

# ***CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR FUENTES MÓVILES***

***INFORME FINAL***

***TOMO I***

***SANTAFÉ DE BOGOTÁ, AGOSTO 19 DE 1992***

# **CONTAMINACION ATMOSFERICA POR FUENTES MOVILES**

## **INFORME FINAL**

### **TOMO I**

Investigadores: William O'Neil  
Guillermo Perry  
Eduardo Lora  
Ernesto Sánchez  
Pilar Medina

Investigadores Asistentes: Gabriel Medina  
Plácido Silva  
Wilson Casas  
Ricardo Lara  
Juan Pablo Trujillo  
Carlos Alfredo Rodríguez

SANTAFE DE BOGOTA, AGOSTO 19 DE 1992

# TABLA DE CONTENIDO

## TOMO I

|  | Pag. |
|--|------|
| CAPITULO 1   |      |
| INTRODUCCION Y CALIDAD AMBIENTAL EN COLOMBIA.....  | 2    |
| Introducción.....  | 3    |
| 1. Calidad del Ambiente Colombiano.....  | 5    |
| 1.1. La Calidad del Aire en Colombia.....  | 5    |
| 1.2. La calidad del Agua.....  | 10   |
| 1.3. Generación y Disposición Final de Residuos Sólidos<br>y Peligrosos.....                       | 12   |
| CAPITULO 2   |      |
| PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL Y CONTAMINACION ATMOSFERICA.....   | 14   |
| Introducción.....  | 15   |
| 2.1. El Parque Automotor Nacional.....   | 16   |
| 2.2. Potencial Contaminante del Transporte Urbano e<br>Interurbano en Colombia.....                | 19   |
| 2.2.1. Transporte Urbano e Interurbano en Colombia.....  | 19   |
| 2.2.2. Consumo de Combustible.....   | 21   |
| 2.2.3. Contaminación Atmosférica por medio del<br>Transporte.....                                  | 24   |
| 2.3. Emisiones de Exosto por Combustión Incompleta.....  | 34   |
| 2.4. Emisiones Evaporativas.....   | 37   |
| 2.5. Perspectivas y Actividades a Desarrollar.....   | 38   |
| CAPITULO 3   |      |
| LA REFORMULACION DE COMBUSTIBLES PARA EL CONTROL DE<br>LA CONTAMINACION AMBIENTAL EN COLOMBIA..... | 40   |
| Introducción.....  | 41   |
| 3.1. Contaminación Ambiental Generada por los<br>Componentes de la Gasolina Motor.....             | 42   |
| 3.1.1. Emisiones debidas a combustión incompleta<br>de gasolinas.....                              | 42   |

|   |     |
|---|-----|
|   | Pag |
| 3.2. Emisiones por evaporación.....   | 44  |
| 3.3. Comparación Gasolina Nacional con Gasolinas de<br>otros Países.....          | 44  |
| 3.3.1. Benceno.....   | 45  |
| 3.3.2. Presión de Vapor Reid (RVP) - Aromáticos y<br>Livianos.....                | 45  |
| 3.3.3. Azufre.....  | 46  |
| 3.3.4. Olefinas.....  | 47  |
| 3.4. Perspectivas de Producción Nacional de<br>Gasolinas Menos Contaminantes..... | 48  |
| 3.4.1. Azufre.....  | 48  |
| 3.4.2. RVP.....   | 48  |
| 3.4.3. Octanaje.....  | 49  |
| 3.4.4. Aditivos.....  | 49  |
| 3.4.5. Oxigenados.....  | 50  |
| 3. 5. Perspectivas y Plan de Acción a Corto Plazo.....                            | 51  |

#### CAPITULO 4

|   |    |
|---|----|
| SUSTITUCION DE COMBUSTIBLES.....  | 52 |
| Introducción.....   | 53 |
| 4.1. Potencial de contaminación atmosférica de<br>combustibles.....             | 53 |
| 4.2. Potencial de uso del GNC para el sector del<br>transporte en Colombia..... | 57 |
| 4.3. Perspectivas.....  | 59 |

#### CAPITULO 5

|  |    |
|--|----|
| ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION<br>ATMOSFERICA UTILIZADAS A NIVEL INTERNACIONAL..... | 60 |
| Introducción.....  | 61 |
| 5.1. Control dela Contaminación por Fuentes Móviles en<br>Ciudad de México.....                      | 61 |
| 5.1.1. Contaminación Atmosférica en Ciudad de<br>México.....   | 61 |



|  | Pag |
|--|-----|
| 5.1.2. Programa de Control de la Contaminación Atmosférica.....  | 62  |
| 5.1.3. Control de la Contaminación Atmosférica por Fuentes Móviles.....  | 63  |
| 5.2. Control de la Contaminación Automotriz en Países Miembros de la Comunidad Económica Europea.....                                  | 66  |
| 5.2.1. Medidas de Control de Contaminación Atmosférica por Fuentes Móviles en Países Europeos.....                                     | 68  |
| 5.3. Resumen y Discusión sobre el programa de los Estados Unidos para el control de la contaminación del aire por Fuentes Móviles..... | 70  |
| 5.3.1. Diseño del Programa sobre <i>Clean Air</i> .....  | 70  |
| 5.3.2. Estandares Nacionales de Calidad del Aire.....  | 74  |
| 5.3.3. Normas para Fuentes Móviles.....  | 77  |
| CAPITULO 6   |     |
| IMPUESTOS A LOS COMBUSTIBLES PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION POR FUENTES MOVILES.....  | 83  |
| Introducción.....  | 84  |
| 6.1. Política de Precios de Combustibles y Control de la Contaminación por Fuentes Móviles.....  | 84  |
| 6.2. Opciones de Sustitución y Estructura de Impuestos a los Combustibles.....   | 85  |
| 6.3. El Control de la Contaminación por Fuentes Móviles de Emisión.....  | 87  |
| 6.4. Precios e Impuestos a los Combustibles en Colombia.....   | 90  |
| CAPITULO 7   |     |
| EVALUACION DE PROGRAMAS NACIONALES PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION POR FUENTES MOVILES.....  | 92  |
| Introducción.....  | 93  |
| 7.1. El Control de la Contaminación Atmosférica por Fuentes Móviles en la Ciudad de Bogotá.....  | 93  |
| 7.1.1. El caso de la resolución 003002 Santafé de Bogotá.....  | 93  |
| 7.2. El Control de la Contaminación Hídrica por Fuenes Móviles.....  | 95  |
| 7.3. El Control de la Contaminación Sonora por Fuentes Móviles.....  | 97  |
| 7.3.1. El caso de la resolución 003002 Santafé de Bogotá.....  | 97  |

## LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

### CUADROS

Pag.

#### CAPITULO 1

|   |   |
|---|---|
| Cuadro 1.1. Condiciones de Estabilidad Atmosférica en Centros Urbanos del País..... | 7 |
| Cuadro 1.2. Emisiones del Parque Automotor Nacional.....                            | 7 |

#### CAPITULO 2

|   |    |
|---|----|
| Cuadro 2.1. Distribución del Parque Automotor en Colombia.....  | 17 |
| Cuadro 2.2. Distribución del Parque de Vehículos de Transporte Público, por Modelo, para la Ciudad de Bogotá..... | 18 |
| Cuadro 2.3. Volúmenes de Pasajeros y Carga Según Medio de Transporte.....   | 20 |
| Cuadro 2.4. Distribución de la Carga Movilizada por Puertos.....  | 20 |
| Cuadro 2.5. Consumo de Combustibles 1991.....   | 21 |
| Cuadro 2.6. Consumo de Gasolina Motor por Diferentes Sistemas de Transporte 1985 - 1989.....                      | 22 |
| Cuadro 2.7. Consumo de Diesel por Diferentes Sistemas de Transporte 1985 - 1989.....                              | 23 |
| Cuadro 2.8. Consumo de Fuel Oil en el País 1985 - 1989.....   | 23 |
| Cuadro 2.9. Consumo de Kerosene Jet en el País 1985 - 1989.....   | 24 |
| Cuadro 2.10. Porcentaje de Contaminación Atmosférica por Fuentes Móviles.....                                     | 25 |
| Cuadro 2.11. Contaminantes Emitidos por Gasolina Aldehidos.....   | 25 |
| Cuadro 2.12. Contaminantes Emitidos por Gasolina Monóxido de carbono.....   | 26 |
| Cuadro 2.13. Contaminantes Emitidos por Gasolina Hidrocarburos.....   | 26 |
| Cuadro 2.14. Contaminantes Emitidos por Gasolina Oxidos de Nitrógeno.....   | 27 |

|   |    |
|---|----|
| Cuadro 2.15. Contaminantes Emitidos por Gasolina  |    |
| Oxidos de Azufre.....   | 27 |
| Cuadro 2.16. Contaminantes Emitidos por Gasolina  |    |
| Acidos.....   | 28 |
| Cuadro 2.17. Contaminantes Emitidos por Gasolina  |    |
| Partículas.....   | 28 |
| Cuadro 2.18. Contaminantes Emitidos por Diesel  |    |
| Aldehidos.....  | 29 |
| Cuadro 2.19. Contaminantes Emitidos por Diesel  |    |
| Monóxido de Carbono.....  | 30 |
| Cuadro 2.20. Contaminantes Emitidos por Diesel  |    |
| Hidrocarburos.....  | 30 |
| Cuadro 2.21. Contaminantes Emitidos por Diesel  |    |
| Oxidos de Nitrógeno.....  | 31 |
| Cuadro 2.22. Contaminantes Emitidos por Diesel  |    |
| Oxidos de Azufre.....   | 31 |
| Cuadro 2.23. Contaminantes Emitidos por Diesel  |    |
| Partículas.....   | 32 |
| Cuadro 2.24. Contaminantes Emitidos por Fuel Oil  |    |
| Monóxido de Carbono.....  | 32 |
| Cuadro 2.25. Contaminantes Emitidos por Fuel Oil  |    |
| Hidrocarburos.....  | 33 |
| Cuadro 2.26. Contaminantes Emitidos por Fuel Oil  |    |
| Oxidos de Nitrógeno.....  | 33 |
| Cuadro 2.27. Contaminantes Emitidos por Fuel Oil  |    |
| Oxidos de Azufre.....   | 33 |
| Cuadro 2.28. Contaminantes Emitidos por Fuel Oil  |    |
| Partículas.....   | 34 |
| Cuadro 2.29. Emisiones Atmosféricas Contaminantes Generadas<br>por el Parque Automotor..... | 35 |
| Cuadro 2.30. Indices Teóricos de Contaminación en Colombia.....                             | 36 |

**CAPITULO 3**

|  |    |
|--|----|
| Cuadro 3.1. Comparación de Contenido de Benceno en la Gasolina de<br>Diferentes Países.....    | 45 |
| Cuadro 3.2. Comparación de Contenido de Aromáticos en la<br>Gasolina de Diferentes Países..... | 46 |
| Cuadro 3.3. Comparación del Contenido de Olefinas en la<br>Gasolina de Diferentes Países.....  | 47 |

**CAPITULO 4**

|  |    |
|--|----|
| Cuadro 4.1. Potencial Contaminante de Combustibles Utilizados en<br>Colombia.....              | 54 |
| Cuadro 4.2. Comparación de Contaminantes para Motores a base de<br>Gasolina, Diesel y Gas..... | 56 |

**CAPITULO 5**

|   |    |
|---|----|
| Cuadro 5.1. Criterios de Calidad del Aire en Ciudad de México.....          | 62 |
| Cuadro 5.2. Control de Emisiones Atmosféricas de Vehículos<br>Livianos..... | 67 |
| Cuadro 5.3. Control de Emisiones Atmosféricas.....                          | 68 |
| Cuadro 5.4. Estandares de Calidad del Aire en Estados Unidos.....           | 82 |

**CAPITULO 7**

|   |    |
|---|----|
| Cuadro 7.1. Concentraciones Permisibles de Contaminantes<br>Presentes en el Exosto..... | 94 |
|---|----|

## FIGURAS

### CAPITULO 1

Pag.

|  |    |
|--|----|
| Figura 1.1. Concentraciones de Partículas en Suspensión 1989.....  | 6  |
| Figura 1.2. Descarga Diaria al Río Bogotá de Grasas y Aceites..... | 12 |

## **LISTA DE ANEXOS**

**ANEXO 1.** Contaminación Atmosférica por Fuentes Móviles.  
Informe de Avance No 1. ECOPETROL.  
Abril 30 de 1992.

**ANEXO 2.** Resumen Ejecutivo. Estrategias de manejo de los precios de los hidrocarburos en el corto y largo plazo.

**ANEXO 3.** Términos de Referencia. Proyecto Elaboración Propuesta Técnico Económica para la Formulación del Programa control de la Contaminación de Fuentes Móviles en Colombia

# TOMO I

**CAPITULO 1**  
**INTRODUCCION Y CALIDAD AMBIENTAL EN**  
**COLOMBIA.**



## CAPITULO 1

### INTRODUCCION Y CALIDAD AMBIENTAL EN COLOMBIA.<sup>1</sup>

#### Introducción

Este documento presenta los resultados de la asistencia preparatoria del proyecto "Diagnóstico y Políticas de Control de la Contaminación por Fuentes Móviles en Colombia". Este documento consta de ocho capítulos. Este primer capítulo presenta algunos indicadores de la calidad del entorno biofísico en Colombia. El segundo capítulo presenta cifras sobre el parque automotor nacional y demás fuentes móviles nacionales y su potencial contaminante. El tercer capítulo presenta las posibilidades técnicas de disminución de la contaminación ambiental generada por las fuentes móviles, mediante la reformulación de gasolinas. El capítulo cuarto examina las posibilidades en la sustitución de combustibles para minimizar la generación de contaminantes atmosféricos en el país. El capítulo quinto describe los mecanismos de control de la contaminación por fuentes móviles empleados en otros países del continente Americano, así como en algunos de los países de la Comunidad Económica Europea. El capítulo sexto discute el uso de mecanismos económicos para el control de la contaminación por fuentes móviles. El capítulo séptimo examina con base en criterios de eficiencia y equidad económica el acuerdo del Concejo de Santafé de Bogotá que reglamenta el control de la contaminación atmosférica y la campaña gubernamental para disminuir el consumo de aceites lubricantes. El octavo capítulo presenta el diseño del proyecto final de "Diagnóstico y Políticas de Control de la Contaminación por Fuentes Móviles" que será ejecutado mediante un programa de cooperación del PNUD- DNP y Ecopetrol. Este capítulo se divide en una serie de secciones, cada una de las cuales presenta los términos de referencia de los componentes que conforman el proyecto general:

1.- Análisis de Riesgos; 2.- Modelación de mecanismos de advección, difusión y dispersión de contaminantes atmosféricos; 3.- Diseño del Programa de Revisión Periódica de Emisiones de Exosto de Automotores y de Mejoras en la

---

<sup>1</sup>/Este capítulo es un resumen del informe de avance del proyecto COL/91/001 "Diagnóstico y Control de la Contaminación Industrial". DNP-PNUD.

Eficiencia de automotores; 4.- Optimización de Sistemas de transporte para disminución de la contaminación; 5.- Diseño de Mecanismos Económicos para el control de la contaminación por fuentes móviles; 6.- Diseño de mecanismos Jurídicos; 7.- Diseño de mecanismos Institucionales; 8.- Programa de Monitoreo; 9.- Plan de Control de Contingencias. El octavo capítulo presenta un análisis preliminar de políticas económicas que potencialmente pueden incentivar la reducción de emisiones contaminantes provenientes de las fuentes móviles. Este último capítulo hace énfasis de una parte en el uso de una política de precios que induzca la reducción en el uso de combustibles, y de otra examina el efecto macroeconómico de un aumento del precio de la gasolina motor en el país.

Este documento se basa en diferentes trabajos que han ejecutado el Departamento Nacional de Planeación, Ecopetrol, Fedesarrollo y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. Los primeros dos capítulos se basan en el diagnóstico de la contaminación ambiental en el país, que ejecuta el programa de cooperación técnica DNP-PNUD dentro del proyecto "Diagnóstico y Control de la Contaminación Industrial", bajo la dirección de los ingenieros Eduardo Uribe Botero y Ernesto Sánchez Triana. El capítulo sexto se basa en el Estudio que sobre "El Precio de los Combustibles en Colombia", desarrolló Fedesarrollo. El capítulo octavo estructura los términos de referencia detallados con base en los estudios más relevantes que se han desarrollado en el país sobre cada uno de los temas especializados.

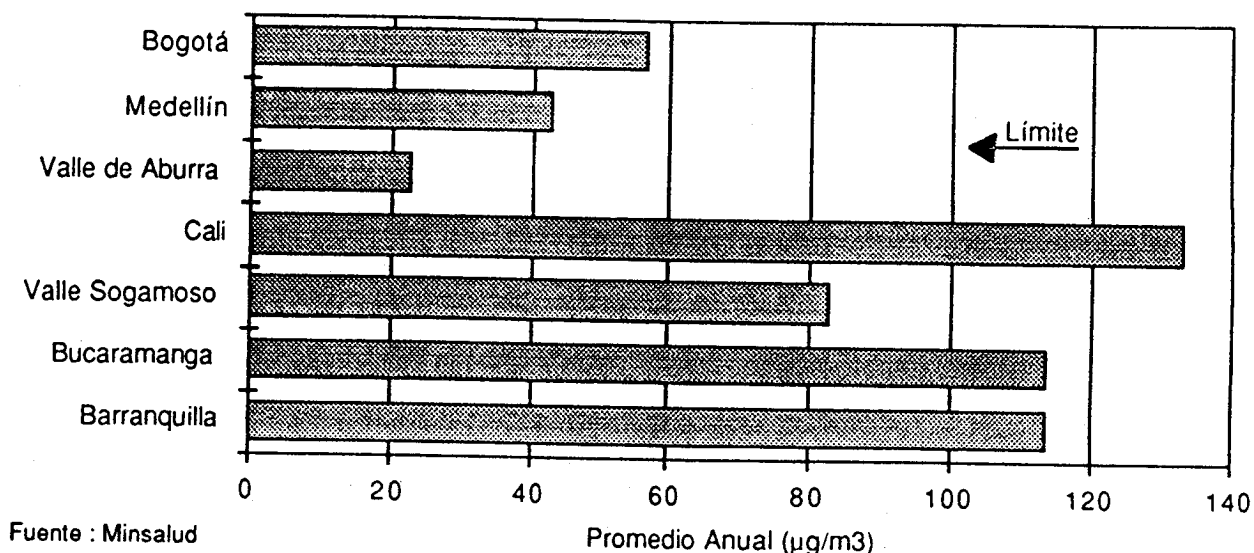
## **1. Calidad del Ambiente Colombiano.**

Este primer capítulo presenta algunos indicadores de calidad del entorno biofísico colombiano afectado por la contaminación generada por las fuentes móviles. Este capítulo tiene cuatro secciones. La primera sección presenta las mediciones de contaminantes atmosféricos en varias ciudades del país. La segunda sección discute los niveles de ruido en vías de los principales centros urbanos nacionales. La tercera sección presenta los niveles de contaminantes hídricos generados por las fuentes móviles presentes en los cuerpos de agua nacionales. La cuarta sección identifica los principales residuos sólidos peligrosos provenientes del uso del parque automotor nacional.

### **1.1. La Calidad del Aire en Colombia**

La contaminación atmosférica tiene dos dimensiones: de una parte las concentraciones elevadas en el aire-ambiente de partículas y gases nocivos para la salud humana y los ecosistemas, y de otra, la contaminación por ruido. En cuanto a la contaminación con material particulado y gases nocivos la información de la red nacional de vigilancia de la calidad de aire muestra que los niveles de calidad de aire en el país sobrepasan las normas fijadas en las ciudades de Barranquilla, Bogotá, Cali, Medellín y Sogamoso. Las concentraciones de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno presentan niveles altos en las ciudades de Bogotá, Cali, y Medellín, igualmente, la concentración de partículas en suspensión alcanza y supera el límite establecido por las normas (decreto 02) de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en algunos sitios de las ciudades de Barranquilla, Bogotá, Cali y Sogamoso (Figura 1.1 )

Figura 1.1.  
Concentración de Partículas en Suspensión 1989



Las concentraciones de contaminantes atmosféricos en las principales ciudades del país se elevan en aquellos períodos en los cuales existen eventos de inversión térmica. Las condiciones meteorológicas en Bogotá, Barranquilla, Cali, Medellín y Sogamoso presentan inversiones térmicas, particularmente en los primeros meses del año (excepto en Cali en donde las inversiones ocurren generalmente en agosto, septiembre y octubre) (Cuadro 1.1).

En el país existen numerosas fuentes de contaminación atmosférica particularmente las fuentes móviles (vehículos de transporte), las explotaciones mineras, la industria manufacturera, y las fuentes de área (centros comerciales, y lavanderías en seco). Las emisiones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos provienen principalmente de la combustión incompleta de los automotores que circulan en los centros urbanos. Las emisiones de partículas en suspensión las producen particularmente las explotaciones extractivas (canteras) y los procesos de generación de energía que utilizan carbón, crudo castilla, aceites lubricantes usados y combustóleo particularmente en la industria manufacturera.

Cuadro 1.1. Condiciones de Estabilidad Atmosférica en los Centros Urbanos del País

| Cinturon Industrial | Inversión Térmica   |
|---------------------|---|
| BOGOTA              | 66 % de la probabilidad de eventos de inversión térmica durante los meses de enero, febrero, junio y de agosto a diciembre. |
| BARRANQUILLA        | Inversiones térmicas solo en enero y febrero.   |
| BUCARAMANGA         | 25 % de probabilidad de inversiones durante los meses de enero, julio y diciembre   |
| CALI                | Alta estabilidad atmosférica durante el 40 % del tiempo del año, inversiones en agosto, septiembre, y parte de octubre.     |
| SOGAMOSO            | Frecuencia de inversiones durante un 30 % del tiempo del año (enero, febrero, marzo y diciembre)                            |

Fuente: Proyecto "Diagnóstico y Control de la Contaminación Industrial". DNP-PNUD(Informe de Avance)

Un estimativo del Ministerio de Salud efectuado en 1985 encontró que un porcentaje mayor al 80 % de las emisiones de óxidos de azufre y más del 95 % de las emisiones de partículas en suspensión provienen de la industria manufacturera y extractiva, particularmente en razón a la combustión incompleta de combustibles fósiles en los procesos de generación de energía. De otra parte, más del 95 % de las emisiones de monóxido de carbono y de hidrocarburos proviene de las emisiones del parque automotor. (Cuadro 1.2)

Cuadro 1.2. Emisiones del Parque Automotor Nacional (ton./año)

| Contaminante | año 1989 | año 1990 |
|--------------|----------|----------|
| CO           | 2113950  | 2202647  |
| HC           | 159118   | 165483   |
| NOx          | 89663    | 93975    |
| SOx          | 5951     | 6135     |
| TOTAL        | 2377598  | 2477500  |

Fuente: Minsalud 1990

Durante las décadas de los sesenta y los setenta los niveles de calidad del aire en el país no presentaron niveles significativamente superiores a los estándares internacionales. La red Panaire, instalada en el país bajo los auspicios de la Organización Panamericana de la Salud en 1967, reportó la superación en un 3.6% de oportunidades de las normas, particularmente la de partículas en suspensión, en las principales ciudades del país. Con el tiempo los problemas de contaminación del aire se han agudizado particularmente en los principales centros urbanos del país (Bogotá y Medellín) y en algunas zonas industriales (Sogamoso y Barrancabermeja). En este sentido, los problemas regionales más importantes de calidad de aire-ambiente se encuentran en las ciudades en las cuales de una parte, las condiciones de estabilidad atmosférica presentan inversiones térmicas y de otra, en donde las emisiones de contaminantes son cuantiosas.

Un estudio reciente ejecutado por la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA, 1991) detectó altas concentraciones de ozono, hidrocarburos, monóxido de carbono en la capital del país. En algunas estaciones se detectaron niveles de ozono y monóxido de carbono por encima de los límites permisibles. Los niveles máximos de CO se detectaron en las horas en que existen la mayor congestión de tráfico automotor de 7 a 9 a.m y de 6 a 8 p.m. Las concentraciones de ozono también están correlacionadas con el pico de tráfico automotor en las horas de la mañana entre 8 y 10 a.m. JICA estima que de continuar con las tasas actuales de emisión de contaminantes atmosféricos, en diez años, a fin de cumplir con las normas vigentes de calidad de aire, se requerirá una reducción del 80% en las emisiones de hidrocarburos, de 63% en las emisiones de monóxido de carbono, del 26% en las emisiones de dióxido de azufre, y del 33% en las emisiones de óxidos de nitrógeno.

En la Ciudad de Medellín se ha medido la calidad del aire-ambiente desde la década del sesenta. Las características meteorológicas, de inversión térmica, que se desarrollan periódicamente en el Valle de Aburrá y las concentraciones de contaminantes emitidos por el parque automotor, el comercio, las canteras y la industria manufacturera han permitido medir concentraciones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> que superan los límites permisibles decretados por el gobierno. En 1989 la concentración promedio de dióxido de

azufre, en el Valle de Aburrá, alcanzó 34  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Los altos niveles de dióxido de azufre se deben principalmente a la generación de energía industrial a base de carbón, combustóleo y crudo castilla.

La contaminación industrial es la principal causa de los altos niveles de partículas en suspensión, monóxido de carbono, y dióxido de azufre en el Valle de Sogamoso. El Ministerio de Salud (1991) estima que las emisiones diarias de partículas de suspensión, en esta zona, asciende a 230 toneladas/día. Más del 50% de esta contaminación la producen los hornos que utilizan los pequeños fabricantes de ladrillo. La industria del cemento y siderurgia (particularmente Acerías Paz del Río) contribuyen con cerca del 17% del total de partículas emitidas.

El segundo componente de la contaminación atmosférica es la contaminación por ruido. El Ministerio de Salud ha emitido dos resoluciones para controlar la contaminación sonora en el país, pero su aplicación y la vigilancia de su cumplimiento ha sido precaria. La información recopilada en el proyecto "Diagnóstico y Control de la Contaminación Industrial" que adelanta el Departamento Nacional de Planeación (DNP) con la cooperación técnica del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) ha encontrado que los niveles fijados por las resoluciones del Ministerio de Salud se sobrepasan en la mayoría de centros urbanos del país.

En los barrios residenciales situados en la zona de influencia del aeropuerto El Dorado de la Ciudad Capital, los niveles de ruidos son superiores a 80 dB(A) en más del 60% del tiempo. En las vías centrales de la capital -en las horas pico de tráfico- se registran niveles que superan los 90 dB(A). En Barranquilla en zonas cercanas a las vías del centro se alcanzan niveles de 90 dB (A) en horas del mediodía. Entre las 7:45 a.m. y las 6 p.m., en la zona central de Cali y la zona de Jamundi se registran niveles de ruido superiores a 80 dB(a). En Pereira en la zona central (Turín, Puente Av. Sur, Centro Internacional, Gobernación) durante las horas de trabajo, se registran niveles de ruido superiores a 85 dB(A).

Los altos niveles de ruido que se han medido en los centros urbanos del país son causados principalmente por los vehículos de transporte, el comercio,

las actividades de construcción y la industria manufacturera. La mayoría de automotores en el país no poseen sistemas de mitigación de ruido, adicionalmente las bajas especificaciones de las vías y las congestiones de tráfico contribuyen a aumentar los niveles de ruido.

## **1.2. La calidad del Agua.**

En Colombia, la calidad de los cuerpos de agua cercanos a los centros urbanos se ha deteriorado significativamente en las últimas décadas. Los ríos Bogotá, Cali y Medellín presentan condiciones anaeróbicas en segmentos importantes de sus recorridos.

Las fuentes de contaminación hídrica en el país son varias: residuos líquidos domésticos, residuos de actividades agropecuarias, residuos provenientes de explotaciones de minerales, lixiviados generados por la mala disposición de los residuos sólidos, y residuos de la industria manufacturera. Los residuos líquidos domésticos contribuyen con el mayor porcentaje de descargas de tipo orgánico. Se estima que la carga orgánica total debida a los residuos domésticos alcanza una cifra cercana a 1,200 toneladas de DBO/día y la carga industrial alcanza cerca de 350 toneladas de DBO/ día .

La carga contaminante con patógenos proviene particularmente de los residuos líquidos domésticos, los provenientes de centros de salud, los que generan la industria de procesamiento de animales particularmente los mataderos municipales y los que provienen de actividades pecuarias . Un indicador de la contaminación con patógenos es el número de coliformes. Con base en los muestreos efectuados en las principales ciudades del país (CAR,CVC, EPM, 1990) se estima que la descarga de coliformes a los cuerpos de agua superficiales alcanza la cifra de  $17 \times 10^{17}$  NMP/100 ml.día.

