366
	COT	5.112	5.809	28.501	1.783	1.350	25.175	22.596	12.049	8.254	110.627	52.015	2.120	164.763	164.763	164.763
	COV	4.690	5.331	26.152	1.636	1.238	23.100	20.733	11.281	7.573	101.736	48.286	1.986	152.008	152.008	152.008
	NOx	4.298	4.885	23.963	1.499	1.135	21.167	18.998	16.642	6.940	99.527	28.736	2.702	130.964	130.964	130.964
	PM10	286	325	1.595	100	76	1.409	1.264	1.235	462	6.752	578	184	7.514	7.514	7.514
	PM2.5	249	283	1.387	87	66	1.225	1.099	1.080	402	5.876	346	160	6.383	6.383	6.383
	<b>Total general</b>	<b>73.633</b>	<b>83.686</b>	<b>410.555</b>	<b>25.683</b>	<b>19.443</b>	<b>362.644</b>	<b>325.491</b>	<b>130.678</b>	<b>118.893</b>	<b>1.550.705</b>	<b>591.474</b>	<b>21.818</b>	<b>2.163.997</b>	<b>2.163.997</b>	<b>2.163.997</b>
2012	CO	67.106	43.326	209.320	12.511	19.424	244.792	286.543	201.884	209.938	1.294.843	294.253	18.344	1.607.439	1.607.439	1.607.439
	COT	5.683	3.669	17.727	1.060	1.645	20.731	24.267	23.187	17.780	115.750	38.033	2.554	156.337	156.337	156.337
	COV	5.191	3.351	16.192	968	1.503	18.936	22.165	21.486	16.240	106.031	35.230	2.375	143.636	143.636	143.636
	NOx	4.065	2.624	12.679	758	1.177	14.828	17.357	22.897	12.717	89.101	28.028	2.839	119.967	119.967	119.967
	PM10	209	135	652	39	61	762	892	1.490	654	4.894	608	206	5.708	5.708	5.708
	PM2.5	170	110	531	32	49	621	726	1.273	532	4.044	412	177	4.633	4.633	4.633
	<b>Total general</b>	<b>82.425</b>	<b>53.216</b>	<b>257.101</b>	<b>15.366</b>	<b>23.858</b>	<b>300.670</b>	<b>351.951</b>	<b>272.215</b>	<b>257.860</b>	<b>1.614.663</b>	<b>396.563</b>	<b>26.493</b>	<b>2.037.720</b>	<b>2.037.720</b>	<b>2.037.720</b>

Fuente: Cuenta de Emisiones al Aire para el Ecuador: exploración inicial, Ministerio del Ambiente (2014).

Elaboración: Franco Carvajal

En lo que respecta a las emisiones de los hogares estas representaron el 31% del total generado (gráfico 22), sin embargo se observa que las emisiones de este sector se redujeron en un 10% del 2007 al 2012, pasando de 442.171 toneladas a 396.563 toneladas. Esto se explica por la renovación del parque automotor de vehículos particulares livianos, que como se presentó en el gráfico 4 en el anterior capítulo, para el 2012 el 41% eran vehículos de año de fabricación del 2009-2013 por lo que su tecnología de combustión es mejor en relación a vehículos con una antigüedad mayor a 10 años, lo cual está ajustado por los factores de emisión utilizados en la estimación (ver Anexo B). Mientras que para el año 2007 cerca del 60% del total de vehículos eran fabricados antes del 2002, lo cual tiene un factor de emisión mayor en relación aquellos utilizados para los vehículos fabricados en años recientes.

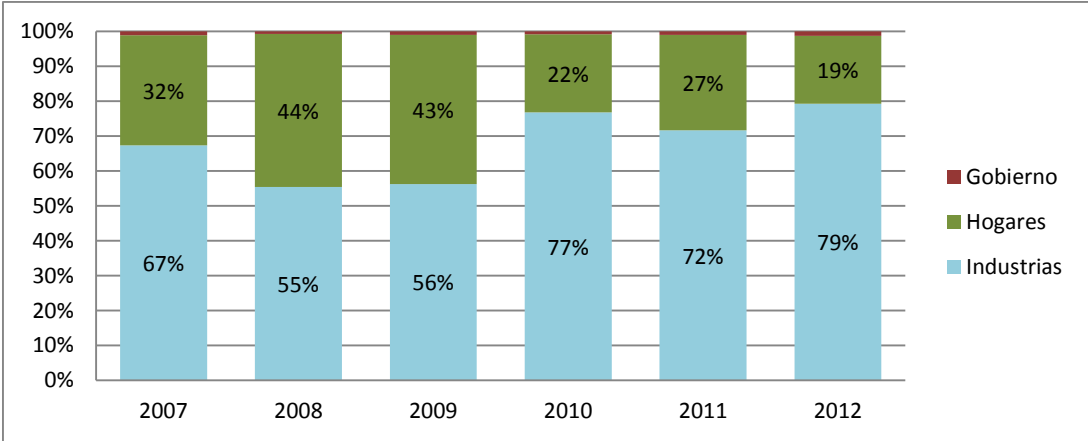
**Tabla 12**  
**Resumen emisiones causadas por sector de la economía del país (toneladas métricas)**

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Part Prom 2007-2012	Var % 2007-2012
Industrias	943.965	579.982	517.940	1.640.196	1.550.705	1.614.663	67,8%	71,1%
Hogares	442.171	458.403	392.772	477.189	591.474	396.563	31,2%	-10,3%
Gobierno	15.588	7.890	9.700	18.521	21.818	26.493	1,0%	70,0%
<b>Total</b>	<b>1.401.725</b>	<b>1.046.275</b>	<b>920.412</b>	<b>2.135.905</b>	<b>2.163.997</b>	<b>2.037.720</b>		

Fuente: Cuenta de Emisiones al Aire para el Ecuador: exploración inicial, Ministerio del Ambiente (2014).  
Elaboración: Franco Carvajal

En lo que respecta a las emisiones del gobierno (administraciones públicas) estas representaron en promedio el 1% del total emitido (gráfico 22), sin embargo se observa que este sector aumentó en un 70% la cantidad de emisiones generadas comparando los datos de 2007 con los de 2012.

**Gráfico 22**  
**Estructura de las emisiones por Sector Económico**

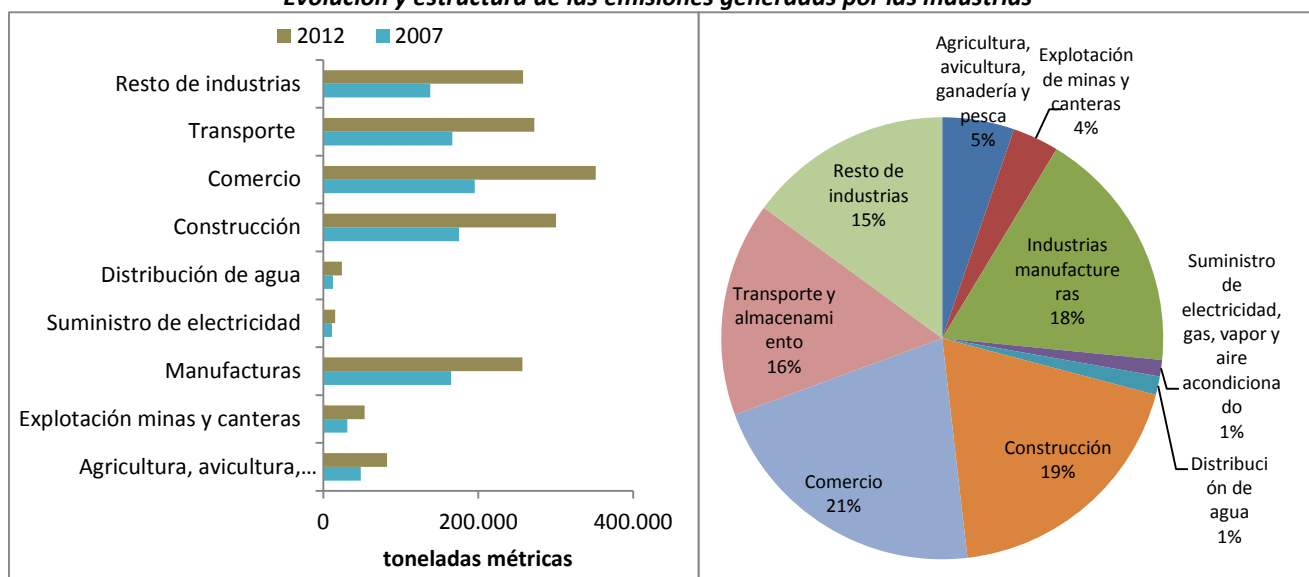


Fuente: Cuenta de Emisiones al Aire para el Ecuador: exploración inicial, Ministerio del Ambiente (2014).  
Elaboración: Franco Carvajal

Como se mencionó, una de las utilidades de la TOU física de las emisiones al aire por fuentes móviles, es que permite identificar las actividades económicas que mayor contaminación realicen al aire. En este sentido en el gráfico 23 se observa que en promedio para el 2007-2012 el sector de comercio (21%), de la construcción (19%), manufacturas (18%) y transporte y almacenamiento (16%) son las industrias que mayor emiten contaminantes a la atmósfera por fuentes móviles, además en conjunto

estos 4 sectores representan el 75% de todas las emisiones generadas por las industrias y el 58% del total de emisiones vehiculares generadas por la economía del país.

**Gráfico 23**  
**Evolución y estructura de las emisiones generadas por las industrias**



Fuente: Cuenta de Emisiones al Aire para el Ecuador: exploración inicial, Ministerio del Ambiente (2014).

Elaboración: Franco Carvajal

La tabla utilización muestra que la atmósfera del país ha recibido un total de emisiones vehiculares de 2.037.720 toneladas en el 2012, cumpliendo el servicio ambiental de receptor de residuos. Sin embargo al considerar las externalidades de la contaminación, como se ha explicado en la fundamentación teórica, el mercado a través del sistema de precios no es capaz de incluir estos costos ambientales de tal forma que se permita un uso adecuado de los servicios ambientales del aire. Por tal motivo la intervención del Estado es pertinente para que a través de diferentes instrumentos de política pueda internalizar estos costos en la economía. Para esto se considera necesario utilizar las herramientas de la valoración económica ambiental y de la metodología de cuentas ambientales, para estimar estos costos.

### 3. Cuenta Económica de las Emisiones al Aire por fuentes móviles y el procedimiento de Valoración

Como se mencionó anteriormente, el objetivo de valorar la contaminación vehicular como externalidad que afecta a la calidad del aire, no es realmente medir la degradación o el impacto ambiental perfectamente, sino presentar información para idear políticas que reduzcan la contaminación y permitan estimar los costos ambientales y sociales de la externalidad. Por lo cual la idea principal de la valoración de las emisiones consiste en tener una estimación de cuánto costaría evitar la generación de residuos por cambios en los patrones de producción y consumo (Naciones Unidas et al, 2003: 62), y es en esta aproximación en la cual se basa esta disertación para la valoración de las emisiones vehiculares que causan la pérdida de la calidad del aire.

Como se explicó en la fundamentación teórica, la valoración a través del método de costos de mantenimiento puede ser realizado desde diferentes análisis, las Naciones Unidas (2002:28) presentan 5 medidas de prevención y restauración que pueden considerarse para calcular estos costos.

1. Reducción o suspensión de la actividad productiva que genera las emisiones (se sustrae el valor agregado de dicha actividad)
2. Cambios en los patrones de producción de las industrias y consumo de los hogares.
3. Sustitución de los insumos de producción sin modificar sus productos aplicando nuevas tecnologías
4. Actividades para evitar el deterioro del ambiente, por ejemplo captura de las emisiones mediante la instalación de lavadores de gases en los equipos de producción o combustión.
5. Restauración del ambiente por medio de actividades de limpieza.

Para la valoración económica de este estudio se va a trabajar en dos medidas de prevención del método de costos de mantenimiento propuesto por las Naciones Unidas en el marco central del SEEA como se explicó en la fundamentación teórica en la contabilidad de emisiones al aire. La primera valoración se basa en la medida 3, sustituyendo el consumo de gasolinas extra y súper por el consumo de gasolina con bioetanol ECOPAÍS por todo el parque automotor que consume gasolina. La segunda valoración analiza las emisiones de los vehículos que consumen diesel y se basa en la medida 4, a través de la instalación de catalizadores en los motores de diesel, los cuales purifican y reducen gases en el proceso combustión.

## **Valoración económica de la contaminación vehicular por combustión de gasolinas**

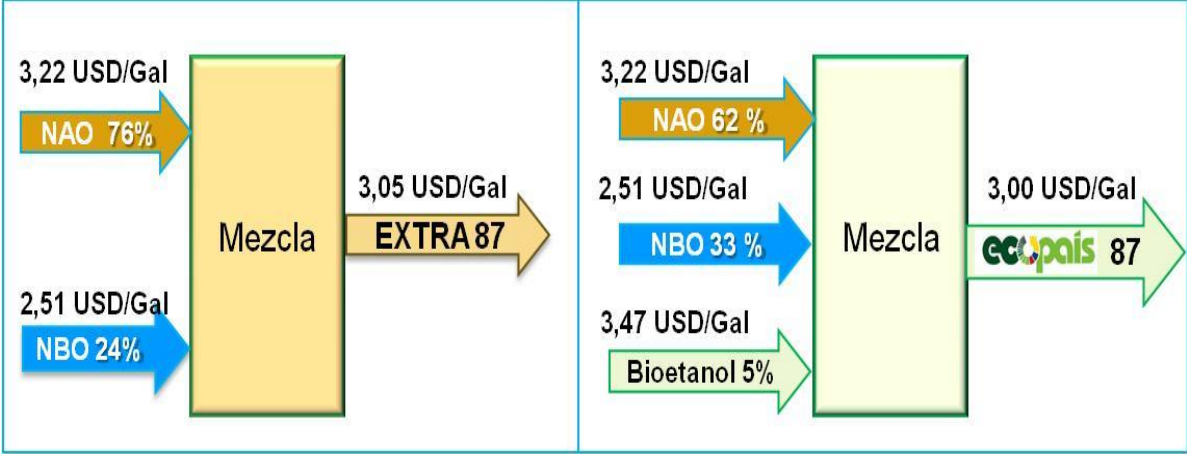
### **Proyecto biocombustible Ecopaís**

El proyecto Ecopaís inicia en enero de 2010 en la ciudad de Guayaquil, y empieza a comercializarse en 23 estaciones de la ciudad como un programa piloto. Según afirma una investigación de la revista *Petróleo y Energía* (Publiimagen, 2015: 22) Petroecuador elabora este biocombustible con un 95% de gasolina de pre-mezcla y un 5% de etanol (un alcohol que proviene de la caña de azúcar). La pre-mezcla de gasolina (95%) está compuesta por un 65% de Nafta de Alto Octano (NAO) que es importado, y por un 35% de Nafta de bajo octano (NBO) que es de producción nacional. Según el Ministerio Coordinador de la Producción, Empleo y Competitividad (MCPEC, 2014) el bioetanol que se obtiene a partir de la melaza de caña de azúcar, tiene un costo de producción de 3,47 USD/galón. Para una mejor comprensión ver la ilustración 16.

Según la misma entidad, este biocombustible presenta algunas ventajas económicas, sociales y ambientales: pueden mezclarse con grandes cantidades de gasolina y diesel y utilizarse en vehículos sin modificar su motor, posee mayor contenido energético para el auto, y es amigable con el aire ya que su proceso de combustión es menos contaminante; también el uso de este biocombustible generaría mayor empleo directo e indirecto en la cadena productiva, e implicaría un ahorro significativo en la disminución de importaciones de NAO por una menor salida de divisas del país, además la distribución de Ecopaís significaría un ahorro para el Estado de 0,05 USD por galón de

gasolina vendida, al disminuir el subsidio que hace el Estado a la gasolina extra con un costo de producción de mezcla de 3,05 USD frente a los 3,00 USD de costo de producción de mezcla de Ecopaís.

**Ilustración 16**  
**Ilustración de los costos y porcentajes de mezcla de naftas y bioetanol para Ecopaís**



Fuente: Ministerio Coordinador de la Producción, Empleo y Competitividad  
 Elaboración: Ministerio Coordinador de la Producción, Empleo y Competitividad

La producción actual de Ecopaís cubre el 80% del consumo de gasolinas en la provincia del Guayas y el 7% a nivel nacional. El objetivo del Gobierno Nacional de acuerdo a la planificación al 2017, es el de reemplazar el consumo de la gasolina Extra por el de Ecopaís, y se estima que se necesitarán aproximadamente 60.000 hectáreas de caña de azúcar adicionales a las 80.000 ya utilizadas, para aumentar la producción y aumentar el porcentaje de etanol al 10% con la mezcla de naftas nacionales e importados (Publiimagen, 2015: 24).

Sin embargo según afirma Morales (2010) en el proyecto piloto de Ecopaís no se han considerado las externalidades negativas que podría causar el aumento de producción de caña de azúcar por monocultivos en el uso del suelo, y en la ampliación de este tipo de monocultivos frente al uso del suelo que necesitan otros cultivos indispensables para la seguridad alimentaria. Esto abre la oportunidad de realizar diferentes estudios en relación a estos temas, ya que los beneficios económicos de la producción de Ecopaís son notables, sin embargo aún no han sido visualizados los posibles impactos ambientales.

**Procedimiento de la valoración**

La valoración económica que se propone conforme al método de costos de mantenimiento, se basa en asociar el costo ambiental de la degradación del aire causada por los vehículos a gasolina, con los costos de producir el 5% de bioetanol para un galón de gasolina Ecopaís, considerando los beneficios del uso de este biocombustible para reducir la contaminación vehicular, y el supuesto de reemplazar el consumo de gasolina extra y súper por el consumo de Ecopaís a nivel nacional. Para lograrlo se establecen los siguientes supuestos:

**Ilustración 17**

**Supuestos utilizados para el método de valoración en base al costo del 5% de bioetanol para mezcla de gasolina Ecopais, en reemplazo de gasolina extra y súper**

Supuesto	Detalle	Fuente
1. Capacidad de absorción de la contaminación	El ambiente absorbe sin consecuencias adversas todas las emisiones que no se pueden reducir o eliminar dado el estado actual de la tecnología.	Naciones Unidas, 2002
2. Emisiones que causan la degradación del aire	Solo deben ser registradas y valoradas las emisiones que el aire no puede absorber sin peligro. Es decir aquellas emisiones que podrían ser reducidas por el uso de cierta tecnología o insumo, el resto pueden ser "asimiladas" sin problema	Naciones Unidas, 2002
3. Los costos de mantenimiento son equivalentes a los costos ambientales	Los costos de mantenimiento equivaldrían a los costos de mantener la capacidad de asimilación de los sumideros, sin embargo al ser costos hipotéticos y no ejecutados, corresponden a los costos ambientales de la degradación del recurso.	Naciones Unidas, 2002
4. Eficiencia de la tecnología actual	Los costos de mantenimiento aplicados a las emisiones corresponden a los métodos y tecnologías más eficientes y con el costo más bajo	Naciones Unidas, 2002
5. Vaciado de mercado	El total de gasolina extra y súper distribuidas en el país fueron efectivamente consumidas en el mercado, y equivalen a la cantidad de gasolina Ecopais que debería ser distribuida para su reemplazo	Propuesta propia
6. Reemplazo total de distribuir gasolina Ecopais en lugar de extra y súper	Para la mezcla y distribución de la gasolina Ecopais en reemplazo de las gasolinas extra y súper, se asume que se utiliza la misma capacidad instalada para la mezcla y distribución de estas gasolinas en el país. Por lo que es factible su reemplazo	Propuesta Propia
7. El costo del 5% de bioetanol varía de acuerdo a la inflación	Se asume que el precio del 5% de bioetanol (0,17 centavos) varía de acuerdo a la variación anual del Índice de Precios al Consumidor (IPC).	Propuesta Propia

Fuente: Naciones Unidas 2002 y supuestos del modelo de la disertación  
Elaboración: Franco Carvajal

En base a los supuestos detallados se procede a seguir el siguiente procedimiento para la valoración de la contaminación causada por el parque vehicular a gasolina:

- I. Obtener la información sobre los niveles (%) de reducción de emisiones vehiculares que podrían obtenerse por el uso del combustible Ecopais en vehículos que consumen gasolina.
- II. Estimar la reducción anual nacional de emisiones esperadas por el uso de Ecopais para el periodo 2007-2012.
- III. Estimar los costos que implicaría la producción de bioetanol para el 5% por galón de mezcla que necesitaría la distribución de Ecopais a nivel nacional, y los costos de adaptación para la comercialización en las gasolineras del país con los datos del año 2010, como equivalentes de la valoración monetaria de las emisiones que causan la degradación del aire.

IV. Valorar monetariamente las emisiones vehiculares por tipo de gas contaminante que pueden reducirse por el uso de Ecopaís para el periodo 2007-2012, en base al método de costos de mantenimiento.