La carga de residuos líquidos peligrosos proviene fundamentalmente de la mala disposición de los residuos sólidos, los residuos de centros de salud, la escorrentía de contaminantes atmosféricos depositados por la precipitación (plomo) y de los residuos que produce la industria manufacturera,



particularmente la industria de procesamiento de petróleo, la industria química, y la industria de curtiembres. La mala disposición de los residuos sólidos contribuye a las descargas de lixiviados con altas concentraciones de residuos peligrosos como fenoles, cromo, mercurio, y plomo<sup>2</sup>. El caso de los rellenos sanitarios de Bogotá y Medellín son ilustrativos. Las descargas en los lixiviados de compuestos tóxicos son elevadas. Por ejemplo, la concentración de fenoles alcanza concentraciones promedio de 4 mg/litro.

La industria de refinación de petróleo descarga a los cuerpos de agua nacionales, particularmente al Río Magdalena compuestos altamente tóxicos como los fenoles. La industria química descarga en los cuerpos de agua marítima y continental compuestos orgánicos volátiles (organofosforados y organoclorados) y metales pesados (mercurio, y cadmio entre otros). La industria de curtiembres vierte a los ríos Bogotá, Cali, Pasto y Medellín, metales pesados como plomo o el cromo el cual en forma hexavalente es altamente tóxico

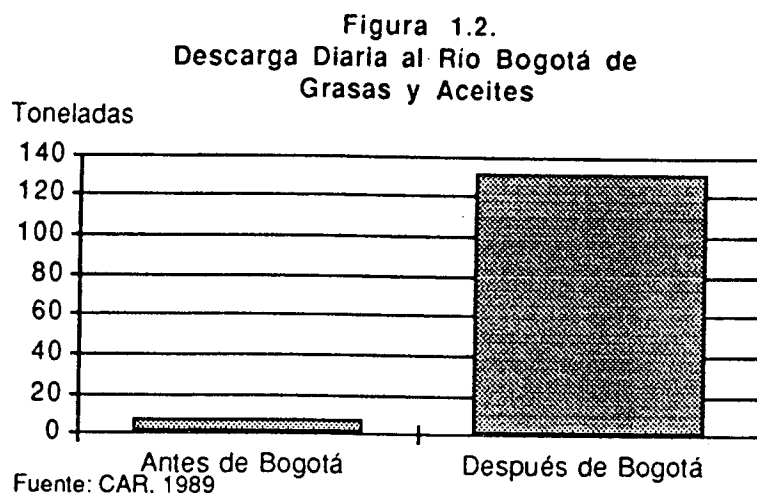
Algunos residuos peligrosos, particularmente los metales pesados, se depositan en los lodos de los lechos de los ríos y mediante procesos de desorción continúan contribuyendo a mantener altas concentraciones de tóxicos en solución en los cuerpos de agua. En algunos casos las concentraciones de estos metales pesados encontrados en los lodos son muy altas, como en el caso del Río Bogotá en que se han encontrado concentraciones de cromo de 220 mg/kg de lodo, o de plomo del orden de 140 mg/kg de lodo.

Las fuentes móviles también contribuyen a la contaminación hídrica. El mayor porcentaje de los 650 mil barriles anuales de aceites lubricantes automotores se descargan a los alcantarillados y cuerpos de agua sin ningún tratamiento o control. Por ejemplo, la CAR estima que en 1989, cerca de 250.000 barriles de aceite motor se vertieron al alcantarillado de la ciudad de Bogotá y por ende al Río Bogotá. La figura 1.2. presenta la carga contaminante

---

<sup>2</sup>/Los metales pesados como el plomo provienen de la mala disposición final de residuos como las baterías de automotores, las cuales se basan en celdas de este material.

de aceites y grasa totales que se descargan al Río Bogotá a su paso por la ciudad capital.



### **1.3. Generación y Disposición Final de Residuos Sólidos y Peligrosos.**

Diariamente se envían a los sitios de disposición final de residuos sólidos cerca de 11200 toneladas de los cuales el 0.5% son residuos peligrosos. El mayor porcentaje de los residuos sólidos que se producen en el país son residuos domésticos con alta concentración de materia orgánica particularmente productos vegetales y animales, y papel. La producción per-cápita de basura es función del ingreso, mientras en zonas de altos ingresos de Cali, Medellín y Santafé de Bogotá la producción per-cápita de basuras es superior a los 0.5 Kg/día; existen zonas rurales en donde la producción per-cápita alcanza los 0.2 kg/día. particularmente en las zonas rurales y en los poblados pequeños no existen sitios específicos para la disposición. Algunas campañas educativas emprendidas por el sector privado han sido exitosas en promover el reciclaje en la fuente de productos como el vidrio.

En razón al peso que tienen los residuos domésticos, la producción de residuos sólidos crece proporcionalmente con el crecimiento de la población y con el aumento en su nivel de ingresos. De manera similar a lo que acontece con los residuos líquidos, los residuos peligrosos se generan en las explotaciones mineras (p.e. la extracción artesanal de oro), instalaciones de

defensa (mantenimiento de armamento), centros de salud (patógenos), las labores domésticas (p.e. pinturas, solventes, blanquadores) y la industria manufacturera.

La disposición de los residuos sólidos en el país ha sido uno de los programas con menor prioridad gubernamental. En la mayoría de los municipios del país las basuras y residuos sólidos se disponen en botaderos a cielo abierto (p.e. Cali y Popayán) o en los cuerpos de agua aledaños ( p.e. Manizales). Aún en los municipios en donde se disponen los residuos sólidos en rellenos sanitarios los problemas son agudos pues en general no se manejan los lixiviados, gases y residuos peligrosos. Actualmente a nivel de ciudades capitales de los departamentos solamente Bogotá y Medellín cuentan con rellenos sanitarios.

Los fuentes móviles contribuyen a la generación de residuos sólidos en algunos casos residuos peligrosos. A los sitios de disposición final de basura llegan llantas, plástico, vidrios, y chatarra provenientes de los automotores que conforman el parque nacional. Igualmente, se desechan residuos peligrosos como baterías con celdas de plomo, solventes, desengrasantes, líquidos de frenos y otros materiales y autopartes que tienen características tóxicas, corrosivas, reactivas o explosivas.

## **CAPITULO 2**

### **PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL Y CONTAMINACION ATMOSFERICA**

## **CAPITULO 2 PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL Y CONTAMINACION ATMOSFERICA**

### **Introducción**

En el país, la principal fuente de contaminación atmosférica con monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y oxidantes fotoquímicos, la constituyen las emisiones del parque automotor. Con el objeto de analizar el impacto contaminante de las fuentes móviles en el país, este capítulo presenta las características de crecimiento del parque automotor nacional, su localización y las emisiones atmosféricas que generan los automotores y otras fuentes móviles. El presente capítulo se divide en cinco secciones. La primera sección presenta el inventario del parque automotor nacional, su crecimiento histórico y su localización en las diferentes regiones del país de acuerdo con datos suministrados por el INTRA<sup>3</sup>. La segunda sección identifica los diferentes medios de transporte que se utilizan en el país, su consumo de combustibles y las emisiones atmosféricas desagregas por uso de transporte. La tercera sección estima las emisiones de exosto que generan los automotores nacionales. Se identifica además las emisiones debidas a la combustión incompleta de combustibles como las principales generadoras de monóxido de carbono, dióxido de azufre, y óxidos de nitrógeno. La cuarta sección estima las emisiones evaporativas debidas al parque automotor. Estas emisiones evaporativas son particularmente importantes por las altas concentraciones de compuestos orgánicos volátiles tales como aromáticos y otros hidrocarburos. La última sección define las actividades que quedan por ejecutar con el objeto de estimar las emisiones contaminantes debidas a las diferentes fuentes móviles en el país.

---

<sup>3</sup>INTRA . Instituto Nacional de Tránsito y Transportes.

## **2.1. El Parque Automotor Nacional.**

El parque automotor en el país es el responsable del mayor porcentaje de gases contaminantes en la atmósfera. Los vehículos automotores que transitan en los centros urbanos son el mayor contaminador del aire con gases tales como el monóxido de carbono, hidrocarburos, y oxidantes fotoquímicos. Esta sección se subdivide en dos partes, la primera presenta los diferentes medios de transporte que se utilizan en el país, la demanda de combustibles de los diferentes sectores de transporte y los contaminantes generados por el uso de cada uno de los medios de transporte de pasajeros y carga, en razón a su importancia en la contaminación ambiental. La segunda parte se concentra en el inventario y emisiones generadas por el parque automotor.

A diciembre de 1991, el parque automotor colombiano superaba la cifra de 1.6 millones de unidades, de los cuales el 51 % correspondían a automóviles, el 31 % a camionetas y camperos, el 10.8 % a camiones, volquetas y tractomulas y el 5.5 % a buses, busetas y microbuses (Acolfa-Intra, 1992).

En los últimos años la tasa anual de crecimiento del parque automotor ha oscilado entre el 4 y el 6%. El mayor número de unidades nuevas que ha entrado al parque automotor corresponde a vehículos ensamblados en el país. Durante el período 1982- Junio 1991, las ventas nacionales de vehículos ensamblados en el país alcanzaron un total de 407 mil unidades. Cabe anotar que las ventas de automotores ensamblados en el país alcanzaron un máximo en 1988, año en que se adicionaron al parque automotor nacional cerca de 60.000 unidades producidas internamente (Acolfa Manual Estadístico No.12).

El parque automotor registrado en las siete ciudades mas grandes del país, que en 1990 contaba con aproximadamente 740.000 unidades, concentra cerca del 50% del total de unidades registradas a nivel nacional. La

existencia de obstáculos burocráticos y desincentivos hace que un porcentaje significativo de los vehículos que circulan en las ciudades más grandes del país estén registrados en localidades diferentes particularmente en municipios pequeños cercanos a los principales centros urbanos. El caso de Bogotá es ilustrativo. A junio de 1990 se encontraban registrados 338.900 vehículos en la capital del país. Sin embargo, el número de vehículos que circulan en Bogotá, se estima, supera la cifra de 580.000 con aumentos anuales del orden de 50.000 nuevas unidades. En 1985 el número de vehículos registrados en 10 municipios pequeños localizados alrededor de la capital, superaba los 170.000 (The Study on Air Pollution Control in Santafé de Bogotá, JICA, 1992). El cuadro 2.1. discrimina el parque automotor nacional por regiones geográficas.

Cuadro 2.1. Distribución del Parque Automotor en Colombia

| ZONA GEOGRAFICA | PORCENTAJE | Unidades      |
|-----------------|------------|---------------|
| BOGOTA          | 35%        | 0.56 Millones |
| COSTA ATLANTICA | 15%        | 0.24 Millones |
| RESTO DEL PAIS  | 50%        | 0.8 Millones  |
| TOTAL           | 100%       | 1.6 Millones  |

Más del 26% de las unidades que conforman el parque automotor nacional cuentan con más de 20 años de servicio, el 49 % entre 20 a 10 años, y el 24% tiene menos de 10 años. La disminución de aranceles de importación permiten suponer que el proceso de reposición automotriz se activará en el corto plazo. Las condiciones dadas por la política gubernamental de apertura económica, que han comenzado con disminuciones en las tasas arancelarias, significan una disminución en los precios de los automotores tanto los importados como los producidos en el país. La rebaja en los precios de los automotores puede inducir a aumentos en la tasa de crecimiento del parque automotor nacional superiores a las tasas históricas de crecimiento particularmente de los últimos años. Sin embargo, también es previsible, en el

futuro, un decenso en las ventas de vehículos ensamblados en el país, en razón a precios más favorables de unidades importadas. (ver Cuadro 2.2.)

Cuadro 2.2 . Distribución del Parque de Vehículos de Transporte Público, por Modelo, para la ciudad de Bogotá.

| MODELO | BUSES<br>TSS | BUS<br>1/ | BUS<br>2/ | BUSETA | BUSETA<br>1/ | TOTAL |
|--------|--------------|-----------|-----------|--------|--------------|-------|
| <1964  | 1286         |           |           | 14     |              | 1300  |
| 1965   | 413          |           |           | 9      |              | 422   |
| 1966   | 133          |           |           | 6      |              | 139   |
| 1967   | 221          |           |           | 38     |              | 259   |
| 1968   | 574          |           |           | 158    |              | 732   |
| 1969   | 160          |           |           | 192    |              | 352   |
| 1970   | 406          |           |           | 133    |              | 539   |
| 1971   | 351          |           |           | 332    |              | 683   |
| 1972   | 84           |           |           | 547    |              | 631   |
| 1973   | 213          |           |           | 182    |              | 395   |
| 1974   | 274          | 33        |           | 239    |              | 546   |
| 1975   | 500          |           |           | 391    |              | 891   |
| 1976   | 636          |           |           | 487    |              | 1123  |
| 1977   | 458          |           |           | 262    |              | 720   |
| 1978   | 215          |           |           | 282    |              | 497   |
| 1979   | 376          |           |           | 439    |              | 815   |
| 1980   | 256          |           |           | 491    |              | 747   |
| 1981   | 184          |           |           | 465    | 155          | 804   |
| 1982   | 174          |           |           | 379    | 174          | 727   |
| 1983   | 119          |           |           | 229    | 86           | 434   |
| 1984   | 122          |           |           | 284    | 123          | 529   |
| 1985   | 60           |           |           | 72     | 36           | 168   |
| 1986   | 47           |           |           | 2      |              | 49    |
| 1987   | 34           | 7         |           |        |              | 41    |
| 1988   | 83           | 28        | 5         |        |              | 116   |
| 1989   | 82           | 358       | 33        |        |              | 473   |
| 1990   | 34           | 111       |           |        |              | 145   |
| TOTAL  | 7495         | 537       | 38        | 5633   | 574          | 14277 |

1/. Ejecutiva

2/. Super ejecutiva

Fuente: DATT



## **2.2. Potencial Contaminante del Transporte Urbano e Interurbano en Colombia**

### **2.2.1. Transporte Urbano e Interurbano en Colombia**

El parque automotor de los mayores centros urbanos nacionales, contribuye con el mayor porcentaje de gases contaminantes; monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y oxidantes fotoquímicos. El aumento en las unidades del parque automotor nacional se concentra particularmente en los automóviles particulares.

En general el aumento de las unidades de automotores particulares es ineficiente en cuanto al transporte del mayor porcentaje de la población. El caso de la ciudad capital es ilustrativo. En la capital del país, Santafé de Bogotá, los sistemas de transporte público de buses y busetas transportan el 84 % de la población que se moviliza. El índice de ocupación de vías en la capital corresponde a un 27 % para los buses y busetas de transporte público. El alto índice de ocupación de vías por vehículos particulares contribuye a velocidades promedio bajas del orden de 16.5 Km/hora.

En el país, el principal medio de transporte intermunicipal, es el transporte vial. Por carretera se transportan el 83% de pasajeros y carga. El 10% del transporte de pasajeros utiliza el transporte aéreo. Un 13% de la carga nacional utiliza el transporte fluvial. La capacidad de carga de los automotores que transportan carga es relativamente baja (de 3 a 10 toneladas) en razón a que las carreteras existentes, o no tienen grandes dimensiones o no soportan cargas portantes muy altas. Por esta razón el tránsito de tractomulas está restringido. El cuadro 2.3. identifica los volúmenes de pasajeros y carga interurbanos transportados en los diferentes medios de transporte.

Cuadro 2.3. Volúmenes de Pasajeros y Carga según Medio de Transporte (%).

| MEDIO DE TRANSPORTE | PASAJEROS |     | CARGA |     |
|---------------------|-----------|-----|-------|-----|
| Carretera           | 83.1      |     | 82.7  |     |
| Aéreo               | 10.4      |     | 0.3   |     |
| Ferrovionario       |           | 4.5 |       | 3.7 |
| Fluvial             | 2.0       |     | 13.3  |     |

Fuente : Ministerio de Obras Públicas y Transporte y Ministerio de Minas y Energía

Las emisiones contaminantes de los vehículos de transporte interurbano son particularmente importantes en las terminales de transporte y en las vías urbanas de acceso y salida de estas terminales.

Adicional al transporte por carretera, los medios de transporte fluvial, marítimo, aéreo y ferreo también contribuyen con cargas que contaminan el ambiente. El transporte fluvial maneja cerca del 13% de la carga interurbana nacional. El transporte marítimo moviliza el mayor porcentaje de las importaciones y exportaciones nacionales. Se estima que en 1990 se movilizaron cerca de 20 millones de toneladas en los puertos marítimos nacionales (cuadro 2.4.). De estos los que tienen mayor tráfico son los de Buenaventura, Cartagena-Mamonal, y Coveñas. El aporte contaminante más importante generado por las embarcaciones de transporte fluvial y marítimo corresponde a las vertimientos hídricos con centinas y aceites.

Cuadro 2.4. Distribución de la Carga Movilizada por Puertos

| PUERTO       | % CARGA |
|--------------|---------|
| Buenaventura | 31      |
| Coveñas      | 15      |
| Cartagena    | 13      |
| Santa Marta  | 11      |
| Mamonal      | 10      |
| Barranquilla | 10      |
| Turbo        | 8       |
| Tumaco       | 2       |

Fuente :Ministerio de Obras Publicas y Transporte y Ministerio de Minas y Energía

Las emisiones atmosféricas generadas por el transporte aéreo y el férreo no son particularmente importantes. El principal problema de contaminación atmosférica en los centros urbanos causado por el transporte aéreo, se causa por evaporación y emisiones de hidrocarburos volátiles de los tanques de almacenamiento de JP-A<sup>4</sup>. Las emisiones procedentes de transporte férreo no son significates, participan con el 0,11% del total de las emisiones producidas por la actividad del transporte. Se debe aclarar que se prevee un resurgimiento del transporte ferroviario. Es necesario que el nuevo auge de los ferrocarriles vaya acompañado de los sistemas de control para que la cifra no se incremente.

### 2.2.2. Consumo de Combustible.

El parque automotor colombiano utiliza como combustibles la gasolina motor, el ACPM, y el GNC<sup>5</sup>. Otras fuentes móviles como los aviones y las locomotoras utilizan como combustibles turbocombustible (JP-A) y ACPM, respectivamente. En el país se consumen en promedio 110000 barriles de gasolina motor diariamente. De este total, el 94 % corresponde a gasolina regular y el 6 % corresponde a gasolina extra. El consumo de ACPM supera los 36000 barriles/ año. De otra parte el consumo de JP-A supera los 10000 barriles/ día. El cuadro 2.5 muestra el consumo de combustibles en el país durante 1991.

Cuadro 2.5. Consumo de Combustibles 1991

| PRODUCTO                        | B.P.D.C.       |
|---------------------------------|----------------|
| Gasolina Motor                  | 108.296        |
| Bencina y Cocinol               | 3.673          |
| Destilados Medios               | 50.502         |
| Avigas                          | 660            |
| Propano                         | 13.974         |
| Combustoleo y Crudo de Castilla | 15.225         |
| <b>TOTAL</b>                    | <b>192.330</b> |

Fuente: Empresa Colombiana de Petróleos

4. JP-A. Combustible Jet

5. GNC. Gas Natural Comprimido

En los últimos 15 años, el aumento en el consumo de combustibles ha sido significativo. Mientras en 1976, la demanda de gasolina motor llegaba a 62000 barriles/día; en 1991 el consumo total de éste combustible alcanzó la cifra de 108000 barriles /día. El aumento en el consumo corresponde al 74 %. El crecimiento anual promedio del consumo se aproxima al 3.8 %.

Tal como se discute posteriormente, en la segunda sección de este capítulo, el mayor porcentaje del consumo de gasolina motor en el país lo hacen los automotores de los centros urbanos dedicados al transporte de pasajeros. El segundo consumidor de gasolina de motor lo constituyen los vehículos de transporte de carga y pasajeros interurbano. El cuadro 2.6. presenta el consumo de gasolina motor en los diferentes sistemas de transporte.

Cuadro 2.6. Consumo de Gasolina motor por Diferentes Sistemas de Transporte 1985 -1989 (BTU\*10<sup>12</sup>)

| USO                             | 1989  | 1988  | 1987  | 1986  | 1985  |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Pasajeros Privados Interurbanos | 17.17 | 16.73 | 16.75 | 15.79 | 15.52 |
| Pasajeros Privados Urbanos      | 41.22 | 39.41 | 33.65 | 31.70 | 31.17 |
| Pasajeros Públicos Interurbanos | 20.61 | 20.66 | 17.46 | 16.45 | 16.17 |
| Pasajeros Públicos Urbanos      | 41.21 | 39.25 | 41.97 | 38.79 | 38.15 |
| Carga Urbana                    | 20.60 | 19.46 | 20.47 | 19.35 | 19.03 |
| Carga Interurbana               | 27.48 | 26.44 | 34.02 | 28.56 | 28.09 |
| Aéreo                           | 1.20  | 1.15  | 0.92  | 1.10  | 1.11  |
| Fluvial                         | 2.23  | 3.10  | 2.40  | 2.33  | 2.29  |
| Ferrovionario                   | ----- | 0.03  | 0.03  | 0.03  | 0.03  |

Fuente : Ministerio de Obras Públicas y Transporte y Ministerio de Minas y Energía

El consumo de diesel lo hacen en más de un 75% los vehículos de transporte interurbano de carga y pasajeros. De otra parte el 100% del fuel oil

que se consume en el país se utiliza en el transporte marítimo y ferroviario. (ver cuadros 2.7 y 2.8.)

Cuadros 2.7. Consumo de Diesel por Diferentes Sistemas de Transporte 1985 - 1989

(BTU\*10<sup>12</sup>)

| USO                             | 1989  | 1988  | 1987  | 1986  | 1985  |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Pasajeros Privados Interurbanos | 0.31  | 0.34  | 0.30  | 0.36  | 0.35  |
| Pasajeros Privados Urbanos      | 0.75  | 0.75  | 0.60  | 0.62  | 0.60  |
| Pasajeros Públicos Interurbanos | 2.07  | 2.05  | 1.85  | 1.45  | 1.40  |
| Pasajeros Públicos Urbanos      | 2.19  | 2.16  | 1.88  | 3.67  | 3.56  |
| Carga Urbana                    | 3.14  | 3.03  | 2.89  | 3.28  | 3.18  |
| Carga Interurbana               | 18.83 | 18.74 | 15.82 | 17.48 | 16.94 |
| Fluvial                         | 1.57  | 1.69  | 1.64  | 1.59  | 1.54  |
| Marítimo                        | 1.56  | 1.47  | 1.93  | 1.71  | 1.65  |
| Ferroviario                     | 0.94  | 0.90  | 0.84  | 0.78  | 0.73  |

Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Transporte y Ministerio de Minas y Energía

Cuadro 2.8. Consumo de Fuel Oil en el país 1985 - 1989 en BTU<sup>6</sup> \*10<sup>12</sup>

| USOS        | 1989 | 1988 | 1987 | 1986 | 1985 |
|-------------|------|------|------|------|------|
| Marítimo    | 0.39 | 0.38 | 1.79 | 0.67 | 0.79 |
| Ferroviario | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |

Fuente :Ministerio de Obras Públicas y Transporte y Ministerio de Minas y Energía

El transporte aéreo utiliza la totalidad del kerosene Jet que se utiliza en el país. Tal como se muestra en la cuadro 2.9. el consumo de JP-A se ha mantenido relativamente constante en los últimos años.

6. BTU. Unidad Térmica Británica

El transporte aéreo utiliza la totalidad del kerosene Jet que se utiliza en el país. Tal como se muestra en la cuadro 2.9. el consumo de JP-A se ha mantenido relativamnte constante en los ultimos años.

Cuadro 2.9. Consumo de Kerosene Jet en el país 1985 - 1989 en  
BTU \*10<sup>12</sup>

| USOS  | 1989  | 1988  | 1987  | 1986 | 1985  |
|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| Aéreo | 18.98 | 17.77 | 17.74 | 16.5 | 18.25 |

Fuente : Ministerio de Obras Públicas y Transporte y Ministerio de Minas y Energia

### 2.2.3. Contaminación Atmosférica por medio del Transporte.

El mayor porcentaje de contaminates atmosféricos del país provienen de los vehículos de transporte de pasajeros dentro de los perímetros urbanos de las ciudades más importantes. La cuadro 2.10. presenta el porcentaje de contaminantes atmosféricos emitidos por cada una de las fuentes móviles utilizadas en el transporte de pasajeros y carga. El porcentaje de contaminantes atmosféricos que emiten otras fuentes móviles diferentes al parque automotor son porcentualmente bajas. Las emisiones provenientes de los vehículos utilizados en el transporte aéreo, fluvial, marítimo y ferroviario representan menos del 3% del total de las emisiones atmosféricas generadas por el sector transporte en el país.

El mayor porcentaje de contaminates atmosféricos proviene de la combustión incompleta de la gasolina motor en los vehículos que transportan pasajeros dentro de los centros urbanos. La combustión incompleta de la gasolina se estima que en 1989 contribuyó con cerca de 6 millones de libras de aldehidos, 3400 millones de libras de monóxido de carbono, 168 millones de libras de óxidos de nitrógeno, 298 millones de libras de hidrocarburos, 13.4 millones de libras de óxidos de azufre, y 17.9 millones de libras de material particulado. (ver cuadros 2.11 a 2.17.)

Cuadro 2.10. Porcentaje de Contaminación Atmosférica por Fuentes Móviles en %

| USO                             | % DE CONTAMINANTES |
|---------------------------------|--------------------|
| Pasajeros Privados Interurbanos | 9.68               |
| Pasajeros Privados Urbanos      | 23.23              |
| Pasajeros Públicos Interurbanos | 11.8               |
| Pasajeros Públicos Urbanos      | 23.39              |
| Carga Urbana                    | 11.92              |
| Carga Interurbana               | 17.55              |
| Transporte Aéreo                | 0.68               |
| Transporte Fluvial              | 1.43               |
| Transporte Marítimo             | 0.21               |
| Transporte Ferroviario          | 0.11               |

Fuente : Ministerio de Obras Públicas y Transporte y Ministerio de Minas y Energía

Cuadro 2.11. Contaminantes Emitidos por Gasolina Aldehidos - 34702 lb/BTU\*10<sup>12</sup>.

| USO                             | 1989    | 1988    | 1987    | 1986    | 1985    |
|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Pasajeros Privados Interurbanos | 595993  | 580570  | 581382  | 547782  | 538610  |
| Pasajeros Privados Urbanos      | 1430355 | 1367754 | 1167598 | 1100094 | 1081697 |
| Pasajeros Públicos Interurbanos | 715109  | 716995  | 605852  | 570834  | 561277  |
| Pasajeros Públicos Urbanos      | 1430080 | 1362205 | 1456368 | 1346203 | 1323716 |
| Carga Urbana                    | 714971  | 675243  | 710468  | 671593  | 660343  |
| Carga Interurbana               | 953616  | 917592  | 1180611 | 991210  | 974644  |
| Aéreo                           | 41725   | 39769   | 32071   | 38111   | 38475   |
| Fluvial                         | 77391   | 107548  | 83257   | 80806   | 79470   |
| Marítimo                        |         |         |         |         |         |
| Ferroviario                     |         | 1170.5  | 1170.5  | 1170.5  | 1170.5  |
|                                 |         |         |         |         |         |
| Total                           | 5959242 | 5768849 | 5818781 | 5347806 | 5259404 |

Fuente : Ministerio de Obras Públicas y Transporte y Ministerio de Minas y Energía

Cuadro 2.12. Monóxido de Carbono - 19953443  
lb/BTU\*10<sup>12</sup>.

| USO                             | 1989       | 1988       | 1987       | 1986       | 1985       |
|---------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Pasajeros Privados Interurbanos | 342692465  | 333824268  | 334291432  | 314971432  | 309698022  |
| Pasajeros Privados Urbanos      | 822446081  | 786450703  | 671362094  | 632547897  | 621969405  |
| Pasajeros Públicos Interurbanos | 411183450  | 412268221  | 348361777  | 328226219  | 322731104  |
| Pasajeros Públicos Urbanos      | 822287720  | 783259736  | 837403245  | 774058981  | 761128834  |
| Carga Urbana                    | 411104270  | 388260745  | 408515073  | 386162466  | 379693433  |
| Carga Interurbana               | 548323780  | 527610206  | 678844635  | 569940010  | 560414617  |
| Aéreo                           | 23991639   | 22867279   | 18441098   | 21913948   | 22122984   |
| Fluvial                         | 44499345   | 61839837   | 47872427   | 46463017   | 45694968   |
| Marítimo                        |            |            |            |            |            |
| Ferroviano                      |            | 673032     | 673032     | 673032     | 673032     |
|                                 |            |            |            |            |            |
| Total                           | 3426528753 | 3317054030 | 3345764817 | 3074957006 | 3024126401 |

Fuente : Ministerio de Obras Públicas y Transporte y Ministerio de Minas y Energía

Cuadro 2.13. Contaminantes -Emitidos /  
Gasolina Hidrocarburos 1735082 lb/BTU\*10<sup>12</sup>.

| USO                             | 1989      | 1988      | 1987       | 1986      | 1985       |
|---------------------------------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|
| Pasajeros Privados Interurbanos | 29799344  | 29028197  | 29068820.2 | 27388820  | 26930262.8 |
| Pasajeros Privados Urbanos      | 71517051  | 68387018  | 58379312.6 | 55004165  | 54084296.1 |
| Pasajeros Públicos Interurbanos | 35755082  | 35849410  | 30292328.4 | 28541410  | 28063574.3 |
| Pasajeros Públicos Urbanos      | 71503280  | 68109542  | 72817673.5 | 67309476  | 66185116.0 |
| Carga Urbana                    | 35748197  | 33761803  | 35523049.9 | 33579344  | 33016820.3 |
| Carga Interurbana               | 47680328  | 45879148  | 59029968.3 | 49560000  | 48731705.8 |
| Aéreo                           | 2086229.5 | 1988459.1 | 1603573.8  | 1905560.7 | 1923737.7  |
| Fluvial                         | 3869508.3 | 5377377.2 | 4162819.8  | 4040262.4 | 3973475.5  |
| Marítimo                        |           |           |            |           |            |
| Ferroviano                      |           | 58524.6   | 58524.6    | 58524.6   | 58524.6    |
|                                 |           |           |            |           |            |
| Total                           | 297959022 | 288439480 | 290936071  | 267387565 | 262967513  |

Fuente : Ministerio de Obras Públicas y Transporte y Ministerio de Minas y Energía



Cuadro 2.14. Contaminantes Emitidos  
/Gasolina Oxidos de Nitrógeno - 980321  
lb/BTU\*10<sup>12</sup>.

| USO                             | 1989       | 1988       | 1987       | 1986       | 1985       |
|---------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Pasajeros Privados Interurbanos | 16836624.2 | 16400925.9 | 16423877.9 | 15474678.2 | 15215593.4 |
| Pasajeros Privados Urbanos      | 40407119.9 | 38638652.0 | 32984300.5 | 31077342.7 | 30557617.0 |
| Pasajeros Públicos Interurbanos | 20201614.9 | 20254910.1 | 17115159.8 | 16125891.4 | 15855914.1 |
| Pasajeros Públicos Urbanos      | 40399339.6 | 38481878.4 | 41141971.7 | 38029841.5 | 37394578.0 |
| Carga Urbana                    | 20197724.7 | 19075412.8 | 20070516.4 | 18972323.5 | 18654497.2 |
| Carga Interurbana               | 26939376.7 | 25921710.1 | 33351920.9 | 28001391.1 | 27533404.5 |
| Aéreo                           | 1178719.3  | 1123479.0  | 906018.9   | 1076641.4  | 1086911.5  |
| Fluvial                         | 2186271.4  | 3038217.1  | 2351992.4  | 2282747.5  | 2245012.9  |
| Marítimo                        |            |            |            |            |            |
| Ferrovioario                    |            | 33066.4    | 33066.4    | 33066.4    | 33066.4    |
|                                 |            |            |            |            |            |
| Total                           | 168346790  | 162968252  | 164378825  | 151073923  | 148576595  |

Fuente : Ministerio de Obras Públicas y Transporte y Ministerio de Minas y Energía

Cuadro 2.15. Contaminantes Emitidos / Gasolina  
Oxidos de Azufre - 78078 lb/BTU\*10<sup>12</sup>.

| USO                             | 1989      | 1988      | 1987       | 1986      | 1985      |
|---------------------------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| Pasajeros Privados Interurbanos | 1340958.7 | 1306257.3 | 1308085.4  | 1232486.0 | 1211851.1 |
| Pasajeros Privados Urbanos      | 3218238.8 | 3077388.6 | 2627045.9  | 2475165.6 | 2433771.8 |
| Pasajeros Públicos Interurbanos | 1608964.5 | 1613209.2 | 1363142.7  | 1284352.1 | 1262849.7 |
| Pasajeros Públicos Urbanos      | 3217619.2 | 3064902.3 | 3276766.4  | 3028899.7 | 2978303.9 |
| Carga Urbana                    | 1608654.7 | 1519267.8 | 1598523.1  | 1511057.2 | 1485743.8 |
| Carga Interurbana               | 2145595.8 | 2064543.4 | 2656325.1  | 2230180.3 | 2192907.4 |
| Aéreo                           | 93879.5   | 89479.9   | 72160.2    | 85749.5   | 86567.4   |
| Fluvial                         | 174126.3  | 241979.8  | 187325.2   | 181810.2  | 178804.8  |
| Marítimo                        |           |           |            |           |           |
| Ferrovioario                    |           | 2633.6    | 2633.6     | 2633.6    | 2633.6    |
|                                 |           |           |            |           |           |
| Total                           | 13408037  | 12979661  | 13092007.5 | 12032334  | 11833433  |

Fuente : Ministerio de Minas y Energía

Cuadro 2.16. Contaminantes Emitidos / Gasolina  
Acidos - 34701 lb/BTU\*10<sup>12</sup>.

| USO                             | 1989      | 1988      | 1987      | 1986      | 1985      |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Pasajeros Privados Interurbanos | 595975.9  | 580553.2  | 581365.7  | 547766.3  | 538595.3  |
| Pasajeros Privados Urbanos      | 1430314.6 | 1367715.1 | 1167564.7 | 1100063.0 | 1081666.0 |
| Pasajeros Públicos Interurbanos | 715088.5  | 716975.0  | 605835.4  | 570817.7  | 561261.1  |
| Pasajeros Públicos Urbanos      | 1430039.2 | 1362165.7 | 1456326.6 | 1346164.7 | 1323677.9 |
| Carga Urbana                    | 714950.8  | 675223.6  | 710447.9  | 671574.5  | 660324.2  |
| Carga Interurbana               | 953589.0  | 917566.0  | 1180577.6 | 991181.7  | 974616.1  |
| Aéreo                           | 41723.8   | 39768.4   | 32070.9   | 38110.5   | 38474.0   |
| Fluvial                         | 77388.7   | 107545.6  | 83254.9   | 80803.8   | 79468.0   |
| Marítimo                        |           |           |           |           |           |
| Ferroviano                      |           | 1170.5    | 1170.5    | 1170.5    | 1170.5    |
|                                 |           |           |           |           |           |
| Total                           | 5959070.5 | 5768683.2 | 5818614.1 | 5347652.7 | 5259253.3 |

Fuente : Ministerio de Minas y Energía

Cuadro 2.17. Contaminantes Emitidos /Gasolina  
Partículas - 104104 lb/BTU\*10<sup>12</sup>.

| USO                             | 1989      | 1988      | 1987      | 1986      | 1985      |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Pasajeros Privados Interurbanos | 1787944.9 | 1741676.4 | 1744113.8 | 1643314.7 | 1615801.5 |
| Pasajeros Privados Urbanos      | 4290985.1 | 4103184.8 | 3502727.8 | 3300220.7 | 3245029.1 |
| Pasajeros Públicos Interurbanos | 2145286.0 | 2150945.6 | 1817523.6 | 1712469.5 | 1683799.6 |
| Pasajeros Públicos Urbanos      | 4290158.9 | 4086536.4 | 4369021.8 | 4038532.9 | 3971071.9 |
| Carga Urbana                    | 2144872.9 | 2025690.3 | 2131364.2 | 2014742.9 | 1980991.7 |
| Carga Interurbana               | 2860794.4 | 2752724.6 | 3541766.8 | 2973573.8 | 2923876.5 |
| Aéreo                           | 125172.7  | 119306.5  | 96213.6   | 114332.6  | 115423.2  |
| Fluvial                         | 232168.4  | 322639.8  | 249767.0  | 242413.6  | 238406.4  |
| Marítimo                        |           |           |           |           |           |
| Ferroviano                      |           | 3511.4    | 3511.4    | 3511.4    | 3511.4    |
|                                 |           |           |           |           |           |
| Total                           | 17877383  | 17306215  | 17456010  | 16043112  | 15777911  |

Fuente : Ministerio de Minas y Energía

Las concentraciones de partículas en suspensión y óxidos de nitrógeno son particularmente altas en las emisiones de vehículos que utilizan diesel como combustible. Se estima que el consumo de diesel para 1989 contribuyo con cerca de 2.4 millones de libras de aldehídos, 14.4 millones de libras de monóxido de carbono, 53.4 millones de libras de óxidos de nitrógeno, 32.7 millones de libras de hidrocarburos, 9.6 millones de libras de óxidos de azufre, y 26.4 millones de libras de material particulado. (ver cuadros 2.18 a 2.23.)

Cuadro 2.18. Contaminantes Emitidos por Diesel

Aldehidos - 76695.6 lb/BTU\*10<sup>12</sup>.

| USO                             | 1989      | 1988      | 1987      | 1986      | 1985      |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Pasajeros Privados Interurbanos | 24043.5   | 25991.3   | 22795.6   | 27969.5   | 27117.4   |
| Pasajeros Privados Urbanos      | 57826.0   | 57613.0   | 46230.4   | 47326.1   | 45895.6   |
| Pasajeros Públicos Interurbanos | 158930.3  | 157591.2  | 141795.6  | 110843.4  | 107434.7  |
| Pasajeros Públicos Urbanos      | 168304.2  | 165595.5  | 144230.3  | 281582.4  | 272969.4  |
| Carga Urbana                    | 240739.0  | 232734.6  | 221717.2  | 251360.7  | 243691.1  |
| Carga Interurbana               | 1443825.1 | 1437586.0 | 1213464.4 | 1340316.5 | 1299320.9 |
| Fluvial                         | 120217.3  | 129986.9  | 126030.3  | 122165.1  | 118452.1  |
| Marítimo                        | 119547.7  | 112760.8  | 147760.8  | 130869.5  | 126365.1  |
| Ferrovionario                   | 72191.3   | 69117.3   | 64400.0   | 59986.9   | 55847.8   |
|                                 |           |           |           |           |           |
| Total                           | 2405624.5 | 2388976.6 | 2128424.6 | 2372420.1 | 2297094.1 |

Fuente : Ministerio de Minas y Energía y Ministerio de Obras Públicas y Transporte

Cuadro 2.19. Contaminantes Emitidos por Diesel  
Monóxido de Carbono - 460174 lb/BTU\*10<sup>12</sup>.

| USO                             | 1989     | 1988     | 1987     | 1986     | 1985     |
|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Pasajeros Privados Interurbanos | 144260.9 | 155948   | 136773   | 167817   | 162704   |
| Pasajeros Privados Urbanos      | 346956.6 | 345678   | 277382   | 283956   | 275374   |
| Pasajeros Públicos Interurbanos | 953582   | 945548   | 850774   | 665061.  | 644608   |
| Pasajeros Públicos Urbanos      | 1009826  | 993574   | 865382.  | 1689496  | 1637817  |
| Carga Urbana                    | 1444435  | 1396409  | 1330304  | 1508165  | 1462148  |
| Carga Interurbana               | 86629582 | 8625523  | 7280792  | 8041906  | 7795932  |
| Fluvial                         | 721304.  | 779922   | 756183   | 732991   | 710713.  |
| Marítimo                        | 717287   | 676565   | 886565   | 785217   | 758191   |
| Ferrovial                       | 433148   | 414704   | 386400   | 359922   | 335087   |
|                                 |          |          |          |          |          |
| Total                           | 14433759 | 14333872 | 12770558 | 14234533 | 13782576 |

Fuente : Ministerio de Minas y Energía y Ministerio de Obras Públicas y Transporte

Cuadro 2.20. Contaminantes Emitidos por Diesel  
Hidrocarburos-1043060 lb/BTU\*10<sup>12</sup>.

| USO                             | 1989     | 1988     | 1987     | 1986     | 1985     |
|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Pasajeros Privados Interurbanos | 326991   | 353481   | 310020   | 380385   | 368796   |
| Pasajeros Privados Urbanos      | 786434   | 783536   | 628733   | 643634   | 624180   |
| Pasajeros Públicos Interurbanos | 2161452  | 2143240  | 1928419  | 1507470  | 1461111  |
| Pasajeros Públicos Urbanos      | 2288937  | 2252099  | 1961532  | 3829520  | 3712383  |
| Carga Urbana                    | 3274049  | 3165190  | 3015354  | 3418505  | 3314199  |
| Carga Interurbana               | 19636018 | 19551166 | 16503113 | 18228301 | 1767076  |
| Fluvial                         | 1634955  | 1767821  | 1714012  | 1661445  | 1610948  |
| Marítimo                        | 1625849  | 1533546  | 2009546  | 1779824  | 1718565  |
| Ferrovial                       | 981801   | 939995   | 875839   | 815821   | 759529   |
|                                 |          |          |          |          |          |
| Total                           | 32716487 | 32490077 | 28946570 | 32264908 | 31240474 |

Fuente : Ministerio de Minas y Energía y Ministerio de Obras Públicas y Transporte .

Cuadro 2.21. Contaminantes Emitidos por Diesel  
Oxidos de Nitrógeno - 1702642 lb/BTU\*10<sup>12</sup>.

| USO                             | 1989     | 1988     | 1987     | 1986     | 1985     |
|---------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Pasajeros Privados Interurbanos | 533764   | 577006   | 506063.0 | 620923   | 602005   |
| Pasajeros Privados Urbanos      | 1283738  | 1279008  | 1026314  | 1050638  | 1018882  |
| Pasajeros Públicos Interurbanos | 3528252  | 3498524  | 3147860  | 2460723  | 2385050  |
| Pasajeros Públicos Urbanos      | 3736353  | 3676220  | 3201913  | 6251128  | 6059919  |
| Carga Urbana                    | 5344404  | 5166707  | 4922121  | 5580206  | 5409942  |
| Carga Interurbana               | 32052911 | 31914402 | 26938904 | 29755020 | 28844917 |
| Fluvial                         | 2668823  | 2885708  | 2797873  | 2712065  | 2629636  |
| Marítimo                        | 2653959  | 2503289  | 3280288  | 2905301  | 2805305  |
| Ferrovioario                    | 1602645  | 1534404  | 1429679  | 1331709  | 1239820  |
|                                 |          |          |          |          |          |
| Total                           | 53404852 | 53035271 | 47251018 | 52667716 | 50995479 |

Fuente : Ministerio de Minas y Energía y Ministerio de Obras Públicas y Transporte

Cuadro 2.22. Contaminantes Emitidos por Diesel  
Oxidos de Azufre - 306782 lb/BTU\*10<sup>12</sup>.

| USO                             | 1989      | 1988      | 1987      | 1986      | 1985      |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Pasajeros Privados Interurbanos | 96173.7   | 103965.0  | 91182.4   | 111878.0  | 108469.4  |
| Pasajeros Privados Urbanos      | 231303.9  | 230451.7  | 184921.4  | 189304.0  | 183582.2  |
| Pasajeros Públicos Interurbanos | 635720.5  | 630364.0  | 567181.5  | 443373.0  | 429738.3  |
| Pasajeros Públicos Urbanos      | 673216.1  | 662381.3  | 576920.6  | 1126328.2 | 1091876.1 |
| Carga Urbana                    | 962954.6  | 930937.3  | 886867.8  | 1005441.5 | 974763.3  |
| Carga Interurbana               | 5775292.9 | 5750336.4 | 4853851.2 | 5361258.9 | 5197276.6 |
| Fluvial                         | 480868.6  | 519946.8  | 504120.7  | 488659.9  | 473807.8  |
| Marítimo                        | 478190.4  | 451042.6  | 591042.3  | 523477.2  | 505459.9  |
| Ferrovioario                    | 288764.6  | 276469.0  | 257599.5  | 239947.4  | 223390.9  |
|                                 |           |           |           |           |           |
| Total                           | 9622485.3 | 9555894.1 | 8513687.5 | 9489668.1 | 9188364.4 |

Fuente : Ministerio de Minas y Energía y Ministerio de Obras Públicas y Transporte

Cuadro 2.23. Contaminantes Emitidos por Diesel  
Partículas - 843651 lb/BTU\*10<sup>12</sup>.

| USO                             | 1989      | 1988      | 1987      | 1986      | 1985       |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Pasajeros Privados Interurbanos | 264477.9  | 285904.0  | 250751.8  | 307664.8  | 298290.9   |
| Pasajeros Privados Urbanos      | 636086.1  | 633742.6  | 508534.1  | 520586.2  | 504851.5   |
| Pasajeros Públicos Interurbanos | 1748232.4 | 1733501.9 | 1559750.0 | 1219276.6 | 1181781.0  |
| Pasajeros Públicos Urbanos      | 1851345.3 | 1821549.6 | 1586532.6 | 3097404.4 | 3002661.0  |
| Carga Urbana                    | 2648126.8 | 2560079.0 | 2438887.9 | 2764965.7 | 2680600.6  |
| Carga Interurbana               | 15882064  | 15813434  | 13348098  | 14743470  | 14292519   |
| Fluvial                         | 1322389.5 | 1429854.5 | 1386332.9 | 1343815.5 | 1302972.1  |
| Marítimo                        | 1315024.3 | 1240367.8 | 1625367.3 | 1439563.2 | 1390015.5  |
| Ferroviario                     | 794103.2  | 760290.2  | 708399.0  | 659855.6  | 614325.2   |
|                                 |           |           |           |           |            |
| Total                           | 26461850  | 26278724  | 23412654  | 26096602  | 25268017.0 |

Fuente : Ministerio de Minas y Energía y Ministerio de Obras Públicas y Transporte

Tal como se mencionó anteriormente, las emisiones de fuentes móviles que utilizan fuel oil son poco significativas y se concentran en unidades de transporte marítimo y ferreo. Las emisiones generadas por el fuel oil se estiman para 1989 en 15679.2 libras de monóxido de carbono, 329260.2 libras de óxidos de nitrógeno, 1246484.7 libras de óxidos de azufre, y 101913.9 libras de material particulado (ver cuadros 2.24 a 2.28.).

Cuadro 2.24. Contaminantes Emitidos por Fuel Oil  
Monóxido de Carbono - 35757 lb/BTU\*10<sup>12</sup>.

| USO         | 1989    | 1988    | 1987    | 1986    | 1985    |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Marítimo    | 14075.8 | 13650.1 | 64036.2 | 24022.5 | 28137.4 |
| Ferroviario | 1603.4  | 1475.7  | 1475.7  | 1262.8  | 1262.8  |
|             |         |         |         |         |         |
| Total       | 15679.2 | 15125.8 | 65511.9 | 25285.3 | 29400.2 |

Fuente : Ministerio de Minas y Energía y Ministerio de Obras Públicas y Transporte

Figura 2.25. Contaminantes Emitidos por Fuel Oil  
Hidrocarburos - 7151 lb/BTU\*10<sup>12</sup>.

| USO          | 1989   | 1988   | 1987    | 1986   | 1985   |
|--------------|--------|--------|---------|--------|--------|
| Marítimo     | 2815.0 | 2729.9 | 12806.5 | 4804.2 | 5627.2 |
| Ferrovioario | 320.7  | 295.1  | 295.1   | 252.6  | 252.6  |
|              |        |        |         |        |        |
| Total        | 3135.7 | 3025.0 | 13101.7 | 5056.8 | 5879.7 |

Fuente : Ministerio de Minas y Energía y Ministerio de Obras Públicas y Transporte

Cuadro 2.26. Contaminantes Emitidos por Fuel Oil  
Oxidos de Nitrógeno - 750892 lb/BTU\*10<sup>12</sup>.

| USO          | 1989     | 1988     | 1987      | 1986     | 1985     |
|--------------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| Marítimo     | 295589.2 | 286650.0 | 1344752.2 | 504468.3 | 590880.5 |
| Ferrovioario | 33671.0  | 30989.2  | 30989.2   | 26519.6  | 26519.6  |
|              |          |          |           |          |          |
| Total        | 329260.2 | 317639.2 | 1375741.4 | 530987.9 | 617400.1 |

Fuente : Ministerio de Minas y Energía y Ministerio de Obras Públicas y Transporte

Cuadro 2.27. Contaminantes Emitidos por Fuel Oil  
Oxidos de Azufre - 2842662 lb/BTU\*10<sup>12</sup>.

| USO          | 1989      | 1988      | 1987      | 1986      | 1985      |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Marítimo     | 1119016.2 | 1085174.9 | 5090846.7 | 1909772.5 | 2236904.3 |
| Ferrovioario | 127468.6  | 117316.2  | 117316.2  | 100395.6  | 100395.6  |
|              |           |           |           |           |           |
| Total        | 1246484.7 | 1202491.1 | 5208162.9 | 2010168.1 | 2337299.9 |

Fuente : Ministerio de Minas y Energía y Ministerio de Obras Públicas y Transporte

Cuadro 2.28. Contaminantes Emitidos por Fuel Oil  
Partículas - 232419 lb/BTU\*10<sup>12</sup>.

| USO        | 1989     | 1988    | 1987     | 1986     | 1985     |
|------------|----------|---------|----------|----------|----------|
| Marítimo   | 91491.9  | 88725.0 | 416232.9 | 156145.0 | 182891.6 |
| Ferroviano | 10422.0  | 9591.9  | 9591.9   | 8208.4   | 8208.4   |
|            |          |         |          |          |          |
| Total      | 101913.9 | 98316.9 | 425824.8 | 164353.4 | 191100.1 |

Fuente : Ministerio de Minas y Energía y Ministerio de Obras Públicas y Transporte

### 2.3. Emisiones de Exosto por Combustión Incompleta.

Las emisiones de exostos se deben a la combustión incompleta de combustibles fósiles como la gasolina o el ACPM. En el país las emisiones de exostos corresponden a la principal fuente de gases contaminantes del aire. La cuadro 2.29. presenta los valores teóricos de las emisiones para Colombia estimados teóricamente. Estos estimativos establecen ordenes de magnitud de las cantidades emitidas por región.



Cuadro 2.29. Emisiones Estimadas de Contaminantes Atmosféricos generadas por el Parque Automotor en Colombia para 1991.

| TIPO DE EMISION                | BOGOTA  | COSTA ATLANTICA | RESTO DEL PAIS | TOTAL NACIONAL |
|--------------------------------|---------|-----------------|----------------|----------------|
| PERDIDAS EN CARBURADOR         | 23.760  | 11.330          | 27.720         | 62.810         |
| PERDIDAS EN TANQUES            | 2.310   | 3.124           | 10.450         | 15.884         |
| PERDIDAS POR LLENADO DE TANQUE | 4.400   | 264.000         | 12.650         | 20.680         |
| EMISIONES DEL EXOSTO           | 616.000 | 26.400          | 880.000        | 1'760.000      |
| TOTAL EMISION KG/DIA           | 646.470 | 282.634         | 930.270        | 1'859.374      |
| TOTAL ANUAL                    | 236.500 | 103.400         | 341.000        | 680.900        |
| PORCENTAJE                     | 35%     | 15%             | 50%            | 100%           |

Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Transporte y Ministerio de Minas y Energía

En el país las emisiones de hidrocarburos por el exosto corresponden al 95% de las totales. Esto corrobora la importancia de los esfuerzos por mejorar la calidad de las gasolinas a través de la mejor distribución de los octanajes y el uso de aditivos mejoradores de la combustión.

Con base en los anteriores datos de emisiones, en el número de habitantes en cada zona geográfica y el parque automotor existente, puede calcularse un valor aproximado de índices de contaminación de hidrocarburos por habitante. Valores Teóricos de las diferentes emisiones de automotores se presentan a continuación.

Cuadro 2.30. Índices Teóricos de Contaminación en Ccolombia 1991

| INDICE                           | BOGOTA  | COSTA    | RESTO DEL PAIS | TOTAL     |
|----------------------------------|---------|----------|----------------|-----------|
| EMISIONES KG POR DIA             | 646.470 | 282.634. | 930.270        | 1'859.000 |
| VEHICULOS EN CIRCULACION (miles) | 561     | 313.50   | 720.50         | 1600      |
| HABITANTES POR VEHICULO          | 9.02    | 23.98    | 30.47          | 21.89     |
| CONSUMO DE GASOLINA.KSP D        | 38.50   | 16.50    | 55             | 110       |
| INDICE EMISION Kgr/BL            | 18.48   | 18.83    | 18.59          | 18.59     |
| INDICE EMISION gr/hab- dia (2)   | 162.80  | 47.3     | 53.9           | 68.2      |

|              |       |       |       |       |
|--------------|-------|-------|-------|-------|
| INDICE       | 1.274 | 1.299 | 1.284 | 1.282 |
| EMISION      |       |       |       |       |
| gr/Vehic-Día |       |       |       |       |

---

Los índices de contaminación por vehículo en Colombia son significativamente más altos a los que se encuentran en países industrializados. Mientras en Colombia por cada barril de gasolina, que utiliza el parque automotor, se producen en promedio 18 kilogramos de emisiones contaminantes en países como Estados Unidos estas emisiones unitarias son inferiores en un 80%, alcanzando emisiones de 3 Kg/Barril de gasolina. Las mayores concentraciones de contaminantes en Colombia se deben a que los automotores no utilizan convertidores catalíticos, la edad del parque automotor es muy alta, y los automotores tienen programas de carburación y mantenimiento que son insuficientes.

#### **2.4. Emisiones Evaporativas**

La emisión de compuestos orgánicos volátiles COVs y oxidantes fotoquímicos es particularmente importante en razón a la toxicidad de los COVs y el potencial precursor de Smog Fotoquímico. Un gran porcentaje de las emisiones de COVs se debe a las emisiones evaporativas de los automotores.

Las emisiones evaporativas de los vehículos son función de:

- Volatilidad de los combustibles.
- Tecnología de Vehículo
- Estado mecánico del vehículo
- Temperatura y presión ambientales
- Características de operación de los vehículos
- Nivel de combustible en el tanque
- Temperatura del combustible en el tanque

Las emisiones por evaporación se originan en el carburador, el tanque de combustible del vehículo, el tubo de escape, en llenado del tanque y en

uniones defectuosas. Dichas emisiones se originan con el vehículo en reposo o en marcha.

El control de las emisiones por evaporación se hace mediante el uso de gasolinas con bajo índice de volatilidad y con la instalación de mecanismos recolectores de vapores en los vehículos y las estaciones de servicio.

## **2.5. Perspectivas y Actividades a Desarrollar.**

El trabajo de medición de emisiones de exosto en los automotores colombianos se inició durante el mes de enero pasado como una de las actividades del convenio DNP-Ecopetrol. A corto plazo se ejecutarán una serie de acciones dentro de las cuales las siguientes son las mas importantes:

- Proyección de los niveles de CO, HC, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, TSP, ozono, metales, compuestos orgánicos volátiles, desagregado por ciudad, clase de automotor y tipo de combustible.
- Identificación del parque automotor nacional edades, clases, emisiones promedio por modelo, año de manufactura y cilindraje del motor. Evaluación técnica de los promedios de velocidad por tipo automotor y ciudad.
- Medición de emisiones de exosto en automotores representativos estadísticamente del parque automotor de las ciudades de Bogota, Cali, Medellín y Barranquilla y en el campo de producción de El Centro de Ecopetrol. Al primero de abril del año en curso se han medido emisiones de gases de exosto en cerca de 1000 vehículos localizados en los centros urbanos mencionados.
- Medición de la eficiencia de consumo de gasolina para el parque automotor de el Distrito de Producción de El Centro, para automotores con o sin sincronización.
- Proyecciones para tres escenarios alto, medio y bajo del crecimiento del parque automotor, por tipo de vehículo y región. Evaluación de las

condiciones meteorológicas de las regiones en que se concentran las emisiones atmosféricas industriales y de automotores.

- Evaluación técnica y asignación de prioridades de acción en control de la contaminación atmosférica urbana. Asignación de prioridades y delimitación de unidades geográficas de manejo de la contaminación atmosférica en zonas prioritarias.

**CAPITULO 3**

**LA REFORMULACION DE COMBUSTIBLES  
PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION  
AMBIENTAL EN COLOMBIA**

## CAPITULO 3

### LA REFORMULACION DE COMBUSTIBLES PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL EN COLOMBIA

#### Introducción

Este capítulo discute las opciones de reformulación de la gasolina-motor utilizada en Colombia con el objeto de disminuir su potencial contaminante. Este capítulo consta de cinco secciones. Esta primera sección presenta los componentes de la gasolina colombiana. La segunda sección presenta el efecto contaminador de los componentes de la gasolina motor con base en la composición actual de la gasolina motor refinada. La tercera sección compara las características de la gasolina refinada en el país, en las instalaciones de Ecopetrol en Cartagena y Barrancabermeja, con las de gasolinas refinadas en otras latitudes. La cuarta sección analiza una serie de opciones para disminuir la concentración de componentes precursores de la contaminación ambiental, que contiene la gasolina producida en el país. En esta sección también se discuten los costos que se requieren para modificar la composición de la gasolina colombiana por una menos contaminante. La quinta sección presenta los puntos que aún quedan por discernir, los cuales forman el cuerpo básico del programa de actividades del programa que ejecutan el DNP y ECOPETROL.