I. El primer paso consiste en establecer los niveles de reducción de emisiones vehiculares por el uso de Ecopaís, en base a la información que presenta el “Estudio de impacto ambiental del Plan Piloto de Formulación y Uso de gasolina Extra con Etanol Anhidro en la ciudad de Guayaquil” elaborado por la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL, 2008) (considerado como el estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto Ecopaís); y en base al estudio de maestría de Juan Morales (2010) “La Industria de los Biocombustibles en Ecuador: el estado de situación”. Según los estudios mencionados, se realizaron Pruebas en Ruta<sup>39</sup> para determinar los niveles de reducción de emisiones de gases en 4 escenarios que dependen del tipo de motor del parque automotor de Guayaquil. Los resultados de reducciones del EIA (2008) se presentan en la tabla 13, y se observa que los escenarios de reducción de emisiones de CO, HC (COT+COV) dependen de la estructura de los vehículos a carburación o a inyección electrónica.

**Tabla 13**  
**Porcentajes de reducción de emisiones en vehículos mediante pruebas en Ruta según diferentes escenarios**

Escenarios de prueba	Monóxido de Carbono (CO)	Hidrocarburos no quemados (HC)	Explicación
Escenario 1	9,90%	1,18%	75% de vehículos a carburación y 25% a inyección electrónica
Escenario 2	12,50%	1,40%	50% de vehículos a carburación y 50% a inyección electrónica
Escenario 3	16,50%	1,80%	25% de vehículos a carburación y 75% a inyección electrónica
Escenario 4	23,10%	2,62%	0% de vehículos a carburación y 100% de vehículos a inyección electrónica

Fuente: Morales (2010) tomado de ESPOL (2008).

Elaboración: Franco Carvajal

Para seleccionar el impacto en porcentaje de reducción de las emisiones, fue necesario estimar los porcentajes de los vehículos con motor a carburador y con motor a inyección electrónica a nivel nacional. La investigación realizada del parque automotor con las bases de datos del INEC, permite constatar que en el país no existe un registro oficial del parque automotor a carburador y a inyección electrónica, sin embargo es posible estimar estos datos considerando los argumentos de Guevara (s.f.), quien afirma que la producción mundial de motores a carburador llega a su fin a finales de los 80, debido a que desde 1990 la inyección de combustible se convirtió en un sistema de combustión más eficiente en el ahorro de combustible y en generar menores emisiones de gases a la atmósfera, además según Escudero y Reinoso (2014:1) los automóviles producidos a partir de este año en Estados Unidos y Europa fueron construidos con esta tecnología.

En base a estos hechos, para la estimación, se divide el parque automotor a gasolina en dos grupos: el primero conformado por los vehículos con año de fabricación igual o menor a 1990 (vehículos con carburador), y el segundo se conforma con los vehículos fabricados desde 1991 en adelante

<sup>39</sup> Son pruebas aplicadas sobre vehículos que circulan en “carreteras en buen estado, lo largo de tramos sin intersecciones peligrosas” (Morales, 2010: 107).

(vehículos a inyección electrónica). En la tabla 14 se presentan los resultados, y se observa que en el año 2007 los vehículos con carburador representan el 22% mientras que aquellos a inyección electrónica el 78%; para el 2012 esta estructura cambia al 11% y el 89% respectivamente.

**Tabla 14**  
**Estimación de parque automotor a gasolina con carburador y con inyección electrónica**

Año Fabricación	Combustión motor	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Igual o menor a 1990	Carburador	22%	18%	16%	15%	13%	11%
Desde 1991	Inyección electrónica	78%	82%	84%	85%	87%	89%

Fuente: INEC, modelo de valoración económica de la disertación  
Elaboración: Franco Carvajal

Se observa que la estructura del parque automotor a gasolina no encaja en los escenarios de reducción desarrollados por la EIA (2008) de la tabla anterior, sin embargo se observa que los niveles de reducción se encuentran entre los rangos del escenario 3 (E3) y escenario 4 (E4) por la estructura del parque automotor entre el 2007 y 2012. Por consiguiente, se puede estimar las reducciones observando en primer lugar, los cambios del 25% del parque automotor entre E3 y E4 para utilizar estos cambios en estimar el cambio marginal del 1% del parque automotor entre estos escenarios, de tal forma que se pueda aplicar estas variaciones marginales para estimar los porcentajes de reducción de acuerdo a la estructura del parque automotor de cada año. Los resultados de este ejercicio se presentan en la tabla 15.

**Tabla 15**  
**Variaciones del 25% y del 1% del parque automotor entre los escenarios de reducción de emisiones**

	De E1 a E2	De E2 a E3	De E3 a E4
<b>Reducción de CO</b>	12,5	16,5	23,1
Variación por cada 25% de cambio	2,6	4	6,6
Variación por cada 1% de cambio	0,104	0,16	0,264
<b>Reducción de HC</b>	1,4	1,8	2,62
Variación por cada 25% de cambio	0,22	0,4	0,82
Variación por cada 1% de cambio	0,0088	0,016	0,0328

Fuente: Modelo de valoración económica de la disertación  
Elaboración: Franco Carvajal

Utilizando el cambio marginal del 1% del E3 al E4 para CO (0,264) y de HC (0,0328), se estiman los porcentajes de reducción de acuerdo a la estructura porcentual del parque vehicular para cada año manteniendo el rango de reducciones entre el E3 y el E4, como se presenta en la tabla 16.

**Tabla 16****Estimación de porcentajes de reducción de emisiones para valoración monetaria**

Gas contaminante	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Monóxido de Carbono (CO)	17,3%	18,3%	18,9%	19,1%	19,7%	20,2%
Hidrocarburos no quemados (HC)	1,9%	2,0%	2,1%	2,1%	2,2%	2,3%

Fuente: Modelo de valoración económica de la disertación  
Elaboración: Franco Carvajal

Para la valoración económica, estos porcentajes de disminución de CO y HC (COV y COT) son significativos ya que las emisiones físicas de estos contaminantes representan en promedio el 92% del total de emisiones.

II. El siguiente paso fue estimar la reducción anual nacional de emisiones esperadas por el uso de Ecopaís, multiplicando la cantidad de emisiones anuales de los contaminantes de CO, HC (COV y COT) por los porcentajes de reducción de emisiones estimados de la tabla 16. Los resultados se presentan en la tabla 17.

**Tabla 17****Emisiones potencialmente a reducirse por el uso del biocombustible Ecopaís a nivel Nacional**

Gas contaminante	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Monóxido de carbono (CO)	189.065	138.145	126.063	326.673	334.821	324.638
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	2.085	1.895	1.701	3.311	3.614	3.532
Compuestos orgánicos totales (COT)	1.925	1.766	1.585	3.045	3.334	3.245
<b>Total emisiones a reducirse por Ecopaís</b>	<b>193.075</b>	<b>141.806</b>	<b>129.349</b>	<b>333.029</b>	<b>341.770</b>	<b>331.415</b>
Porcentaje del total de emisiones a gasolina	<b>15,6%</b>	<b>17,6%</b>	<b>18,1%</b>	<b>17,8%</b>	<b>18,4%</b>	<b>18,5%</b>

Fuente: Modelo de valoración económica de la disertación  
Elaboración: Franco Carvajal

Las emisiones reducidas por el consumo de gasolina Ecopaís a nivel nacional representan el total de emisiones que el aire no podría asimilar si no se aplican cambios tecnológicos o de insumos como es el caso de Ecopaís, es decir las emisiones que causan la degradación o pérdida de calidad del aire para mantener su capacidad de asimilación, por lo que este es el registro de emisiones que debe ser valorado.

III. Luego de calcular las emisiones esperadas reducidas, el siguiente paso consiste en estimar los costos que implicaría el uso de del biocombustible Ecopaís a nivel nacional con los datos disponibles del año 2010.

Para estimar este costo es necesario calcular dos datos principales: el primero es el costo de producir el 5% de bioetanol necesaria para mezclar con los naftas importados y de producción nacional para la venta de Ecopaís. El segundo es el costo de adaptaciones que deben hacer las gasolineras del país para poder vender este biocombustible. Para tener esta información se realizó una entrevista a Jorge

Ordoñez Analista de Biocombustibles del MCPEC (2014), quien muy comedidamente me brindó los datos disponibles públicos sobre los costos mencionados.

Según esta información (MCPEC, 2013) el costo estimado de producir un galón de bioetanol para el año 2010 es de 3,47 dólares, por lo que el costo del 5% es de 0,17 dólares. Luego se utiliza la información de distribución de gasolina de súper y extra en el país para saber la cantidad de galones de gasolina de Ecopais que hipotéticamente deberían haber reemplazado a la distribución de súper y extra. Estos datos se presentan en la tabla 18.

**Tabla 18**  
**Distribución de gasolina extra y súper a nivel nacional (galones)**

DERIVADOS	2010
GASOLINA EXTRA	643.721.980
GASOLINA SUPER	196.675.075
<b>Total</b>	<b>840.397.055</b>

Fuente: Secretaría de Hidrocarburos  
Elaboración: Franco Carvajal

Luego se multiplican el costo de 5% de producir un galón de bioetanol (0,17 usd) por el total de galones de gasolina extra y súper distribuidos en el año 2010 (tabla 19), con esto se obtiene una estimación del costo de producción de bioetanol necesarios para abastecer a todo el mercado con el biocombustible Ecopais de 145.808.889 dólares.

**Tabla 19**  
**Estimación Costo Bioetanol para mezcla de Ecopais en el mercado nacional (dólares)**

	2010
Bioetanol Ecopais reemplazo gasolina extra	111.685.764
Bioetanol Ecopais reemplazo gasolina super	34.123.126
<b>Total</b>	<b>145.808.889</b>

Fuente: Modelo de valoración económica de la disertación  
Elaboración: Franco Carvajal

Para estimar la distribución de Ecopais en las gasolineras de todo el Ecuador en reemplazo del consumo de extra y súper, se basa en el supuesto 6 del modelo de valoración en el cual se asume que se utilizaría la misma capacidad instalada de las mezclas de las gasolinas extra y súper para la mezcla de Ecopais, y la misma capacidad instalada en las gasolineras para la venta al público; tomando en cuenta ciertos gastos adicionales que deben ser considerados en base a la información brindada el MCPEC (2014) sobre los costos que tendrían que incurrir una estación de servicio en el año 2010 para distribuir Ecopais. Ante esto se identificó que aproximadamente una gasolinera debe gastar 5.250 dólares en las siguientes actividades (tabla 20):

**Tabla 20**  
**Variables de costos identificados por Estación de Servicio en Proyecto Piloto de Ecopais**

Actividad	Costo año 2010
Inspecciones en las instalaciones periódicas	\$ 1.200
Instalar válvulas de corte en caso de que no la tenga o reemplazo de válvula para mezcla de gasolina.	\$ 1.200
Instalación de sumidero de acuerdo a las dimensiones del "pill container"	\$ 1.500
Verificar que sumidero sea de material apropiado	\$ 1.350
<b>Costo Estimado por estación de servicio</b>	<b>\$ 5.250</b>

Nota: No se incluyen en el modelo los costos de la depreciación de nuevos equipos.

Fuente: Ministerio Coordinador de la producción el Empleo y la Competitividad (2014).

Elaboración: Franco Carvajal

Con esta información, se pueden estimar los costos que tendrían que haber asumido las gasolineras del país multiplicando el costo de 5.250 dólares por 1.056 estaciones de servicio que registra la Secretaría de Hidrocarburos. El resultado de este cálculo es de 5.544.000 dólares.

Con los costos de instalaciones en las gasolineras del país, se puede tener un consolidado de los costos que el país debería haber incurrido para que sea posible distribuir Ecopais en vez de las gasolinas extra y súper, sumando con los costos de producir el 5% de bioetanol para la mejora de los combustibles (ver tabla 21). Estos resultados representan la valoración monetaria de las emisiones a reducirse para el año 2010, es decir de aquellas emisiones que causan la degradación del aire; luego se divide este valor monetario para el total de emisiones potencialmente a reducirse, de tal forma que se obtenga un dato equivalente al costo unitario por tonelada de emisiones.

**Tabla 21**  
**Valoración monetaria de las emisiones a reducirse para el año 2010 (dólares)**

Costos identificados para la valoración	2010
Costo estimado producción Bioetanol a nivel nacional	145.808.889
Costo estimado de adaptaciones en estaciones de servicio	5.544.000
<b>Valoración monetaria de las emisiones a reducirse por Ecopais</b>	<b>151.352.889</b>
<b>Costo Unitario tonelada emisión</b>	<b>454,47</b>

Fuente: Modelo de valoración económica de la disertación

Elaboración: Franco Carvajal

Sin embargo al ser un proyecto que ha iniciado en el año 2010, y el periodo de este estudio para la valoración es del 2007 al 2012, se utiliza el Índice de Precios al Consumidor (IPC) como referente de la inflación anual para estimar el costo unitario por toneladas para los años anteriores y los años posteriores, los datos de la inflación anual con año base 2014 (INEC, 2015) y los resultados de este cálculo se presentan en la tabla 22.

**Tabla 22**  
**Estimación costo unitario por tonelada de emisión reducida para el periodo 2007-2012**

	Inflación Anual Nacional IPC	Costo Unitario tonelada
<b>2007</b>	3,3%	387,4
<b>2008</b>	8,8%	421,6
<b>2009</b>	4,3%	439,8
<b>2010 (año base)</b>	3,3%	454,4
<b>2011</b>	5,4%	479,0
<b>2012</b>	4,2%	499,0

Fuente: INEC 2015, modelo de valoración económica de la disertación  
Elaboración: Franco Carvajal

**IV.** Con los datos estimados de los costos unitarios por tonelada para cada año, el siguiente paso es valorar el total de emisiones a reducirse por el uso del biocombustible Ecopaís por tipo de contaminante. Para esto se utiliza la siguiente fórmula, en la que se multiplica el costo unitario anual por tonelada ( $CUA_t$ ) por la cantidad de emisiones eliminadas por tipo de contaminante ( $R_{ct}$ ), luego se suman los valores monetarios para tener un dato agregado.

$$VMG_t = \sum_c^n CUA_t * R_{ct}$$

Donde:

$VMG_t$  = Valoración monetaria de las emisiones que degradan el aire generadas por los vehículos a gasolina

$CUA_t$  = Costo Unitario Anual por tonelada de gas contaminante en un año.

$R_{ct}$  = Emisiones eliminadas por tipo de contaminante en un año t

Finalmente en la tabla 23 se presentan los resultados de la valoración económica en base al método de costos de mantenimiento.

**Tabla 23**  
**Valoración monetaria de las emisiones de vehículos a gasolina que degradan el recurso aire (dólares)**

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Monóxido de Carbono (CO)	73.251.942	58.249.492	55.447.095	148.464.324	160.398.980	161.996.481
Compuestos orgánicos totales (COT)	807.695	798.835	748.094	1.504.839	1.731.427	1.762.469
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	745.804	744.765	696.991	1.383.726	1.597.396	1.619.283
<b>Valoración monetaria Emisiones</b>	<b>74.805.441</b>	<b>59.793.092</b>	<b>56.892.181</b>	<b>151.352.889</b>	<b>163.727.803</b>	<b>165.378.234</b>

Fuente: Modelo de valoración económica de la disertación  
Elaboración: Franco Carvajal

Se calcula que para el año 2007 la valoración económica de la degradación del recurso por la contaminación vehicular de combustión a gasolina fue de 74,8 millones de dólares, y para el año

2012 estos costos aumentan a 165,3 millones de dólares. Se observa además que los costos para reducir las emisiones de CO representan en promedio el 98% del total de costos.

## Valoración económica de la contaminación vehicular por combustión de diésel

El programa Retrofit fue implementado desde octubre de 2005 “con el fin de reducir los altos niveles de emisión de material particulado y otros contaminantes de las unidades de transporte público de la ciudad”, para su aplicación se evaluó la factibilidad técnica, económica y normativa del uso de filtros y catalizadores de postcombustión en vehículos con motor ciclo diesel en el DMQ (Secretaría de Ambiente, 2012). Hasta el 25 de marzo de 2009 se completó la instalación de los Catalizadores de Oxidación Diesel (DOC) en 42 buses del corredor Ecovía como parte de la implementación masiva; finalmente para el año 2011 la Secretaría aplica este proyecto a los vehículos de recolección de residuos sólidos, y a 17 buses del Corredor Central Norte de la Compañía Catar según informe la Secretaría de Ambiente del DMQ (2012). Los programas de Retrofit han sido aplicados en Suiza, Estados Unidos, Hong Kong, Alemania, Japón, Chile, Francia, Inglaterra con excelentes resultados.

Según informa la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2015) las tecnologías de postcombustión de Diesel Retrofit, pueden ser instalados en nuevos o en existentes vehículos con el fin de reducir material particulado (PM), óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos (HC) y monóxido de carbono (CO). Las tecnologías de postcombustión se adaptan a los motores de los vehículos sin afectar el diseño y con un mejor consumo de combustible.

En la tabla 24 se presenta un resumen de las tecnologías que pueden formar parte de un programa retrofit, con estimaciones de las reducciones de contaminantes y los costos de las mismas en el mercado estadounidense según el EPA (2015).

**Tabla 24**  
**Grupo de Tecnologías Retrofit para motores de combustible diesel**

Tecnología	Reducciones típicas de emisión (porcentaje)				Costos comunes (USD)
	PM	NOx	HC	CO	
<u>Diesel Oxidation Catalyst (DOC)</u>	20-40		40-70	40-60	material: \$600-\$4.000 instalación: 1-3 horas
<u>Diesel Particulate Filter (DPF)</u> Activo o Pasivo	85-95		85-95	50-90	material: \$8.000-\$50.000 instalación: 6-8 horas
<u>Partial Diesel Particulate Filter (pDPF)</u> Partial or Flow-through	up to 60		40-75	10-60	material: \$4.000-\$6.000 instalación: 6-8 horas
<u>Selective Catalytic Reduction (SCR) *</u>		up to 75			\$10.000-\$20.000
<u>Closed Crankcase Ventilation (CCV) *</u>					
<u>Exhaust Gas Recirculation (EGR) *</u>		25-40			
<u>Lean NOx Catalyst (LNC) *</u>		5-40			\$6.500-\$10.000

Nota: Pueden ser combinados con los sistemas de DOC o DPF, para reducir PM, HC y CO.

Fuente: EPA (2015)

Elaboración: Franco Carvajal

En el programa Retrofit del DMQ, se aplicó la tecnología del Catalizador de Oxidación Diesel (DOC). Este convertidor catalítico “tiene como misión disminuir los elementos contaminantes contenidos en los gases de escape de un vehículo mediante la técnica de la catálisis”, tiene la forma de una colmena revestida de un metal catalizador, empacado en un recipiente de acero inoxidable con varios canales paralelos que causa una reacción catalítica que disminuye la contaminación. Los DOC son generalmente usados para disminuir la contaminación vehicular porque requieren muy poco mantenimiento y han sido aplicados durante varios años de prueba en varios países, como en los Estados Unidos (EPA, 2015).

### Procedimiento de la valoración

La valoración económica que se propone conforme al método de costos de mantenimiento, se basa en asociar el costo ambiental de la degradación del aire causada por los vehículos a diesel con los costos del uso e instalación de catalizadores DOC en estos vehículo, considerando los beneficios del uso de esta tecnología para reducir la contaminación vehicular. Para lograrlo se establecen los siguientes supuestos:

#### Ilustración 18

**Supuestos utilizados para el método de valoración en base a la instalación de catalizadores DOC del Proyecto Retrofit del DMQ para vehículos a diesel.**

Supuesto	Detalle	Fuente
1. Capacidad de absorción de la contaminación	El ambiente absorbe sin consecuencias adversas todas las emisiones que no se pueden reducir o eliminar dado el estado actual de la tecnología.	Naciones Unidas, 2002
2. Emisiones que causan la degradación del aire	Solo deben ser registradas y valoradas las emisiones que el aire no puede absorber sin peligro. Es decir aquellas emisiones que podrían ser reducidas por el uso de cierta tecnología o insumo, el resto pueden ser “asimiladas” sin problema	Naciones Unidas, 2002
3. Los costos de mantenimiento son equivalentes a los costos ambientales	Los costos de mantenimiento equivaldrían a los costos de mantener la capacidad de asimilación de los sumideros, sin embargo al ser costos hipotéticos y no ejecutados, corresponden a los costos ambientales de la degradación del recurso.	Naciones Unidas, 2002
4. Eficiencia de la tecnología actual	Los costos de mantenimiento aplicados a las emisiones corresponden a los métodos y tecnologías más eficientes y con el costo más bajo	Naciones Unidas, 2002
5. Catalizadores DOC son adaptables a cualquier vehículo de motor a diesel	El programa retrofit ha instalado únicamente catalizadores en buses públicos, pero la EPA afirma que los catalizadores pueden ser usados todos los automotores a diesel	Propuesta propia
6. Precios de catalizadores DOC varía de acuerdo a la inflación anual	Se utiliza la variación anual del índice de precios al consumidor (IPC) para las variaciones de los costos de instalación y de la tecnología retrofit a partir del año 2007.	Propuesta Propia

Fuente: Naciones Unidas 2002 y supuestos del modelo de la disertación  
Elaboración: Franco Carvajal

En base a los supuestos detallados se procede a seguir los siguientes pasos para la valoración de la contaminación causada por el parque vehicular a diesel:

- I. Obtener la información sobre los niveles (%) de reducción de emisiones vehiculares que podrían obtenerse por el uso de catalizadores DOC Retrofit en los motores de vehículos que consumen diesel.
- II. Estimar la reducción anual nacional de emisiones esperadas por el uso de los catalizadores en los vehículos.
- III. Estimar los costos que implicaría el uso e instalación de los catalizadores DOC en los vehículos de diesel del país en base a los datos del año 2007.
- IV. Estimar un costo unitario por tonelada reducida en base a los costos de aplicación de catalizadores DOC para el periodo 2007-2012.
- V. Valorar monetariamente las emisiones vehiculares a diesel por tipo de gas contaminante como representación de aquellas emisiones que causarían la pérdida de calidad del recurso aire.