La reformulación de combustibles es fundamental para el control de la contaminación. La eliminación del uso del tetraetilo de plomo como aditivo en la gasolina que se consume en el país ha sido la medida que más ha contribuido a disminuir la concentración de plomo en la atmósfera de los principales centros urbanos nacionales. Tal como en la eliminación del plomo, existen una serie de oportunidades en las cuales, la reformulación de las gasolinas es fundamental para reducir la contaminación ambiental. Este es el caso de la disminución en la concentración de azufre. La alta concentración de azufre en la gasolina nacional (que alcanza el 0.01%) no permite el uso de convertidores catalíticos de tres vías indispensables para la reducción de emisiones atmosféricas particularmente de dióxido de azufre, monóxido carbónico y óxidos de nitrógeno. Otra oportunidad para reducir el potencial contaminante de las gasolinas colombianas está en la disminución de la

concentración de olefinas en la gasolina motor, que se consume en el país, la que representa la mayor cantidad de emisiones contaminantes precursoras del "smog" fotoquímico.

### **3.1. Contaminación Ambiental Generada por los Componentes de la Gasolina Motor**

Las emisiones de los automotores son de dos clases. De una parte las emisiones de exostos se deben a la combustión incompleta de los combustibles fósiles como por ejemplo de la gasolina motor que genera emisiones de contaminantes atmosféricos como el monóxido de carbono, el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno, el ozono, los aldehídos, y compuestos orgánicos volátiles entre otros. De otra parte, las emisiones evaporativas son función, entre otras variables, de la volatilidad de las gasolinas.

#### **3.1.1. Emisiones debidas a combustión incompleta de gasolinas.**

##### **3.1.1.1 Monóxido de Carbono e Hidrocarburos.**

El mayor porcentaje de emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos debidos a la combustión incompleta en motores a gasolina se produce durante los minutos que siguen al encendido del motor, mientras la máquina aun tiene temperaturas bajas, estas emisiones son particularmente significativas durante la primera media hora de operación. Con el fin de reducir estas emisiones, el objetivo es modificar las propiedades de la mezcla de la gasolina para vaporizar el combustible y obtener una mezcla homogénea con el aire frío una vez empieza el proceso de combustión. La sustitución de combustibles por otros de menor punto de ebullición (gas natural comprimido, gas licuado de petróleo) disminuye las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos.

El punto de ebullición y el calor de vaporización de la mezcla incide en la combustión al afectar la mezcla de la gasolina con el aire y obstaculizar la vaporización de la fracción de más alto punto de ebullición. Este caso se



puede ilustrar con las gasolinas con alto contenido de aromáticos, con alto calor de evaporación, que inducen emisiones significativas de monóxidos de carbono.

Con el fin de mejorar las características de la combustión, y por ende reducir las emisiones atmosféricas, se utilizan compuestos oxigenados particularmente metilbutileter (MTBE), etilbutileter (ETBE), terciario amil metil éter (TAME), éteres y alcoholes. Estos oxigenados además de permitir reducciones en el contenido de aromáticos mantienen el nivel de octano de las gasolinas. El uso de alcoholes se ha concentrado en el etanol que posee un número de octano alto.

#### **3.1.1.2 Dióxido de Azufre**

Las emisiones de óxidos de azufre están directamente relacionadas con la concentración de azufre en el combustible. Tradicionalmente los mayores generadores de óxidos de azufre son los generadores de energía en instalaciones termoeléctricas que utilizan combustibles con altas concentraciones de azufre como por ejemplo carbones, petróleo crudo (p.e. crudo castilla), o combustóleos<sup>7</sup>. Sin embargo las emisiones de dióxidos de azufre provenientes de emisiones generadas por la combustión incompleta de combustibles en automotores puede ser significativa, tal como se discute posteriormente, en los casos en los que las concentraciones de azufre, en los combustibles, son altas.

#### **3.1.1.3. Oxidos de Nitrogeno.**

Los óxidos de nitrógeno se forman por reacciones en la atmósfera de componentes generados por la combustión incompleta de gasolinas y combustibles automotores. La cantidad de óxidos de nitrógeno, que contribuye a generar la combustión incompleta de combustibles, es función de la temperatura de la mezcla y del tiempo de residencia en la cámara de

---

<sup>7</sup> En razón a la alta concentración de azufre (1.65) en el combustóleo que exporta Colombia las cotizaciones de venta de este combustible son menores en US\$3/barril al combustóleo de 1% de azufre.

combustión. La temperatura de la mezcla a su vez es función de la composición del combustible.

Los aromáticos, y en segundo orden las olefinas, contribuyen a favorecer la formación de óxidos de nitrógeno, mientras que los alcoholes contribuyen a generar una menor cantidad de estos óxidos.

#### **3.1.1.4 Compuestos Orgánicos Volátiles.**

El contenido de compuestos aromáticos contribuyen a aumentar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles, monóxido de carbono e hidrocarburos. Las emisiones de compuestos aromáticos como el benceno son particularmente importantes en razón al potencial cancerígeno de éstos compuestos.

### **3.2. Emisiones por evaporación**

Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles por evaporación son función entre otras variables de la volatilidad de las gasolinas. Un indicador de la volatilidad de las gasolinas es la presión de vapor RVP(Reid Vapor Pressure) del combustible. Al reducir el RVP se reducen las pérdidas de hidrocarburos, así como las olefinas de bajo punto de ebullición, durante las operaciones de almacenamiento, transporte y manejo de la gasolina. Las olefinas, tal como se discute posteriormente son precursoras del "smog fotoquímico". Sin embargo, al reducir los compuestos más livianos se reduce el octano de la mezcla. Al aumentar la temperatura las pérdidas evaporativas aumentan y en algunos casos (temperaturas mayores a 30°C) son tan importantes como las emisiones debidas a la combustión incompleta.

### **3.3. Comparación Gasolina Nacional con Gasolinas de otros Países.**

Al comparar la composición de la gasolina refinada en Colombia con la que se consume en países en los cuales hay controles a la contaminación atmosférica, queda claro que la gasolina nacional presenta valores favorables de RVP, benceno y aromáticos en general, y plomo; sin embargo, las

concentraciones de azufre y olefinas son muy altas y por tanto se inducen altas concentraciones de Dióxido de Azufre y de compuestos precursores del Smog.

### 3.3.1. Benceno

La concentración de benceno en las gasolinas nacionales se encuentra cercana al 1.5%; en los Estados Unidos y Europa las concentraciones varían entre 1 y 2.5%, en volúmen. El objetivo en Estados Unidos, para el año 2000, es alcanzar concentraciones de benceno menores al 1%. Desde 1989 la Comunidad Económica Europea ha establecido como límite máximo en las gasolinas que se consumen en los países miembros que el contenido de benceno en los gasolinas no puede ser superiores al 5% en volúmen.

Cuadro 3.1. Comparación del contenido de Benceno (% en volúmen) en las gasolinas de distintos países.

| PAIS           | TIPO DE GASOLINA       | CONTENIDO DE BENCENO |
|----------------|------------------------|----------------------|
| CEE            | Pool promedio          | 1.5 - 5              |
| ESTADOS UNIDOS | Pool promedio - 1988   | 1.5 - 1.6            |
| FRANCIA        | Extra sin plomo - 1988 | 0.8 - 59             |
| ALEMANIA       | Pool promedio - 1988   | 1.0 - 15             |
| COLOMBIA-CIB   | Regular - 1990         | 1.0                  |
| COLOMBIA       | Extra - 1990           | 1.0                  |

Fuente: Departamento Técnico de Ecopetrol y Concawe (1991)

### 3.3.2. Presión de Vapor Reid (RVP) - Aromáticos y Livianos

Hasta finales de 1991 el RVP de las gasolinas nacionales se mantuvo por encima de 11 psi; la disminución del RVP a partir del último trimestre de 1991 permitió aumentar la producción de gas propano en un diez por ciento, ya que la disminución en las concentraciones de livianos y aromáticos permite

aumentar la producción de gas. Actualmente la concentración de aromáticos en la gasolina nacional se encuentra en 22% lo que la localiza dentro de los estándares internacionales. En los Estados Unidos la concentración de aromáticos se encuentra en el orden de los 20 a los 25%. El cuadro 3.2. presenta una comparación del contenido de aromáticos de las gasolinas consumidas en el país con las producidas en otros países.

**Cuadro 3.2. Comparación del contenido de Aromáticos (% en volumen) en las gasolinas de distintos países.**

| PAIS                | TIPO DE GASOLINA       | CONTENIDO DE AROMATICOS |
|---------------------|------------------------|-------------------------|
| CEE                 | Pool promedio          | 25.2-51.3               |
| ESTADOS UNIDOS      | Pool promedio - 1988   | 28 -33                  |
| FRANCIA             | Extra sin plomo - 1988 | 45 - 54                 |
| FRANCIA             | Extra sin plomo - 1989 | 36.7                    |
| ITALIA              | Pool promedio - 1988   | 35.9 - 48.8             |
| REINO UNIDO         | Pool promedio - 1988   | 25.2-36                 |
| ALEMANIA            | Pool promedio - 1988   | 29.4 - 45.9             |
| JAPON               | Pool promedio - 1990   | 42                      |
| EUROPA CENTRAL*     | Pool promedio - 1988   | 27.6 - 51.3             |
| <b>COLOMBIA-CIB</b> | <b>Regular - 1990</b>  | <b>20.9</b>             |
| <b>COLOMBIA</b>     | <b>Extra - 1990</b>    | <b>25.6</b>             |

\* Fuente : Departamento Técnico de Ecopetrol y Octel, Marzo de 1.989

### 3.3.3. Azufre

La concentración de azufre en la gasolina colombiana alcanza el 0.005% mientras a nivel internacional esta concentración está por debajo del 0.001% (p.e.Japón). El control en la concentración de azufre en la gasolina nacional se puede lograr mediante la instalación de unidades de hidrodesulfuración en las refinerías de Cartagena y Barrancabermeja. La instalación de estas unidades se pueden hacer en las corrientes de crudo que entran a las unidades de topping o en las corrientes de heavy gas oil que

entran a las unidades de cracking FCC. El costo de la unidad de hidrodesulfurización puede alcanzar la cifra de US\$ 400 Millones. El diseño de la Nueva Refinería de Ecopetrol, que se localizará en el departamento de Antioquia, incluye una unidad de hidrodesulfurización.

### 3.3.4. Olefinas

La concentración de olefinas en la gasolina motor nacional es excesivamente alta pues se encuentra entre el 27 % y el 28% mientras en los países industrializados esta concentración oscila entre el 5% y el 10%. Las olefinas se pueden clasificar en livianas y pesadas. Las olefinas pesadas promueven la formación de gomas mientras que las olefinas livianas son precursoras del Smog. La disminución en el uso del plomo en las gasolinas ha obligado a aumentar el contenido de olefinas.

Cuadro 3. 3. Comparación del contenido de Olefinas (% en volumen) en las gasolinas de distintos países.

| PAIS            | TIPO DE GASOLINA       | CONTENIDO DE OLEFINAS<br>% VOLUMEN |
|-----------------|------------------------|------------------------------------|
| CEE             | Pool promedio          | 0.3 - 24.7                         |
| ESTADOS UNIDOS  | Pool promedio - 1988   | 14 - 15                            |
| ESTADOS UNIDOS  | Regular sin plomo-1988 | 16 - 42                            |
| ESTADOS UNIDOS  | Extra sin plomo-1988   | 15 - 54                            |
| FRANCIA         | Extra sin plomo - 1988 | 1.5 - 13.5                         |
| FRANCIA         | Extra sin plomo - 1989 | 18                                 |
| ITALIA          | Pool promedio - 1988   | 0.6 - 5                            |
| REINO UNIDO     | Pool promedio - 1988   | 1.9 - 14                           |
| ALEMANIA        | Pool promedio - 1988   | 0.9 - 14                           |
| JAPON           | Pool promedio - 1990   | 20                                 |
| EUROPA CENTRAL* | Pool promedio - 1988   | 0.7 - 24.7                         |
| COLOMBIA-CIB    | Regular - 1990         | 29.3                               |
| COLOMBIA        | Extra - 1990           | 27.3                               |

\* Fuente : Departamento Técnico de Ecopetrol y Octel, Marzo de 1.989

### **3.4. PERSPECTIVAS DE PRODUCCION NACIONAL DE GASOLINAS MENOS CONTAMINATES**

El Gobierno Nacional y Ecopetrol están interesados en refinar una gasolina que disminuya el impacto del sector transporte sobre la contaminación atmosférica. Adicional a la eliminación total del tetraetilo de plomo se espera que las gasolinas nacionales tengan un bajo contenido de aromáticos, olefinas, benceno (1% Vol), RVP, además se espera aumentar el octanaje, la concentración de aditivos y oxigenados (particularmente éteres y los alcoholes). En cuanto al diesel, el combustible la prioridad es reducir la concentración de azufre.

#### **3.4.1. Azufre**

La concentración de azufre de las gasolinas nacionales es baja. Para lograr la disminución de azufre en el diesel se requiere montar de plantas hidrodesulfurizadoras en las refinerías existentes. El proceso de hidrodesulfurización puede alcanzar eficiencias de remoción de azufre superiores al 80%; simultáneamente se disminuye su contenido de nitrógeno.

Ecopetrol estima la rentabilidad del montaje de estas plantas entre el 47% y el 58% en razón a la mejora en la calidad de los combustibles y por tanto el aumento en su cotización internacional. Igualmente la planta genera azufre que se puede vender como materia prima de numerosos procesos. La duración del montaje del proceso de hidrodesulfurización es de 4 años y un costo de US\$ 400 millones de dolares.

#### **3.4.2. RVP**

Con el inicio del convenio Ecopetrol-Departamento Nacional de Planeación para el control de la contaminación por fuentes móviles, en

noviembre del año pasado (1991), se disminuyó el RVP en la gasolina nacional, de 11 psia a 9 psia. El costo de producción, debido esta reducción, se incrementó en US\$ 0.16/ barril de gasolina. La reducción adicional de 1 psia puede oscilar entre US\$ 0.50 y US \$ 0.70. La disminución del RVP significó la recuperación de 1200 barriles de propano en la refinería de Barrancabermeja, correspondiente al 10% de la producción nacional.

### **3.4.3. Octanaje**

En el último año se aumentó el octanaje de la gasolina regular de 80 a 83 (Ecopetrol, Economía y Medio Ambiente; Gasolina Ecológica. Carta Petrolera No 31,1992. pags 8-12). El objetivo esperado es alcanzar un octanaje de 86 en la gasolina regular y de 94 en la gasolina extra. El incremento del octano mediante mezclas con combustibles de mayor octanaje se estima tiene un costo de US\$0.90/ barril de gasolina. El aumento del octanaje de las gasolinas es importante para las que se consumen en regiones de baja altura sobre el nivel del mar; a alturas como las de la Ciudad Capital las ganancias de octanaje oscilan entre 12 y 15 octanos.

### **3.4.4. Aditivos.**

Numerosos aditivos se han analizado para mejorar la combustión. En el país se han desarrollado una serie de análisis los cuales reportan que ciertos aditivos de tercera y cuarta generación como los tensoactivos -los polibutilos aminas- ofrecen buenas características para la mejora de la combustión al mejorar las condiciones de limpieza del carburador ("pruebas de evaluación de aditivos detergentes y mejorados de combustión" , Informe preliminar, ICP, mayo 1991). El costo de estos aditivos se eleva a US\$ 1.00 / barril (0.028 ctvs/ galón) de gasolina equivalentes a cerca de \$20 pesos/galón de gasolina, lo que significa aproximadamente el 5% del precio de la gasolina motor al consumidor.

De acuerdo con un informe preliminar de un estudio que adelanta ECOPETROL en Bucaramanga con 30 taxis, la disminución en las emisiones atmosféricas de vehículos que utilizan combustibles a los que se han

adicionado tensoactivos, puede estar entre el 50 y el 60%. El uso de estos aditivos mejoran las condiciones de combustión que significa ahorros hasta del 4% en el uso del combustible. De contar con este aditivo para la totalidad de gasolina motor consumida en Colombia el ahorro potencial alcanzaría los 4000 Barriles diarios equivalentes a cerca de 40 millones dólares que se comparan favorablemente con el costo de los aditivos que alcanza los 10 millones de dólares.

#### **3.4.5. Oxigenados.**

El uso de oxigenados para mejorar la combustión es una alternativa que se ha analizado para disminuir la contaminación atmosférica. Dentro de los oxigenados los más utilizados a nivel mundial son el TAME, el ETBE, y el MTBE. Las concentraciones requeridas de estos oxigenados oscilan entre 2.0% y 2.7% en peso y 11% al 15% en volúmen. El aumento en el costo de refinación de la gasolina nacional debido a la adición de oxigenados tiene un costo de US\$1.50/barril, ya que el costo de estos oxigenados se acerca a 1.5 veces el precio internacional de la gasolina.

El MTBE se produce a partir de isobutilenos provenientes de los procesos de cracking o de metanol generado a partir de gas natural. La posibilidad de producir MTBE en el país se restringe a 3000 Barriles/día de la demanda nacional potencial, ya que la producción de materia prima, particularmente la de isobutilenos, en el CIB está restringida por las corrientes de refinación. Probablemente la ciudad en donde el uso de aditivos es más importante es la capital, Santafé de Bogotá, en razón a las características de contaminación atmosférica y a la baja concentración de oxígeno debida a la altitud sobre el nivel del mar. La producción de MTBE para satisfacer las demandas de gasolina con mezcla de oxigenados en la Ciudad de Bogotá, requiere una inversión del orden de US\$30 a US\$40 millones de dólares. Una alternativa que puede ser menos costosa es la importación de MTBE de Venezuela en donde se producen actualmente 500,000 toneladas/día y en donde se está construyendo una nueva instalación que tiene una capacidad de 1 millón de toneladas/ día.



Un oxigenado de fácil producción en el país es el etanol. Las concentraciones máximas de este aditivo alcanzan concentraciones del 8 al 10% evitando problema de manejo (driveability). El etanol se puede producir a partir de celulosa proveniente de desechos vegetales como por ejemplo el bagazo de la caña de azúcar. La mejora en la eficiencia de los trapiches paneleros (que oscila entre el 40 y el 50%) mediante el acondicionamiento de cepas y tecnología, puede servir de base para la producción de este alcohol. Igualmente las vinazas que actualmente se desechan como residuos líquidos en la mayoría de licoreras departamentales puede constituirse en base para la producción de etanol, metano, fertilizantes agrícolas o concentrados alimenticios.

### **3. 5. Perspectivas y Plan de Acción a Corto Plazo**

Quedan aún una serie de aspectos por discernir dentro del programa de trabajo entre el Departamento Nacional de Planeación y Ecopetrol. Qué aditivos u oxigenados son los menos costosos y ofrecen el mejor potencial para controlar la contaminación?. Qué factibilidad existe para la producción de etanol en el país, particularmente en los ingenios azucareros, los trapiches paneleros y las licoreras departamentales?. Qué alternativas legales existen para la producción de alcoholes en el sector privado?. Qué capacidad instalada de producción de esteres y alcohol existe en el país?. Qué capacidad de producción de alcohol existe en las diferentes regiones del país?. de qué manera se puede aumentar e la producción de alcohol por región. Qué tecnologías son las optimas para maximizar la producción de alcohol (aditivo de combustible). Cuál es el costo de producción, para las diferentes zonas del país, de gasolina que utilice como aditivo el alcohol.? Cuales son los aditivos óptimos para para control de olefinas y gomas en gasolinas actualmente producidas. Cuáles son los costos de gasolinas con diferentes concentraciones de olefinas?. Cómo se puede eliminar el uso de tetraetilo de plomo en gasolinas de Tibú y Orito. Qué sistema de control de calidad es óptimo para controlar la importación de gasolinas con tetraetilo de plomo así como qué sistemas tecnológicos ofrecen algun control al contrabando de gasolina con plomo en zonas de frontera.

**CAPITULO 4**  
**SUSTITUCION DE COMBUSTIBLES**

## **CAPITULO 4**

### **SUSTITUCION DE COMBUSTIBLES**

#### **Introducción**

Este capítulo discute la posibilidad de utilizar combustibles menos contaminantes para las diferentes fuentes móviles nacionales. La primera sección discute el potencial contaminante de los principales combustibles utilizados en el país. Esta sección también discute las ventajas y desventajas que desde el punto de vista de la contaminación ambiental tienen el uso de el ACPM, el GNC y la gasolina motor para el parque automotor nacional. La segunda sección se concentra en la factibilidad del uso del gas natural comprimido para el transporte automotor en los principales centros urbanos nacionales. La tercera y última sección discute algunas de las actividades a desarrollar con miras a complementar la información necesaria con el fin de optimizar el uso de combustibles fósiles, y por consiguiente disminuir la contaminación ambiental en el país.

#### **4.1. Potencial de contaminación atmosférica de combustibles.**

La organización de los combustibles utilizados en Colombia identifica la biomasa y el carbón con alto contenido de azufre como el combustible con mayor potencial de contaminación atmosférica y al gas natural y la hidroelectricidad como las fuentes de energía menos contaminantes de la atmósfera. El cuadro 4.1 compara la generación de contaminantes atmosférica debida al uso de los diferentes combustibles con que cuenta el país.

Cuadro 4.1. Potencial de Contaminación de Combustibles utilizados en Colombia

|                   | PST | CO | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | HC | VOCs | Metales R. | Sólidos <sup>1/</sup> | R.Líquidos <sup>1/</sup> |
|-------------------|-----|----|-----------------|-----------------|----|------|------------|-----------------------|--------------------------|
| HidroElectricidad | -   | -  | -               | -               | -  | -    | -          | -                     | -                        |
| Metano            | -   | M  | B               | M               |    | B    |            | B                     | -                        |
| Propano           |     | -  | M               | B               | M  | M    | M          | -                     | -                        |
| Gas Natural       | B   | M  | M               | A               | M  | M    | -          | -                     | -                        |
| Metanol           |     | M  | M               | B               | A  | M    | A          | -                     | -                        |
| Etanol            | B   | M  | B               | A               | M  | A    | -          | -                     | -                        |
| Gasolina          | B   | A  | M               | M               | A  | A    | M          | B                     | B                        |
| Cocinol           | B   | M  | A               | M               | A  | A    | M          | B                     | B                        |
| Kerosene          | M   | M  | A               | M               | A  | M    | M          | B                     | B                        |
| ACPM-Diesel.      | A   | M  | A               | A               | A  | M    | A          | B                     | B                        |
| Combustoleo       | A   | A  | A               | A               | A  | M    | A          | M                     | B                        |
| Crudo Castilla    | A   | A  | A               | A               | A  | M    | A          | M                     | M                        |
| Carbón (Bajo % S) | A   | A  | M               | M               | A  | B    | A          | A                     | A                        |
| Carbón (Alto % S) | A   | A  | A               | M               | A  | B    | A          | A                     | A                        |
| Leña              | A   | A  | A               | A               | A  | A    | M          | A                     | A                        |

**Notas.**

- - Ninguna emisión atmosférica

B bajo concentración en emisiones atmosféricas

M concentración media en emisiones atmosféricas

A alta concentración en emisiones atmosféricas

PST Partículas Suspendidas; CO Monóxido de Carbono; SO<sub>2</sub> Dióxido de Azufre; NO<sub>x</sub> Monóxido de Nitrógeno

HC Hidrocarburos; COV Compuestos Orgánicos Volátiles; R. Residuos.

<sup>1/</sup> Lodos y lixiviados provenientes de la disposición de escorias.

Tal como se presenta en los cuadros 4.1 y 4.2, el uso de metanol, etanol, gas natural, o de electricidad como combustible significan una disminución notoria en los niveles de emisión de contaminantes atmosféricos.

El mayor porcentaje de emisiones de monóxidos de carbono e hidrocarburos debidos a la combustión incompleta en motores a base de combustibles fósiles se produce durante los minutos que siguen al encendido del motor, mientras la máquina aún tiene temperaturas bajas, estas emisiones

son particularmente significativas durante la primera media hora de operación. Con el objeto de reducir estas emisiones, se pueden modificar las propiedades de la mezcla de combustible-aire, para vaporizar el combustible y obtener una mezcla homogénea con el aire frío una vez empieza el proceso de combustión.

Aquí cobra ventaja el uso de combustibles alternativos como el gas licuado del petróleo (LPG) y el gas natural comprimido (CNG); los cuales por su bajo punto de ebullición vaporizan completamente aún bajo condiciones de máquina fría. No ocurre lo mismo con el metanol; aunque tiene un punto de ebullición bajo comparado con los otros componentes de la gasolina, el "calor de vaporización" es aproximadamente 8 veces más grande que el de la gasolina. Esta desventaja ha frenado su desarrollo como combustible limpio.

La eficiencia de los motores que utilizan ACPM es mayor a la de los motores a gasolina. De acuerdo con la OEA (1990), el uso de motores diesel en buses aumenta su eficiencia en un 45-55% en relación a los de gasolina. Sin embargo, las emisiones de material particulado proveniente de los exostos de los motores diesel es mucho mayor a la de motores a gasolina. Tal como se discutió en el capítulo 2, el mayor porcentaje de los automotores que transportan pasajeros o carga intermunicipal poseen motores a diesel, mientras en los centros urbanos solamente el 5% de los vehículos utilizados en el transporte de pasajeros utilizan como combustible el ACPM. Es indudable que una política sana para el control de las emisiones de particulados provenientes de las emisiones de motores a base de diesel, debería exigir la revisión periódica de las emisiones de exosto de estos vehículos, así como el uso de dispositivos de control de emisiones particuladas.

El uso de alcoholes como combustible para automotores ha sido promovido en países que como Brasil tienen una base productiva azucarera importante. El precio del metanol a partir de residuos vegetales o animales (USD 0.90 - 1.10) puede alcanzar niveles similares a los precios internacionales de la gasolina. El uso de etanol, producido al fermentar caña de azúcar, en el Brasil, es competitivo con la gasolina cuando el precio de esta supera los USD 24.00/ barril (Goldenberg, 1990).

En Colombia se ha utilizado la energía eléctrica para el transporte público en los sistemas de trolleys en la Ciudad capital. La eliminación de la empresa distrital de transporte que operaba este servicio acabó con el uso de la electricidad como fuente de energía de vehículos de transporte público. El uso de combustibles menos contaminantes como el LPG o la electricidad tienen como mayor desventaja, el mayor costo sobre los combustibles fósiles tradicionales para los automotores y demás fuentes móviles. Actualmente el costo de la electricidad o del LPG como combustible automotor está por encima de los precios internacionales de la gasolina, pero se espera que estos costos sean competitivos al finalizar este siglo. De la discusión precedente, es claro que existen diversas opciones de sustitución de energéticos contaminantes por energéticos más "limpios", en particular por las denominadas fuentes no convencionales. El cuadro 4.2 compara el uso de combustibles "limpios" con la gasolina motor.

Cuadro 4.2 Comparación de Emisiones de Contaminantes para Motores a Base de Gasolina, Diesel y Gas

|   | Metanol                     | Etanol | Gas Natural<br>Comprimido    Líquido | Gas | Electricidad |
|---|-----------------------------|--------|--------------------------------------|-----|--------------|
| MATERIA PRIMA / DIVERSIDAD                                    | ++                          | -      | ++                                   | -   | ++           |
| IMPACTOS MEDIO-AMBIENTALES                                    | ++                          | ++     | ++                                   | ++  | ++           |
| COSTO ELECTRICA   | =                           | =      | -                                    | -   | --           |
| COSTO OPERATIVOS DE COMBUSTIBLES<br>Actualmente(Baja demanda) | -                           | --     | =                                    | =   | =/+          |
| COSTOS OPERATIVOS DE COMBUSTIBLE<br>FUTURO (Alta demanda)     | ++                          | -      | +                                    | =   | =/+          |
| CONVENIENCIA DE REABASTECIMIENTO<br>(Tiempo, complejidad)     | =                           | =      | --                                   | --  | --           |
| -----   |                             |        |                                      |     |              |
| ++  | Mucho mejor que la gasolina |        |                                      |     |              |
| +   | Mejor que la gasolina       |        |                                      |     |              |
| =   | Similar a la gasolina       |        |                                      |     |              |
| -   | Peor que la gasolina        |        |                                      |     |              |
| --  | Mucho peor que la gasolina  |        |                                      |     |              |

#### 4.2. Potencial de uso del GNC para el sector del transporte en Colombia.

El uso de GNC como combustible automotor contribuye de una manera notoria a disminuir las emisiones de contaminantes en numerosos países en el mundo como Argentina, Canada, y Nueva Zelanda (Perry et al., 1992). En Colombia, aproximadamente 1000 vehículos utilizan GNC como combustible. La mayoría de éstos vehículos se localiza en las Ciudades de Barranquilla, Cartagena, Neiva, y Santa Marta, en donde las compañías distribuidoras de GNC, PROMIGAS Y NEIVANA DE GAS han instalado sistemas de distribución de este combustible. La capacidad instalada nacional de distribución de GNC para transporte supera los 7000 m<sup>3</sup>/hora. La demanda de GNC para transporte ha crecido cerca de diez veces desde 0.3 MBTU/día en enero de 1988 hasta 3 MBTU/día en Noviembre de 1991. (Vargas, 1992).