I. El primer paso consiste en investigar la información sobre los porcentajes de reducción de emisiones vehiculares que podrían obtenerse por el uso de catalizadores Retrofit en los motores de vehículos que consumen diesel. Para esto se utilizan los informes de la implementación del proyecto Retrofit de la Secretaría del Ambiente del DMQ (2012) que ya han sido aplicados en el país y demuestran resultados tanto en la disminución de contaminantes como en la factibilidad económica de uso e instalación en vehículos a diesel. También los factores de reducciones típicas de emisión por que publica la EPA (2015) de los Estados Unidos, y los costos de esta tecnología con su instalación para un vehículo.

Los datos de porcentajes de reducciones son presentados en las memoria técnicas del programa Retrofit en Quito (Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares [CCICEV], 2007) con fuente de la EPA (2015). Estos datos se encuentran en forma de rangos para los contaminantes PM, HC, CO y NO<sub>x</sub>, por lo cual se presentan 3 escenarios de los impactos de reducción considerando el límite superior, promedio, y el inferior (tabla 25).

**Tabla 25**  
**Porcentajes de reducción de emisiones de Catalizadores DOC**

Control Technology	Fuel	PM	HC	CO	NO <sub>x</sub>
Catalizadores de oxidación de diesel DOC	All diesel engines	20%-40%	40%-70%	40%-60%	0%-5%
<i>Escenarios para medir el impacto en las reducciones de emisiones de vehículos a diesel</i>					
Escenario reducción promedio (E1)		30%	55%	50%	3%
Escenario reducción límite máximo (E2)		20%	40%	40%	0%
Escenario reducción límite mínimo (E3)		40%	70%	60%	5%

Fuente: CCICEV (2007), EPA (2015)

Elaboración: Franco Carvajal

II. Con los porcentajes de reducción, el siguiente paso consiste en estimar las emisiones potenciales a reducirse en base al supuesto 5 del modelo, en el que se plantea la implementación de los catalizadores DOCs en todo el parque vehicular a diesel. Para esta estimación se multiplica la cantidad de emisiones anuales de los vehículos a diesel ( $S_{ct}$ ) por los porcentajes de reducción de

emisiones (P<sub>c</sub>) de la tabla 25 de acuerdo a cada tipo de contaminante. Los resultados se presentan en la tabla 26 considerando los tres escenarios.

$$RD_{ct} = S_{ct} * P_c$$

$$TRD_t = \sum_c^n RD_{ct}$$

Dónde:

TRD<sub>t</sub> = Total emisiones reducidas en un año por la implementación de catalizadores DOC.

RD<sub>ct</sub> = Emisiones eliminadas por tipo de contaminante en un año t

S<sub>ct</sub> = Emisiones generadas por el parque vehicular a diesel por tipo de contaminante en un año t

P<sub>ce</sub> = Porcentaje de reducción de emisiones por tipo de contaminante

c = tipo de contaminante

t = año de análisis

**Tabla 26**

**Emisiones potencialmente a reducirse por la instalación de catalizadores DOC en los vehículos a diesel a nivel Nacional (toneladas)**

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>E1: Escenario reducción promedio</b>						
Monóxido de carbono (CO)	33.735	50.720	44.362	57.183	66.769	74.274
Compuestos orgánicos totales (COT)	11.786	17.626	15.097	19.519	22.707	16.749
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	11.245	16.842	14.424	18.650	21.689	15.817
Óxido nitroso (NOx)	1.138	1.708	1.419	1.842	2.113	897
Materia particulado (PM10)	1.068	1.594	1.332	1.727	1.965	957
Material particulado (PM2.5)	943	1.402	1.173	1.519	1.729	859
<b>Total general</b>	<b>59.915</b>	<b>89.891</b>	<b>77.807</b>	<b>100.441</b>	<b>116.973</b>	<b>109.554</b>
Porcentaje reducción emisiones Diesel	37,1%	37,1%	37,5%	37,4%	37,6%	43,9%
<b>E2: Escenario reducción límite máximo</b>						
Monóxido de carbono (CO)	40.482	60.864	53.235	68.619	80.123	89.129
Compuestos orgánicos totales (COT)	15.000	22.433	19.214	24.843	28.900	21.317
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	14.311	21.435	18.357	23.736	27.604	20.131
Óxido nitroso (NOx)	2.277	3.416	2.838	3.685	4.227	1.793
Materia particulado (PM10)	1.424	2.125	1.777	2.303	2.620	1.276
Material particulado (PM2.5)	1.257	1.869	1.564	2.026	2.306	1.146
<b>Total general</b>	<b>74.751</b>	<b>112.142</b>	<b>96.985</b>	<b>125.212</b>	<b>145.779</b>	<b>134.792</b>
Porcentaje reducción emisiones Diesel	46,3%	46,3%	46,7%	46,7%	46,9%	54,0%
<b>E3: Escenario reducción límite mínimo</b>						
Monóxido de carbono (CO)	26.988	40.576	35.490	45.746	53.415	59.420
Compuestos orgánicos totales (COT)	8.571	12.819	10.980	14.196	16.514	12.181
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	8.178	12.249	10.490	13.563	15.773	11.503
Óxido nitroso (NOx)	0	0	0	0	0	0
Materia particulado (PM10)	712	1.062	888	1.152	1.310	638
Material particulado (PM2.5)	628	935	782	1.013	1.153	573
<b>Total general</b>	<b>45.078</b>	<b>67.641</b>	<b>58.629</b>	<b>75.670</b>	<b>88.166</b>	<b>84.315</b>
Porcentaje reducción emisiones Diesel	27,9%	27,9%	28,3%	28,2%	28,3%	33,8%

Fuente: Modelo de valoración económica de la disertación

Elaboración: Franco Carvajal

Considerando el escenario 1 para el modelo de valoración, a través del promedio entre los rangos de reducción de emisiones de los DOC, se observa que para el 2007 las emisiones que podrían haber sido reducidas fueron 59.915 toneladas, aumentando para el año 2012 a 109.554 toneladas, esto en términos porcentuales significa que se podría reducir en promedio para el periodo un 38% de las emisiones de vehículos a diesel. En el mejor de los casos en el escenario 2 se podría reducir en promedio un 48% de las emisiones, y en el peor de los casos, escenario 3, se podría reducir un 29% de la contaminación.

Las emisiones que se pueden reducir representan el total de emisiones que el aire no podría asimilar si no se aplican cambios tecnológicos o de insumos, es decir las emisiones que causan la degradación o pérdida de calidad del aire. Una vez más este registro de emisiones es el que debe ser valorado monetariamente (Naciones Unidas, 2002).

III. El siguiente paso consiste en estimar los costos que implicaría el uso e instalación de los catalizadores DOC en los vehículos de diesel del país. Para esto se obtuvo información de la Secretaría del Ambiente sobre las cotizaciones de 3 marcas de catalizadores DOC con su respectiva instalación con datos disponibles al 2007. Esta información se resume en la tabla 27.

**Tabla 27**  
**Costos referenciales por vehículo de los catalizadores DOC del programa Retrofit del DMQ**

DISPOSITIVO	COSTO REFERENCIAL PROPUESTO	VIDA ÚTIL	GARANTIA REFERENCIAL PROPUESTA	SERVICIO MANTENIMIENTO PROPUESTO
TECNOLOGÍA-MARCA	USD con IVA	Promedio de 5 a 10 años		
DOC- DONALDSON	2.332	8 años	5 años u 240000 kilómetros	Mantenimiento General del Vehículo recomendado por el fabricante más calibración inicial del sistema de inyección
DOC- Johnson Matthey <i>(seleccionado para el modelo)</i>	2.003	8 años	1 año u 80000 kilómetros,	
DOC- CLEAN AIR	5.018	8 años	1 año por defectos de fabrica	

Nota: El costo referencial propuesto incluye instalación por el fabricante suponiendo que al vehículo no deban hacerse adecuaciones necesarias adicionales.

Fuente: Secretaría de Ambiente (2007).

Elaboración: Franco Carvajal

Según el Informe Técnico 634-GCA-12 (2012) que brindó personalmente la Secretaría de Ambiente, el dispositivo más común instalado en los 42 buses como programa piloto para el año 2007, es el DOC de marca Johnson Matthey. En base al manual de operaciones de Contabilidad Ambiental de las Naciones Unidas (2002), recomienda que para la valoración monetaria en base al uso de tecnologías, se debe utilizar la estructura de costos de la tecnología más eficiente y con menor costo, por lo cual para esta valoración se utiliza la información de costos del catalizador mencionado. El dato más actual del DOC marca Johnson Matthey es del año 2007 y tiene un presupuesto referencial por vehículo de 2.003 dólares incluyendo la instalación, así mismo este costo se encuentra dentro del rango de costos que estima la EPA (2015) (tabla 24).

Para la estimación de costos de aplicación del proyecto Retrofit en todos los vehículos a diesel del país para cada año del periodo de análisis se deben seguir el siguiente procedimiento:

- Conocer la cantidad de vehículos a diesel en el país en base a los datos que proporciona el INEC (2015).
- Estimar el costo de uso y de instalación del catalizador DOC Johnson Matthey por vehículo ( $Pdoc_t$ ) para cada año del periodo de análisis en base al costo referencial del año 2007, para esto se utiliza como factor estimador la inflación anual de precios ( $f_t$ ) al no existir datos más actuales.

$$Pdoc_t = Pdoc_{t-1} (1 + f_t)$$

- Calcular la inversión estimada del proyecto para todos los vehículos a diesel ( $IEP_t$ ), multiplicando el costo de uso e instalación del catalizador ( $Pdoc_t$ ) por el total de vehículos a diesel en el país ( $QD_t$ ).

$$IEP_t = Pdoc_t * QD_t$$

- Finalmente para calcular los costos de aplicación del proyecto Retrofit para cada año ( $CPP_t$ ), se divide la inversión estimada del proyecto ( $IEP_t$ ) para el tiempo de vida útil del catalizador ( $VU=8$  años) de tal forma que se tenga un dato anual.

$$CPP_t = \frac{IEP_t}{VU}$$

Los resultados se presentan en la tabla 28.

**Tabla 28**  
**Estimación del costo de aplicación de proyecto Retrofit en los vehículos a diesel para cada año 2007-2012**

Etiquetas de fila	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Total vehículos a diesel	94.636	107.246	100.827	131.066	157.950	164.582
Inflación Anual Nacional IPC	3,3%	8,8%	4,3%	3,3%	5,4%	4,2%
Costo Unitario DOC- Johnson Matthey (catalizador+innstalación) dólares	2.003	2.179	2.273	2.349	2.476	2.579
Inversion estimada instalación DOC Johnson Matthey (dólares)	189.514.268	233.731.599	229.216.764	307.877.356	391.098.906	424.489.135
<b>Costo aplicación del proyecto para un año (dólares)</b>	<b>17.766.963</b>	<b>29.216.450</b>	<b>28.652.096</b>	<b>38.484.669</b>	<b>48.887.363</b>	<b>53.061.142</b>

Nota: en la estructura de costos no se incluyen los costos de depreciación de los catalizadores

Fuente: INEC (2015), modelo de valoración económica de la disertación

Elaboración: Franco Carvajal

**IV.** El siguiente paso es estimar un costo unitario por tonelada reducida en base a los costos de aplicación de catalizadores DOC para el periodo 2007-2012. Para esto se divide el costo aplicación del proyecto para un año, para la cantidad de emisiones potencialmente a reducirse.

**Tabla 29**  
**Estimación del costo unitario anual por tonelada reducida en base al uso de catalizadores DOC**

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Costo aplicación del proyecto Retrofit para un año (dólares)	17.766.963	29.216.450	28.652.096	38.484.669	48.887.363	53.061.142
Emisiones a reducirse E1 (toneladas)	59.915	89.891	77.807	100.441	116.973	109.554
<b>Costo unitario anual por tonelada reducida (dólares)</b>	<b>296,5</b>	<b>325,0</b>	<b>368,2</b>	<b>383,2</b>	<b>417,9</b>	<b>484,3</b>

Fuente: Modelo de valoración económica de la disertación.  
Elaboración: Franco Carvajal

V. Finalmente el siguiente paso consiste en valorar monetariamente las emisiones vehiculares a diesel por tipo de gas contaminante, multiplicando el costo unitario anual de la tonelada por la cantidad de emisiones potencialmente a reducirse. Este valor monetario representa el monetario de aquellas emisiones que afecta a la calidad del aire, en base al método de costos de mantenimiento. Estos resultados se presentan en la tabla 30.

**Tabla 30**  
**Valoración monetaria de las emisiones de vehículos a diesel que degradan el recurso aire (dólares)**

Gas contaminante	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Monóxido de carbono (CO)	10.003.711	16.485.104	16.336.187	21.909.985	27.905.436	35.974.046
Compuestos orgánicos totales (COT)	3.494.865	5.728.638	5.559.351	7.479.022	9.490.160	8.112.125
Compuesto orgánicos volátiles (COV)	3.334.494	5.473.931	5.311.464	7.145.693	9.064.470	7.660.851
Óxidos de nitrógeno (NOx)	337.573	555.195	522.608	705.957	883.237	434.255
Material particulado (PM10)	316.801	517.944	490.655	661.872	821.369	463.653
Material particulado (PM2.5)	279.517	455.638	431.830	582.141	722.691	416.212
<b>Total general</b>	<b>17.766.963</b>	<b>29.216.450</b>	<b>28.652.096</b>	<b>38.484.669</b>	<b>48.887.363</b>	<b>53.061.142</b>

Fuente: Modelo de valoración económica de la disertación  
Elaboración: Franco Carvajal

Se estima que para el año 2007 el costo de la externalidad de la contaminación vehicular por combustión de diésel en la degradación del aire fue de 17,7 millones de dólares, mientras que para el año 2012 aumenta a 53,0 millones de dólares. Se observa además que los costos para reducir las emisiones de CO representan en promedio el 59% del total, seguido por los hidrocarburos (COV+COT) con el 37%, el material particulado (PM10+PM2.5) con el 3%, los óxidos de nitrógeno (Nox) con el 2%.

### **Cuenta Económica de las emisiones al aire: datos monetarios de la externalidad en la pérdida de la calidad del recurso.**

La cuenta de emisiones al aire en datos monetarios integra las valoraciones de los costos de la externalidad de la contaminación vehicular realizadas anteriormente. A partir de la valoración económica de las emisiones por gasolina y diesel que degradan el aire y los datos físicos de la TOU ambiental, se puede calcular los costos de esta externalidad por sector de la economía e identificar

los agentes económicos que mayor presión ejercen en el aire en términos monetarios, además se pueden construir una serie de indicadores de sostenibilidad relacionados con los agregados macroeconómicos de cuentas nacionales contruidos por el BCE.

En primera instancia, en la tabla 31 y gráfico 24 se presentan los resultados de la valoración en consolidado. Se estima que los costos ambientales de la degradación del aire por fuentes móviles para el año 2007 fue de 132,2 millones de dólares y este valor aumenta a medida que se incrementa la contaminación por el crecimiento del parque vehicular y las actividades económicas; así mismo para el año 2012 este valor suma 234,8 millones de dólares. De estos valores el 86,2% en promedio deben ser gastados para disminuir las emisiones de CO, seguido por los costos de hidrocarburos (COT+COV) con el 12,4%, los costos de material particulado (PM10+PM2.5) con el 0,9%, y los NOx con el 0,5%.

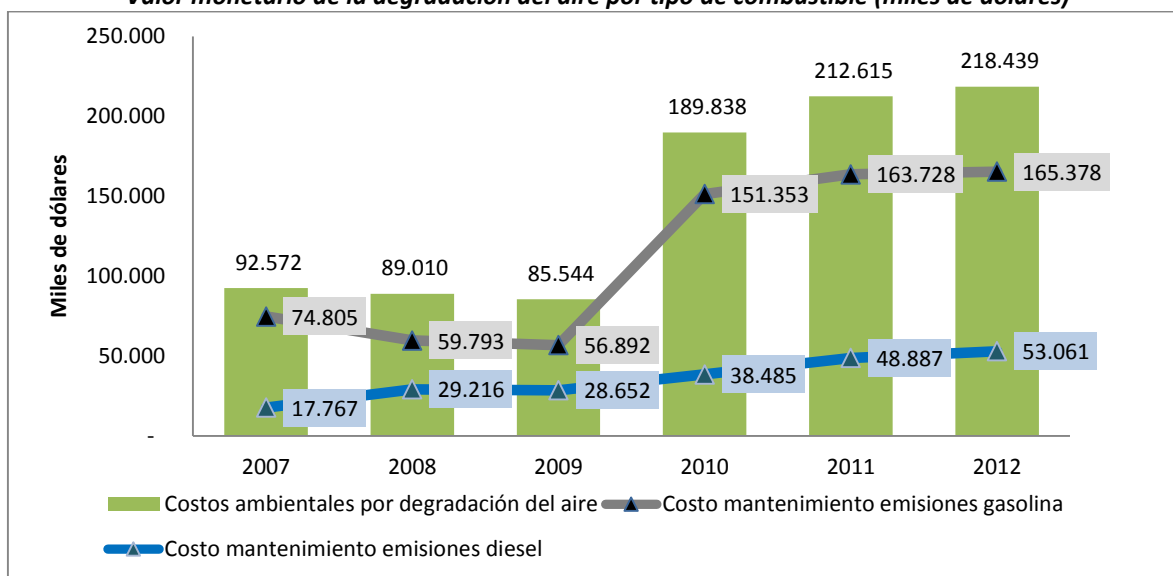
**Tabla 31**  
**Consolidado de la valoración monetaria de las emisiones vehiculares que degradan el recuso aire (miles de dólares).**

Gas Contaminante	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Parti. Prom. 2007-2012
Monóxido de carbono (CO)	83.256	74.735	71.783	170.374	188.304	197.971	87,8%
Compuestos orgánicos totales (COT)	4.303	6.527	6.307	8.984	11.222	9.875	5,6%
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	4.080	6.219	6.008	8.529	10.662	9.280	5,4%
Óxidos de nitrógeno (NOx)	338	555	523	706	883	434	0,4%
Material particulado (PM10)	317	518	491	662	821	464	0,4%
Material particulado (PM2.5)	280	456	432	582	723	416	0,4%
Valor monetario de la degradación del aire	<b>92.572</b>	<b>89.010</b>	<b>85.544</b>	<b>189.838</b>	<b>212.615</b>	<b>218.439</b>	
<i>Valor monetario de la degradación de aire por tipo de combustible</i>							
Costo mantenimiento por emisiones diesel	17.767	29.216	28.652	38.485	48.887	53.061	25,5%
Costo mantenimiento por emisiones gasolina	74.805	59.793	56.892	151.353	163.728	165.378	74,5%
<i>Datos en dólares</i>							
<b>Costo Unitario promedio por tonelada reducida (dólares)</b>	<b>366</b>	<b>384</b>	<b>413</b>	<b>438</b>	<b>463</b>	<b>495</b>	

Fuente: Modelo de valoración económica de la disertación  
Elaboración: Franco Carvajal

En el gráfico 27, se observa además que los costos de mantenimiento para disminuir las emisiones que degradan el aire de los vehículos a gasolina representan en promedio el 70%, y los costos de las emisiones por diesel representan el 30%.

**Gráfico 24**  
**Valor monetario de la degradación del aire por tipo de combustible (miles de dólares)**



Fuente: Disertación de grado Franco Carvajal  
Elaboración: Franco Carvajal

Se observa que la implementación del uso de Ecopaís y de los catalizadores DOC por parte de todo el parque automotor, permitiría una reducción en promedio del 21% de todas las emisiones generadas por las fuentes móviles. Se observa que para el año 2007 se hubieran reducido 252.990 toneladas, para los siguientes años la cantidad de reducción aumenta debido al aumento del parque automotor y las emisiones, sin embargo para el año 2012 esta cantidad aumenta a 440.969 toneladas. Tomando en cuenta el principio de mantener la capacidad del recurso para asimilar los residuos, estas emisiones serían un equivalente a la causa de la pérdida de calidad del aire por el uso de vehículos. En la tabla 32 se presenta el consolidado de estos resultados.

**Tabla 32**  
**Consolidado de las emisiones con impacto en la pérdida de calidad del aire (toneladas métricas)**

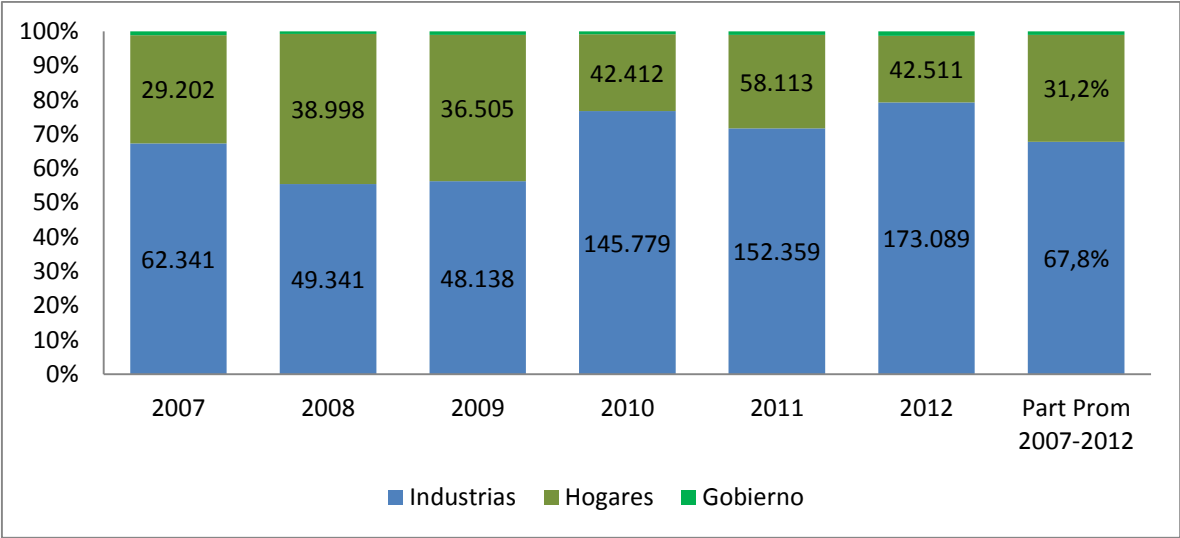
Gas Contaminante	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Monóxido de carbono (CO)	222.800	188.865	170.425	383.856	401.591	398.913
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	13.870	19.520	16.798	22.831	26.321	20.281
Compuestos orgánicos totales (COT)	13.170	18.608	16.008	21.694	25.023	19.062
Óxidos de nitrógeno (NOx)	1.138	1.708	1.419	1.842	2.113	897
Material particulado (PM10)	1.068	1.594	1.332	1.727	1.965	957
Material particulado (PM2.5)	943	1.402	1.173	1.519	1.729	859
Emisiones a eliminarse por Ecopaís y Retrofit	<b>252.990</b>	<b>231.697</b>	<b>207.155</b>	<b>433.470</b>	<b>458.743</b>	<b>440.969</b>
Porcentaje de las emisiones reducidas en relación al total de emisiones generadas	<b>18,0%</b>	<b>22,1%</b>	<b>22,5%</b>	<b>20,3%</b>	<b>21,2%</b>	<b>21,6%</b>

Fuente: Disertación de grado Franco Carvajal  
Elaboración: Franco Carvajal

Para poder estimar los costos de la externalidad de la contaminación vehicular que generan las industrias, hogares y gobierno, se multiplican las emisiones que generan los sectores económicos identificados en la TOU física de emisiones (tabla 11) por el porcentaje total de reducción de emisiones que permiten el uso de Ecopaís y los catalizadores DOC (tabla 31) en el año de análisis, para después multiplicar estas reducciones de emisiones por el costo unitario por tonelada reducida (tabla 30). Estos valores monetarios por sector económico se presentan en la tabla 33 la cual presenta una estructura similar a la TOU física de emisiones. La información de la tabla 33 se resume en el gráfico 25 desde una forma agregada.

Se observa que los costos ambientales de las industrias pasan de un valor de 62,3 millones de dólares en el año 2007 a 173,1 millones de dólares en el año 2012, lo que muestra un incremento del 177%, además las industrias representan en promedio el 67,8% del total de costos ambientales. En lo que refiere a los costos ambientales de los hogares, pasan de un valor de 29,2 millones de dólares en el 2007 a 42,5 millones de dólares en el 2012, con un aumento del 45,6%. El Gobierno por su parte tiene un costo ambiental de 1,0 millones de dólares en el 2007, aumentando a 2,8 millones de dólares en el año 2012, además los costos del Gobierno representan en promedio el 1% del total de costos.

**Gráfico 25**  
**Estructura de los costos ambientales por sector económico (miles de dólares)**



Fuente: Disertación de grado Franco Carvajal  
Elaboración: Franco Carvajal

**Tabla 33**  
**Valor monetario de la degradación del aire por sector de la economía (miles de dólares)**

	Contaminante / Industria	Costos de mantenimiento por sector de la economía (miles de dólares)												Costo Total
		Industrias										Hogares	Gobierno	
		A	B	C	D	E	F	G	H	Industrias	Transporte	Transporte		
Agricultura, avicultura, ganadería, pesca	Explotación de minas, canteras	Industrias manufactureras	Suministro de electricidad, gas	Distribución de agua	Construcción	Comercio	Transporte	Resto de industrias	Transporte		Transporte			
2007	CO	2.562	1.643	8.709	586	659	9.256	10.307	8.063	7.285	49.069	22.380	759	72.208
	COT	228	146	775	52	59	824	917	921	648	4.571	2.595	87	7.252
	COV	210	134	712	48	54	757	843	857	596	4.211	2.405	81	6.697
	NOX	186	119	632	43	48	672	748	1.055	529	4.033	1.773	94	5.900
	PM10	11	7	39	3	3	41	46	63	32	245	29	5	280
	PM2.5	10	6	34	2	3	36	40	55	28	213	19	4	236
	<b>Total general</b>	<b>3.207</b>	<b>2.056</b>	<b>10.900</b>	<b>733</b>	<b>824</b>	<b>11.585</b>	<b>12.901</b>	<b>11.014</b>	<b>9.119</b>	<b>62.341</b>	<b>29.202</b>	<b>1.029</b>	<b>92.572</b>
2008	CO	1.883	833	5.717	449	513	5.850	6.987	5.470	5.928	33.632	29.996	425	64.053
	COT	239	106	726	57	65	743	887	880	753	4.455	3.418	68	7.941
	COV	224	99	679	53	61	694	829	829	704	4.172	3.168	64	7.404
	NOX	323	143	981	77	88	1.004	1.199	1.404	1.017	6.235	2.359	103	8.697
	PM10	24	11	72	6	6	74	88	95	75	451	35	7	493
	PM2.5	21	9	63	5	6	65	78	83	66	396	21	6	422
	<b>Total general</b>	<b>2.714</b>	<b>1.200</b>	<b>8.238</b>	<b>648</b>	<b>739</b>	<b>8.430</b>	<b>10.068</b>	<b>8.762</b>	<b>8.542</b>	<b>49.341</b>	<b>38.998</b>	<b>671</b>	<b>89.010</b>
2009	CO	1.651	728	5.305	361	412	5.654	7.012	6.194	6.081	33.397	28.097	577	62.071
	COT	204	90	656	45	51	699	867	906	752	4.267	3.185	93	7.545
	COV	191	84	612	42	48	652	809	851	702	3.990	2.953	87	7.029
	NOX	267	118	857	58	67	913	1.133	1.319	982	5.712	2.215	129	8.056
	PM10	19	9	62	4	5	67	83	92	72	412	35	9	455
	PM2.5	17	7	55	4	4	58	72	80	63	360	21	8	388
	<b>Total general</b>	<b>2.349</b>	<b>1.035</b>	<b>7.547</b>	<b>513</b>	<b>586</b>	<b>8.043</b>	<b>9.975</b>	<b>9.440</b>	<b>8.651</b>	<b>48.138</b>	<b>36.505</b>	<b>902</b>	<b>85.544</b>

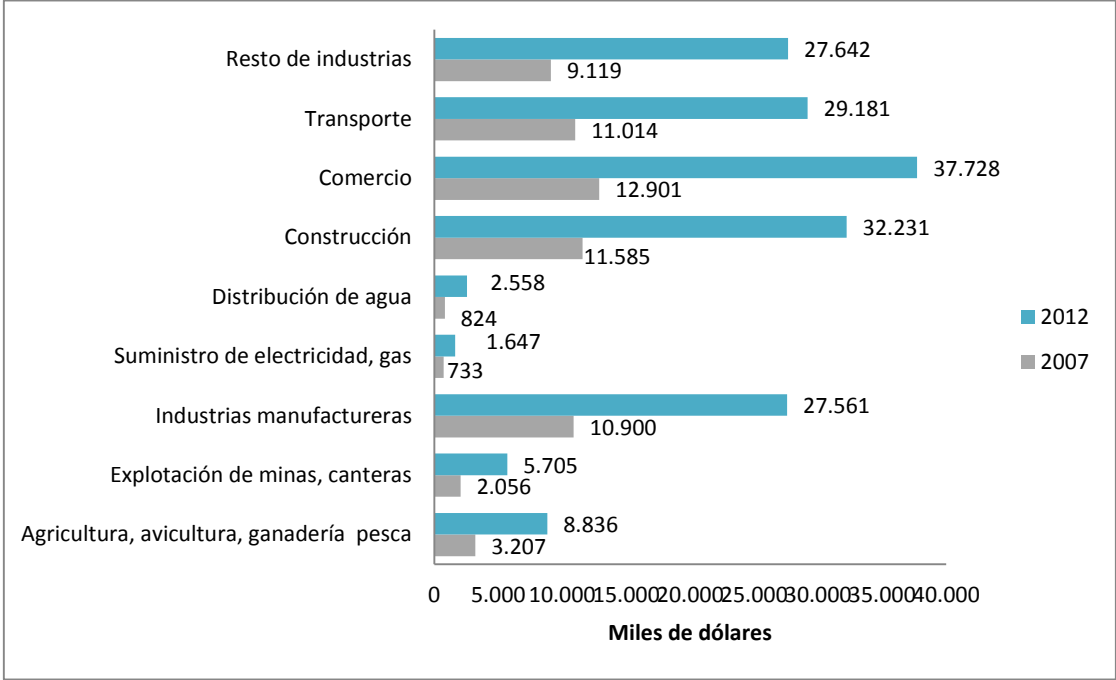
Continuación tabla 33

	Contaminante / Industria	Costos de mantenimiento por sector de la economía (miles de dólares)											Costo Total	
		Industrias										Hogares		Gobierno
		A	B	C	D	E	F	G	H	Industrias	Transporte	Transporte		
		Agricultura, avicultura, ganadería pesca	Explotación de minas, canteras	Industrias manufactureras	Suministro de electricidad, gas	Distribución de agua	Construcción	Comercio	Transporte					Resto de industrias
2010	CO	7.403	4.480	18.095	1.260	1.605	23.681	26.815	15.386	19.144	117.869	32.785	1.041	151.695
	COT	608	368	1.485	103	132	1.944	2.201	1.541	1.572	9.954	3.706	170	13.830
	COV	556	336	1.359	95	120	1.778	2.013	1.425	1.437	9.119	3.438	160	12.717
	NOX	452	274	1.105	77	98	1.446	1.637	1.594	1.169	7.852	2.416	246	10.514
	PM10	30	18	74	5	7	97	110	107	79	528	42	16	585
	PM2.5	26	16	65	4	6	84	96	93	68	459	25	14	498
	<b>Total general</b>	<b>9.075</b>	<b>5.492</b>	<b>22.182</b>	<b>1.545</b>	<b>1.967</b>	<b>29.031</b>	<b>32.872</b>	<b>20.146</b>	<b>23.469</b>	<b>145.779</b>	<b>42.412</b>	<b>1.646</b>	<b>189.838</b>
2011	CO	5.797	6.588	32.320	2.022	1.531	28.549	25.624	8.684	9.360	120.474	45.344	1.441	167.259
	COT	502	571	2.800	175	133	2.473	2.220	1.184	811	10.869	5.111	208	16.188
	COV	461	524	2.569	161	122	2.270	2.037	1.108	744	9.996	4.744	195	14.935
	NOX	422	480	2.354	147	111	2.080	1.867	1.635	682	9.779	2.823	265	12.867
	PM10	28	32	157	10	7	138	124	121	45	663	57	18	738
	PM2.5	24	28	136	9	6	120	108	106	39	577	34	16	627
	<b>Total general</b>	<b>7.235</b>	<b>8.222</b>	<b>40.337</b>	<b>2.523</b>	<b>1.910</b>	<b>35.630</b>	<b>31.980</b>	<b>12.839</b>	<b>11.681</b>	<b>152.359</b>	<b>58.113</b>	<b>2.144</b>	<b>212.615</b>
2012	CO	7.194	4.644	22.439	1.341	2.082	26.241	30.717	21.642	22.505	138.805	31.543	1.966	172.314
	COT	609	393	1.900	114	176	2.222	2.601	2.486	1.906	12.408	4.077	274	16.759
	COV	556	359	1.736	104	161	2.030	2.376	2.303	1.741	11.366	3.777	255	15.397
	NOX	436	281	1.359	81	126	1.590	1.861	2.454	1.363	9.551	3.005	304	12.860
	PM10	22	14	70	4	6	82	96	160	70	525	65	22	612
	PM2.5	18	12	57	3	5	67	78	136	57	433	44	19	497
	<b>Total general</b>	<b>8.836</b>	<b>5.705</b>	<b>27.561</b>	<b>1.647</b>	<b>2.558</b>	<b>32.231</b>	<b>37.728</b>	<b>29.181</b>	<b>27.642</b>	<b>173.089</b>	<b>42.511</b>	<b>2.840</b>	<b>218.439</b>

Fuente: Disertación de grado Franco Carvajal  
Elaboración: Franco Carvajal

La información de costos de mantenimiento clasificado por industrias, permite identificar aquellas actividades económicas que causan los mayores costos ambientales dentro de la economía por la contaminación vehicular. Para resumir este análisis se presenta el gráfico 26, en el cual se observa que las actividades con mayores costos ambientales son: en primer lugar el comercio (37,7 millones de dólares), en segundo lugar el sector de la construcción (32,2 millones de dólares), seguido por el transporte (29,1 millones de dólares), las manufacturas (27,5 millones de dólares), la agricultura (8,8 millones), la explotación de minas y canteras (5,7 millones de dólares), la distribución de agua (2,5 millones de dólares), el suministro de electricidad (1,6 millones), y finalmente el resto de las industrias de la economía que suman 27, 6 millones de dólares.

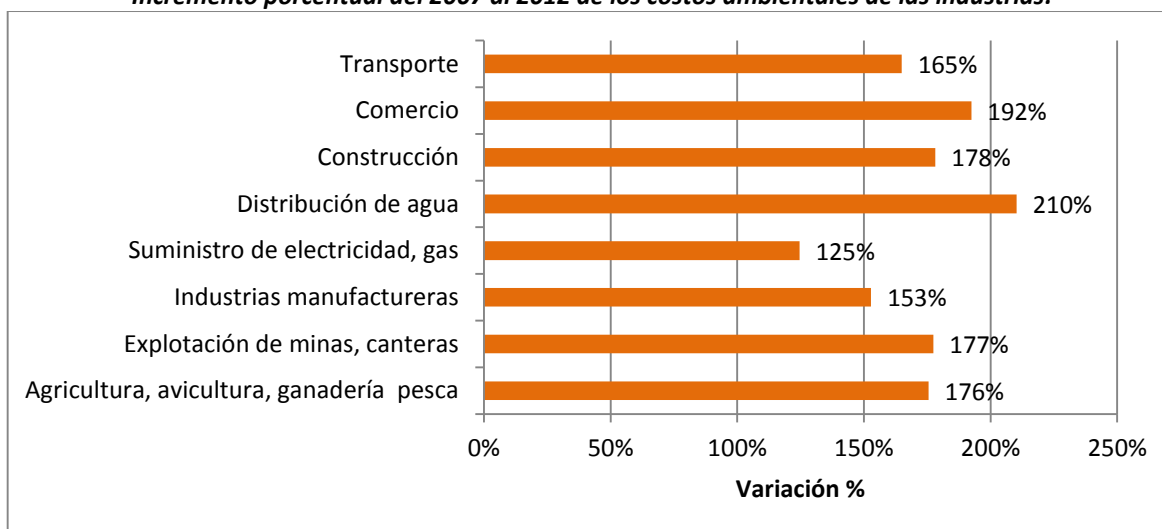
**Gráfico 26**  
**Valor monetario de la degradación del aire por la contaminación vehicular de industrias (miles de dólares)**



Fuente: Disertación de grado Franco Carvajal  
 Elaboración: Franco Carvajal

En el gráfico 27 se observa que las industrias con mayor aumento de sus costos ambientales desde el 2007 al 2012 son: distribución de agua (210%), el comercio (192%), la construcción y la explotación de minas (178% y 177%) la agricultura (176%), el transporte (165%), las manufacturas (153%), finalmente el suministro de electricidad (125%).

**Gráfico 27**  
**Incremento porcentual del 2007 al 2012 de los costos ambientales de las industrias.**



Fuente: Disertación de grado Franco Carvajal  
 Elaboración: Franco Carvajal

#### 4. Indicadores de la cuenta de emisiones al aire

El marco central del SEEA, recomienda la construcción de importantes indicadores y agregados utilizando la información de las diferentes cuentas ambientales, de la misma forma en que las cuentas nacionales permiten realizar indicadores económicos que resumen e integran el desempeño económico de un país como el Producto Interno Bruto (PIB) (Naciones Unidas et al, 2014: 247).

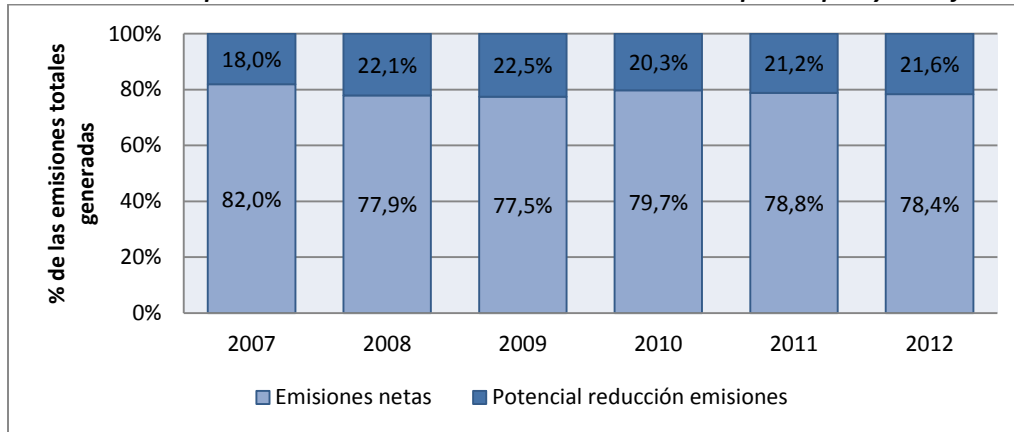
Los indicadores que propone el marco central del SEEA permiten la combinación de datos físicos (extracción de recursos, toneladas de residuos) con los datos monetarios (costos ambientales de la externalidad, valor agregado de las industrias) siendo una de las principales características de la contabilidad económica-ambiental. En esta sección de la investigación se presenta la elaboración de una serie de indicadores enfocados a integrar la información física y monetaria de la cuenta de emisiones al aire por fuentes móviles, en relación a los agregados económicos de las cuentas nacionales como el PIB y el Valor Agregado Bruto (VAB) de las industrias, en base a la metodología de indicadores que propone el SEEA, como son los de intensidad, eficiencia, y agregados ajustados a los costos ambientales como el PINV.

##### **Indicador de potencial de reducción de emisiones vehiculares por Ecopaís y Retrofit**

Este indicador presenta el potencial de reducción o mitigación de las emisiones vehiculares gracias al cambio de insumos energéticos (biocombustible Ecopaís), y de la implementación de tecnologías que permitan optimizar la combustión (catalizadores DOC del programa Retrofit). Para construir este indicador simplemente se divide el total de emisiones que se pueden reducir por Ecopaís y los catalizadores DOC, para el total de emisiones generadas por el parque vehicular.

En el gráfico 28 se presenta este indicador, y se observa que en promedio para el periodo 2007-2012 el potencial de reducción de emisiones con la implementación de Ecopais y catalizadores DOC es del 21%. Este dato brinda una referencia del alcance de impacto que tendrían estos proyectos lo que constituye un insumo importante para la política ambiental en relación a incentivar la implementación de estos proyectos a nivel nacional y a mejorar la calidad del aire.

**Gráfico 28**  
**Indicador de potencial de reducción de emisiones vehiculares por Ecopais y Retrofit**



Fuente: Disertación de grado Franco Carvajal  
Elaboración: Franco Carvajal

### Indicador de Eficiencia

Este tipo de indicador permite realizar un análisis de la eficiencia de un sector o de la economía en su conjunto en crecer económicamente y reducir la generación de residuos (Naciones Unidas et al, 2014: 249). Para construir este indicador es necesario dividir el PIB real en millones de dólares para el total de emisiones generadas en miles de toneladas. El cálculo se presenta en la siguiente fórmula:

$$IE_t = \frac{PIB_{real_t}}{EC_t}$$

Donde:

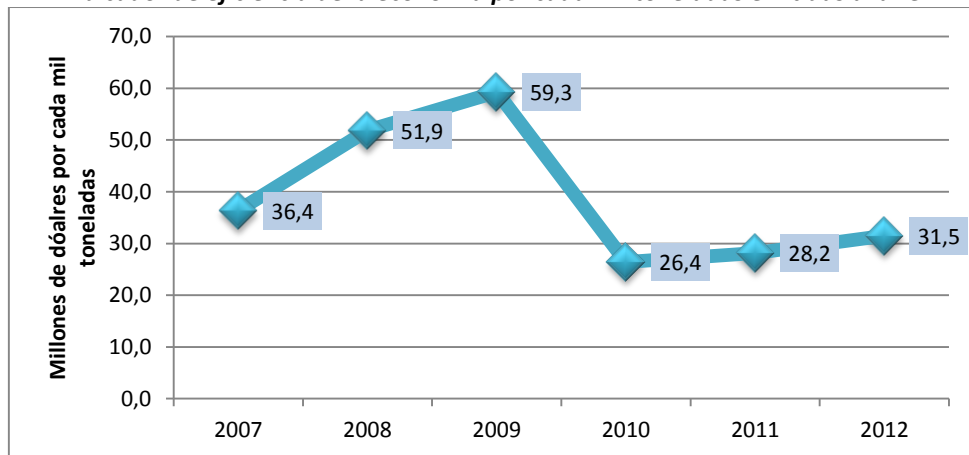
$IE_t$  = Indicador de eficiencia de la economía por cada mil toneladas emitidas al aire

$PIB_{real_t}$  = Producto Interno Bruto en dólares de 2007.