El gas natural se compone de diferentes gases, particularmente metano, etano, propano, ácido sulfídrico y dióxido de carbono. El uso del gas natural se hace, generalmente, con posterioridad a la eliminación de compuestos como el H<sub>2</sub>S que son tóxicos y altamente corrosivos. Un galón de gasolina equivale a cerca de 100 a 115 pies cúbicos de gas. El gas natural se usa comprimido a altas presiones, generalmente 3000 psig.

El GNC ofrece una serie de ventajas técnicas sobre la gasolina motor. El gas ofrece mejores características de combustión. El octano del gas natural alcanza niveles del 130. Aún en áreas con gran altitud como la ciudad de Bogotá, la eficiencia y potencia de motores que usan gas natural es similar a las de motores a base de gasolina<sup>8</sup> (ICP, 1990). El uso de gas natural como combustible prolonga la vida útil de los motores, las bujías y de los aceites lubricantes. La vida útil del motor alcanza promedios de 800,000 Kilómetros y los aceites lubricantes pueden cambiarse cada 12000 kms.

---

<sup>8</sup>/Durante 1989, Ecopetrol estudió la factibilidad en el uso de GNC en vehículos de transporte público en la Ciudad de Bogotá. El "Proyecto de GNC para Vehículos en la Ciudad de Bogotá-Prueba de Desempeño de un Bus Urbano", comprobó la viabilidad en el uso de GNC para buses de transporte de pasajeros. Este estudio encontró que la pérdida máxima de potencia alcanzó cifras cercanas al 15% al cambiar el combustible de gasolina motor a GNC y de 30% por efecto de la mayor altitud en la Ciudad de Bogotá.

Comparado con la gasolina, el uso de gas natural como combustible genera menos monóxidos de carbono e hidrocarburos precursores del smog fotoquímico. Otra de las ventajas del uso de GNC es el potencial de conservación de energía que se alcanza por mejoras en la eficiencia de la combustión. Estimativos de la OEA (1990) indican que el uso de gas natural para sustituir ACPM o gasolina en regiones con acceso a este hidrocarburo (p.e. Costa Atlántica) permitiría reducir en 10,000 barriles el consumo diario de gasolina motor. El impacto sería mucho mayor si el uso del GNC (Gas Natural Comprimido) se extiende al interior del país (Perry et al. 1991).

Algunas de las desventajas del GNC son el alto volumen y peso que ocupan los cilindros de almacenamiento del combustible y la pérdida de potencia del 10 al 15% en motores a gasolina.

El costo equivalente del GNC, a un galón de gasolina motor, oscila entre 50 y 80 ctvs de dolar ( Precios de Octubre de 1990). En Colombia el precio del GNC es menor en un 40% al de la gasolina motor.

El costo de conversión de un motor de gasolina a uno de gas natural oscila entre USD 800 y 1500 dólares, que se recuperan en un período de 10 meses con el ahorro debido a los menores precios del gas y al menor gasto en mantenimiento de los motores. En Colombia el precio de conversión de un bus de transporte público de gasolina o diesel a GNC oscila entre US\$700 y US\$1400. Ecopetrol estima que el costo de conversión en un bus de servicio público puede alcanzar cerca de \$500,000, sin incluir los cilindros de almacenamiento.

El costo de montaje de una estación de servicio para distribución del GNC en el país puede alcanzar a los 435 millones de pesos (Vargas, 1992) correspondientes al doble del costo de inversión en una estación de servicio para distribución de gasolina.



#### **4.3. Perspectivas.**

Existen aún una serie de aspectos que se requiere dilucidar entre los cuales se destacan las siguientes: Cuál es la reserva probada de gas de los yacimientos de Cusiana y demás yacimientos descubiertos recientemente? Qué calidad de gas y que potencial de uso tiene el gas que se genera en los sitios de disposición final de basuras en el país? . En qué uso (transporte, industrial, residencial -calentamiento de agua y cocción de alimentos-) el GNC significa la menor contaminación ambiental y los mayores beneficios para la sociedad? Cuáles son los efectos macroeconómicos del cambio de combustibles como el ACPM o la gasolina a GNC?. Cuál es la elasticidad precio-demanda de los combustibles que se consumen en el país, particularmente del gas natural, GLP, ACPM, combustóleo, etanol, metanol? De qué manera se afectan la economía nacional con variaciones en el precio de los combustibles fósiles.?

**CAPITULO 5**

**ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL DE LA  
CONTAMINACION**

**ATMOSFERICA UTILIZADAS A NIVEL  
INTERNACIONAL**

## **CAPITULO 5**

### **ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA UTILIZADAS A NIVEL INTERNACIONAL**

#### **Introducción**

Este capítulo presenta experiencias en el control de la contaminación por fuentes móviles. La primera sección describe el programa de control de la contaminación atmosférica que esta ejecutando la ciudad de México. La segunda sección discute los mecanismos utilizados por los países de la Comunidad Económica Europea para el control de la contaminación atmosférica automotriz. La tercera sección explica el programa nacional de control de la contaminación atmosférica en Estados Unidos.

#### **5.1. Control de la Contaminación por Fuentes Móviles en Ciudad de México.**

##### **5.1.1. Contaminación Atmosférica en Ciudad de México**

En Ciudad de México, la causa de más del 90% de la contaminación atmosférica es la combustión incompleta de combustibles fósiles, particularmente de los automotores. La población registrada en la Zona Metropolitana de Ciudad de México (ZMCM), crece a una tasa anual del 1.4% y alcanzó la cifra de 15 millones de habitantes en 1990. La cantidad de automotores en esta ciudad supera los 2.5 millones.

Dentro de los contaminantes que superan los límites permisibles, se encuentran el monóxido de carbono, material particulado, los óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, plomo y ozono. Dentro de los precursores del smog fotoquímico cabe anotar que en algunas zonas de la ciudad se exceden los valores permisibles hasta 254 días al año.

Entre 1978 y 1990 se duplicó la cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera en esa ciudad. El aumento de emisiones es crítico en razón a las condiciones meteorológicas de la ciudad que presenta fenómenos continuos de inversión térmica. Con el objeto de reducir los niveles de contaminantes en

la atmósfera del centro urbano, el gobierno nacional formuló el "Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica de la Zona Metropolitana de Ciudad de México."

### 5.1.2. Programa de Control de la Contaminación Atmosférica.

El programa de control de la contaminación atmosférica en Ciudad de México hace parte de la "Ley general del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente" expedida por el Congreso de los Estados Unidos de México en diciembre de 1987. El ente responsable del montaje de esta ley, a nivel nacional, es la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. (Diario Oficial México, Jueves 28 de enero de 1988). En el caso del control de la contaminación por fuentes móviles, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología coordina acciones con las Secretarías de Salud y La de Comercio y Fomento Industrial.

El programa de control de la contaminación atmosférica incluye acciones de control en las emisiones industriales, comerciales y del transporte. Actualmente la ciudad cuenta con una red de vigilancia de la calidad de aire compuesta por 25 estaciones fijas y 19 estaciones móviles que evalúan constantemente las concentraciones de monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono, partículas suspendidas y plomo. Los valores máximos permisibles fijados para los parámetros mencionados se presentan en el cuadro 5.1.

Cuadro 5.1. Criterios de Calidad del Aire en Ciudad de México.

| CONTAMINANTE           | TIEMPO MEDIO     | ESTANDAR PRIMARIO<br>ppm |
|------------------------|------------------|--------------------------|
| OZONO                  | 1 Hr             | 0.11                     |
| MONOXIDO DE CARBONO    | 8Hr              | 13                       |
| OXIDOS DE NITROGENO    | 1 Hr             | 0.21                     |
| DIOXIDO DE AZUFRE      | 24 Hr            | 0.13                     |
| PARTICULAS SUSPENDIDAS | 24 Hr            | 275 ug/m3                |
| PLOMO                  | PROMEDIO 3 meses | 1.5 ug/m3                |

En razón a las elevadas concentraciones de contaminantes en la ciudad, el gobierno ha adoptado un plan de contingencia para el control de incidentes agudos de contaminación. Dentro de las medidas más drásticas que se toman en períodos en que las concentraciones de contaminantes superan los niveles permisibles, se encuentran: la restricción en la circulación de vehículos privados en zonas centrales, el cierre de establecimientos educativos, la suspensión de actividades en 200 industrias incluyendo uno de las mayores refinerías de petróleo y de generación de energía a base de combustibles fósiles.

### **5.1.3. Control de la Contaminación Atmosférica por Fuentes Móviles.**

La estrategia de control de la contaminación atmosférica por fuentes móviles adoptada en Ciudad de México incluyen el uso de sistemas de transporte masivo como el metro y sistemas eléctricos, la optimización del sistema de tráfico urbano, el uso de convertidores catalíticos para reducir emisiones de atmosféricas, así como de sistemas de recuperación de vapores. Este programa incluye adicionalmente el uso de oxigenados en la gasolina (MTBE) y el incremento de unidades de reformado catalítico para incrementar el octanaje de la gasolina. Las principales medidas de control de la contaminación atmosférica por fuentes móviles adoptadas en Ciudad de México se relacionan a continuación:

- Ampliación del sistema de transporte masivo METRO en la ZMCM.
- Ampliación del sistema de transporte eléctrico .
- Optimización del sistema de vial urbano, de señalización, estacionamiento, y semaforización.
- Montaje del programa HOY NO CIRCULA, de restricción al tránsito de vehículos en zonas centrales.
- Requerimiento de convertidores catalíticos a automotores con modelos 1991 en adelante.
- Montaje del programa de revisión periódica de emisiones automotoras.
- Sustitución de combustibles, en los camiones de carga, de gasolina a GLP.
- Elaboración de gasolinas de calidad "ecológica internacional".

- Elaboración de diesel de bajo contenido de azufre
- Suministro de gasolinas con oxigenados TAME y ETBE en la ZMCM.
- Provisión de gasolina sin plomo a vehículos de modelos 1991 en adelante y con convertidor catalítico.
- Instalación de equipos de control de emisiones evaporativas en las terminales y bombas de gasolina.

El plan de control de la contaminación atmosférica por fuentes móviles se basa en el uso de sistemas de transporte masivo de pasajeros. Tanto en el metro como en los trolleys y tren eléctrico la contaminación per-cápita es significativamente menor a la de pasajeros que utilizan automotores particulares, sin embargo en algunos casos el costo por pasajero transportado es más alto que en los sistemas tradicionales de transporte público. A pesar del aumento en costos el Distrito Federal está invirtiendo recursos financieros en la ampliación del sistema de transporte eléctrico en la ciudad y en la adición de 34 kilómetros a la línea del metro.

Las mejoras en la infraestructura vial, de estacionamiento, de semaforización y de señalización están dirigidas a aumentar la velocidad promedio dentro del perímetro urbano y así reducir las emisiones por automotor. Dentro de las mejoras a la infraestructura vial se encuentran una serie de programas como la mejora de los accesos y la construcción de vías perimetrales a la ciudad, la descentralización del sistema aeroportuario.

El programa de restricción a la circulación de vehículos HOY NO CIRCULA retira diariamente el 20% de las unidades del parque automotor. Esta medida se hace más estricta en los periodos en que se superan las concentraciones permisibles de contaminantes en el aire-ambiente. La restricción en la circulación de vehículos se hace mediante el control del último dígito en las placas de matrícula vehicular.

La exigencia de convertidores catalíticos de tres vías a los automotores de 1991 se ha ampliado para cubrir a vehículos de transporte público como los microbuses y colectivos ("combis"). El requerimiento de convertidores

catalíticos para esta clase de vehículos incluye a los automotores usados, a los cuales no se les expide certificado de movilización de no ajustarse a la norma.

El programa de revisión de emisiones automotrices se estableció semestralmente y exige la sincronización adecuada de los motores para cumplir con los niveles permisibles de emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos. Este programa incluye la revisión de vehículos con motores a diesel, gasolina y GLP.

Para disminuir las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos se ha montado un programa de sustitución de gasolina por GLP en los camiones de carga. El programa tiene por objetivo abastecer cerca de 45000 camiones distribuidores. Una de las desventajas de esta sustitución de combustibles es el aumento en las concentraciones de óxidos de nitrógeno, una de los más importantes precursores del Smog fotoquímico.

En cuanto a la reformulación de combustibles y gracias a la existencia del monopolio estatal en la producción y refinación de hidrocarburos, se han reformulado sucesivamente las gasolinas disminuyendo sus concentraciones de tetraetilo de plomo de 3 ml/galón a menos de 1 ml/galón y adicionando Metil Etil Butil Eter (MTBE) al 5%. La adición de MTBE es particularmente importante pues en razón a la altura del Valle de México sobre el nivel del mar, existe un déficit de oxígeno del 23%. En 1991 se reformuló la gasolina "extra" de 92 octanos disminuyendo su contenido de plomo a menos del 0.01g/galón, de esta manera se permite el uso de convertidores catalíticos evitando su "envenenamiento" con el Tetraetilo de Plomo. Con el objeto de reducir los niveles de óxidos de azufre (S), la empresa estatal petrolera disminuyó la concentración de azufre en el diesel que se consume en la ZMCM. La concentración de azufre que anteriormente estaba en 1% se disminuyó a 0.5% en peso.

## **5.2. Control de la Contaminación Automotriz en Países Miembros de la Comunidad Económica Europea**

La Comunidad Económica Europea ha establecido una serie de normas para el control de la contaminación atmosférica, generada por fuentes móviles, aplicable homogéneamente en todos los países miembros. Adicionalmente, algunos países utilizan normas más restrictivas.

La CEE ha adoptado una serie de medidas para el control de la contaminación por fuentes móviles que incluyen: medidas de estandarización, mecanismos de organización de mercados, medidas de pago por contaminación, e iniciativas varias en investigación. Adicionalmente se han establecido una serie de impuestos a los combustibles de acuerdo a su potencial contaminante tal como se discute en el capítulo 8.

Las medidas de estandarización se han basado en estándares de "mejor tecnología disponible" para el control de la contaminación. Estos estándares se han fijado para (1) emisiones de exosto de vehículos con motores a diesel y gasolina; (2) contenido de azufre en el diesel, (3) concentraciones máximas de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Pb, y partículas en el aire ambiente (4) armonización de pesos y dimensiones para vehículos de transporte de carga pesada, (5) equipos de reducción de velocidad en buses y vehículos de transporte de carga, (6) procedimientos de registro, certificación y notificación de transporte de sustancias y residuos peligrosos, (7) disponibilidad de gasolina sin plomo, y (8) exigencia de evaluaciones de impacto ambiental para proyectos de infraestructura de transporte.

Las medidas de "organización de mercados" y de "pago por contaminación" para el control de la contaminación por fuentes móviles incluyen la eliminación de vehículos al transporte de pasajeros y carga entre los diferentes países de la comunidad, el subsidio estatal a sistemas de transporte multimodal y el cobro de las obras de infraestructura de transporte a los usuarios particularmente a los vehículos de transporte de carga.



Dentro de las iniciativas de investigación emprendidas por la CEE, para el control de la contaminación por fuentes móviles, se destacan los programas de: 1) coordinación de recopilación y diseminación de información ambiental CORINE; (2) investigación cooperativa de vehículos menos contaminantes COST; (3) manejo de la demanda de transporte DRIVE; (4) uso de fuentes alternativas de energía para el transporte JOULE; (4) uso eficiente y conservación de energía en el sector transporte SAVE; y (5) desarrollo de tecnología de control de la contaminación generada por el transporte.

La norma vigente de la CEE para el control a las emisiones atmosféricas generadas en los vehículos está recopilada en la "Directiva de Emisiones Consolidada". Esta directriz incluye tanto estándares para las emisiones de exosto como para las emisiones evaporativas. El control de esta norma se hace mediante revisiones periódicas a los vehículos las cuales siguen un procedimiento establecido por la CEE.

La norma sobre emisiones atmosféricas de vehículos livianos, se describe en cuadro 5.2.

Cuadro 5.2. Control de Emisiones Atmosféricas de vehículos livianos

| CONTAMINANTE    | CONCENTRACION             |
|-----------------|---------------------------|
| CO              | 2.72 g/km                 |
| HC              | 0.97 g/km                 |
| NO <sub>x</sub> | 0.97 g/km                 |
| Partículas      | 0.19 g/km (carros diesel) |

Fuente: CONCAWE (1990)

Los límites de emisiones fijados por la CEE para vehículos de más de 3.5 toneladas se relacionan en el cuadro 5.3.

Cuadro 5.3. Control de Emisiones Atmosféricas

| CONTAMINATE     | CONCENTRACION |
|-----------------|---------------|
| CO              | 11.2 g/k      |
| HC              | 2.4 g/k       |
| NO <sub>x</sub> | 14.4 g/k      |

Fuente: CONCAWE (1990)

Con el objeto de cumplir con el requisito de la CEE de uso de convertidores catalíticos se han establecido requerimientos que exigen que los vehículos a gasolina sean diseñados en forma que sean capaces de operar con gasolina 95 RON sin plomo. Todos los vehículos equipados con catalizadores en el exosto deben instalarse con tubos que no admitan boquillas dispensadoras de más de 23.6 mm de diámetro externo. La CEE también exige el uso de sistemas de control de emisiones evaporativas con "canisters" carbonados.

#### 5.2.1. Medidas de Control de Contaminación Atmosférica por Fuentes Móviles en Países Europeos.

Austria, Suiza, y Suecia, han adoptado normas, de control de la emisiones atmosféricas automotrices, diferentes a las emitidas por la CEE. Austria estableció estándares para vehículos a gasolina y diesel, similares a los vigentes en los Estados Unidos en 1983. En 1986, Suiza estableció normas similares a las vigentes en Estados Unidos en 1977. Posteriormente, en 1988 se adoptaron los estándares de Estados Unidos para las emisiones evaporativas y particuladas en automotores y vehículos comerciales livianos.

El gobierno Sueco ha establecido los siguientes límites para vehículos menores a 3.5 ton. con motores de combustión interna capaces de velocidades superiores a 50 km/h:

CO :..... 2.1 g/km  
 HC :..... 0.25 g/km  
 NO<sub>x</sub> :..... 0.62 g/km

Partículas : ..... 0.124 g/km

En Suecia los fabricantes de vehículos deben cumplir la garantía de conformidad de 5 años o 80.000 km igual a la establecida en la legislación Norteamericana. Para vehículos livianos superiores a 3.5 ton los límites son:

CO : ..... 6.2 g/km

HC : ..... 0.5 g/km

NO<sub>x</sub> : ..... 1.1 g/km

Partículas : ..... 0.162 g/km

Para vehículos pesados los límites son:

CO : ..... 4.9 g/kW h

HC : ..... 1.2 g/kW h

NO<sub>x</sub> : ..... 4.9 g/kW h

Partículas: ..... 9.04 g/kW h

El pasado 20 de febrero de 1992, la Comisión de la CEE ha propuesto un proyecto de políticas y normas para el control de la contaminación generada por el transporte titulado : "The Impact of Transport on the Environment: A Community Strategy for Sustainable Mobility' ". El proyecto incluye una serie de medidas adicionales para el control de la contaminación atmosférica, hídrica, y del suelo, que generan los diferentes medios de transporte. Este proyecto recomienda una serie de medidas entre las que se incluyen: (1) actualización de estándares de emisión de exosto y ruido de los diferentes medios de transporte, (2) revisión instantánea, en vías, de emisiones de exosto, (3) la adopción de impuestos diferenciales a los vehículos en función del impacto de sus emisiones sobre el ambiente; (4) la imposición de un impuesto a las emisiones de CO<sub>2</sub> que estaría dirigido a reducir el "efecto de invernadero".

### **5.3. Resumen y Discusión sobre el Programa de los Estados Unidos para el Control de la Contaminación del Aire por Fuentes Móviles.**

#### **5.3.1. Diseño del programa sobre "Clean air"**

##### **5.3.1.1. Responsabilidades del Gobierno Federal Central**

En 1970 entró en vigencia el Estatuto del "Clean Air" y se estableció un programa a nivel nacional para lograr en todo el país estándares uniformes de calidad del aire. Se fijaron estándares primarios para la protección de la salud humana dentro de un margen de seguridad, y estándares secundarios para controlar la contaminación causante de otro tipo de daños tales como olores, mala visibilidad y daños materiales.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) quedó encargada de seleccionar los estándares específicos de calidad para el aire y determinar las regulaciones que hicieran posible el cumplimiento de las metas respecto a la calidad del aire. La Agencia determinó niveles máximos de concentración de seis contaminantes: ozono, monóxido de carbono, dióxido sulfúrico, dióxido de nitrógeno, plomo y partículas.

El programa se basó en el control de emisiones de fuentes estacionarias (tales como instalaciones industriales y plantas de generación eléctrica) y el control de emisiones provenientes de fuentes móviles. Las fuentes estacionarias se manejan mediante de permisos que limitan la cantidad específica de contaminantes que pueden ser liberados por un período de tiempo y por una fuente determinada.

Los vehículos son controlados mediante la combinación de disposiciones tales como: Límites de emisiones descargadas por el exosto, que son impuestos al fabricante; determinación de los componentes de la gasolina por parte de las refinerías; y la inspección mantenimiento y obligatoriedad de la utilización de dispositivos para el control de las emisiones de los vehículos a los dueños de los mismos.

##### **5.3.1.2. Responsabilidades del Gobierno Estatal**

Aunque los estándares básicos de calidad del aire fueron diseñados por el gobierno central e impuestos a nivel nacional, los estados quedaron con la responsabilidad de hacer que estos se cumplan.

Cada estado debía elaborar un plan de ejecución, mantenimiento y cumplimiento de los estándares primarios. Estos planes estatales (SIPs) incluían estándares de emisión y otras medidas de control como instrumentos económicos, fechas límites de cumplimiento, programas de monitoreo y métodos de reparación.

Se zonificó geográficamente para determinar la calidad de aire y así seleccionar los planes de control. Se diseñaron estrategias específicas basadas en inventario de emisiones y condiciones climatológicas de cada región.

#### **5.3.1.3. Ejecución del programa**

La obligación de utilizar requerimientos tecnológicos en las fuentes móviles ha reducido las emisiones en un 95% en comparación con vehículos no controlados. La mayoría de las zonas industriales están mucho más limpias que hace 20 años. Por lo tanto la contaminación del aire es mucho menor de lo que sería sin el Estatuto del "Clean Air".

Pero a pesar de 20 años de esfuerzos para controlar la contaminación del aire 96 áreas urbanas no cumplen el estándar primario de salud respecto al ozono. El 60% de la población del país aún vive en estas zonas y sigue estando expuesto a niveles de contaminación que son malos para la salud. Además, 41 áreas no cumplen con el estándar respecto al monóxido de carbono y 72 áreas no lo hacen respecto a las partículas.

Al Diseñar las reformas al Estatuto de "Clean Air" de 1990, se analizaron las fallas del programa original y se identificaron los siguientes problemas:

- Los métodos de monitoreo de las fuentes de emisión no fueron adecuados lo que llevó a una subestimación de las emisiones,
- los modelos matemáticos para predecir la efectividad de las técnicas de control no fueron adecuados,

- ciertas medidas de control no redujeron las emisiones en la forma en que las pruebas de laboratorio lo habían indicado,
- los políticos a menudo se dejaron presionar por las industrias reguladas para modificar o retardar controles necesarios,
- a todos los niveles de gobierno le hicieron falta recursos para lograr un adecuado monitoreo y control del programa,

Por esto, los Estados Unidos no logró el suficiente control sobre las fuentes para lograr los objetivos de calidad del aire.

El no lograr mantener el estandar de ozono es probablemente el problema más complicado y que requiere un nuevo enfoque.

A diferencia de otros contaminantes, el ozono no es emitido directamente al aire. Es creado por un proceso fotoquímico cuando los rayos solares caen sobre combinaciones de óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (VOCs) en la atmósfera baja.

Por lo tanto las áreas urbanas que reciben rayos solares en grandes cantidades y de gran intensidad son las que tienen el mayor riesgo. Toda condición atmosférica que contenga combinaciones de NOx y VOCs en un sitio sin dispersarlos, crea una situación peligrosa para la formación de ozono. Las zonas urbanas de Colombia presentan estas dos características aunque la situación no es tan complicada como en Ciudad de México o Santiago de Chile.

La manera más eficiente de reducir las concentraciones de ozono es mediante el control de las emisiones de VOCs. Estas son producidas por 3 fuentes: fijas, fuentes de área y vehículos automotores. Las fuentes fijas son responsables del 30% de los problemas e incluyen procesos industriales que utilizan disolventes, pinturas, aceites y otros químicos. Las fuentes de área causan el 20% de las emisiones. Estas son fuentes pequeñas tales como plantas de lavandería en seco, talleres de impresión, etc., que estan dispersas en una extensa zona. En esta categoría también se incluyen las emisiones producidas por uso doméstico.

Los vehículos automotores son la mayor fuente de VOCs y son los responsables por el 50% de la concentración de ozono. Debido al número cada vez mayor de automotores y su utilización intensiva en las áreas urbanas, el control del ozono requerirá la reducción de emisiones de VOCs de cada uno de ellos, al igual que el diseño de alternativas de transporte para reducir el número de millas recorridas por vehículo en áreas con problemas de ozono. Se ampliará sobre el control de las emisiones de fuentes móviles. En el número 3 de esta sección.

#### **5.3.1.4. Nuevas Estrategias de Implementación de las Reformas de 1990**

##### **al Estatuto de "Clean Air".**

Se hicieron tres cambios fundamentales. Primero, el programa se hizo más flexible para permitir el diseño de estrategias específicas para las diferentes regiones geográficas. A las áreas con los peores problemas de contaminación se les dió más tiempo para planear sus métodos de control.

Segundo, los controles basados en tecnología tradicional fueron aumentados para incluir requerimientos de planeación a largo plazo e implementación de nuevos programas de transporte.

La experiencia mostró que existen áreas donde no se cumplirán con las fechas límites para el logro de objetivos de calidad del aire, por lo cual el nuevo estatuto incluyó acciones cada vez más estrictas en estos casos.

La EPA determina para cada tipo de contaminante, si en las diferentes regiones con el control aplicado se ha logrado o no los objetivos de calidad de aire. Estas áreas también se agrupan según el grado de " logro" y su tamaño. En cada clasificación éstas deben aplicar los mismos controles y tienen las mismas fechas límites de cumplimiento.

### 5.3.2. Estándares Nacionales de Calidad del Aire

#### 5.3.2.1. Disposiciones Generales

Los estándares nacionales de calidad de aire ambiental para los 6 contaminantes son:

|                           |                         |
|---------------------------|-------------------------|
| Partículas.....           | 50 µg/m <sup>3</sup>    |
| (media anual)             |                         |
| Dióxido sulfúrico.....    | 0.030 ppm               |
| (media anual)             |                         |
| Dióxido de nitrógeno..... | 0.053 ppm               |
| (media anual)             |                         |
| Ozono.....                | 0.120 ppm               |
| ( una hora máximo)        |                         |
| Monóxido de carbono.....  | 9.000 ppm               |
| ( promedio de 8 horas)    |                         |
| Plomo.....                | 1.500 µg/m <sup>3</sup> |
| (promedio de 3 meses)     |                         |

La nueva estrategia para asegurar el cumplimiento de los estándares primarios del medio ambiente incluye controles cada vez más estrictos aplicados en las zonas que no los han cumplido dependiendo de la gravedad del problema. En las siguientes secciones se presentan los estándares para estas clasificaciones y se describe brevemente las acciones requeridas en cada caso. Esta sección hace referencia a problemas de contaminación asociados con vehículos automotores en los Estados Unidos que puede asimilarse al problema colombiano: ozono ( y sus fuentes químicas : óxido de nitrógeno y componentes orgánicos volátiles) , monóxido de carbono y partículas.