$EC_t$  = Total emisiones contaminantes de las fuentes móviles en miles de toneladas

En el gráfico 29 se presenta este indicador, e indica que para el año 2007 por cada mil toneladas de emisiones al aire, la economía del país generaba un valor agregado en el PIB de 36,4 millones de dólares, pero para el año 2008 y 2009 la economía logró aumentar este valor agregado por cada mil toneladas emitidas, lo que significó un comportamiento positivo del crecimiento económico; sin embargo para los siguientes años esta eficiencia disminuye ya que por cada mil toneladas emitidas se genera un menor valor agregado. Esto se explica por un considerable incremento del parque automotor ocasionando un aumento significativo de las emisiones. El objetivo con este indicador es que la tendencia aumente en relación al año anterior.

**Gráfico 29**  
**Indicador de eficiencia de la economía por cada mil toneladas emitidas al aire**



Fuente: Disertación de grado Franco Carvajal, BCE 2015  
 Elaboración: Franco Carvajal

### Indicador de Intensidad

Estos indicadores representan la relación inversa de los indicadores de productividad. Busca poner en evidencia la presión que reciben el aire por los diferentes procesos de producción y consumo y se obtienen dividiendo un flujo físico por un agregado económico (Naciones Unidas et al, 2014:249). Este indicador representa la cantidad de toneladas de contaminantes emitidos al aire por cada millón de dólares producidos en el PIB. Para construir este indicador se presenta la siguiente fórmula:

$$IT_t = \frac{EC_t}{PIB\ real_t}$$

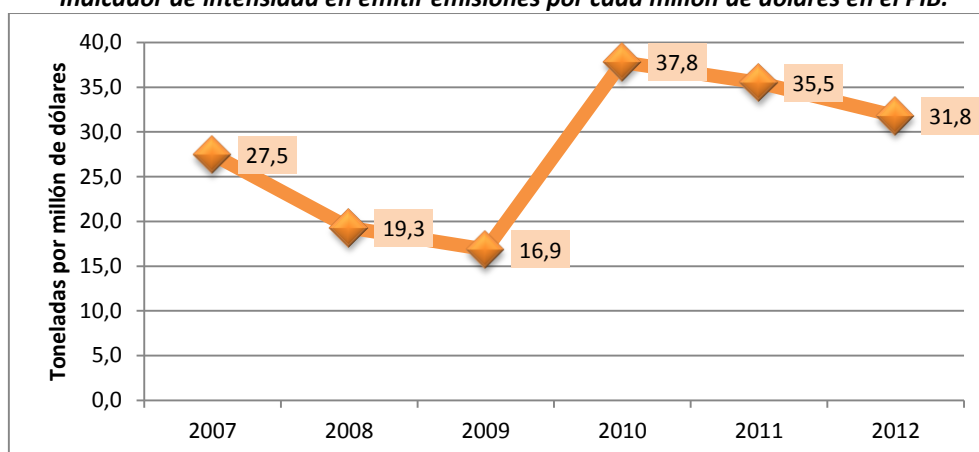
$IT_t$  = Indicador de intensidad en emitir emisiones por cada millón de dólares en el PIB.

$PIB\ real_t$  = Producto Interno Bruto en dólares de 2007.

$EC_t$  = Total emisiones contaminantes de las fuentes móviles en miles de toneladas.

Los resultados de este cálculo se presentan en el gráfico 30, y se observa que en el año 2007 para producir un millón de dólares de valor agregado en el PIB se tuvieron que emitir 27,5 toneladas de emisiones, pero para el año 2008 y 2009 esta intensidad de contaminar el aire disminuye a 19,3 y 16,9 toneladas respectivamente, explicado principalmente por un menor número de vehículos en circulación. A partir del año 2010 la intensidad de la economía en emitir aumenta a 37,8 toneladas por millón de dólares producidos, ubicándose finalmente en el 2012 con 31,8 toneladas. El objetivo con este indicador es que la tendencia disminuya en relación al año anterior.

**Gráfico 30**  
**Indicador de intensidad en emitir emisiones por cada millón de dólares en el PIB.**



Fuente: Disertación de grado Franco Carvajal, BCE 2015  
Elaboración: Franco Carvajal

Los indicadores de intensidad y de eficiencia también pueden ser desglosados al nivel de las industrias identificadas en esta investigación. En la tabla 34 se presentan estos indicadores, y se observa que la industria con menor intensidad de emisiones vehiculares para generar un millón de dólares en la economía es la de Explotación de minas y canteras<sup>40</sup> con una intensidad de 4,7 toneladas, seguido por el sector agropecuario con 10,9 toneladas; por otra parte las industrias con mayor intensidad son: el transporte, el sector de suministro de agua, el comercio, la construcción y la manufactura.

**Tabla 34**  
**Indicador de Intensidad y Eficiencia de las principales industrias del país año 2012**

Industria	Emisiones	VAB	Indicador de Intensidad	Indicador de Eficiencia
	toneladas	miles de USD reales	tons/millones de USD	millones de USD/mil tons
Agricultura, avicultura, ganadería pesca	82.425	7.592.437	10,9	92,1
Explotación de minas, canteras	53.216	11.380.737	4,7	213,9
Industrias manufactureras	257.101	9.670.447	26,6	37,6
Suministro de electricidad, gas	15.366	668.903	23,0	43,5
Distribución de agua	23.858	376.024	63,4	15,8
Construcción	300.670	9.421.344	31,9	31,3
Comercio	351.951	9.030.758	39,0	25,7
Transporte	272.215	3.842.729	70,8	14,1

Fuente: Disertación de grado Franco Carvajal, BCE 2015.  
Elaboración: Franco Carvajal

En lo que respecta a los indicadores de productividad, se observa que las industrias con mejor comportamiento son: explotación de minas y canteras con 213,9 millones de dólares por cada mil

<sup>40</sup> Se toma en cuenta solamente a las emisiones vehiculares ya que si se incluyen las emisiones fijas de la explotación e industrialización de hidrocarburos la intensidad sería mayor.

toneladas emitidas, seguido por el sector agropecuario con 92,1 millones de dólares, el suministro de electricidad con 43,5 millones dólares, las manufacturas con 37,6 millones de dólares. Las industrias con menor productividad por generar emisiones son: el transporte con 14,1 millones y el suministro de agua con 15,8 millones de dólares.

### **Indicadores de Desligamiento**

La base teórica de este tipo de indicadores ya fue explicado en los avances del proyecto SCAN. En el caso específico para las emisiones al aire, el objetivo con este indicador es que la tasa de crecimiento de la generación de contaminantes sea menor a la tasa de crecimiento del PIB, lo que se define como desligamiento positivo. Un desligamiento positivo está relacionado a cambios en los patrones de producción y consumo de los agentes económicos hacia patrones sostenibles, además de políticas de regulación e incentivos que hayan creado mejores condiciones para disminuir la contaminación (Naciones Unidas et al, 2014:249).

Para poder graficar variables con diferentes unidades de medida como dólares y toneladas; se transforman las variaciones de los datos en índices con una misma unidad de medida, partiendo de los datos del año 2007 como año base y con una equivalencia de 100. A partir de esto, se transforman las variaciones de los siguientes años en relación al año base aplicando la siguiente fórmula:

$$E_{At} = \frac{A_t}{A_{2007}}$$

Donde:

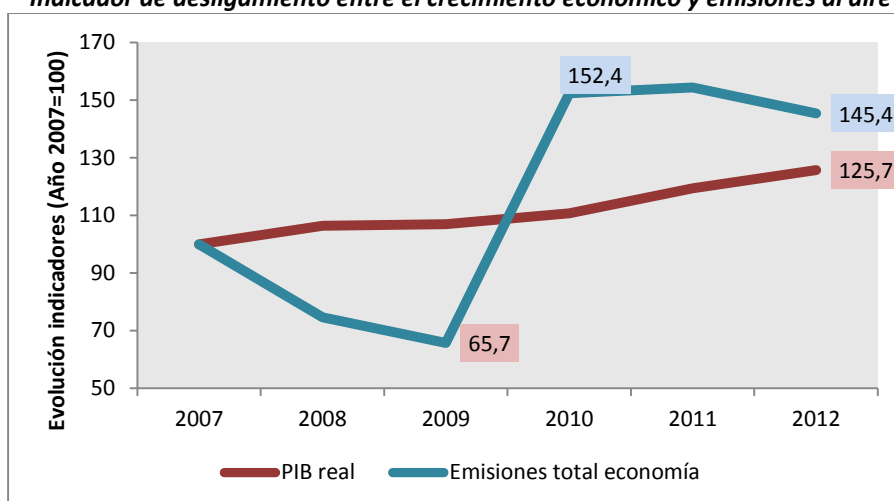
$E_{At}$  = Índice de la variable en análisis (A) en t año t

$A_t$  = Variable en análisis (A) en el año t

$A_{2007}$  = Variable en análisis (A) año base 2007

Transformando los datos en una misma unidad de medida es posible comparar la evolución de variables monetarias con físicas partiendo desde un mismo punto inicial, que en este caso es el año 2007. En el gráfico 31 se observa la evolución del PIB real con la evolución de la emisión de gases criterio por las fuentes móviles, se observa en del 2007 al 2009 existe un desligamiento positivo ya que el PIB real muestra una tasa de crecimiento mayor a la de las emisiones, pero para el año 2010 esta realidad cambia a un desligamiento negativo debido a que las emisiones aumentan drásticamente.

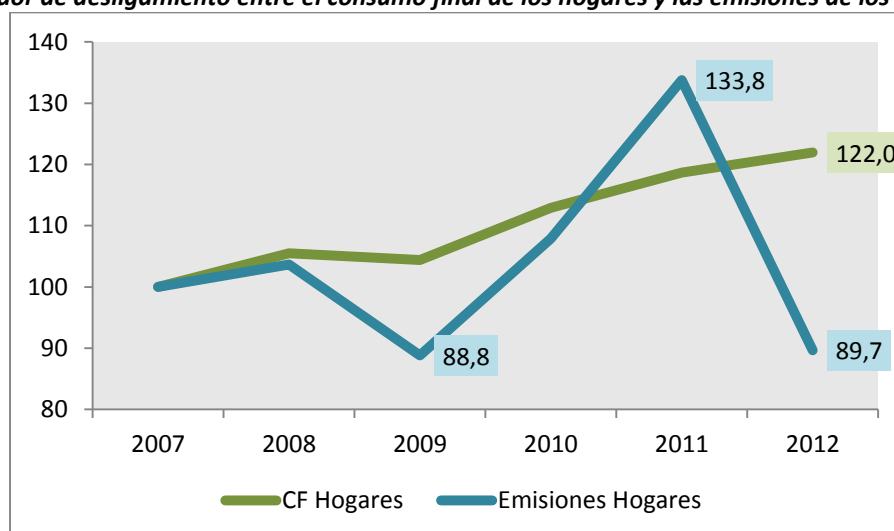
**Gráfico 31**  
**Indicador de desligamiento entre el crecimiento económico y emisiones al aire**



Fuente: Disertación de grado Franco Carvajal, BCE 2015.  
Elaboración: Franco Carvajal

En lo que respecta a la contaminación vehicular de los hogares, en el gráfico 32 muestra la evolución del consumo final de los hogares <sup>41</sup> (CFH) registrado en cuentas nacionales, con la evolución de las emisiones que generan. Al igual que en el anterior gráfico se observa que existe un desligamiento positivo hasta el año 2009, luego las emisiones comienzan a crecer en mayor proporción que el CFH hasta el año 2011, lo que demuestra un comportamiento negativo; sin embargo del 2011 al 2012 se observa un desligamiento positivo.

**Gráfico 32**  
**Indicador de desligamiento entre el consumo final de los hogares y las emisiones de los hogares**

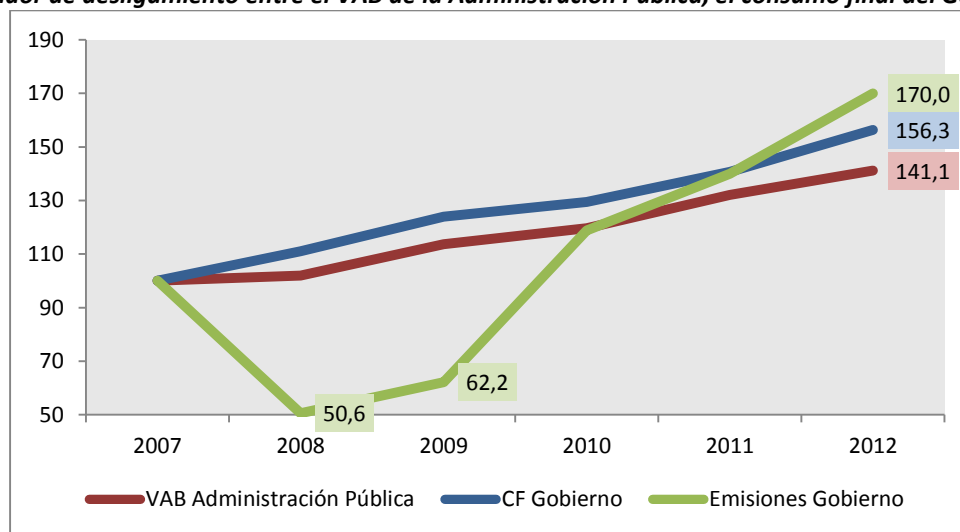


Fuente: Disertación de grado Franco Carvajal, BCE 2015.  
Elaboración: Franco Carvajal

<sup>41</sup> El gasto del consumo final de los hogares es el realizado por los hogares residentes en bienes o servicios de consumo. Incluye la compra de bienes y servicios, el valor estimado de las transacciones de trueque, los bienes y servicios recibidos en especie, y los bienes y servicios producidos y consumidos dentro del mismo hogar (Naciones Unidas et al, 2008).

Finalmente en el gráfico 33 se presenta la variación del valor agregado bruto (VAB) de la Administración Pública del país, el del consumo final del Gobierno (CFG) y las emisiones generadas por el uso de transporte del Gobierno. En primer lugar se observa los agregados económicos del gobierno muestran una evolución similar, luego se observa que las emisiones del gobierno disminuyen más que proporcionalmente comparando con las emisiones de los hogares, así mismo se observa un desligamiento positivo al 2009, pero de este año al 2012 se observa un desligamiento negativo debido al aumento del parque vehicular del Estado pasando de 9.537 autos en el año 2007 a 23.134 autos en el 2012.

**Gráfico 33**  
**Indicador de desligamiento entre el VAB de la Administración Pública, el consumo final del Gobierno**



Fuente: Disertación de grado Franco Carvajal, BCE 2015.

Elaboración: Franco Carvajal

### Producto Interno Neto ajustado por los costos de la degradación del aire

Como se explicó en la fundamentación teórica, el PIN verde busca incluir los costos ambientales que generan las actividades humanas en el agotamiento y la degradación de los recursos naturales y de los ecosistemas. Para lograr cumplir con el tercer objetivo de esta investigación, se desarrolla un indicador similar al PIN verde que considere los costos de la externalidad de la contaminación vehicular en la pérdida de la calidad del aire. La propuesta del investigador para este indicador tiene el nombre de “Producto Interno Neto ajustado por los costos de la Degradación del Aire (PIADA)”, considerando los datos obtenidos de la valoración en la Cuenta Económica. El indicador se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$PIADA_t = PIB_t - CKF_t - CADA_t$$

Donde:

$PIADA_t$  = Producto Interno Neto ajustado por los costos de la degradación del aire en dólares nominales

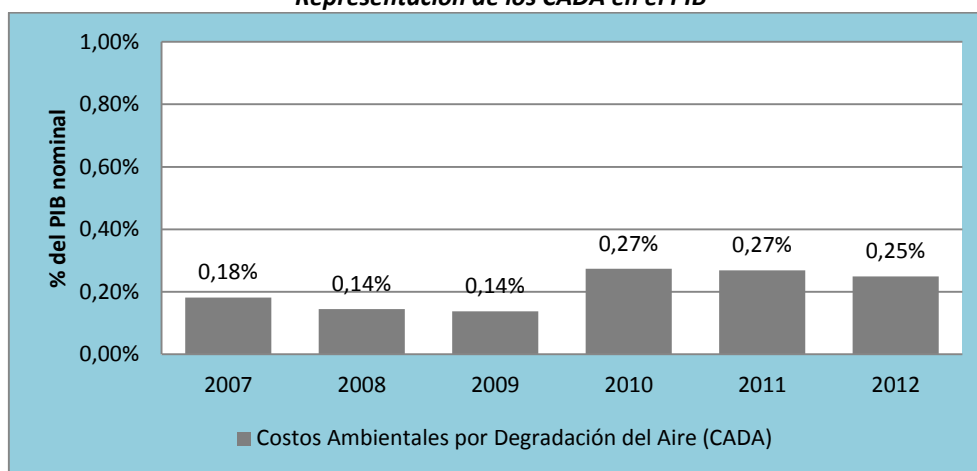
$PIB_t$  = Producto Interno Bruto en dólares nominales.

$CKF_t$  = Consumo de capital fijo

$CADA_t$  = Costos Ambientales degradación del aire por contaminación vehicular en dólares nominales

Los resultados y análisis de este indicador se presentan en la tabla 35 y en el gráfico 34. El PIADA permite conocer que el costo económico de la externalidad de la contaminación vehicular que se tendría que asumir por la degradación del aire (CADA) fue del 0,18% del PIB en el año 2007, considerando un aumento de este porcentaje para el año 2010 del 0,27% para que finalmente en el año 2012 sea del 0,25%. Considerando estos costos ambientales, se concluye que la presión en el ambiente para este periodo ha aumentado reflejado no solamente en la cantidad de emisiones generadas, sino también en el aumento de los costes ambientales generados, los cuales deberían internalizarse dentro de la economía para poder disminuir la contaminación y llegar a un “óptimo” en la generación de emisiones. Adicionalmente, se observa que en el periodo de análisis la tasa del crecimiento del PIB nominal en promedio fue del 11,6 % al igual que el crecimiento porcentual del PIADA.

**Gráfico 34**  
**Representación de los CADA en el PIB**



Fuente: Disertación de grado Franco Carvajal, BCE 2015.

Elaboración: Franco Carvajal

El objetivo de este indicador es que la relación entre los CADA y el PIB sea menor, sin embargo la elaboración de este tipo de indicadores como el PINV o el PIADA en este estudio, no brindan una perspectiva completa sobre la sustentabilidad de la economía, más bien la utilidad de este tipo de indicador, es que permite integrar variables ambientales en las medidas de crecimiento económico.

**Tabla 35**  
**Producto Interno Neto ajustado por los costos ambientales de la degradación del aire (PIADA)**  
**(Miles de dólares corrientes)**

Variable	2007	2008	2009	2010	2011	2012 (prov*)	% PIB 2012
<b>PRODUCCIÓN</b>	89.442.149	107.268.053	105.971.529	117.654.089	135.052.983	147.882.752	
- Consumo Intermedio	40.931.246	47.717.151	46.958.254	51.154.629	58.516.768	64.327.714	
<b>= VALOR AGREGADO BRUTO (VAB)</b>	<b>48.510.903</b>	<b>59.550.902</b>	<b>59.013.275</b>	<b>66.499.460</b>	<b>76.536.215</b>	<b>83.555.038</b>	
+ Otros Elementos del PIB**	2.496.874	2.211.733	3.506.411	3.055.907	2.740.449	4.068.373	
<b>= PRODUCTO INTERNO BRUTO (PIB)</b>	<b>51.007.777</b>	<b>61.762.635</b>	<b>62.519.686</b>	<b>69.555.367</b>	<b>79.276.664</b>	<b>87.623.411</b>	100,00%
- Consumo de Capital Fijo (CKF)***	6.181.242	7.231.375	7.760.766	9.282.099	9.827.292	10.861.971	12,40%
<b>=PRODUCTO INTERNO NETO (PIN)</b>	<b>44.826.535</b>	<b>54.531.260</b>	<b>54.758.920</b>	<b>60.273.268</b>	<b>69.449.372</b>	<b>76.761.440</b>	87,60%
<b>- Costos Amb. degradación aire por fuentes móviles (CADA)</b>							
Monóxido de carbono (CO)	83.256	74.735	71.783	170.374	188.304	197.971	
Compuestos orgánicos totales (COT)	4.303	6.527	6.307	8.984	11.222	9.875	
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	4.080	6.219	6.008	8.529	10.662	9.280	
Óxidos de nitrógeno (NOx)	338	555	523	706	883	434	
Material particulado (PM10)	317	518	491	662	821	464	
Material particulado (PM2.5)	280	456	432	582	723	416	
<b>=PRODUCTO INTERNO NETO AMBIENTAL DEGRADACIÓN DEL AIRE (PIADA)</b>	<b>44.733.963</b>	<b>54.442.250</b>	<b>54.673.376</b>	<b>60.083.430</b>	<b>69.236.757</b>	<b>76.543.001</b>	87,35%

\* prov: datos provisionales de BCE.

\*\* Los otros elementos del PIB incluye: Otros impuestos indirectos sobre productos, subsidios sobre productos, derechos arancelarios, impuesto al valor agregado (IVA).

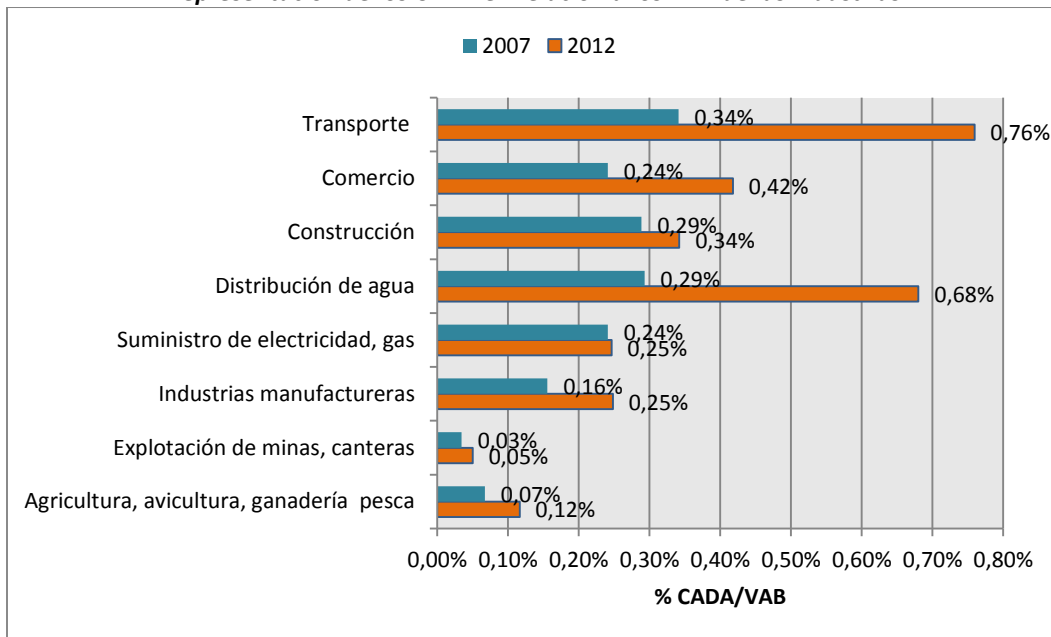
\*\*\* datos estimados del CKF a partir del año 2011

Fuente: Disertación de grado Franco Carvajal, BCE 2015.

Elaboración: Franco Carvajal

Otro análisis que se puede hacer similar a la del PINAE, es relacionando los CADA de cada sector industrial con su valor agregado en el PIB. En el gráfico 35 se presentan estos resultados para el año 2012, y se observa que esta relación es más alta en la industria del Transporte con el 0,76%, seguido por el suministro de agua con el 0,68%, el comercio con el 0,42%, la construcción con el 0,34% y las manufacturas con el 0,25%, finalmente el resto de industrias en menor porcentaje.

**Gráfico 35**  
**Representación de los CADA en relación a los VAB de las industrias**



Fuente: Disertación de grado Franco Carvajal, BCE 2015.  
Elaboración: Franco Carvajal

### Relación entre las emisiones de las industrias, los CADA y VAB

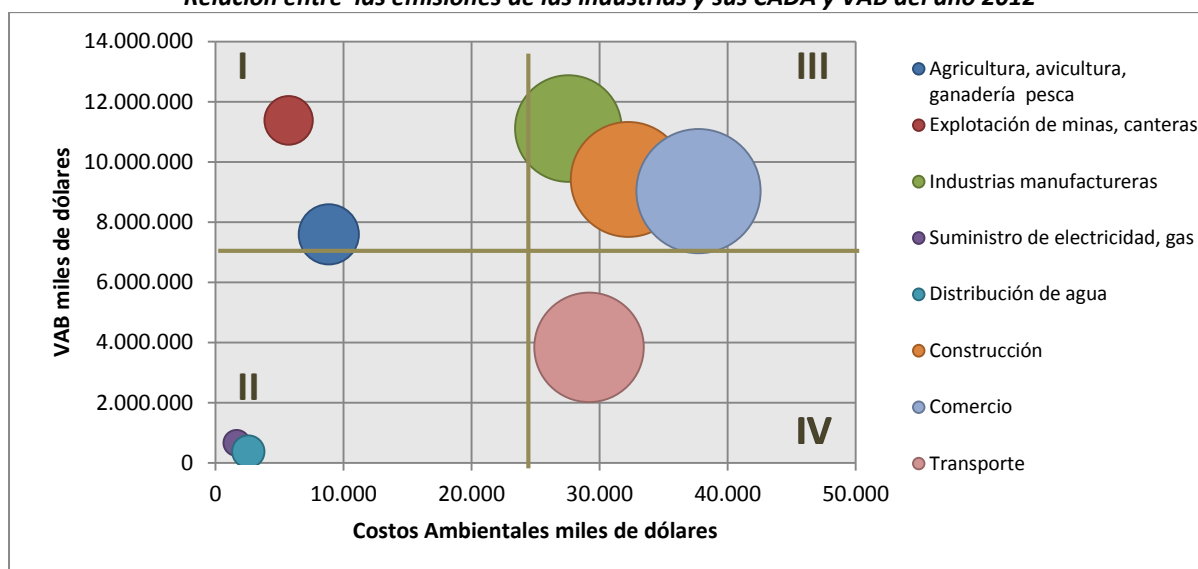
Este indicador, busca poner en evidencia al mismo tiempo el valor de los costos ambientales por la contaminación al aire de las industrias, el valor agregado en el PIB (en dólares reales) y el volumen de emisiones generadas en un año. Los análisis de estas variables se clasifican de acuerdo a la ubicación de los resultados. En los siguientes literales se presentan los cuatro posibles análisis de los resultados de acuerdo al cuadrante en que se ubiquen las industrias.

- I. Las industrias que se encuentren en el primer cuadrante significa que tienen un alto valor agregado pero con costos ambientales relativamente bajos debido a diferentes causas como: bajas cantidades de emisiones vehiculares, parque automotor moderno, inversión en filtros y catalizadores para sus vehículos, mejores insumos de combustible.
- II. Las industrias que se encuentran en el segundo cuadrante significa que tienen un aporte al PIB relativamente bajo, con un volumen de emisiones bajo y con costos ambientales por la contaminación vehicular bajos. Las industrias de este cuadrante si desean aumentar su producción tienen la oportunidad de implementar estrategias de eficiencia en la producción, tener buenas prácticas ambientales, e invertir en energías limpias y tecnologías para lograr llegar al cuadrante 1 y evitar llegar al cuadrante 3.
- III. Las industrias que se encuentran en el tercer cuadrante significa que su alto valor agregado en el PIB tiene efectos de altos costos ambientales y por ende de altas emisiones de contaminantes.

- IV. Las industrias en el cuarto cuadrante emiten una gran cantidad de emisiones al aire con altos costos ambientales, pero tienen relativamente un bajo valor agregado en la economía. Este cuadrante se considera como no deseado, justamente porque tiene altos costos por la contaminación y genera relativamente bajos ingresos en la economía.

En el gráfico 36 se presentan estas relaciones, mediante el cual se observa que para el año 2012 en el cuadrante 1 se encuentran: la industria de explotación de minas y canteras y el sector agropecuario. Estas industrias muestran un bajo volumen de emisiones vehiculares con bajos costos ambientales pero con un alto VAB en la economía, esto se debe principalmente a que el uso de vehículos no está relacionado directamente a sus procesos productivos, por lo que su parque vehicular es pequeño en relación a los sectores del transporte o comercio. En el cuadrante 2 se encuentran las industrias de suministro de agua y suministro de electricidad, ambas industrias ofrecen servicios básicos para el desarrollo y bienestar de la población y demuestran un comportamiento normal ya que su contaminación vehicular, costos ambientales y VAB son relativamente bajos.

**Gráfico 36**  
**Relación entre las emisiones de las industrias y sus CADA y VAB del año 2012**



Fuente: Disertación de grado Franco Carvajal  
Elaboración: Franco Carvajal

Por otra parte en el cuadrante 3 se encuentran las industrias de manufacturas, construcción y comercio, quienes por el tamaño de las circunferencias generan altas cantidades de emisiones vehiculares y altos costos ambientales, pero así mismo tienen un alto aporte al PIB; esto significa que el Estado puede formular políticas que incentiven mejorar la calidad de los combustibles y el uso de tecnologías que disminuyan la contaminación de estas industrias, es en estas industrias donde la política ambiental debe mostrar interés para coordinar estrategias que permitan mantener el valor agregado de pero que al mismo tiempo generen menor cantidad de contaminantes.

Finalmente en el cuadrante 4 se encuentra la industria del transporte y almacenamiento<sup>42</sup>, que por sus objetivos productivos utiliza una gran cantidad de vehículos y combustibles como medios de producción principal para generar ingresos, pero genera un aporte al PIB relativamente bajo, con altas emisiones vehiculares y altos costos ambientales por esta contaminación. Esto significa que muestra niveles de ineficiencia en sus procesos productivos comparando con el resto de industrias, debido a la estructura de precios de sus servicios, poca importancia en los impactos ambientales, alta dependencia de combustibles fósiles y subsidios de los combustibles que no permiten incluir en los precios la externalidad de la contaminación vehicular.

---

<sup>42</sup> Provee el servicio de carga y pasajeros, por vía férrea, caminos, agua y aire y actividades asociadas a terminales e instalaciones de carga y almacenaje (INEC, 2012:133).

## ***Conclusiones***

La revisión bibliográfica de los principios del desarrollo sostenible y de las relaciones entre ambiente y fallas de mercado, revelaron que bajo el libre comportamiento del mercado, el sistema económico no es capaz de evidenciar los beneficios que presta el ambiente para el desempeño económico y el bienestar de la población, así como los efectos negativos que ocasionan las actividades humanas en el ambiente. Este problema se conoce en la economía del bienestar como fallas de mercado, y una de las principales fallas que afectan al ambiente son las externalidades negativas, que según la teoría económica revisada, se refieren a las situaciones en que el consumo o la producción de un individuo o empresa afectan al bienestar de cualquier otra persona hasta que las condiciones de optimalidad de Pareto no puedan ser cumplidas.

La contaminación es un tipo de externalidad que está presente prácticamente en cualquier actividad productiva y de consumo, sus efectos pueden causar diferentes enfermedades en la población de un territorio, y la degradación de los bienes ambientales, generando pérdidas en el bienestar humano y de otros seres vivos. Esta pérdida de bienestar social se traduce en costos que deben ser internalizados en la economía; sin embargo desde el esquema económico tradicional estos costos no son usualmente incluidos en los análisis económicos, debido principalmente a la ausencia de mercados que permitan su gestión e internalización. Por lo cual, expertos en economía ambiental y de las Naciones Unidas afirman que las metodologías de valoración y de contabilidad ambiental, ayudan a responder las necesidades de información sobre externalidades negativas, valorar los costos de las externalidades, e incorporar estos datos en los análisis económicos y de sostenibilidad.

Es así que en el país la construcción de cuentas ambientales llevado a cabo por el MAE (proyecto Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional-SCAN) desde el año 2012 busca responder a estas necesidades de información, logrando avances exploratorios importantes para la elaboración de la cuenta satélite ambiental en cuanto a metodologías y datos preliminares. Sin embargo, al considerar la importancia y utilidad de las cuentas ambientales como una herramienta de información para el monitoreo y planificación de la sostenibilidad económica del país, se ha constatado que la construcción del SCAN sigue siendo una iniciativa a mediano y a largo plazo que requiere del apoyo político y técnico de las autoridades del gobierno y de los generadores y usuarios de la información del país.

Además, el proyecto SCAN aún no se ha explorado la valoración económica de los servicios ecosistémicos y de la degradación ambiental; por lo que esta investigación constituye una propuesta importante para valorizar la degradación ambiental del recurso aire y complementar la información de la Cuenta de Emisiones al Aire construida por el MAE.

Para entender los problemas de la contaminación vehicular y de la calidad del aire en el país, la investigación reveló que las causas fundamentales de la contaminación al aire se relacionan directamente con aspectos del parque automotor, energéticos, e institucionales; como por ejemplo la falta de planificación ambiental en las zonas urbanas, la falta de estándares ambientales, la baja

calidad de los combustibles, y la falta de inversión en tecnologías eficientes; considerando que el mayor responsable de la contaminación al aire es el crecimiento del parque vehicular.

Por estos motivos, en la actualidad la calidad del aire ha cobrado mayor importancia a nivel local, con avances significativos en la ciudad de Quito y Cuenca, pero se ha observado que en el resto de ciudades no cuentan con directrices de planificación y seguimiento claras para gestionar este recurso. Sin embargo la implementación del Plan Nacional de Calidad del Aire (PNCA) en el año 2010, y la Norma de Calidad del Aire Ecuatoriana (NECA) en el año 2011, han significado importantes avances para establecer las directrices necesarias para una adecuada regulación, seguimiento, y coordinación de la gestión de la calidad del aire a nivel nacional, así como de un plan estratégico para el mejoramiento de los combustibles.

La investigación realizada del parque automotor reveló que para este periodo existió en la economía del país un panorama favorable para el aumento del parque vehicular debido en gran parte por el aumento del gasto fiscal, la liquidez del sistema financiero y las facilidades de crédito en el sector; estas condiciones contribuyeron a mejorar el poder adquisitivo de las y los ecuatorianos para que exista un incremento significativo de compra de nuevos vehículos.

Es así que del 2007 al 2012 existió un crecimiento del 64% del parque vehicular, y un crecimiento significativo del 32% de las ventas de autos; principalmente de autos pesados y autos livianos. Con este hallazgo y a juzgar por las cifras obtenidas, se constató que los costos ambientales estimados en este estudio aumentaron progresivamente en el periodo analizado a medida que aumenta el parque vehicular, impulsado a su vez, por el comportamiento del mercado automotriz y del crecimiento económico.

En base a estos hallazgos, el objetivo principal de esta investigación fue el de elaborar una cuenta económica nacional de las emisiones al aire, mediante la valoración del costo ambiental generado por la contaminación de las fuentes móviles en la pérdida de la calidad del recurso aire en el Ecuador para el periodo 2007-2012. Para cumplir mi objetivo principal, se aplicó el método de valoración de costos de mantenimiento propuesto por las Naciones Unidas, para estimar el costo de evitar la generación de residuos por cambios en los patrones de producción y consumo. Para desarrollar este método, el cual constituye mi segundo objetivo específico, se utilizó la información de los inventarios de emisiones vehiculares que registra la Cuenta de Emisiones al Aire del proyecto SCAN, y la información de costos y de reducción de emisiones de los proyectos Ecopaís y del programa de catalizadores Retrofit.

Basicamente para la aplicación de este método de valoración, fue necesario establecer supuestos en base a los mismos que propone el SEEA y otros propuestos por el investigador. El método demostró que estos proyectos podría disminuir en promedio un 21% del total de emisiones generadas; las cuales al no reducirse en la realidad, representarían la causa de la degradación del aire.

Los datos obtenidos de la Cuenta Económica, revelaron que el coste de la externalidad de la pérdida de la calidad del aire aumentó considerablemente en el periodo analizado, llegando a un costo de la externalidad para el 2012 de 218,4 millones de dólares. De este total el 87,8% debería ser gastado

para disminuir las emisiones de CO, seguido por los hidrocarburos (COT+COV) con el 11%, material particulado (PM10+PM2.5) con el 0,8%, y los NOx con el 0,4%. Por tipo de combustible el estudio reveló que en los costos para disminuir la contaminación de los vehículos a gasolina era los más altos (74,5%), en comparación con los costos de los vehículos a diésel que representaron el 25,5% en datos promedio.

Para lograr cumplir con el primer objetivo específico de esta disertación, se logró construir un cuadro de oferta y utilización física de las emisiones vehiculares, en sintonía con el esquema de cuentas nacionales, lo que ha permitido identificar a las principales industrias que ofertan o envían emisiones al aire por tipo de contaminante. De la misma forma utilizando el método de valoración de las Naciones Unidas, se logró construir un cuadro similar al de oferta y uso físico con los costos que tendrían que incurrir los hogares, las industrias y el gobierno para disminuir la contaminación vehicular, que apoyen a la elaboración de alternativas para internalizar los costos de las externalidades.

Los resultados de este análisis revelaron que el sector de industrias es el principal causante de la contaminación vehicular, representando en promedio el 68% del total de emisiones generadas, en segundo lugar fueron los hogares con el 31%, y finalmente el gobierno con el 1%. Además se demostró que las industrias que más han generado emisiones vehiculares son el sector del comercio, el sector de la construcción, las manufacturas, y el sector del transporte (si se considera solamente a estas industrias, estas representan el 75% de todas las emisiones vehiculares generadas por el sector industrial, y el 58% del total de emisiones generadas por el país). De esta contaminación se estimó que los costos ambientales generados por las industrias tuvieron un valor de 173,0 millones de dólares, los hogares un valor de 42,5 millones de dólares, y el gobierno un valor de 2,8 millones de dólares para el año 2012.

Con los resultados obtenidos, el estudio permitió construir una serie de indicadores que permitan observar el comportamiento de la economía nacional con el aumento de la contaminación vehicular. Los indicadores de eficiencia, de intensidad y de desligamiento son referentes oportunos al momento de relacionar la cantidad de emisiones generadas por un monto de valor agregado producido en el PIB. El mejor ejemplo de este análisis es el indicador de intensidad, en el que se estima que para producir un millón de dólares de valor agregado en el PIB se tuvieron que emitir 27,5 toneladas de emisiones vehiculares para el 2007, aumentando a 31,8 toneladas en el año 2012. Con esto se reveló que la velocidad de generar emisiones vehiculares en el país fue mayor a la del crecimiento real de la economía.

Para el desarrollo del tercer objetivo de este estudio, se logró construir el indicador Producto Interno Neto ajustado a los costos ambientales del aire (PIADA) que se deriva del PIB, descontando la depreciación del capital físico, y los costos de la pérdida de la calidad del aire valorados en esta disertación. Este indicador refleja que los costos ambientales de la contaminación vehicular aumentaron en su relación con el PIB, llegando a representar el 0,18% y 0,25% entre el 2007 y 2012. Comparado con otros países, este dato es relativamente bajo, considerando el 5% del PIB que representan los costos de externalidades negativas del transporte en países desarrollados.

Con estos resultados se ha observado que en el país las autoridades municipales y de gobierno no han implementado con anticipación planes efectivos que permitan disminuir la contaminación vehicular. Sin embargo los planes implementados desde el año 2010 con el PNCA, la NECA; y los instrumentos de política ambiental como el impuesto a la contaminación vehicular, la exoneración de aranceles a vehículos híbridos y eléctricos, y el aumento de estándares ambientales para la matriculación vehicular; proponen tener impactos directos e indirectos en la disminución de la contaminación vehicular. Por lo tanto, la evaluación de impacto y seguimiento de estas políticas es clave para presentar resultados que identifiquen si están logrando disminuir la externalidad.

En general se puede concluir con los hallazgos encontrados, que los costos de la contaminación vehicular en la degradación del recurso aire se relacionan directamente con el aumento del parque vehicular y la composición por tipo de vehículo del mismo; esto se relaciona indirectamente con la baja calidad de los combustibles, y con el precio relativamente bajo de los combustibles a consecuencia de los subsidios aplicados por el gobierno; que si bien se fundamentan en un principio de fomentar la producción, la realidad es que ha sido una política mal focalizada y ha influenciado en gran medida al aumento del parque vehicular lo que genera mayor contaminación. Es así que los subsidios a los combustibles presentarían un obstáculo técnico y político si se propone internalizar los costos de la externalidad por medio de los precios de los combustibles.

Finalmente es necesario considerar que los datos estimados como costos ambientales en este estudio, no buscan realmente medir la degradación o el impacto ambiental perfectamente, sino más bien presentar insumos de información que permitan sustentar la formulación de políticas para que se reduzcan los costos de esta externalidad en el país, brindando un panorama general de los problemas de la contaminación vehicular, y algunas propuestas para su solución. Además las valoraciones de las externalidades del transporte se consideran temas complejos entre los expertos por sus diversas metodologías y distintos alcances, por lo que la consistencia de esta investigación puede mejorarse con la calidad de la estadística base y mayores estudios e investigaciones en este tema a nivel local.

## ***Recomendaciones***

Los efectos negativos de la contaminación vehicular deben ser tratados como un problema social que deben ser asumidos y concientizados por toda la sociedad ecuatoriana. Si bien los vehículos y el transporte son importantes para el desarrollo económico y el bienestar moderno, las externalidades que este sector ocasiona (pérdida de la calidad del aire, enfermedades en la población, efectos en el cambio climático) generan costos que demandan ser cuantificados, analizados e internalizados. Ante esta consideración general y en base a las conclusiones presentadas en este estudio, se presentan las siguientes recomendaciones tanto para la realización de nuevos estudios con mayor profundidad en este tema, como para la creación de instrumentos de política que busquen disminuir estos costes externos.