#### 5.3.2.2. Control del Ozono

Se definen 5 clasificaciones para problemas con el ozono con fechas límites de cumplimiento de los estándares primarios:



| Tipo de zona | Partes por millón | Fecha límite para cumplimiento de estándar primario |
|--------------|-------------------|---|
| Marginal     | 0.121-0.138       | 1993  |
| Moderado     | 0.138-0.160       | 1996  |
| Grave        | 0.160-0.180       | 1999  |
| Severo       | 0.180-0.280       | 2005  |
| Extremo      | 0.280 y más alto  | 2010  |

En zonas marginales las autoridades locales deben hacer cumplir las normas ya existentes que aún no han sido implementadas. Esto usualmente significa instalar tecnologías de Control Disponibles y Aplicable (RACT) a establecimientos industriales.

Las zonas moderadas deben hacer cumplir controles RACT y deben adoptar normas que reduzcan las emisiones de VOCs en un 15% en 6 años. Dichos controles deben incluir normas sobre las formas de abastecimiento de gasolina a los vehículos para reducir las emisiones en las estaciones de gasolina; se deben establecer programas de inspección y mantenimiento periódico ( I/M) al vehículo si no existen aún; y se debe imponer un control estricto a las industrias que constituyen las mayores fuentes de contaminación.

Las zonas graves además de lo anterior, deben planear la reducción en un 3% anual de las emisiones de VOCs después del plan inicial de 6 años. Se pueden controlar fuentes de NOx, si se considera que esto es efectivo. Deben adoptar programas y modelos más sofisticados de calidad del aire, y diseñar programas avanzados I/de M adoptado un programa de combustibles limpios.

Las zonas severas deben tomar todas las medidas anteriores y evitar el crecimiento de millas recorridas por vehículo, cobrar tarifas de emisión a las fuentes principales y refinar la gasolina para que contenga niveles más bajos de contaminantes.

Solo una zona, Los Angeles, es extrema. Esta zona debe hacer todo lo que las regiones más limpias hacen y debe implemental normas RACT para fuentes más pequeñas. Tambien, en forma paulatina se deben implementar

normas para lograr vehículos con pocas emisiones. Esto último, es conocido como el programa de " Carros Limpios" se discute con mayor profundidad en la sección sobre normas para fuentes móviles.

#### **5.3.2.3. Control del monóxido de carbono**

Solo hay dos clasificaciones para áreas que no cumplen con las normas respecto al monóxido de carbono.

| tipo de zona | PPM             | Fecha límite de cumplimiento para estándares primarios |
|--------------|-----------------|--|
| Moderado     | 9.1-16.4        | 1995   |
| Grave        | 16.5 y más alto | 2000   |

Las áreas moderadas deben hacer inventario de sus emisiones, organizar programas I/M y colocar combustibles oxigenados a disposición de los motoristas, los cuales contienen alcohol u otros compuestos que reducen las emisiones de monóxido de carbono.

Las zonas graves deben tomar las acciones expuestas arriba e instituir medidas de control al transporte para evitar el incremento de las millas recorridas por vehículo dentro de la zona.

#### **5.3.2.4. Control de Partículas**

Las 72 zonas clasificadas como moderadas van desde grandes ciudades como Los Angeles y Denver hasta pequeñas ciudades en zonas rurales. En los estados del este, la causa principal es la existencia de plantas industriales. En el oeste, la causa es el humo por el consumo de madera en los hogares y el polvo de las carreteras no pavimentadas. Por lo tanto en los E.E.U.U. se requieren controles de fuente fijas.

Para el caso colombiano, se tendrían que incluir adicionalmente controles a las emisiones de los motores diesel.

#### **5.3.2.5. Areas de Conservación**

Son Ciertas áreas cuyo aire está prácticamente libre de contaminación y se identifican para ser protegidas especialmente. Estas áreas estan reguladas por una sección del programa denominado "prevención de deterioración significativa" (PSD). No se permite el ingreso a estas zonas de nuevas fuentes de contaminación del aire si se determina que pueden causar un deterioro significativo a la calidad del mismo, con base en los 6 contaminantes principales.

No hay restricciones respecto a vehículos automotores en estas zonas pero no se pueden localizar allí instalaciones de tipo industrial y por lo tanto el tráfico vehicular se minimiza. Como esta parte del programa no está directamente relacionada con la contaminación por fuentes móviles, no se ahondará en ella.

#### **5.3.3. Normas para Fuentes Móviles**

Las disposiciones del Estatuto sobre "Clean Air" de 1970 y las reformas de 1977 no lograron reducir la contaminación causada por el sector del transporte en la forma prevista. Esto tiene varias razones.

Ante todo, el aumento en número de vehículos y las millas recorridas redujeron en general los logros obtenidos con la aplicación de los estándares a los vehículos individuales. Teniendo en cuenta la forma en que se han desarrollado las zonas urbanas de los E.E.U.U. y el papel importante que juega el carro en la vida americana, el gobierno tiene pocas esperanzas de lograr una disminución en la cantidad de millas recorridas por vehículo. Por lo tanto se ha concentrado la atención en la producción de carros y combustibles más limpios .

Por otra parte, los propietarios de los vehículos no han mantenido apropiadamente sus carros y han manipulado los dispositivos de control de emisiones para aumentar el poder o la eficiencia del combustible. Las emisiones por vehículo han aumentado a niveles por encima de lo deseado.

Otro factor fué que las normas de control de emisiones impuestos a nivel de manufactura solo estipulaban estándares de emisión para las primeras 50,000 millas de vida del vehículo, (La que representa la mitad de la vida útil del carro).

Finalmente, la calidad de los combustibles ha disminuido a medida que las refinerías tratan de compensar la eliminación de plomo de la gasolina con otras sustancias contaminantes. Entre 1970 y 1990 la volatilidad de la gasolina aumentó en un 20% pues las refinerías substituyeron el plomo por componentes de alto octanaje.

#### **5.3.3.1. Diseños de Vehículos y Requerimientos de Fabricación**

Un carro nuevo hoy en día emite alrededor de un 95% menos de contaminación que un carro no controlado. El convertidor catalítico es el principal responsable de esto. Los convertidores han sido instalados en casi todos los carros construidos desde 1975. Además, la utilización cada vez mayor de controles electrónicos de retroalimentación y sistemas de inyección de combustible ha hecho posible una regulación más precisa de la cantidad de gasolina enviada al motor logrando una combustión más eficiente y menos contaminadora.

Estas mejoras se han logrado con unos costos relativamente bajos. Han incrementado los precios de compra de los autos nuevos solo en unos 200 dólares. Algunos de los cambios en diseño han dado como resultado una mayor durabilidad para los motores y por lo tanto una reducción en los costos de operación, mantenimiento y reparación. Un análisis reciente de la EPA indicó que los costos anuales de cumplimiento de las normas para emisiones de fuentes móviles pueden ser cercanos a cero e inclusive negativos. Lo que significa, que hasta 1990 al país no le costó prácticamente nada la reducción de las emisiones de fuentes móviles. Los costos totales de los nuevos requerimientos de diseño incluídos en la reforma de 1990 pueden aumentar en 200 dólares adicionales el precio de un carro nuevo. De esta manera, el programa solo aumentará el costo de un carro nuevo entre un 1% y un 2%.

Pero por las razones expuestas anteriormente, las emisiones de fuentes móviles no son aún lo suficientemente bajas para cumplir los estándares del medio ambiente. Por lo tanto, las nuevas reformas especifican en mayor detalle los límites de emisiones que los nuevos carros y camiones deben alcanzar. Estos límites varían por tipo de vehículo, peso y donde se va a utilizar. Los límites de emisión están diseñados para permitir el cumplimiento del cronograma diseñado para las zonas de no cumplimiento descritas anteriormente.

Bajo las reformas de 1990, los carros nuevos vendidos después de 1994 emitirán un 30% menos de hidrocarburos y 60% menos de óxidos de nitrógeno. Los camiones nuevos también tendrán que cumplir con estándares rigurosos de emisiones. Camiones pesados diesel y los buses urbanos tendrán que reducir sus emisiones de partículas en un 90%.

La nueva ley también obliga a los fabricantes a instalar un equipo de control de contaminación garantizado para funcionar durante la totalidad de las 100,000 millas de vida del vehículo. A partir de 1994, los carros nuevos deberán tener sistemas de diagnóstico a bordo. Estos computadores monitorearán constantemente el funcionamiento del motor y avisarán cuando haya algún problema con el equipo de control de emisiones.

Finalmente, se controlarán los vapores que se escapan al aire del tanque de la gasolina durante el abastecimiento. Los vapores serán capturados por un equipo unido al surtidor de manera que estos sean reciclados y utilizados como combustible.

#### **5.3.3.2. Requerimientos de Inspección y Mantenimiento**

Los vehículos en uso emiten contaminantes en cantidades superiores a los estándares bajo los cuales fueron diseñados. Las razones son mal mantenimiento, supresión de mecanismos de control especialmente de convertidores catalíticos, utilización de gasolina con plomo en carros diseñados para gasolina sin plomo. Los programas de inspección y mantenimiento serán ampliados y mejorados para resolver estos problemas. La meta es obligar a los fabricantes a poner equipos duraderos de control, y

obligar a los propietarios a mantener sus vehículos y evitar manejos ilegales de los dispositivos de control.

El análisis de varios programas de los estados ha demostrado que el programa I/M más efectivo es el que separa la inspección de la reparación. Instalaciones centrales que se concentran en la inspección y no tienen nada que ver con las reparaciones son más eficientes para identificar problemas, más eficiente en costo y más conveniente para el público. Este tipo de instalaciones son las que logran una mayor reducción en las emisiones. También deberán volverse más sofisticadas y utilizar equipos mejorados para medir las emisiones. Solo se emiten cantidades significativas de óxido de nitrógeno cuando el motor opera bajo carga. Lo que significa que los exámenes anteriores en que se medían las emisiones cuando el motor estaba simplemente encendido no medían las verdaderas emisiones. Las nuevas instalaciones podran medir las emisiones de un motor cuando el vehículo está en marcha. Este tipo de tecnología solo es posible en instalaciones centrales de inspección.

#### **5.3.3.3. Requerimientos para los Combustibles**

Antes de las reformas de 1990, las normas para fuentes móviles se concentraban más en el diseño y mantenimiento de los motores que en la formulación de los combustibles. El cambio más efectivo en cuanto a combustible fué la eliminación gradual del plomo en la gasolina. Ya está claro que esto redujo significativamente el daño a la salud y solo aumentó en un 2% el costo de producción de la gasolina. Otro programa disminuyó la volatilidad de la gasolina reduciendo las emisiones de VOCs y el problema del ozono que venía asociado con esto.

Bajo las nuevas reformas, se dará más atención al contenido de los combustibles. A partir de 1992, un segundo paso en el programa de volatilidad de los combustibles, requerirá que durante los meses de verano, toda la gasolina deberá cumplir con unos estándares más bajos de volatilidad.

Desde el invierno de 1992-1993, toda la gasolina vendida durante los meses de invierno deberá tener un mayor contenido de oxígeno mediante la

adición de alcoholes o éteres. El contenido mayor de oxígeno asegurará unas emisiones menores de monóxido de carbono tanto de los vehículos viejos como de los nuevos.

En 1993, las refinerías tendrán que reducir la cantidad de azufre en el combustible diesel. Esto disminuirá significativamente las emisiones de óxidos sulfúricos y partículas emitidas por camiones y buses que contribuyen al smog urbano.

Para 1995 se requiere un nuevo programa para las 9 áreas urbanas con la más grave contaminación del aire. Toda la gasolina vendida en estas áreas tendrá que ser formulada de nuevo para reducir las emisiones tóxicas y formadoras de smog. El benceno, un conocido agente causante de cancer, será reducido.

#### **5.3.3.4. Programa de Carros Limpios ( California)**

California será un lugar experimental para la introducción de carros y combustibles muy limpios. Este programa obligará al desarrollo de nueva tecnología.

Desde 1996, los productores de carros deberán vender 150,000 carros en este Estado con niveles de emisión un 50% más bajos que los de otros carros nuevos. Para el año 1999 se deberán vender 300,000 de este tipo de carros, y para 2001 las emisiones deberán deducirse en un 50% adicional.

#### **5.3.3.5. Planificación del Transporte**

La parte más débil del programa de control para fuentes móviles de los E.E.U.U. es el manejo de las millas recorridas por vehículo y la planeación de los sistemas de transporte. Durante los últimos 20 años gran parte de las regulaciones estuvieron dirigidas a la reducción de emisiones de carros individuales. No se han cumplido estándares de calidad del medio ambiente y la contaminación por fuentes móviles es una de las principales razones. El número de carros, buses, camiones y las distancias recorridas han aumentado tanto que las emisiones agregadas han continuado aumentando.

Entre 1970 y 1990, el número de millas recorridas se incrementó de 1 a 2 trillones. La población de carros y camiones ha aumentado más rápido que la población humana. Como resultado, las fuentes móviles son responsables por la mitad de la contaminación por hidrocarburos y óxidos de nitrógeno de las áreas urbanas, por más de la mitad de los contaminantes tóxicos del aire y por más del 90% de la contaminación por monóxido de carbono.

Cuando la EPA estaba preparando sus recomendaciones para las reformas de 1990, se consideraron 3 opciones para controlar las emisiones de fuentes móviles: rediseño de carros para reducir las emisiones del exosto, reformulación del combustible para lograr una combustión más limpia y la reducción de millas recorridas en el país. Solo las 2 primeras se tuvieron realmente en cuenta. Muchos analistas consideran que esta teoría tampoco logrará alcanzar estándares de calidad del aire.

Aunque el Estatuto de "Clean Air" incluye métodos alternos de transporte y control de tráfico, poca acción al respecto se ha tomado. Esta falla puede servir de lección para futuros planes y muestra la importancia de una planificación a largo plazo del transporte, integrada al control de la contaminación de las fuentes móviles.

Cuadro 5.4. Estandares de Calidad del Aire en Estados Unidos

| CONTAMINANTE           | TIEMPO MEDIO                  | ESTANDAR PRIMARIOppm | ESTANDAR SECUNDARIO PPM |
|------------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------|
| OXIDANTES FOTOQUIMICOS | 1 Hr                          | 0.08                 | 0.08                    |
| MONOXIDO DE CARBONO    | 12 Hr -                       | 8 Hr 9.0             | 1 Hr 35.0               |
| DIOXIDO DENITROGENO    | PROM ANUAL<br>1 Hr            | 0.05                 | 0.05                    |
| DIOXIDO DE AZUFRE      | PROM ANUAL<br>24 Hr 0.03      | 3 Hr 0.14 - 0.02     | 0.10 0.50               |
| PARTICULAS SUSPENDIDAS | PROM ANUAL<br>24 Hr 75/ Ug/M3 | 260 ug/m3 60 Ug/M3   | 150 ug/m3               |
| HIDROCARBUROS          | 3 Hr (6-9 am)                 | 0.24                 | 0.24                    |



## **CAPITULO 6**

### **IMPUESTOS A LOS COMBUSTIBLES PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION POR FUENTES MOVILES**

## **CAPITULO 6**

### **IMPUESTOS A LOS COMBUSTIBLES PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION POR FUENTES MOVILES**

#### **Introducción**

Este capítulo discute el uso de impuestos a los combustibles como mecanismo de manejo de la demanda de transporte y, por ende, de control de la contaminación. El capítulo consta de secciones. La primera sección discute el manejo de la política de precios en la reducción del nivel de emisiones contaminantes. La segunda sección discute las opciones de sustitución y estructura de impuestos a los combustibles. La tercera sección analiza las alternativas de control de contaminación generada por fuentes móviles. La cuarta sección comparará la estructura de precios e impuestos a los combustibles en el país, en relación a la de otros países de la región.

#### **6.1. Política de Precios de Combustibles y Control de la contaminación por Fuentes Móviles**

De acuerdo a la discusión en los capítulos 2,3 y 4, el nivel de emisiones contaminantes se puede reducir si:

1. Se reduce el recorrido total de las fuentes móviles;
2. Se utiliza combustibles menos contaminantes;
3. Se utiliza vehículos eficientes;
4. Se hace un mantenimiento apropiado;
5. Se utilizan dispositivos que disminuyen la emisión de contaminantes.

La política de precios e impuestos a los combustibles puede tener efectos sustanciales sobre los cuatro primeros aspectos. Sin embargo, no tiene efectos sobre la utilización de dispositivos especiales y puede no ser la forma más efectiva de conseguir determinados ahorros o sustituciones, en comparación con el uso de determinadas regulaciones o impuestos y tasas diferenciales a la compra y utilización de diferentes tipos de vehículos. Por consiguiente, la utilización de impuestos a tasas por contaminación proporcionales al consumo de los diferentes combustibles debe ser parte de

una estrategia de control de la contaminación automotor; pero ésta requiere regulaciones y otras acciones complementarias.

La prioridad de las opciones de política puede ser diferentes para los países desarrollados y los países en desarrollo. De una parte, en los segundos existen más opciones económicamente más eficientes de conservación y sustitución aún no aprovechadas. De otra, las innovaciones tecnológicas para reducir la contaminación se genera en los primeros, de modo que son ellos los que requieren con mayor urgencia políticas que las estimulen. Para los países en desarrollo, al menos por un tiempo, puede ser suficiente con adoptar disposiciones que garanticen la utilización de las opciones eficientes ya desarrolladas y probadas en los países desarrollados.

En otras palabras, el portafolio de políticas óptimas puede variar, siendo relativamente más importantes en los países en desarrollo las relacionadas con la conservación y sustitución de combustibles y , por tanto, adquiriendo una mayor importancia relativa la política de precios e impuestos (sus niveles y estructura).

## **6.2. Opciones de Sustitución y Estructura de Impuestos a los Combustibles**

El nivel de contaminación más bajo se encontraría utilizando gas natural comprimido. En primer lugar, por cuanto genera menos óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos precursores de smog fotoquímico, en comparación con los con la gasolina. Pero, en segundo lugar, por cuanto reduce el deterioro de los motores y las bujías y aumenta la vida útil de los aceites y lubricantes. En este caso coinciden las consideraciones económicas con las ambientales. Varios países, entre ellos Canadá, Australia, Nueva Zelanda, Holanda y Argentina están utilizando cuantías crecientes de GNC en las flotas de transporte público.

La segunda sustitución más conveniente desde el punto de vista de contaminación ambiental está constituida por la utilización de alcoholes. Si bien el metanol es menos contaminante que el etanol, hasta el momento no existen automóviles que puedan utilizar únicamente metanol sino mezclado

con gasolina. El metanol, es tóxico y reduce la eficiencia del motor. En contraste, existen automóviles que utilizan 100% etanol. Brasil ha usado intensivamente esta opción. A los precios internacionales actuales de la gasolina, sin embargo, no son una opción competitiva desde el punto de vista económico.

La tercera sustitución más conveniente desde el punto de vista ambiental sería hacia el gas licuado de petróleo. Esta opción se utiliza en varios países para vehículos de transporte público.

En lo que hace a la comparación de la utilización de gasolina y diesel, el cuadro 6.1. permite observar cómo con el diesel se reducen las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos volátiles y plomo, pero aumenta en general la de metales, azufre y partículas en suspensión. No obstante se debe tomar en cuenta las diferencias de eficiencia, ya que se requiere una menor cantidad de diesel que de gasolina por kilómetro recorrido. Debido a este último factor, la utilización de diesel reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> y CO, en comparación con el uso de gasolina.

Hasta hace poco las diferencias de precio y la legislación ambiental tendían a favorecer la utilización de motores diesel, en especial en los países europeos y del tercer mundo. Sin embargo, recientemente el mayor énfasis en control de emisiones de NOx está afectándolos negativamente, ya que los convertidores catalíticos de triple acción no se ajustan económicamente a los motores diesel.

Es común la utilización de impuestos (o precios) diferenciales con respecto a algunos contaminantes específicos: tal es el caso de la gasolina con o sin plomo en Japón y Europa (Canadá utiliza prohibiciones y Estados Unidos un sistema con permisos negociables). Lo mismo sucede con las emisiones de dióxido de azufre. Así, por ejemplo, en Suecia se cobra un impuesto de US\$ 5 por tonelada de cada 0.1% de azufre incremental en cochadas de gasolina que excedan al 0.1%.

En los Estados Unidos, los automotores que utilizan combustibles sustitutos a la gasolina tienen una ventaja en cuanto a su facilidad de alcanzar estándares establecidos por kilometraje por galón.

### **6.3. El Control de Contaminación en Fuentes Móviles de Emisión. Alternativas**

Diferencias específicas con las fuentes fijas:

- 1.- No es posible relocalizar los vehículos, como si las industrias, puesto que los primeros tienen que estar donde está la gente. Esto por supuesto, dentro de ciertos límites, por cuanto la gente si se puede relocalizar.
- 2.- La fuente puede movilizarse de una localización con alta concentración a una de baja concentración o viceversa.
- 3.- El número de fuentes es mucho mayor, de manera que cualquier sistema de control resulta menos eficiente y más costoso.
- 4.- En adición, el tamaño pequeño de las fuentes móviles hace más difícil controlar las emisiones sin afectar su eficiencia y el hecho de que no son manejadas por profesionales, sino por aficionados, hace que el control de emisiones se puede deteriorar con el tiempo debido a la falta de mantenimiento y cuidado adecuado.

Teóricamente, la reducción de la contaminación de los automóviles se puede conseguir en tres formas:

- 1.- Controles sobre los productores, importadores o vendedores, de manera que solamente se permita producir o importar carros con ciertos estándares (v.gr. convertidores catalíticos y canisters).

Alternativamente, impuestos según las emisiones que cada uno de estos carros produce. Este tipo de mediciones, sin embargo, son fáciles de llevar a cabo en unas pocas fábricas, que en cada importación o venta.

Estas prohibiciones o impuetos operan solamente sobre los vehículos nuevos y sobre el parque existente , lo que estimulan un mayor uso de los vehículos viejos que, por lo general, son más contaminantes. Además, su efecto se puede perder muy pronto. Los Estados Unidos exigen garantías de 5 años, lo que puede conducir a un sobrediseño. Finalmente, estas prohibiciones no afectan el nivel de utilización ni el mantenimiento de los vehículos, de los que depende críticamente el nivel de emisiones. Estas prohibiciones, son utiles pero no son suficientes para obtener el control deseado.

2.- Impuestos conjuntos con el de rodamiento, al momento de hacer las inspecciones anuales(o cada sierto número de años) y dar los permisos de utilización. Estos impuestos se pueden espesificar según las emisiones que cada vehículo produzca efectivamente. Esto, sin embargo requeriría pruebas costosas y dificultaría e control.

Además, estos empuetos deberían diferenciarse según el área en que se utilicen los vehículos, lo cual, sin embargo, puede dar lugar a que se registren en sitios diferentes. Se requeriría usar certificados diferentes para transitar distintas áreas, con las obvias dificultades para el tránsito de un área a otra.

Finalmente, si se desea gravarlos según el uso efectivo del vehículo se requiere controlar el registro del kilometraje, lo que se presta a manipulaciones diversas.

Como en el caso anterior, pueden resultar necesarios pero no suficientes.

3.- Impuesto a los combustibles. Es el único impuesto que permite aproximar el uso efectivo del vehículo sin controles costosos y posiblementefine inefficientes.

Además, los impuetos por combustible permite diferenciar entre combustibles como la gasolina, el diesel y el gas comprimido.

En alguna medida podrían graduarse según la localización, pero ello exigiría controlar su pago a nivel de minorista (de bomba), lo que encarecería su administración.

Sin embargo, no se puede tomar en cuenta las calidades y condiciones del vehículo, a no ser que se aplicaran impuesto diferenciales, lo cual sería imposible de controlar.

En síntesis, los impuestos a los combustibles no son la única forma de controlar la contaminación de los vehículos y por sí no resultarían eficientes. No obstante, parecen ser convenientes como un elemento complementario a las regulaciones e impuestos a la fabricación, venta y utilización de vehículos, sobre todo en países con dificultades mayores de control administrativo.

4.- Impuesto a los combustibles como "cobro" de los gastos en mantenimiento y reparación de carreteras. Los impuestos a los combustibles se han utilizado en Colombia y en la mayoría de los países como una forma indirecta de "cobrar" a los usuarios de las carreteras los gastos de mantenimiento y rehabilitación originados en su utilización. Un estudio reciente de Fedesarrollo(1992), después de examinar el tema, llega a la siguiente conclusión al respecto: "El instrumento más apropiado en la práctica para cubrir los costos generales de mantenimiento ( de carreteras) son los impuestos a los combustibles, que son automáticamente proporcionales al uso del vehículo y, de manera aproximada, a su peso, ya que los vehículos más pesados requieren un uso mayor de combustibles por kilometro recorrido. Sin embargo, comoquiera que la relación de daño a peso es mucho mayor que la de uso de combustible a peso, conviene de todas maneras complementar los impuestos de rodamiento diferenciados según el peso de los vehículos".

Los impuestos por contaminación deben ser adicionales a los que constituyen un "road users charge". En el estudio citado se encuentra un cálculo del nivel apropiado por este último concepto. (El anexo II presenta un resumen del estudio mencionado).

#### 6.4. Precios e Impuesto a los Combustibles en Colombia

En los cuadros 6.2. y 6.3. se presenta una comparación de los precios al consumidor y los impuestos a las gasolinas y el diesel en 44 países en agosto de 1991. En general, los países europeos y Japón tienen precios más altos que los del tercer mundo, y entre éstos los más bajos son los de países exportadores de petróleo. Los precios colombianos, son los más bajos; tan solo superan a los de Arabia Saudita, Venezuela y Ecuador.

Los precios colombianos de la gasolina regular representan apenas el 15 % del promedio internacional (el 32% en el caso de la extra). Equivalen apenas al 21.6% (regular), 25% (extra), y el 38%(diesel) de los más altos del tercer mundo: los uruguayos.

En cuanto a estructura, es uno de los pocos países que no tiene precio; del diesel menor que el de la gasolina regular y uno de los que diferencia más entre extra y regular, en términos porcentuales.

Como porcentaje del precio al consumidor, el gravamen colombiano ocupa el puesto 27 de 36 en gasolina regular, 30 de 37 en el extra y 27 de 39 en el diesel. Para gasolina regular, el impuesto equivale al 33% del precio del consumidor vs. 75 % en Italia y 57 % en Argentina, los más altos del mundo y de América Latina.

No obstante, la comparación es más desventajosa si se considera el valor del impuesto por galón: ocupa el puesto 32 de 36 en el caso de la gasolina regular, 34 de 37 en la extra y 30 de 39 en el diesel. Para gasolina regular, el impuesto es de 0.21 US\$/ galón vs. 3.14 US\$/galón en Italia y 1.19 US\$/galón en Argentina.

Pero aún esta comparación es insuficiente, ya que, al estar los precios al productor por debajo de su costo de oportunidad (los equivalentes internacionales), los impuestos colombianos los paga en su mayor parte Ecopetrol y no los consumidores.



En efecto, el nuestro es uno de los pocos países en los que el productor recibe mucho menos que el precio internacional: por debajo de 0.77 US\$/galón, se sitúan tan solo Colombia (42), Ecuador(21) y Venezuela (17). Solo en estos tres países la empresa estatal subsidia a los consumidores.

**CAPITULO 7**  
**EVALUACION DE PROGRAMAS NACIONALES**  
**PARA EL**  
**CONTROL DE LA CONTAMINACION POR**  
**FUENTES MOVILES**

## **CAPITULO 7**

### **EVALUACION DE PROGRAMAS NACIONALES PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION POR FUENTES MOVILES.**

#### **Introducción**

Este capítulo presenta una evaluación de algunos programas que se han desarrollado en el país para el control de la contaminación por fuentes móviles. El capítulo está dividido en tres secciones. La primera sección evalúa el alcance de las regulaciones para el control de la contaminación atmosférica con base en un examen de la resolución 003002 del 5 de diciembre de 1991 del Secretario Distrital de Salud, Gobierno de la ciudad de Bogotá. La segunda sección presenta una evaluación del programa de control de contaminación hídrica por fuentes móviles que resultó de la campaña publicitaria de ECOPETROL para reducir el consumo de aceites lubricantes. En la última sección se evalúa los resultados obtenidos por la aplicación de la norma sobre control de ruido vehicular en el país.