A pesar de que la metodología de cuentas ambientales de las Naciones Unidas acepte el uso de factores de emisión de gases de otros países para las estimaciones nacionales (como es el caso del Ecuador), se recomienda ajustar y mejorar las estimaciones de la Cuenta de Emisiones al Aire con la construcción de factores de emisión nacionales que representen la realidad del parque vehicular nacional y territorial. Para esto será necesario de un estudio técnico ambiental que considere diferentes factores como el octanaje de los combustibles usados y la composición del parque vehicular nacional. Esto supone que los cálculos de las emisiones vehiculare podrán ajustarse a los cambios y mejoras de los combustibles, uso tecnológico y políticas enfocadas a la reducción de la contaminación que tenga el país.

Otro punto importante que se recomienda tratar en la Cuenta de Emisiones al Aire es la información de las emisiones de efecto invernadero (GEI), que a pesar de que esta información se encuentra desagregada con pocos avances en el MAE, se recomienda su integración y análisis en el trabajo de cuentas ambientales a medida que mejoran los resultados y el alcance de los mismos a nivel nacional. Con este alcance se podrán obtener mejores análisis tanto al respecto de las emisiones que afectan a la salud humana, como aquellas que el país emite y afectan al cambio climático.

Si bien el objetivo central de esta investigación fue la de calcular los costos que tendría que realizar la economía para disminuir la contaminación vehicular como una externalidad negativa en la calidad del aire, es indispensable complementar este tipo de estudios con los costos de la externalidad en la salud de las personas y en el desempeño de diferentes actividades productivas, tomando en cuenta que son pérdidas en el bienestar de la sociedad.

Este costo social puede identificarse mediante los costos que realizarían las personas para sanarse de enfermedades respiratorias ocasionadas por la contaminación vehicular, los costos que debe realizar el Estado en hospitales y centros de salud para curar a estas personas, y por los costos que ocasiona el tráfico vehicular en el tiempo perdido. Estos temas podrían ser temas de nuevas disertaciones de grado, investigación económica ambiental, y estudios de análisis para las autoridades del gobierno.

Sin embargo es necesario considerar la complejidad en abordar estos temas desde un enfoque nacional por la información y diversidad de metodologías, en todo caso se pueden utilizar estudios realizados a nivel local como en Quito, Guayaquil o Cuenca para una exploración a nivel urbano.

La calidad de los combustibles es un tema fundamental para disminuir la contaminación, si bien la calidad de la gasolina Extra pasó de 81 a 87 octanos y la Súper de 90 a 92 octanos en el año 2011, la calidad del combustible nacional sigue siendo relativamente bajo comparado al estándar mínimo de octanaje de gasolinas de la Unión Europea de 95 octanos. Por lo que se recomienda actualizar los parámetros de calidad de los combustibles en relación a aquellas normas recomendadas internacionalmente; con planes de acción al corto, mediano y largo plazo considerando la capacidad productiva de derivados del país (principalmente con el funcionamiento de la Refinería del Pacífico), e incluyendo criterios de salud pública y de afectación al aire a nivel local en estos parámetros.

Al corto plazo, la propuesta de Ecopaís para mejorar la calidad de la gasolina, reducir la contaminación y mejorar el funcionamiento de vehículos, es una alternativa viable y económicamente oportuna para el país, debido al ahorro de 0,05 centavos/galón por concepto de subsidio de las gasolinas, un ahorro en las importaciones de naftas, y generar nuevas industrias y mayor empleo para el procesamiento de la caña. Sin embargo para la implementación de este biocombustible, se deben considerar los impactos ambientales en la degradación del suelo ocasionados por los monocultivos de caña y palma africana, así como las posibles afectaciones en la agricultura y soberanía alimentaria; temas que no han sido nombrados en la evaluación de impacto ambiental del proyecto.

La calidad de los combustibles debe estar acompañado de un adecuado sistema de precios considerando el principio de sostenibilidad del que “contamina paga”. Por lo cual se recomienda revisar la política del subsidio a los combustibles considerando aspectos de progresividad y eficiencia, es decir que los beneficiarios de esta subvención sean verdaderamente aquellos vehículos que son usados específicamente con fines productivos y de transporte público, considerando aspectos como: el tipo de actividad y tamaño de la empresa, y el cumplimiento de estándares mínimos ambientales para su circulación. Mientras que el subsidio para los vehículos sin fines productivos debe ser menor y progresivo, considerando aspectos como la procedencia del auto, cilindraje del motor, antigüedad y costo.

Técnicamente, con este ajuste de la política de subsidios se podría reducir la demanda de vehículos con alta capacidad de cilindraje (aquellos de mayor consumo de gasolina y que en mayor medida se benefician del subsidio) sin afectar a las actividades productivas del país; sin embargo un ajuste de la política de tal magnitud puede tener una gran oposición social ya que el bajo precio de los combustibles se ha convertido en un “derecho adquirido”, que en la economía del sector público constituye un grave problema del paternalismo que puede tener el Estado por su gasto fiscal en la población. Sin embargo es necesario que las autoridades del gobierno y la población puedan llegar a un consenso político participativo que conlleve a un menor impacto económico en las microempresas y transportistas que se benefician de este subsidio, resaltando en el consenso los beneficios ambientales y sociales de esta propuesta.

El ahorro e ingresos en esta política deberían ser canalizados a solventar los problemas de la externalidad de la contaminación vehicular, y a financiar los diferentes proyectos del Plan Nacional de Calidad Ambiental (PNCA), con mecanismos que evalúen el impacto y eficiencia de la política en disminuir los costos sociales. Estos mecanismos de seguimiento y evaluación deben aplicarse de igual manera a la política de Impuesto a la Contaminación Vehicular vigente desde el año 2011, con el fin

de evaluar si su aplicación está corrigiendo o disminuyendo la externalidad, o si el impuesto está cumpliendo una función simplemente recaudatoria.

Otro mecanismo de política que puede ser utilizado para la internalización de los costos de la externalidad, es el aumento del precio en las tarifas de peajes de las carreteras, que habitualmente son utilizadas con fines recaudatorios, pero puede ser factible incorporar en la tarifa un pago económico adicional como compensación por la contaminación generada, de acuerdo al tipo de vehículo y su antigüedad. Cabe recalcar, que estos mecanismos ya han sido implementados en Alemania y Suiza para los vehículos pesados obteniendo muy buenos resultados en reducir el coste de la externalidad.

En cuanto a instrumentos regulatorios, generalmente se establecen estándares con los niveles máximos de emisiones permitidos y dispositivos esenciales para el funcionamiento del vehículo. En el país ya existen mecanismos de revisión y cumplimiento de estándares nacionales, los cuales deben ser mejorados y actualizados de acuerdo a los estándares internacionales recomendados, con revisiones periódicas de los vehículos en las carreteras. Sin embargo es necesario considerar que la efectividad de esta regulación y control puede conllevar a tener altos costes administrativos para su aplicación.

Los indicadores construidos en esta investigación como el de productividad, intensidad, desligamiento y el Producto Interno Neto ajustado a los costes de la degradación del Aire (PIADA), constituyen importantes propuestas para obtener datos resumidos de las relaciones entre la economía, el parque vehicular y las presiones contaminantes en el aire. Esta información constituye un insumo fundamental para coordinar acciones de políticas basadas con datos consistentes que incluyan de mejor forma los aspectos de la sostenibilidad.

Finalmente, los instrumentos de política recomendados en esta parte de la disertación proponen ayudar a contraer la demanda de vehículos que son altamente contaminantes, sin embargo se considera más efectivo internalizar los costes de la externalidad en el precio de los combustibles, que mediante imposiciones a la circulación vehicular; debido a que administrativamente los impuestos a los combustibles tienen menores costes de transacción y pueden ser evaluados con mayor efectividad, a diferencia de los impuestos a la contaminación vehicular que generalmente sus costes administrativos y de regulación son mayores.

Sin embargo con este argumento, la política puede perder progresividad y focalización, para lo cual los análisis de coste beneficio son relevantes al momento de apoyar y decidir una política internalizadora, además de considerar aspectos de eficiencia y equidad para medir los impactos posibles en la solución de estos problemas socioambientales.

## Referencias bibliográficas

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [EPA]. (2015). *National Clean Diesel Campaign (NCDC)*. Recuperado el 25 de 03 de 2015, de Technologies Diesel Retrofit Devices: <http://www.epa.gov/cleandiesel/technologies/retrofits.htm>
- Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Suramérica [Andes]. (25 de abril de 2014). *La tercera gasolina más barata de Suramérica se consume en Ecuador*. Obtenido de <http://www.andes.info.ec/es/noticias/tercera-gasolina-mas-barata-suramerica-consume-ecuador.html>
- Aguilera, F. (2012). *Elinor Ostrom, las instituciones y los recursos naturales de propiedad común: pensando con claridad mas allá de los panaceas*. San Cristóbal de La Laguna: Departamento de Economía Aplicada. Universidad de Laguna.
- Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución del Ecuador*. Montecristi: Autor.
- Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador [AEADE]. (2010). *Anuario 2010*. Quito: Autor.
- Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador [AEADE]. (2013). *Anuario 2013*. Quito: Autor.
- Azqueta, D. (1994). *Valoración Económica de la Calidad Ambiental*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Azqueta, D. (2007). *Introducción a la Economía Ambiental*. Estados Unidos: Mc Graw Hill.
- Banco Central del Ecuador [BCE]. (2013). *Boletines Estadísticos Anuales*. Recuperado el 30 de abril de 2014, de <http://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/327-ver-bolet%C3%ADn-anuario-por-a%C3%B1os>
- Banco Central del Ecuador [BCE]. (2015). *Información Económica, Estadísticas Económicas*. Recuperado el 25 de marzo de 2015, de Cuentas Nacionales: <http://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/CuentasNacionales/Anuales/Dolares/indicecn1.htm>
- Banco Mundial. (1992). *Informe sobre el Desarrollo Mundial. Desarrollo y Medio Ambiente*. Washington: Autor.
- Banco Mundial. (2015). *Datos/Indicadores*. Recuperado el 5 de mayo de 2015, de Índice de Gini: [datos.bancomundial.org/indicador/SI.POV.GINI](http://datos.bancomundial.org/indicador/SI.POV.GINI)
- Boncoeur, J. y. (1994). *Historie des idées économiques. Tome 2 de Walras aux contemporains*. Paris: Nathan.
- Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares [CCICEV]. (2007). *Memoria Técnica del Estudio del Programa Retrofit del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: Autor.

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2003). *Sostenibilidad y Desarrollo Sostenible*. Santiago de Chile: División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. Recuperado el 2013
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2005). *Política Fiscal y Medio Ambiente*. Santiago de Chile: Autor.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2013). *Panorama Social en América Latina*. Santiago de Chile: División de Desarrollo Social y la División de Estadísticas de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2007). *Indicadores Ambientales y de Desarrollo Sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: Autor.
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo [CNUMAD]. (2012). *Historia de las Cumbres de la Tierra*. Recuperado el 7 de mayo de 2014, de Naciones Unidas: <http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/unced.html>
- Corporación Municipal de Mejoramiento de la Calidad del Aire de Quito [CORPAIRE]. (2007). *Informe Anual de la Calidad del Aire en Quito*. Quito: Autor.
- Daly, H. (1997). Forum Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz. *Ecological Economics-Elsevier*, 8-9.
- El Comercio. (abril de 2012). *El Nuevo Octanaje de la Gasolina en el Ecuador*. Recuperado el diciembre de 2014, de <http://especiales.elcomercio.com/2012/04/gasolina/>
- El Serafy, S. A. (1989). *Environmental Accounting for Sustainable Development*. Washington: World Bank Symposium.
- EP Petroecuador. (2013). *EL Petróleo en Ecuador. La Nueva era Petrolera*. Quito: Coordinación General de Imagen Empresarial EP Petroecuador.
- Escudero, C., & Reinoso, C. (2014). *Implementación de Inyección de combustible asistida por computador programable con desarrollo de software de competición y modificación completa de motor del vehículo Lada año 1993 modelo 2016*. Riobambaza: Previa a la obtención del título de Ingeniero Automotriz. Facultad de Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Escuela Superior Politécnica del Litoral [ESPOL]. (2008). *Estudio de impacto ambiental del plan piloto de formulación y uso de gasolina extra con etanol anhidrido en la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil: Autor.
- Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Ministerio del ambiente de Ecuador, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2008). *Geo Ecuador 2008, Informe sobre el estado del medio ambiente*. Quito: Autor.
- Falconí, F. (2002). *Economía y Desarrollo Sostenible ¿Matrimonio feliz o divorcio anunciado? El caso de Ecuador*. Quito: FLACSO.

- Glover, D. (2010). *Valorizar el Medio Ambiente*. Ottawa: Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo.
- Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. (2008). *Calidad del aire de Buenos Aires, monitoreo de líquenes como bioindicadores*. Buenos Aires: Gobierno de la Ciudad.
- Guerra, T. (2009). *Análisis del Agotamiento de los Recursos Petroleros en el Ecuador: Una Comparación con el nivel de Riqueza Petrolera para el periodo 1970-2008*. Quito: Disertación previa al título de economista. Facultad de Economía de la PUCE.
- Guevara, R. (s.f.). *Carburadores*. Recuperado el 31 de 03 de 2015, de Separata de Uso Interno- Maquinas Térmicas I:  
<http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/carburadores.pdf>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2012). *Clasificación Nacional de Actividades Económicas*. Quito: Autor.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2012). *Estadísticas Económicas*. Recuperado el 28 de 11 de 2014, de Estadística de Transporte - Base de Datos 2007-2012:  
<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadistica-de-transporte-bases-de-datos/>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2015). *ecuador en cifras*. Recuperado el 25 de 03 de 2015, de Índice de Precios al Consumidor: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/indice-de-precios-al-consumidor/>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía de México [INEGI]. (2009). *Metodología del Cálculo de la Contaminación Atmosférica por Fuentes Móviles 2003-2007*. D.F. México: Autor.
- Jiménez, L. (2001). *Desarrollo Sostenible y Economía Ecológica*. Madrid: Síntesis.
- Labandeira, C. L. (2007). *Economía Ambiental*. Madrid: Pearson, Prentice Hall.
- López, I. (2012). *Tesis Doctoral: Sostenibilidad Débil y Fuerte y Democracia Deliberativa. El caso de la Agenda 21 Local de Madrid*. Getafe: Universidad Carlos III de Madrid.
- Mankiw, G. (2007). *Principios de Economía*. Madrid: Thomson.
- Mendieta, J. (2008). *Economía Ambiental*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Ministerio Coordinador de los Sectores Estratégicos [MICSE]. (2014). *Balance Energético Nacional 2014, año base 2013. Series históricas 1995-2012*. Quito: autor.
- Ministerio del Ambiente [MAE]. (2010). *Plan Nacional de la Calidad del Aire*. Quito: Comité Nacional de la Calidad.
- Ministerio del Ambiente [MAE]. (2011). *Norma de Calidad del aire Ambiente o Nivel de Inmisión, Libro VI Anexo 4*. Quito: Autor.
- Ministerio del Ambiente [MAE]. (2014). *Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional, Exploración inicial 2008-2012. Cuenta de Emisiones al Aire*. Quito: Autor.

- Ministerio del Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. (2003). *Diagnóstico Preliminar Gestión de la Calidad del Aire, Ecuador*. Quito: Autor.
- Morales, J. (2010). *Industria de los Biocombustibles en Ecuador: el estado de situación*. Quito: Tesis previo a la obtención de la Maestría en Relaciones Internacionales con Mención en Economía y Finanzas. Universidad Andina Simón Bolívar.
- Naciones Unidas. (1987). *Our Common Future*. New York: World Commission on environment and Development.
- Naciones Unidas. (1992). *Agenda 21*. Río de Janeiro: Conferencia de la Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD).
- Naciones Unidas. (2002). *Contabilidad Ambiental y Económica Integrada. Manual de operaciones*. Nueva York: Departamento de Asuntos Económicos y Sociales.
- Naciones Unidas. (2012). *The System of Environmental-Economic Accounts (SEEA): Measurement Framework in Support of Sustainable Development and Green Economy Policy*. New York: Autor.
- Naciones Unidas, Banco Mundial, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, Comisión Europea. (2013). *Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica: Contabilidad Experimental de los Ecosistemas*. New York: Autor.
- Naciones Unidas, Comisión Europea, Fondo Monetario Internacional, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, Banco Mundial. (2014). *Sistema de Contabilidad Ambiental Económica (SCAE) 2012 Marco Centra*. New York: Naciones Unidas.
- Naciones Unidas, Comisión Europea, Fondo Monetario internacional, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, Banco Mundial. (2008). *Sistema de Cuentas Nacionales 2008*. Washington: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico [OCDE]. (1989). *Resources Naturelles Renouvelables*. París: Autor.
- Pierri, N. (2005). *Historia del concepto de desarrollo sustentable. Desacuerdos sobre el Desarrollo Sustentable*. México: Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Pigou, A. (1932). *The Economics of Welfare (cuarta edición)*. Londres: Macmillan.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (1990). *Desarrollo Humano Informe*. Bogotá: Autor.
- Publiimagen. (2015). Ecopaís, un biocombustible amigable con el ambiente. *Petróleo & Energía*, 22-25.
- Secretaría de Ambiente del DMQ. (2007). *Reportes de cotizaciones de catalizadores para programa Retrofit del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: Autor.

- Secretaría de Ambiente del DMQ. (2012). *Informe Técnico 634-GCA-12*. Quito: Autor.
- Secretaría de Ambiente del DMQ. (2014). *INFORME DE LA CALIDAD DEL AIRE DE QUITO 2013*. Quito: Autor.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México [SEMARNAT]. (2013). *Inventario de Emisiones*. Obtenido de <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Paginas/InventarioNacionaldeEmisiones.aspx>
- Secretaría del Ambiente del DMQ. (2009). *Inventario de Emisiones Atmosféricas del DMQ*. Quito: Autor.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES]. (2013). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017*. Quito: Autor.
- Serafy, S. E. (2002). *La Contabilidad Verde y la Sostenibilidad*. CE Desarrollo Sostenible.
- Servicio de Rentas Internas [SRI]. (2011). *Reforma Tributaria - Diciembre 2011. Ley de fomento ambiental y optimización de los ingresos del Estado. Resumen de los principales cambios*. Quito: Autor.
- Servicio de Rentas Internas [SRI]. (2012). *Estadísticas*. Recuperado el enero de 2015, de Estadísticas de Recaudación del Periodo Enero - Diciembre 2012: [http://www.sri.gob.ec/web/guest/estadisticas-generales-de-recaudacion?p\\_auth=Fa8IOOFx&p\\_p\\_id=busquedaEstadisticas\\_WAR\\_BibliotecaPortlet\\_INSTANCE\\_EVo6&p\\_p\\_lifecycle=1&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-3&p\\_p\\_col\\_count=2&\\_busquedaEstadisticas\\_](http://www.sri.gob.ec/web/guest/estadisticas-generales-de-recaudacion?p_auth=Fa8IOOFx&p_p_id=busquedaEstadisticas_WAR_BibliotecaPortlet_INSTANCE_EVo6&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-3&p_p_col_count=2&_busquedaEstadisticas_)
- Servicio de Rentas Internas [SRI]. (2013). *Estadísticas*. Recuperado el enero de 2015, de Estadísticas de Recaudación del Periodo Enero - Diciembre 2013: [http://www.sri.gob.ec/web/guest/estadisticas-generales-de-recaudacion?p\\_auth=Fa8IOOFx&p\\_p\\_id=busquedaEstadisticas\\_WAR\\_BibliotecaPortlet\\_INSTANCE\\_EVo6&p\\_p\\_lifecycle=1&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-3&p\\_p\\_col\\_count=2&\\_busquedaEstadisticas\\_](http://www.sri.gob.ec/web/guest/estadisticas-generales-de-recaudacion?p_auth=Fa8IOOFx&p_p_id=busquedaEstadisticas_WAR_BibliotecaPortlet_INSTANCE_EVo6&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-3&p_p_col_count=2&_busquedaEstadisticas_)
- Servicio de Rentas Internas [SRI]. (2014). *Estadísticas*. Recuperado el enero de 2015, de Estadísticas de Recaudación período 2014: [http://www.sri.gob.ec/web/guest/estadisticas-generales-de-recaudacion?p\\_auth=Fa8IOOFx&p\\_p\\_id=busquedaEstadisticas\\_WAR\\_BibliotecaPortlet\\_INSTANCE\\_EVo6&p\\_p\\_lifecycle=1&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-3&p\\_p\\_col\\_count=2&\\_busquedaEstadisticas\\_](http://www.sri.gob.ec/web/guest/estadisticas-generales-de-recaudacion?p_auth=Fa8IOOFx&p_p_id=busquedaEstadisticas_WAR_BibliotecaPortlet_INSTANCE_EVo6&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-3&p_p_col_count=2&_busquedaEstadisticas_)
- Solow, R. (1997). Reply Forum Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz. *Ecological Economics*, Nueva York.
- Steinbuka, I. (2010). *Límites del PIB como indicador de crecimiento económico y progreso social*. EUROSTAT.

- Sterner, T. (2007). *Instrumentos de Política Económica para el Manejo del Ambiente y los Recursos Naturales*. Washington DC: Banco Mundial.
- Stiglitz, J. (1997). Reply Forum Georgescu - Roegen versus Solow/Stiglitz. *Ecological Economics - Elsevier*, Nueva York.
- Stiglitz, J. (2000). *La Economía del Sector Público*. Barcelona: Antoni Bosch Editor.
- Tapia, P. (2013). *Disertación previa a obtener el título de economista: Efectividad económica y ambiental de la exoneración de impuestos y aranceles para los vehículos híbridos*. Quito: Facultad de Economía de la PUCE.
- Tomasini, D. (sf.). *VALORACION ECONOMICA DEL AMBIENTE*. Buenos Aires.
- United Nations, European Commission, International monetary Fund, Organisation for Economic Co-operation and Development, World Bank. (2003). *Handbook of National Accounting Integrated Environmental and Economic Accounting 2003*. New York: Autor.
- Varian, H. (2006). *Microeconomía Intermedia*. Madrid: Antoni Bosch.
- Villamarín, J. (04 de 2014). Resultado implementación de Plan piloto, precio decreto 971. (F. Carvajal, Entrevistador) Quito: Autor.

## Anexos

### A. Procedimiento de cálculo para la estimación de emisiones generadas por fuentes móviles

Para la estimación de las emisiones generadas por tipo de vehículo y por tipo de combustible se procede en seguir el siguiente procedimiento. Primero se aplica la siguiente ecuación para obtener el kilometraje del recorrido total promedio por tipo de transporte:

$$KRP = PAM \times KRPA$$

Donde:

- KRP = kilometraje recorrido total promedio
- PAM = parque año modelo en circulación por tipo de transporte
- KRPA = kilometraje recorrido promedio anual por tipo de transporte

El siguiente paso consiste en estimar el volumen de emisiones de 6 contaminantes criterio (PM10, PM2.5, CO, NOx, COV y COT) por tipo de vehículo y combustible de uso, utilizando factores técnicos de emisión de cada gas contaminante (INEGI, 2009). Los factores de emisión de gases contaminantes se basan en los factores utilizados por la Secretaría del Ambiente de Quito (2007) para la elaboración del Inventario de Emisiones de Quito, y en los factores de emisión construidos por el INEGI. El volumen de las emisiones se calcula utilizando la siguiente fórmula (Ministerio del Ambiente, 2014: 29).

$$EC_t = \sum_{cn} KRP_v * FC_{avb}$$

Donde:

- EC<sub>t</sub>= Emisiones contaminantes de las fuentes móviles en toneladas métricas (unidad de medida en común de todos los gases).
- KRP<sub>v</sub>= Kilometraje recorrido total promedio por tipo de vehículo (v).
- FC<sub>avb</sub>= Factores de contaminación (g/km) por año modelo (a), tipo de vehículo (v) y combustible empleado (b).

Calculado las emisiones de los 6 contaminantes criterio en análisis, se suman los resultados para dar un consolidado en toneladas métricas en una misma unidad de medida, lo cual representa el volumen total de emisiones generados por el parque automotor matriculado en un periodo.

## B. Factores de emisión para fuentes móviles

### Factores de emisión por tipo de vehículo y año modelo para CO (g/km)

Año Modelo	TIPO DE VEHÍCULO											
	LIV G	TAX G	BUT G	BUS G	PIC G	PES G	LIV D	TAX D	BUT D	BUS D	PES D	MOTG
< 1979	39,6	39,6	59,4	108,1	48,2	407,0	5,9	5,9	4,3	19,4	19,4	33,2
1980	39,6	39,6	59,4	108,1	48,2	407,0	5,9	5,9	4,3	19,4	19,4	33,2
1981	39,6	39,6	59,4	108,1	48,2	407,0	5,9	5,9	4,3	19,0	19,0	33,2
1982	39,6	39,6	59,4	108,1	48,2	405,4	5,9	5,9	4,3	19,0	19,0	33,2
1983	39,6	39,6	59,4	108,1	48,2	405,3	5,8	5,8	4,3	19,0	19,0	33,2
1984	39,6	39,6	59,4	108,1	48,2	399,6	5,8	5,8	4,2	18,9	18,9	33,2
1985	39,6	39,6	59,4	108,1	48,2	396,4	5,7	5,7	4,2	18,8	18,8	33,2
1986	39,6	39,6	59,4	108,1	48,2	395,2	5,7	5,7	4,2	18,7	18,7	33,2
1987	39,6	39,6	59,4	108,1	48,2	395,1	5,6	5,6	4,1	18,6	18,6	33,2
1988	39,6	39,6	59,4	108,1	48,2	394,0	5,6	5,6	4,1	18,6	18,6	33,2
1989	39,6	39,6	59,4	108,1	48,2	379,9	5,6	5,6	4,0	18,6	18,6	33,2
1990	31,4	31,4	59,4	108,1	48,2	376,4	5,5	5,5	4,0	18,6	18,6	33,2
1991	31,4	31,4	59,4	108,1	48,2	326,3	2,8	2,8	3,9	18,5	18,5	33,2
1992	31,4	31,4	59,4	108,1	48,2	277,1	2,7	2,7	3,9	18,5	18,5	33,2
1993	31,4	31,4	59,4	108,1	48,2	143,1	2,1	2,1	3,9	18,3	18,3	33,2
1994	23,7	15,2	59,4	108,1	48,2	138,7	2,0	2,0	3,8	17,2	17,2	33,2
1995	23,7	15,2	59,4	108,1	48,2	134,9	1,3	1,3	2,3	16,3	16,3	32,9
1996	23,7	15,2	59,4	108,1	11,7	62,4	1,3	1,3	2,2	15,7	15,7	32,4
1997	23,7	15,2	59,4	108,1	11,7	61,3	1,3	1,3	2,2	15,6	15,6	32,0
1998	23,7	15,2	59,4	108,1	11,7	60,1	1,2	1,2	2,2	15,6	15,6	31,4
1999	23,7	15,2	59,4	108,1	11,7	58,8	1,2	1,2	2,1	15,5	15,5	30,8
2000	2,9	5,8	54,2	101,7	11,0	57,3	1,2	1,2	2,1	15,4	15,4	30,1
2001	2,6	5,8	49,1	93,3	10,1	34,8	1,1	1,1	2,1	14,3	14,3	29,4
2002	2,3	5,8	42,5	81,2	8,8	33,4	1,1	1,1	2,0	14,0	14,0	28,5
2003	1,8	5,8	33,2	64,8	7,0	32,2	1,0	1,0	2,0	13,9	13,9	27,7
2004	1,4	5,8	26,2	53,0	5,7	30,9	1,0	1,0	1,9	13,8	13,8	26,8
2005	1,4	5,8	26,2	53,0	5,7	30,9	1,0	1,0	1,9	13,8	13,8	26,8
2006	1,4	5,8	26,2	53,0	5,7	30,9	1,0	1,0	1,9	13,8	13,8	26,8
2007	1,4	5,8	26,2	53,0	5,7	30,9	1,0	1,0	1,9	13,8	13,8	26,8

Fuente: Secretaría de Movilidad - Quito

## Factores de emisión por tipo de vehículo y año modelo para NOx (g/km)

AÑO MODELO	TIPO DE VEHÍCULO											
	LIV G	TAX G	BUT G	BUS G	PIC G	PES G	LIV D	TAX D	BUT D	BUS D	PES D	MOTG
< 1979	2,1	2,100	2,7	4,8	3,4	4,5	1,6	1,6	2,1	20,4	20,4	0,3
1980	2,1	2,100	2,7	4,8	3,4	4,5	1,6	1,6	2,1	20,4	20,4	0,3
1981	2,1	2,100	2,7	4,8	3,4	4,5	1,6	1,6	2,1	20,3	20,3	0,3
1982	2,1	2,100	2,7	4,8	3,4	4,5	1,6	1,6	2,1	20,3	20,3	0,3
1983	2,1	2,100	2,7	4,8	3,4	4,5	1,5	1,5	2,0	20,3	20,3	0,3
1984	2,1	2,100	2,7	4,8	3,4	4,4	1,5	1,5	2,0	20,2	20,2	0,3
1985	2,1	2,100	2,7	4,8	3,4	4,4	1,5	1,5	2,0	20,0	20,0	0,3
1986	2,1	2,100	2,7	4,8	3,4	4,4	1,5	1,5	2,0	20,0	20,0	0,3
1987	2,1	2,100	2,7	4,8	3,4	4,4	1,5	1,5	2,0	20,0	20,0	0,3
1988	2,1	2,100	2,7	4,8	3,4	4,3	1,5	1,5	1,9	20,0	20,0	0,3
1989	2,4	2,400	2,7	4,8	3,4	4,2	1,5	1,5	1,9	20,0	20,0	0,3
1990	2,4	2,400	2,7	4,8	3,4	4,0	1,5	1,5	1,9	19,9	19,9	0,3
1991	2,4	2,400	2,7	4,8	3,4	3,5	1,4	1,4	1,9	19,8	19,8	0,3
1992	2,4	2,400	2,7	4,8	3,4	3,1	1,4	1,4	1,9	19,7	19,7	0,3
1993	2,4	2,400	2,7	4,8	3,4	3,0	1,2	1,2	1,3	15,0	15,0	0,3
1994	2,4	1,480	2,7	4,8	3,4	2,9	1,2	1,2	1,3	13,3	13,3	0,3
1995	2,4	1,480	2,7	4,8	3,4	2,8	1,2	1,2	1,3	12,6	12,6	0,3
1996	2,4	1,480	2,7	4,8	3,4	2,6	0,8	0,8	1,3	12,2	12,2	0,3
1997	2,4	1,480	2,7	4,8	3,4	2,6	0,8	0,8	1,2	12,2	12,2	0,3
1998	2,4	1,480	2,7	4,8	3,4	2,5	0,8	0,8	1,2	12,2	12,2	0,3
1999	2,4	1,480	2,7	4,8	3,4	2,5	0,8	0,8	1,2	12,2	12,2	0,3
2000	0,6	1,481	2,5	4,5	1,6	2,4	0,8	0,8	1,2	12,2	12,2	0,3
2001	0,6	1,481	2,3	4,2	1,5	2,4	0,7	0,7	0,8	6,9	6,9	0,3
2002	0,5	1,481	2,0	4,0	1,4	1,9	0,7	0,7	0,8	5,7	5,7	0,3
2003	0,5	1,481	1,9	3,9	1,3	1,9	0,7	0,7	0,8	5,7	5,7	0,3
2004	0,4	1,481	1,8	3,8	1,3	1,8	0,6	0,6	0,7	5,7	5,7	0,3
2005	0,4	1,481	1,8	3,8	1,3	1,8	0,6	0,6	0,7	5,7	5,7	0,3
2006	0,4	1,481	1,8	3,8	1,3	1,8	0,6	0,6	0,7	5,7	5,7	0,3
2007	0,4	1,481	1,8	3,8	1,3	1,8	0,6	0,6	0,7	5,7	5,7	0,3

Fuente: Secretaría de Movilidad - Quito

## Factores de emisión por tipo de vehículo y año modelo para HC (g/km)

AÑO MODELO	TIPO DE VEHÍCULO											
	LIV G	TAX G	BUT G	BUS G	PIC G	PES G	LIV D	TAX D	BUT D	BUS D	PES D	MOTG
< 1979	6,3	6,3	5,7	9,9	4,4	24,8	3,5	3,5	2,6	7,7	7,7	5,6
1980	6,3	6,3	5,7	9,9	4,4	24,8	3,5	3,5	2,6	7,7	7,7	5,6
1981	5,7	5,7	5,7	9,9	4,4	24,8	3,5	3,5	2,6	7,7	7,7	5,6
1982	5,7	5,7	5,7	9,9	4,4	24,8	3,4	3,4	2,6	7,7	7,7	5,6
1983	5,7	5,7	5,7	9,9	4,4	24,7	3,3	3,3	2,6	7,7	7,7	5,6
1984	5,7	5,7	5,7	9,9	4,4	24,4	3,3	3,3	2,6	7,7	7,7	5,6
1985	5,7	5,7	5,7	9,9	4,4	24,3	3,3	3,3	2,5	7,6	7,6	5,6
1986	4,5	4,5	5,7	9,9	4,4	24,2	3,3	3,3	2,5	7,6	7,6	5,6
1987	4,5	4,5	5,7	9,9	4,4	24,2	3,3	3,3	2,5	7,6	7,6	5,6
1988	4,5	4,5	5,7	9,9	4,4	24,0	3,3	3,3	2,4	7,6	7,6	5,6
1989	4,5	4,5	5,7	9,9	4,4	21,0	3,2	3,2	2,4	7,5	7,5	5,6
1990	3,6	3,6	5,7	9,9	4,4	20,9	3,2	3,2	2,4	7,5	7,5	5,6
1991	3,6	3,6	5,7	9,9	4,4	18,4	1,6	1,6	2,4	7,5	7,5	5,6
1992	3,6	3,6	5,7	9,9	4,4	16,1	1,5	1,5	2,3	7,5	7,5	5,6
1993	3,6	3,6	5,7	9,9	4,4	9,8	0,8	0,8	1,1	5,5	5,5	5,6
1994	2,5	2,5	5,7	9,9	4,4	8,1	0,6	0,6	1,1	4,9	4,9	5,6
1995	2,5	2,5	5,7	9,9	4,4	7,9	0,5	0,5	0,8	4,6	4,6	5,4
1996	2,5	2,5	5,7	9,9	4,4	4,8	0,5	0,5	0,7	4,0	4,0	4,3
1997	2,5	2,5	5,7	9,9	1,9	4,6	0,5	0,5	0,7	4,0	4,0	4,1
1998	2,5	2,5	5,7	9,9	1,9	4,5	0,4	0,4	0,7	4,0	4,0	3,9
1999	2,5	2,5	5,7	9,9	1,9	4,3	0,4	0,4	0,7	4,0	4,0	3,7
2000	0,5	0,4	5,0	9,1	1,7	4,1	0,4	0,4	0,6	4,0	4,0	3,5
2001	0,4	0,4	4,5	8,3	1,6	2,7	0,3	0,3	0,6	3,7	3,7	3,1
2002	0,4	0,4	3,9	7,3	1,4	2,5	0,3	0,3	0,5	3,7	3,7	2,9
2003	0,3	0,4	3,2	6,0	1,1	2,3	0,3	0,3	0,5	3,7	3,7	2,6
2004	0,3	0,4	2,7	5,2	1,0	2,1	0,2	0,2	0,4	3,7	3,7	2,4
2005	0,3	0,4	2,7	5,2	1,0	2,1	0,2	0,2	0,4	3,7	3,7	2,4
2006	0,3	0,4	2,7	5,2	1,0	2,1	0,2	0,2	0,4	3,7	3,7	2,4
2007	0,3	0,4	2,7	5,2	1,0	2,1	0,2	0,2	0,4	3,7	3,7	2,4

Fuente: Secretaría de Movilidad - Quito

## Factores de emisión por tipo de vehículo y año modelo para PM10 (g/km)

AÑO MODELO	TIPO DE VEHÍCULO											
	LIV G	TAX G	BUT G	BUS G	PIC G	PES G	LIV D	TAX D	BUT D	BUS D	PES D	MOTG
< 1979	0,023	0,023	0,023	0,110	0,022	0,093	0,271	0,271	0,135	2,100	2,100	0,024
1980	0,023	0,023	0,023	0,110	0,022	0,093	0,271	0,271	0,135	2,100	2,100	0,024
1981	0,021	0,021	0,021	0,110	0,020	0,093	0,272	0,272	0,103	2,100	2,100	0,024
1982	0,020	0,020	0,021	0,110	0,020	0,093	0,265	0,265	0,122	2,100	2,100	0,024
1983	0,020	0,020	0,020	0,110	0,019	0,093	0,263	0,263	0,122	2,100	2,100	0,024
1984	0,020	0,020	0,020	0,110	0,019	0,092	0,223	0,223	0,120	2,100	2,100	0,024
1985	0,020	0,020	0,020	0,110	0,019	0,091	0,237	0,237	0,126	2,100	2,100	0,024
1986	0,019	0,019	0,020	0,110	0,018	0,091	0,200	0,200	0,123	2,100	2,100	0,024
1987	0,019	0,019	0,020	0,110	0,018	0,090	0,267	0,267	0,128	1,370	1,370	0,024
1988	0,019	0,019	0,020	0,109	0,019	0,089	0,217	0,217	0,148	1,370	1,370	0,024
1989	0,019	0,019	0,020	0,109	0,019	0,089	0,183	0,183	0,145	1,370	1,370	0,024
1990	0,019	0,019	0,020	0,108	0,019	0,088	0,213	0,213	0,136	1,370	1,370	0,024
1991	0,019	0,019	0,020	0,108	0,019	0,087	0,213	0,213	0,136	0,850	0,850	0,024
1992	0,019	0,019	0,020	0,107	0,019	0,087	0,213	0,213	0,136	0,850	0,850	0,024
1993	0,019	0,019	0,020	0,106	0,019	0,086	0,213	0,213	0,136	0,700	0,700	0,024
1994	0,019	0,019	0,020	0,106	0,019	0,086	0,213	0,213	0,136	0,480	0,480	0,024
1995	0,019	0,019	0,021	0,106	0,020	0,085	0,213	0,213	0,136	0,480	0,480	0,024
1996	0,019	0,019	0,021	0,105	0,019	0,084	0,213	0,213	0,136	0,480	0,480	0,024
1997	0,019	0,019	0,021	0,105	0,019	0,084	0,213	0,213	0,136	0,480	0,480	0,024
1998	0,019	0,019	0,021	0,105	0,019	0,084	0,213	0,213	0,136	0,480	0,480	0,024
1999	0,019	0,019	0,021	0,105	0,020	0,084	0,213	0,213	0,136	0,480	0,480	0,024
2000	0,019	0,019	0,021	0,104	0,020	0,084	0,213	0,213	0,136	0,480	0,480	0,024
2001	0,019	0,019	0,021	0,104	0,020	0,084	0,213	0,213	0,136	0,480	0,480	0,024
2002	0,019	0,019	0,021	0,104	0,020	0,084	0,213	0,213	0,136	0,480	0,480	0,024
2003	0,019	0,019	0,021	0,104	0,020	0,084	0,213	0,213	0,136	0,480	0,480	0,024
2004	0,019	0,019	0,021	0,104	0,020	0,084	0,213	0,213	0,136	0,480	0,480	0,024
2005	0,019	0,019	0,021	0,104	0,020	0,084	0,213	0,213	0,136	0,480	0,480	0,024
2006	0,019	0,019	0,021	0,104	0,020	0,084	0,213	0,213	0,136	0,480	0,480	0,024
2007	0,019	0,019	0,021	0,104	0,020	0,084	0,213	0,213	0,136	0,480	0,480	0,024

Fuente: Secretaría de Movilidad - Quito

### Porcentajes de PM2.5 respecto a la

TIPO DE VEHÍCULO	PM2.5
APG	57,41
APD	89,02
TAXG	57,41
COG	57,41
MIG	62,04
MID	95,33
PUG	59,29
PUD	95,33
V < 3G	
V < 3D	
TRAG	73,32
TRAD	87,86
AUTG	73,32
AUTD	87,86
V > 3G	73,32
V > 3D	87,86
MCG	57,36
camion de carga gasolina y diesel	

Fuente: México, Gobierno del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2004. Memorias de Cálculo de Fuentes Móviles.

### Emisión de PM10

TIPO DE VEHÍCULO	%CH <sub>4</sub>
APG	4,30
APD	4,10
TAXG	4,30
COG	4,30
MIG	4,10
MID	2,50
PUG	4,80
PUD	2,50
V ? 3G	4,10
V ? 3D	2,50
TRAG	8,20
TRAD	4,40
AUTG	8,20
AUTD	4,40
V > 3G	8,20
V > 3D	4,40
MCG	0,10
camion de carga gasolina y diesel	4,43

Fuente: México, Gobierno del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2004. Memorias de Cálculo de Fuentes Móviles.

Porcentaje de CH<sub>4</sub> respecto a los HCT

**Porcentajes de COV's respecto a los HCT**

<b>TIPO DE VEHÍCULO</b>	<b>COV's</b>
APG	94,10
APD	98,70
TAXG	94,10
COG	94,10
MIG	94,40
MID	98,70
PUG	93,70
PUD	98,70
V ? 3G	94,40
V ? 3D	98,70
TRAG	92,30
TRAD	98,70
AUTG	92,30
AUTD	98,70
V > 3G	92,30
V > 3D	98,70
MCG	95,50
camion de carga gasolina y diesel	96,38

Fuente: México, Gobierno del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2004. Memorias de Cálculo de Fuentes Móviles.

**Porcentajes de COT's respecto a los HCT**

<b>TIPO DE VEHÍCULO</b>	<b>COV's</b>
APG	101,6
APD	104,1
TAXG	101,6
COG	101,6
MIG	101,5
MID	105,7
PUG	101,3
PUD	105,7
V ? 3G	101,5
V ? 3D	105,7
TRAG	102,9
TRAD	103,2
AUTG	102,9
AUTD	103,2
V > 3G	102,9
V > 3D	103,2
MCG	102,3
camion de carga gasolina y diesel	102,3

Fuente: México, Gobierno del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2004. Memorias de Cálculo de Fuentes Móviles.