#### **7.1. El Control de la Contaminación Atmosférica por Fuentes Móviles en la Ciudad de Bogotá**

##### **7.1.1. El caso de la resolución 003002 Santafé de Bogotá.**

Esta sección examina el alcance de la resolución 003002 del 5 de diciembre de 1991 del Secretario Distrital de Salud, Gobierno de la ciudad de SantaFé de Bogotá. Con la cooperación técnica del Gobierno Japonés se ejecutó un estudio sobre la contaminación atmosférica en el país que sirvió de base para desarrollar la norma que reglamenta LOS NIVELES DE EMISION PERMISIBLES DE CONTAMINATES PRODUCIDOS POR LAS FUENTES MOVILES CON MOTOR A GASOLINA (AUTOMOTORES). La resolución del Gobierno Distrital exige el uso de autopartes para reducir emisiones de atmosféricas, particularmente sistemas de recuperación de vapores. La resolución también exige la puesta en marcha de un programa de revisión de emisiones automotoras basado en la medición de dos indicadores. Los indicadores de contaminación escogidos

son el monóxido de carbono y los hidrocarburos. En el cuadro 7.1. se presentan las concentraciones permisibles en el exosto, las cuales se fijan de acuerdo al año de fabricación de automotor.

Cuadro 7.1. Concentraciones Permisibles de Contaminantes  
Presentes en el Exhosto

| MODELO          | CO<br>% vol | HC<br>ppm |
|-----------------|-------------|-----------|
| Anterior a 1972 | 7           | 1000      |
| 1973-1976       | 6           | 850       |
| 1977-1980       | 5.5         | 700       |
| 1981-1985       | 5.0         | 650       |
| 1986-1989       | 4.5         | 550       |
| 1990- 1993      | 4.0         | 500       |
| 1994-1997       | 3.5         | 450       |
| 1998- adelante  | 3.0         | 300       |

El reglamento se concentra en las emisiones producidas por automotores con motor a gasolina. Sin embargo, tal como se discutió en capítulos anteriores, las emisiones de automotores con motor a diesel o ACPM generan problemas agudos de emisiones de material particulado las cuales no hacen parte de la regulación. Esta resolución promueve, entonces, el uso de motores a diesel los cuales pueden generar mayor contaminación, de algunos parámetros, de la que generan los motores a gasolina.

Además el reglamento exige a los automotores nuevos el contar con: (1) "un sistema de control de emisiones evaporativas de combustible (canisters)" a partir de 1994, (2) "sistema de control de emisiones de gases del carter (válvula positiva de ventilación - PCV)". La resolución no indica cómo podrá exigir el uso de estos equipos para los automotores registrados en la ciudad y menos aún para aquellos registrados en otras plazas que circulen en SantaFé de Bogotá.

El programa de revisión de emisiones automotoras utiliza la "REVISION VISUAL DE HUMOS" de acuerdo con la cual si durante diez segundos se observa la emisión de humo azul o negro se dan por excedidos los límites de emisión. Este sistema de medición contribuye a fomentar la corrupción en las dependencias de tránsito encargadas de la revisión de automotores al permitir que conceptos subjetivos de los técnicos de revisión sirvan como base de la evaluación de emisiones. Igualmente esta medida contribuye a aumentar la corrupción de los agentes de tránsito en la ciudad, los cuales tendrían otra razón para detener los automotores y exigir prebendas.

Esta revisión visual de humos incorpora elementos regresivos en la norma pues la probabilidad de contar con emisiones de este tipo en automotores viejos es mayor que en la de automotores nuevos. Este sesgo puede inducir a los propietarios de automotores viejos a cambiar su uso de transporte por otros menos cómodos como los de transporte público, reduciendo así su estándar de vida.

El programa, tal como lo ha emitido el gobierno distrital, no incluye las medidas integrales que conforman los planes de control de la contaminación atmosférica, por fuentes móviles, en otras latitudes, como por ejemplo: 1.- programas de mejora del tráfico urbano; 2.- programas de promoción del uso de sistemas de transporte masivo, 3.- programas de reformulación de gasolinas; 4.- programas de sustitución de combustibles por otros menos contaminantes; 5.- planes sistemáticos de monitoreo de la calidad del aire-ambiente (se anota que con la cooperación de JICA, se han instalado una serie de estaciones de medición); 6.- plan de contingencias para el control de emergencias de contaminación atmosférica; 7.- programas de control de emisiones de oxidantes fotoquímicos y óxidos de nitrógeno.

## **7.2. El Control de la Contaminación Hídrica por Fuentes Móviles**

Esta sección analiza la reducción en la contaminación hídrica con base en el análisis de la campaña gubernamental para reducción de la demanda de aceites lubricantes.

En el país, el mayor porcentaje de los aceites lubricantes automotores se descargan a los alcantarillados y cuerpos de agua sin ningún tratamiento o control. Por ejemplo, la CAR estima que en 1989, cerca de 250.000 barriles de aceite motor se vertieron al alcantarillado de la ciudad de Bogotá y por ende al Río Bogotá.(ver figura 1.2)

Con el objeto de reducir la demanda de aceites lubricantes para motor en el país, el Gobierno Nacional puso en marcha en 1989 una campaña para tal fin. En ese año el cambio promedio de aceite motor se hacia cada 2500 Kmts. Ecopetrol estima que la campaña logró aumentar el kilometraje promedio para el cambio de aceite a 3200 en 1990, y 4000 en 1991. Para 1992 se espera aumentar a 6000 Kmts el cambio promedio de aceites. La demanda total ha disminuído entre 1989 y 1992. Esta disminución se aprecia en las ventas que para 1989 alcanzaron los 730000 barriles de aceite automotor y para 1992 las ventas se redujeron a 630000 barriles. El objetivo de la campaña es reducir un 20% adicional en la demanda total nacional para finales de 1992. La campaña de reducción de la demanda de aceites se ha acompañado con un programa de control de calidad de filtros.

Hasta 1989 se importaban cerca de 350.000 barriles anuales de aceites motor. Con la reducción en la demanda las importaciones se han reducido en cerca del 25%. Se espera que en en los próximos años se logre disminuir la demanda en tal forma que las importaciones representen un máximo del 20% del consumo nacional, lo que significaría ahorros cercanos a los US\$15 millones anuales.

De acuerdo con datos de una agencia de auditoría de publicidad (Nielsen:1992) el costo estimado en medios de la campaña de publicidad de reducción del consumo de aceites lubricantes, para el período 1990-1991 alcanzó la cifra de 1.282 millones de pesos corrientes<sup>9</sup>. De estos el 44.5 % de los recursos se utilizaron en 1990. El mayor porcentaje de recursos (49.4%) se asignaron a publicidad en medios televisivos con un total de 633.8 millones de pesos. Las asignaciones para avisos de prensa y revistas alcanzaron la cifra

---

<sup>9</sup> Estos estimativos no incluyen los descuentos que normalmente otorgan los medios a las agencias de publicidad.

de 408 millones de pesos seguidos de anuncios en radio en los que se invirtieron cerca de 240 millones de pesos.

La campaña de reducción en el consumo de aceites lubricantes ha sido exitosa no solamente desde el punto de vista económico, sino también desde el punto de vista ambiental. Se estima que la reducción en la carga contaminante de aceites lubricantes que se vierten a los cuerpos de agua se ha reducido en un 15%. A corto plazo el éxito de la campaña depende no solamente de continuar con la campaña publicitaria sino también de un manejo adecuado de los precios al consumidor de los aceites lubricantes. La disminución en el precio del aceite importado en cerca del 40% puede incidir en un aumento de la demanda, si esta disminución se traslada al precio al consumidor.

### 7.3. El Control de la Contaminación Sonora por Fuentes Móviles

#### 7.3.1. El caso de la resolución 003002 Santafé de Bogotá.

El Ministerio de Salud ha emitido dos resoluciones para controlar la contaminación sonora en el país. El cuadro 7.2. presenta los límites en niveles de ruido permisibles del Ministerio de Salud (resolución N° 8321 de 1983 ).

Cuadro 7.2. Niveles de Ruido Permisibles Resolución 8321/83 Minsalud

| ZONA RECEPTORA |               | dBA           |               |
|----------------|---------------|---------------|---------------|
|                |               | DIURNO        | NOCTURNO      |
|                |               | 7 a.m.-9 p.m. | 9 p.m.-7 a.m. |
| Zona I         | : Residencial | 65            | 45            |
| Zona II        | : Comercial   | 70            | 60            |
| Zona III       | : Industrial  | 75            | 75            |
| Zona IV        | : Tranquila   | 45            | 45            |

La información recopilada en el proyecto "Diagnóstico y Control de la Contaminación Industrial" que adelanta el Departamento Nacional de

Planeación (DNP) con la cooperación técnica del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) ha encontrado que los niveles fijados por las resoluciones del Ministerio de Salud se sobrepasan en la mayoría de centros urbanos del país.

Existen una serie de medidas de control del ruido que generan las fuentes móviles, en el caso de los automotores se utilizan mejoras en los motores, en las especificaciones de las vías, restricciones de velocidad al tráfico automotor e instalación de barreras físicas.

Dentro de las modificaciones que se hacen a los motores están el uso de turbocargadores o sistemas de inyección del combustible. Otros sistemas de control de ruido en los automotores incluyen mejoras a los silenciadores y encapsulación de los motores y la caja de cambios.

La mejora en las especificaciones de la vías también ayuda a reducir los niveles de ruido, mediante mejores alineaciones verticales o mediante el uso de pavimento que minimize la reflexión de ruido. El uso de barreras físicas (como por ejemplo muros) contribuye a reducir los niveles de ruido en zonas cercanas a vías de alto tráfico. Adicionalmente restricciones a la velocidad vehicular contribuyen a reducir los niveles de ruido en razón a que el nivel de ruido es proporcional a la velocidad. El cuadro 7.3. describe las regulaciones de límites permisibles de niveles de ruido que generan los automotores en países industrializados.



Cuadro 7.3. Regulaciones Internacionales de Límites Permisibles de Ruido

| País                               | Vehículo de pasajero | Camionetas <3.5 Ton | Buseta <3.5 Ton | Camion <150 KW | Bus <150 KW | Camion >150 KW | Bus >150 KW | Motocicleta >500 c.c |
|------------------------------------|----------------------|---------------------|-----------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------------|
| EEC 1988<br>1995                   | 80<br>77             | 81<br>78-79         | 81<br>78-79     | 86<br>83       | 82<br>80    | 88<br>84       | 85<br>83    | 86<br>80             |
| Suiza 1986                         | 75-73a               | 77-79a              | 77-79a          | 82             | 80          | 84             | 82          | 83                   |
| Japon 1987                         | 78                   | 78                  | 78              | 83             | 83          | 83             | 83          | 75-76                |
| EEUU<br>Hoy<br>Futuro              | b<br>b               | b<br>b              | b<br>b          | 89<br>86       | 86<br>83    | 89<br>86       | 86<br>83    | 86<br>83             |
| Australia<br>Hoy                   | 81                   | 82                  | 82              | 87             | 86          | 89             | 88          | 84                   |
| OECD<br>conferencia<br>(1986-1990) | 75                   | 75                  | 75              | 80             | 80          | 80             | 80          | 75                   |

81

Fuente: Conferencia Europea de Ministerios de Transporte. Policía de Transporte y del Ambiente ECMT. Sesión Ministerial (Paris, ECMT, 1990)

a./ Con más de cuatro años

b./ Datos no disponibles.

En el país, con posterioridad a la expedición de las regulaciones mencionadas, no se ha aplicado la norma a los vehículos automotores, ni se han establecido mecanismos de mitigación de ruido como los mencionados anteriormente. El caso del control de los niveles de ruido es un caso claro de ineffectividad en las normas de control de la contaminación.

ANEXO 1. Contaminación Atmosférica por Fuentes Móviles.  
Informe de Avance No 1. .ECOPETROL.  
Abril 30 de 1992.



VINCULADA AL MINISTERIO  
DE MINAS Y ENERGIA

# **EMPRESA COLOMBIANA DE PETROLEOS**

**VICEPRESIDENCIA DE REFINACION  
DIVISION TECNICA  
DEPARTAMENTO TECNICO**

## **CONTAMINACION ATMOSFERICA POR FUENTES MOVILES INFORME DE AVANCE No.1**

**SANTAFE DE BOGOTA, ABRIL 30 DE 1992**

**EMPRESA COLOMBIANA DE PETROLEOS  
VICEPRESIDENCIA DE REFINACION  
DIVISION TECNICA  
DEPARTAMENTO TECNICO**

**CONTAMINACION ATMOSFERICA POR FUENTES MOVILES  
INFORME DE AVANCE No. 1**

**SANTAFE DE BOGOTA, ABRIL 30 DE 1992**

## CONTENIDO

1. Introducción
2. Objetivo y alcance del estudio
3. Bases para un diagnóstico
4. Características y tendencias de los combustibles nacionales.
  - 4.1 Parámetros para Evaluar una Gasolina
    - 4.1.1 Rendimiento de una Gasolina
    - 4.1.2 Impacto Ambiental (Asociado a la Calidad del Combustible)
  - 4.2 Tendencias Internacionales en Calidad de Gasolinas
  - 4.3 Comparación de la Calidad de las Gasolinas Nacionales con las Gasolinas de otros países.
    - 4.3.1 Presión de Vapor (RVP)
    - 4.3.2 Contenido de Tetraetilo de Plomo
    - 4.3.3 Olefinas
    - 4.3.4 Azufre
  - 4.4 Programa de ECOPEIROL para Producir Gasolinas Menos Contaminantes
    - 4.4.1 Tetraetilo de Plomo
    - 4.4.2 RVP
    - 4.4.3 Octanaje
    - 4.4.4 Aditivos
    - 4.4.5 Oxigenados
    - 4.4.6 Aromáticos
5. Inventario Parque Automotor. Proyecciones.
6. Emisiones del parque automotor
  - 6.1. Emisiones evaporativas. Estimativos preliminares
    - 6.1.1 Origen y Magnitud de las Emisiones Evaporativas
      - 6.1.2 Factores que afectan las Emisiones Evaporativas
        - 6.1.2.1 Influencia de la Tecnología del Vehículo
        - 6.1.2.2 Características (Volatilidad) del Combustible
        - 6.1.2.3 Efecto de la Temperatura Ambiente
        - 6.1.2.4 Características del uso del vehículo
        - 6.1.2.5 Atemperamiento y Nivel del Tanque de Combustible

- 6.2. Cálculo de las Emisiones Evaporativas. Programa centros de diagnóstico.
  - 6.2.1 Procedimiento de Cálculo
    - 6.2.1.1 Emisiones del Carburador
    - 6.2.1.2 Emisiones Evaporativas durante la marcha
    - 6.2.1.3 Emisiones diurnas
  - 6.2.2 Aplicación del procedimiento. Resultados
- 6.3 Alternativas de Control para emisiones evaporativas
- 6.4 Programa Centros de Diagnóstico
  - 6.4.1 Objetivos
  - 6.4.2 Cubrimiento y representatividad del programa
  - 6.4.3 Resultados
- 7. Otros Programas
  - 7.1. Programa Nacional para el Desarrollo Tecnológico de los asfaltos
    - 7.1.1 Antecedentes
    - 7.1.2. Objetivos
    - 7.1.3. Investigación.
  - 7.2 Programa de optimización de lubricantes automotor
    - 7.2.1. Campaña educacional de ECOPEITROL lubricantes 6000/km.
    - 7.2.2. Resultados
- 8. Próximas actividades
  - 8.1 Fase I
  - 8.2 Fase II
- Anexo A Emisiones Evaporativas - Proceimiento de cálculo
- Anexo B Programa Centros de Diagnóstico-Gráficas
- Anexo C Modelos de dispersión contaminación atmosférica

## 1. INTRODUCCION

El presente documento es el informe de avance No. 1, del proyecto sobre contaminación por fuentes móviles que actualmente desarrolla la Empresa Colombiana de Petróleos para el Departamento Nacional de Planeación.

Se presenta a nivel informativo las actividades ejecutadas durante las primeras ocho semanas de programación, lo cual implica que los resultados obtenidos son preliminares y podrán ser ajustados a medida que el proyecto avance.

De acuerdo con la programación prevista, dentro de las actividades realizadas, vale la pena resaltar la ejecución del programa de centros de diagnóstico, el cual pretende determinar el efecto de la sincronización mediante la caracterización de las emisiones exhosto al parque automotor de las ciudades de Santafé de Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla. Este programa permitió configurar una base de datos reales de 1036 vehículos, mediante el análisis de emisiones exhosto durante un periodo de 30 días calendario. Para el análisis de esta información se configuró un programa matemático que permite evaluar la concentración de las emisiones según tipo de vehículo, modelo, cilindraje y clase de combustible.

De otra parte se elaboró un procedimiento de cálculo para estimar las emisiones evaporativas del parque automotor, la cual se presenta en el Anexo A. Los resultados obtenidos por efecto de sincronización dentro del programa de servitecas aparecen en el anexo B. Finalmente el documento sobre recopilación bibliográfica de modelos de dispersión se presenta en el Anexo C.

## 2. OBJETIVO Y ALCANCE

El estudio de contaminación por fuentes móviles en las ciudades de Santafé de Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla, determinará el aporte de los automotores al problema de la contaminación urbana, mediante un diagnóstico que permita definir acciones de planeación ambiental.

Con el diagnóstico elaborado y con las proyecciones de crecimiento del parque automotor, se establecerá la calidad del aire ambiente a corto, mediano y largo plazo. Estos escenarios permitirán establecer mecanismos de control a nivel operativo y la elaboración de una propuesta de norma nacional para controlar dicha contaminación, ajustada a las características técnicas de los combustibles y del parque automotor y a la realidad socio-económica del país.

Para tal efecto se identificarán y evaluarán alternativas que disminuyan el aporte de emisiones, tales como el uso de combustibles limpios y mejorados, implementación de mecanismos para el control de emisiones, aparatos que mejoren la eficiencia de combustión en vehículos viejos y mejoramiento de asfaltos para permitir vías de mejor calidad que disminuyan el impacto ambiental del parque automotor etc. El análisis particular y en conjunto de estas acciones, permitirán definir un plan de acción acorde con las necesidades de cada unidad en estudio.



### 3. BASES PARA UN DIAGNOSTICO

La investigación bibliográfica realizada para identificar resultados de mediciones de campo sobre el parque automotor nacional, demostró que se carece de información suficiente sobre las emisiones exhosto producidas por los vehículos que operan en el país.

Un estudio reciente elaborado para Santafé de Bogotá (JICA-Diciembre de 1991) incluye los resultados de mediciones efectuados a 153 automotores de diferente tipo. Este número representa alrededor del 0.045% del parque registrado en la ciudad capital y cerca de 0.01% de la totalidad de vehículos existentes en el país. Adicionalmente, las mediciones no permiten concluir sobre la incidencia de variables determinantes de las emisiones como son el efecto de la altitud, la operatividad (velocidad media) característica del tráfico de cada ciudad, las posibles variaciones en la composición de los combustibles inducidas por factores externos como la temperatura ambiente y la presión atmosférica, etc.

En razón a lo anterior, ECOPEPETROL decidió ampliar la base de datos mediante dos acciones:

- a) La captura de información sobre emisiones exhosto en 20 centros de diagnóstico automotriz, distribuidos en las principales ciudades del país, durante 30 días.
- b) El levantamiento de información de campo en el Distrito de Producción ELC de ECOPEPETROL, utilizando la flota de 400 vehículos durante tres (3) meses (90 días).

El trabajo en los centros de diagnóstico utilizó la información generada durante el proceso de sincronización (emisiones antes y después del ajuste del motor), complementada con datos adicionales que permiten deducir las características de operación y mantenimiento del vehículo.

En el Distrito de Producción ELC, se está capturando la misma información anterior y el consumo de combustible, este último con el objeto de evaluar el efecto de la sincronización sobre las emisiones y el gasto. Los resultados de este estudio estarán terminados a finales del mes de agosto.

Otro parámetro para determinar el diagnóstico es el cálculo de las emisiones evaporativas, las cuales corresponden a todos los vapores de combustible liberados a la atmósfera desde el carter, el tanque de gasolina y carburador. El procedimiento de cálculo y un estimativo preliminar aparece en el Anexo A.

Finalmente la cuantificación de emisiones contaminantes originadas en los gases de combustión (emisiones exhosto) del parque automotor colombiano, servirá de base para determinar el aporte de esta fuente a la contaminación atmosférica en las principales ciudades del país. Actualmente se está elaborando un programa de computador para estimar los parámetros : óxidos de azufre (expresados como  $\text{SO}_2$ ), hidrocarburos<sup>HC</sup>, monóxido de carbono<sup>CO</sup> y óxidos de nitrógeno<sup>NO<sub>x</sub></sup>, con base en el cálculo de factores de emisión de referencia incluyendo variables como la composición , calidad de combustibles y condiciones operacionales del parque automotor como recorrido anual, altura sobre el nivel del mar, consumo de combustible y velocidad media.

#### 4. CARACTERÍSTICAS Y TENDENCIAS DE LOS COMBUSTIBLES NACIONALES

##### 4.1. Parámetros para Evaluar una Gasolina:

Hasta la década del 70 el principal parámetro para evaluar una gasolina era el "rendimiento". La crisis del petróleo de la época condujo al mundo a pensar en la reducción del consumo de combustibles derivados del petróleo por ser éste un recurso estratégico, escaso y no renovable.

El avance tecnológico en los procesos de refinación fué orientado hacia la producción de gasolinas de mayor octanaje y más limpias, obedeciendo a requerimientos de motores diseñados cada vez para mejor eficiencia.

En la misma década, surge la primera legislación ambiental aplicada a gasolinas. Se inicia un programa de eliminación del plomo <sup>(Pb)</sup> como mejorador de octanaje de las gasolinas. Para compensar la baja de octanaje, toman fuerza procesos de reformado catalítico, ruptura catalítica, polimerización, alquilación y empiezan a incursionar los alcoholes como carburantes.

Crece la preocupación por la calidad del aire ambiente; se señala a los automotores como los principales responsables de su deterioro.

En la década de los 80, los Estados Unidos, desarrollaron la más agresiva e importante legislación ambiental: El Acta del Aire Limpio. Uno de sus apartes trata de la calidad de los combustibles.

Se afianza entonces un nuevo parámetro de evaluación de una gasolina: El "impacto ambiental". Empieza el control de las emisiones de automotores.

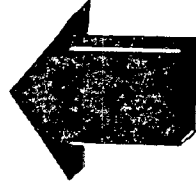
Las emisiones se clasifican en "evaporativas" y "exhausto". Las primeras dependen principalmente de la volatilidad; las segundas, más complejas de controlar, dependen de la composición química y propiedades del combustible, diseño de los motores, condiciones mecánicas y sincronización de los mismos, hábitos de manejo,

## - PARAMETROS PARA EVALUAR UNA GASOLINA

### ■ RENDIMIENTO



OCTANAJE

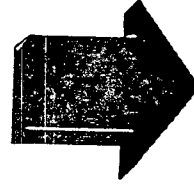


- SUPERPREMIUM
- PREMIUM
- EXTRA
- REGULAR
- CORRIENTE

### ■ EFECTOS SOBRE EL AMBIENTE



EMISIONES



- EVAPORATIVAS
- EXHAUSTO

velocidad de desplazamiento de los vehículos, condiciones atmosféricas, etc.

Mientras los requerimientos de octanaje son cada vez mayores, las emisiones contaminantes deben reducirse.

#### 4.1.1 Rendimiento de una Gasolina

Está asociado principalmente con el octanaje, el cual se define como la capacidad antidetonante. La mezcla aire combustible debe ser encendida por acción de una chispa producida en una bujía, la cual forma parte del mecanismo de sincronización del motor. Si hay autoignición de la mezcla antes del momento preciso se perderá parte de la potencia, se producirá golpeteo en el motor y por ende su deterioro mecánico y se incrementarán las emisiones por el exhosto.

Igualmente si dentro del cilindro se acumulan depósitos carbonosos, estos actuarán como puntos calientes causando explosiones de la mezcla a destiempo.

Para que no ocurra todo lo anterior la gasolina debe tener un determinado octanaje (poder antidetonante) y con un mínimo contenido de gomas y promotores de formación de depósitos en los sistemas de inyección y dentro de la cámara de combustión (cilindros, válvulas, pistón).

Las denominaciones dadas a las gasolinas como corriente, regular, extra, premium, superpremium, reflejan el octanaje, partiendo de menor a mayor (80-100).

#### 4.1.2 Impacto Ambiental (Asociado a la Calidad del Combustible)

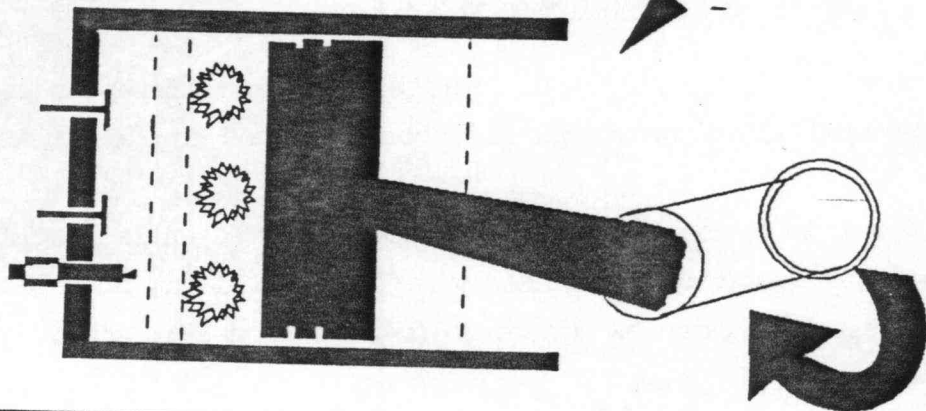
Una gasolina es una mezcla de hidrocarburos con diferentes propiedades químicas que se manifiestan en comportamientos distintos como combustibles.

Las principales familias de compuestos presentes en la mezcla de gasolinas son: parafinas, aromáticos, olefinas y nafténicos. El tamaño molecular varía entre 4 y 11 carbonos. Los más livianos (C4, C5) son más volátiles, su tendencia a

PARAMETROS PARA EVALUAR UNA GASOLINA

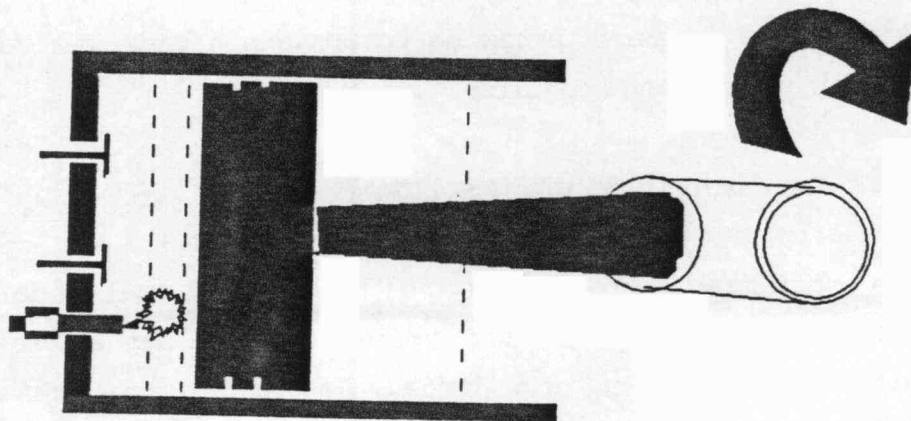
## — RENDIMIENTO

OCTANAJE BAJO



EXPLOSION  
ANTICIPADA

OCTANAJE ADECUADO



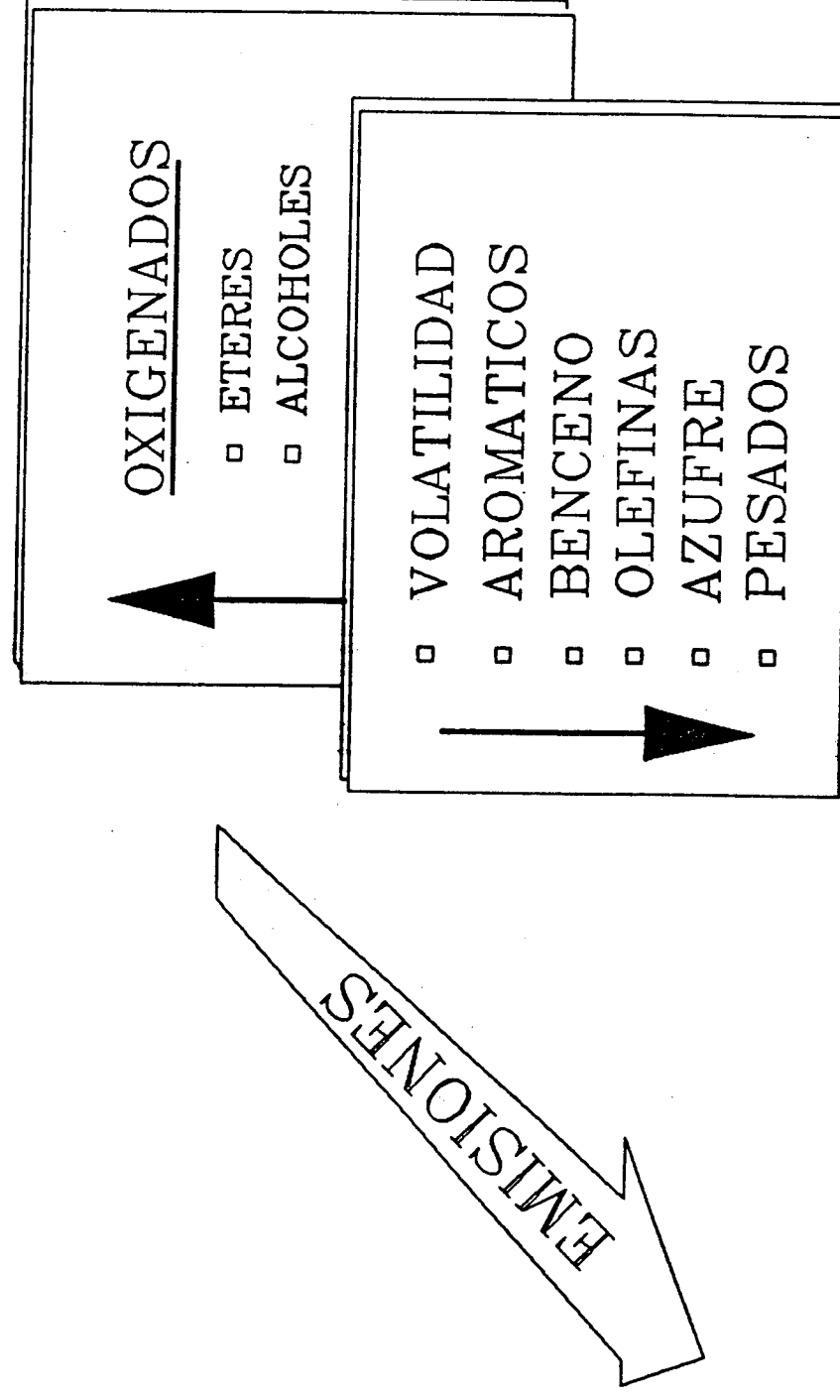
ENCENDIDO  
POR CHISPA  
DE LA BUJIA



ENGRANADO ?

PARAMETROS PARA EVALUAR UNA GASOLINA (CONT..)

## -IMPACTO AMBIENTAL



evaporarse es superior, por lo tanto se busca disminuir su participación en la mezcla para bajar el grado de "volatilidad".

Los aromáticos son tildados como tóxicos y especialmente el benceno como cancerígeno. En la combustión tienen la tendencia a formar compuestos mucho más tóxicos (formaldehidos, octaldehidos, 1-3 butadieno, etc). Por su alta temperatura de llama son promotores de la formación de óxidos de nitrógeno (NOx).

Las olefinas son fotorreactivas, por acción de la luz solar generan compuestos promotores de "smog". Las diolefinas tienden a formar depósitos carbonosos en los motores.

Los hidrocarburos mas pesados al requerir mayor energía para vaporizarse, suelen pasar en forma líquida a la cámara de combustión, diluyendo el lubricante, produciendo combustión incompleta y generando mas emisiones.

En todos los compuestos anteriores es posible la presencia de azufre (proveniente del crudo) el cual en la combustión produce óxidos de azufre (SOx) responsables de la lluvia ácida.

Al disminuir la participación de los aromáticos, olefinas y los livianos, se disminuye el octanaje; para recuperarlo existe la opción de usar compuestos oxigenados (éteres y alcoholes).

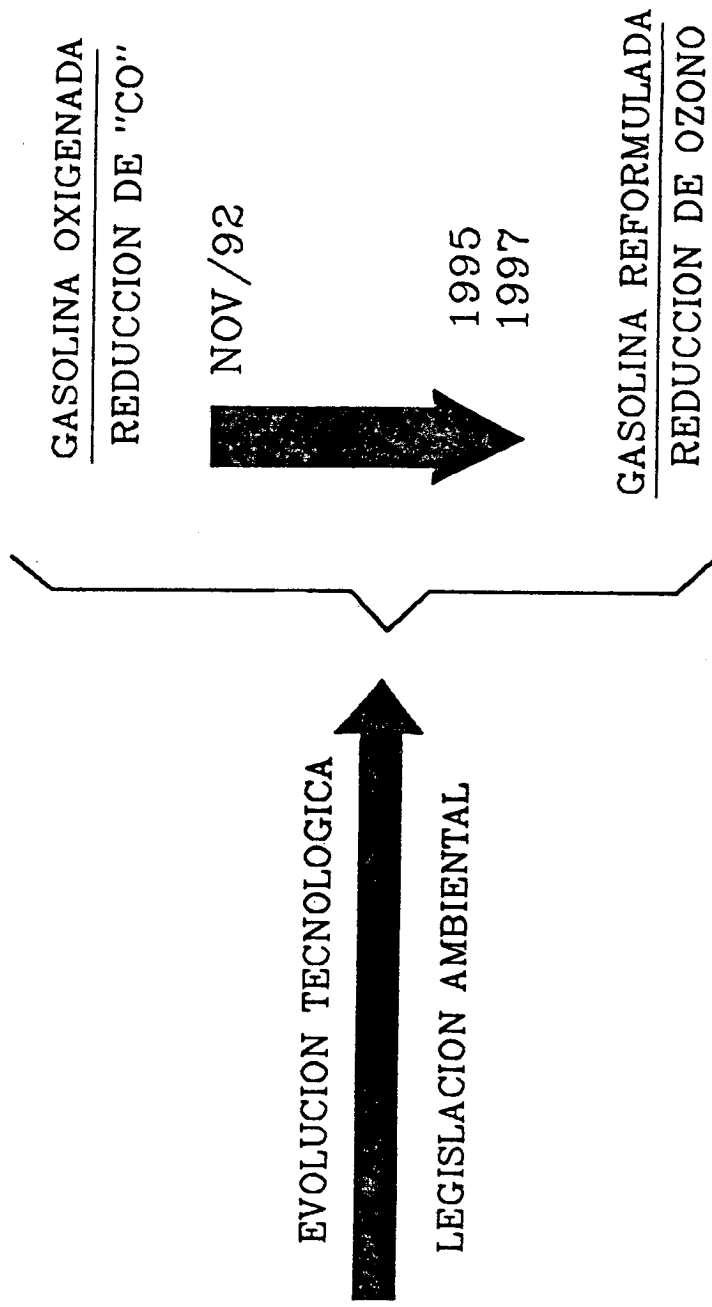
El reto para los refinadores está centrado en lograr la mezcla ideal, que produzca el rendimiento requerido por los motores, con un comportamiento que mantenga satisfecho al usuario y con menos emisiones contaminantes.

#### 4.2. Tendencias Internacionales en Calidad de Gasolinas

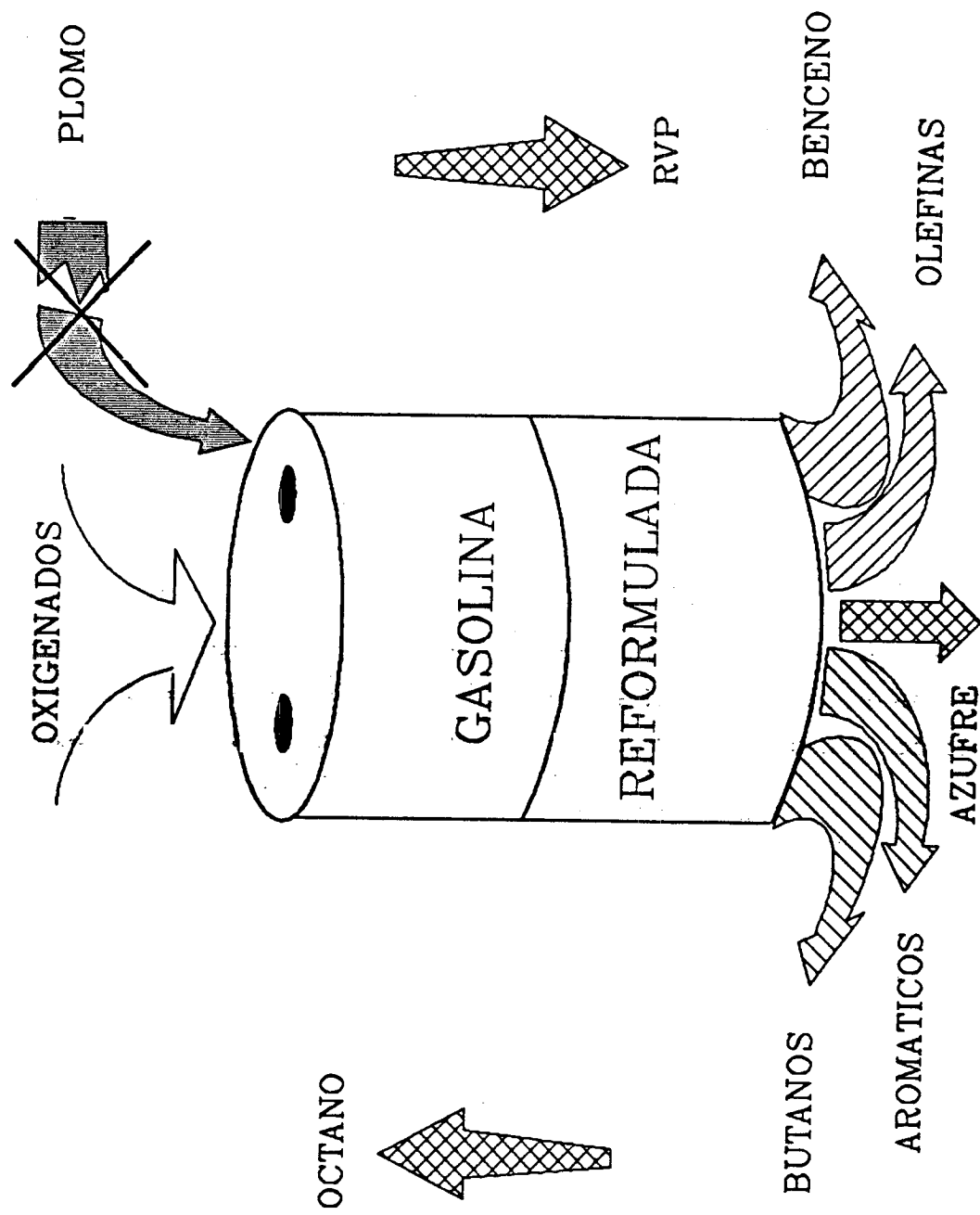
A nivel internacional, el horizonte lo fijan los Estados Unidos con su Acta del Aire Limpio.



## — TENDENCIAS MUNDIALES EN CALIDAD DE GASOLINAS



# ACCIONES SOBRE EL BARRIL DE GASOLINA EN LOS 90's



Los demás países están tomando como referencia el programa de ajuste de calidad de las gasolinas definidas por la legislación americana. Sin embargo cada país afronta su situación particular, definida por varias características, entre otros: Tecnología en su parque automotor, concentración urbana, consumo de combustibles, condiciones atmosféricas, etc.

A nivel internacional se define una gasolina oxigenada y una gasolina reformulada. La primera contiene oxigenados entre 2.0 y 2.7% en peso, la segunda es el resultado de la mezcla de los diferentes componentes en concentraciones definidas y con propiedades finales establecidas.

La gasolina oxigenada es obligatorio usarla en 41 ciudades de los Estados Unidos que no cumplen con los estándares de calidad del aire (concentración de monóxido de carbono) a partir de noviembre de 1992.

#### **4.3. Comparación de la Calidad de las Gasolinas Nacionales con las Gasolinas de Otros Países.**

Comparando la composición de las gasolinas producidas en Colombia, con las que se consumen en otros países empeñados en control de la contaminación atmosférica, se ven favorecidas las gasolinas colombianas en los valores de RVP, contenido de aromáticos y de benceno y ningún contenido de plomo. No obstante las concentraciones de olefinas y de azufre son altas.

##### **4.3.1 Presión de Vapor (RVP)**

A partir de noviembre de 1991, se bajó el RVP de las gasolinas nacionales de 11.0 a 9.0 Psia. Esta primera etapa permitió recuperar compuestos livianos que fueron al pool de gas licuado (GLP) aumentando la producción en un 10%. En una segunda etapa se planea continuar bajando el RVP hasta un valor que no comprometa las condiciones de encendido en frío de los motores. Para tal efecto se realizan pruebas de campo para determinar un nuevo valor de la presión de vapor.

#### 4.3.2 Contenido de Tetraetilo de Plomo

A partir de 1990, ECOPEPETROL inició la importación de gasolinas sin plomo, ya que ésta era la vía de introducción de este compuesto al pool de gasolinas. ECOPEPETROL sólo <sup>o<sup>na</sup></sup>adiciona tetraetilo de plomo a las gasolinas producidas en dos pequeñas destilerías: Tibú y Orito, y que representan menos del 1% del consumo nacional.

#### 4.3.3 Olefinas

La concentración de olefinas en las gasolinas nacionales es muy alta (27-34%) mientras la tendencia se orienta hacia un 15%. Esta situación se debe a que el esquema de refinación de ECOPEPETROL está concentrado en unidades de ruptura catalítica de tal manera que un 60% del pool de gasolinas corresponde a naftas craqueadas.

Las naftas craqueadas son ricas en olefinas y diolefinas. Las diolefinas tienden a polimerizarse a altas temperaturas formando gomas o depósitos en los motores. Las olefinas livianas son promotoras de formación de smog y especialmente ozono. Debido a su alta fotorreactividad, en presencia de la luz solar se descomponen formando smog.

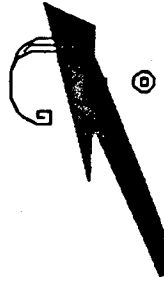
#### 4.3.4 Azufre

El azufre proveniente del crudo, se distribuye en todos los productos de la refinación siendo mayor la concentración en los más pesados.

De todas maneras parte de azufre sale con la gasolina y al ser quemado se libera como óxidos de azufre, los cuales con la humedad de la atmósfera forman ácido sulfúrico y regresan a la tierra como lluvia ácida causando estragos en la vida acuática, forestal y deterioro en las edificaciones

Disminuir el azufre en la gasolina es tarea un tanto complicada. La manera más económica y fácil sería seleccionando una dieta de crudos de bajo azufre como

# - GASOLINAS COLOMBIANAS Vs GASOLINA INTERNACIONAL



## GASOLINA REFORMULADA

(ACTA DEL AIRE LIMPIO DE LOS EE. UU.)

## GASOLINAS COLOMBIANAS

|                         |           |      |         |
|-------------------------|-----------|------|---------|
| RVP, PSIA.....          | 9.0       | ...  | 7.2-8.1 |
| BENCENO, %W.....        | 1.1       | ...  | 1.0     |
| AROMATICOS TOT, %W..... | 22.0      | ...  | 25.0    |
| OLEFINAS, %VOL.....     | 28/34     | .... | 15.0    |
| T90, oC.....            | 180       | .... | 165     |
| AZUFRE, %W.....         | 0.08/0.15 | .... | 0.05    |
| OCTANAJE-(RON).....     | 80/92     | .... | 94/98   |
| OXIGENO, %W.....        | 0         | .... | 2.0/2.7 |
| ADITIVOS.....           | 0         | .... | SI      |

carga a las refinerías; siembargo no siempre es posible; entonces es necesario hidrodesulfurizar los gasóleos de carga a las unidades de ruptura catalítica. Esto demanda grandes inversiones.

#### 4.4. Programa de ECOPEIROL para Producir Gasolinas Menos Contaminantes.

ECOPEIROL ha diseñado un plan para producir gasolinas con menor tendencia a contaminar la atmósfera.

Se contemplan acciones inmediatas, a mediano y largo plazo.

##### 4.4.1 Tetraetilo de Plomo $Pb(C_2H_5)_4$

Con un esfuerzo económico importante, ECOPEIROL ha eliminado el plomo en sus gasolinas a partir de 1990, contribuyendo a disminuir en gran proporción la contaminación por plomo, especialmente en la atmósfera de los principales centros urbanos. Este esfuerzo representó un costo de aproximadamente US\$0.55 por cada barril de gasolina.

##### 4.4.2 RVP

Es una primera etapa, se bajó el RVP de 11.0 a 9.0 psia, obteniendo una recuperación de 1200 B/día de gases licuados que aumentaron la producción de LPG en un 10%. Cálculos preliminares indican que este producto se estaba evaporando hacia la atmósfera, debido a las altas temperaturas de nuestro clima tropical.

El costo incremental de esta primera etapa fué de aproximadamente US\$0.16 por barril.

Se planeó una segunda etapa, para lo cual se están realizando pruebas de campo los cuales determinarán el valor mínimo de RVP que es posible sin sacrificar la condición de encendido de los automotores.

#### 4.4.3 Octanaje

En el diagnóstico realizado por el Instituto Colombiano del Petróleo ICP, se pudo determinar que existe un desbalance de octanos respecto a los requerimientos del parque automotor nacional. Se ha fijado un incremento del octanaje (RON) de la gasolina corriente de 80 a 86 y de 92 a 94 para la gasolina extra. Con estos incrementos se espera satisfacer los requerimientos del parque automotor hasta el año 1996.

Para lograr el objetivo se acometerán acciones por dos rutas diferentes: En primer lugar los octanos a incrementar hay que comprarlos con la gasolina importada demandando un costo adicional de aproximadamente 0.90 dólares por barril de gasolina consumido.

Simultáneamente se están haciendo estudios de prefactibilidad para optimizar los procesos de refinación a fin de producir mas octanos. Adicionalmente el uso de oxigenados que se detalla adelante, permitirá también incrementar el octanaje de las gasolinas.

#### 4.4.4 Aditivos

Existen en el mercado, numerosos aditivos para mejorar la combustión y mantener limpios los sistemas de inyección. Pruebas de campo realizadas por el ICP, indican la acción positiva de los áditivos logrando disminuir el consumo de combustible hasta en un 4% vol. El costo de un programa de aditivación estará cercano a los \$10/galón de gasolina. Esta alternativa permitirá la limpieza de impurezas y gomas formadas en el interior de la cámara de combustión disminuyendo significativamente las emisiones al ambiente especialmente en lo referente al monoxido de carbono e hidrocarburos. Es una forma de controlar el efecto negativo que producen las olefinas pesadas contenidas en las gasolinas en la formación de gomas.

#### 4.4.5 Oxigenados

Para mejorar la combustión y recuperar el octanaje perdido en una disminución de olefinas, aromáticos y la eliminación del plomo, los oxigenados son los más usados, especialmente los éteres y los alcoholes.

La factibilidad de producir a bajo costo éteres como el metil terbutil éter (MTBE) en las refinerías está limitada por la disponibilidad isobutileno en los gases de las unidades de ruptura catalítica que es la materia prima junto con el metanol para producir MTBE.

Sin embargo cálculos preliminares indican que con la materia prima disponible en la Refinería de Barrancabermeja se puede producir hasta 4000 B/día de éteres con una inversión de 20 a 40 MUS\$.

La anterior cantidad de éteres sería suficiente para oxigenar la gasolina consumida actualmente en la ciudad de Bogotá. Esta ciudad es la que más requiere este combustible por estar a mayor altura sobre el nivel del mar y tener bajas temperaturas.

Simultáneamente se investiga la posibilidad de producir etanol por vías menos costosas, nuevas tecnologías que permiten obtener otras especies, sistemas de molienda y turbinas de cogeneración de energía que pronostican menores precios del etanol, lo cual lo harán compatible con los precios de la gasolina. La experiencia del Brasil demuestra que se puede mezclar con la gasolina un 10% de etanol sin tener que hacer modificaciones en los vehículos y sin pérdida de potencia ya que por el contrario debido al alto número de octano del etanol se mejorará el octanaje final de las gasolinas.

Actualmente se están desarrollando nuevas variedades de caña de azúcar que producen mayores cantidades de jugos potencialmente ricos en etanol. Las investigaciones en bancos de germoplasma y fitomejoramiento e ingeniería genética son prometedoras, según los siguientes aspectos:



## \* INEFICIENCIA DE LA INDUSTRIA DE LA PANELA

La industria panelera en Colombia, altamente ineficiente por la baja tecnología utilizada, es una de las mas grandes del mundo, (300.000 hectáreas sembradas por cerca de 60.000 productores), ocupando el segundo lugar después de la India.

Se consumen 1.5 millones de metros cúbicos de leña/año (1 kilogramo de panela requiere 1 kilogramo de leña) más las 320.000 llantas de desecho que se agregan a los tres millones de toneladas/año de bagazo en las 16.000 hornillas de muy baja eficiencia existentes.

## \* NUEVOS DISEÑOS

El uso de la biomasa como fuente energética encierra una gran promesa para mejorar ciertos modelos de desarrollo del tercer mundo y de paso, una estrategia para aliviar el "efecto invernadero". La combustión derivada de la biomasa renovable no deja efecto neto en el balance del dióxido de carbono en la atmósfera, debido a su asimilación por las plantas a través de la fotosíntesis.

En conexión con lo anterior, la turbina de gas está emergiendo como la tecnología con mayor opción para la cogeneración de la energía eléctrica en las décadas por venir, gracias al ajuste y complementación de la turbina tipo "Jet", realizado por el Departamento de Defensa de USA, con fines militares. Fruto de ese esfuerzo es el diseño del sistema BIG/GT el cual tiene otras variantes si se le introduce la gasificación presurizada o aireada.

Las unidades "Jet" operadas a partir del gas pobre como combustible no son sólo una alternativa para utilizar el bagazo sobrante, sino también la biomasa excedentaria (hojas, cogollo y rebrotes tiernos) que se quema o se deja en el campo después de la cosecha; esta última posibilidad abre el camino para la cosecha en verde de la caña frente a su quema previa, práctica hoy cuestionada para sus efectos molestos y contaminantes.

Un ingenio azucarero, junto con su unidad destiladora de alcohol, demanda entre 350 y 500 Kg de vapor y de 15 a 25 Kwh de electricidad por tonelada de caña procesada. En general, estas fábricas son, de alguna manera, energéticamente ineficientes al forzar el consumo total del bagazo generado a fin de no tener que disponer de su excedente. En cualquier caso, la suma del bagazo excedentario y la biomasa sobrante de la cosecha en verde puede ser convertida en gas pobre para su inyección a la turbina "Jet", para cogenerar energía eléctrica en cantidad superior a 44 veces la requerida en un ingenio azucarero, más destilería. Bajo tal perspectiva, los beneficios por venta de electricidad cogenerada por la biomasa pueden ser comparables con los provenientes del azúcar en el mercado mundial, o superiores a los ingresos por venta de alcohol con fines carburantes. En este último caso, la venta de electricidad cogenerada puede llegar a ser producto primario de la caña y el alcohol carburante el subproducto. En cualquier condición, la venta de energía cogenerada a partir de la biomasa, incluida la excedentaria, puede mejorar la economía derivada de la caña de azúcar, al propiciar mayor estabilidad.

Adicionalmente, se crea un beneficio social de gran significación, al eliminar las molestias de la quema precosecha, al tiempo que se reduce la conjunción de gases comprometidos en el efecto invernadero. Gracias al empleo del nuevo sistema BIG/GT, el potencial que ofrece la bio-energía derivada de la caña de azúcar es sustancial frente a lo convencional, no sólo en términos de generación sino económicos, toda vez que el costo de producir electricidad será menor a otras alternativas, incluyendo las plantas con base en el carbón, las termoeléctricas con base en vapor de los ingenios azucareros, la fuerza nuclear y aún la hidroeléctrica. Según la World Energy Conference (Londres 1987) el costo de Kw instalado era en 1986 de US\$2.660 para la hidroeléctrica, de US\$2000 para nuclear y para las plantas térmicas era de US\$1.000; en contraste, el Kw instalado a partir de la biomasa con las turbinas "Jet" oscilaba según el sistema adoptado entre US\$729 y US\$1.174 a valores de 1986.

Finalmente se puede esperar hacia el futuro la constante búsqueda de economías en la energía calórica, especialmente en procesos de evaporación y concentración

de jugos y mieles, toda vez que su ineficiencia tiene un costo de oportunidad en el mercado de la electricidad; cada libra de vapor ahorrada en esos u otros procesos, podrá cogenerar más energía para la venta. Igual sentido puede aplicarse al contenido de humedad del bagazo, lo cual es inversamente sensible a su poder calórico.

**\* FACTIBILIDAD TECNICO-ECONOMICA PARA COLOMBIA**

Actualmente se está iniciando un estudio junto con Tecnicaña, Cenicaña y ECOPEPETROL (ICP, DIT) que permitirá explorar la factibilidad de usar como opción el etanol aditivo oxigenado en la gasolina, utilizando las nuevas tecnologías. Se incluirá un programa piloto reducido, que permita experimentalmente determinar los rendimientos. Los resultados de este estudio estarán listos para finales del presente año.

**4.5. Aportes del programa a la reducción de la contaminación**

El logro más significativo hecho realidad es la eliminación del plomo en las gasolinas, por el efecto total que causa en los seres vivos.

Con la segunda acción concreta, al bajar la presión de vapor a 9.0 PSIA, se ha obtenido una recuperación de 1200 Bl/día de gas licuado, que se estaba perdiendo por evaporación, a la vez aportaba parte de la alta concentración de hidrocarburos detectada en la atmósfera de Bogotá. No se tiene una evaluación de cuanto puede haber sido el aporte porque dicha contaminación no sólo es debida a la calidad de la gasolina sino a otros factores como prácticas de manejo, velocidad de desplazamiento, sincronización y estado mecánico de los vehículos.

Con la incorporación de aditivos limpiadores y mejoradores de combustión se espera tener una reducción en <sup>el</sup> consumo de combustible equivalente al 3-4% en volumen lo cual significa menor contaminación por hidrocarburos y monóxido de carbono.

Adicionalmente se abre campo para la operación de vehículos más eficientes, con sistema de inyectores y mayores relaciones de compresión.

Con el ajuste de octanajes se pronostican beneficios en reducción del consumo por mayor rendimiento equivalente a un 3% en volumen de gasolinas. Desde luego estos logros están sujetos a otras acciones complementarias como son la educación de los conductores para obtener las ventajas comerciales, para lo cual se está planeando realizar próximamente una campaña institucional educativa a nivel nacional.

La concentración de monóxido de carbono y de NOx en el aire ambiente de Bogotá refleja los resultados de una combustión incompleta. La baja temperatura ambiente, favorece esta condición en los vehículos, especialmente durante los primeros 20 minutos después de poner en marcha el motor.

Una mejora en la combustión se logra con una gasolina de menor calor de vaporización. Esta condición la dan los éteres, los cuales además aportan octanos favoreciendo el rendimiento.

Los alcoholes tienen alto octanaje y una baja temperatura de llama, desfavoreciendo la formación de NOx, por lo cual ofrecen ventajas para estar presentes en la mezcla.

No se puede olvidar que el CO presente en la atmósfera no sólo se debe al aporte de automotores; también son responsables todas las fábricas en donde se usen combustibles fósiles, las cuales deben hacer esfuerzos por mejorar sus equipos y optimizar procesos.

Finalmente, es importante resaltar que el efecto neto de este programa será una reducción significativa no solo en las emisiones provenientes del parque automotor sino también en el consumo de gasolina motor.

PRODUCCION Y DEMANDA NACIONAL DE GASOLINAS  
(kB/dia)

PROYECCION PARA 1992

1. PRODUCCION

ECOPETROL produce en sus refin rias las siguientes gasolinas para automotores.

|   |           |    |       |
|---|-----------|----|-------|
| . | Corriente | 78 | ( ) % |
| . | Extra     | 7  | ( ) % |

2. DEMANDA

Corriente 100 - 105

Extra 7

3. IMPORTACIONES

Corriente 22 - 27

Se proyecta un 3% de crecimiento anual del consumo

# GASOLINA ECOLOGICA COSTOS INCREMENTALES

|                   | US \$ / BARRIL | %     |
|-------------------|----------------|-------|
| ELIMINACION Pb    | 0.55           | 14.8  |
| R V P             | 0.16           | 4.3   |
| INCREMENTO OCTANO | 0.90           | 24.3  |
| ADITIVOS          | 0.60           | 16.2  |
| OXIGENADOS        | 1.50           | 40.4  |
| TOTAL             | 3.71           | 100.0 |

## DEMANDA NACIONAL DE OXIGENADOS

CONSUMO DE GASOLINA BASE (1992) ..... 110 KB/D

ESTANDAR DE OXIGENO      2.1 EN PESO (11% VOL)      2.7 % EN PESO (15% VOL)

### REQUERIMIENTOS

DE ETHERES :

(KB/D)

PAIS

11.0

16.5

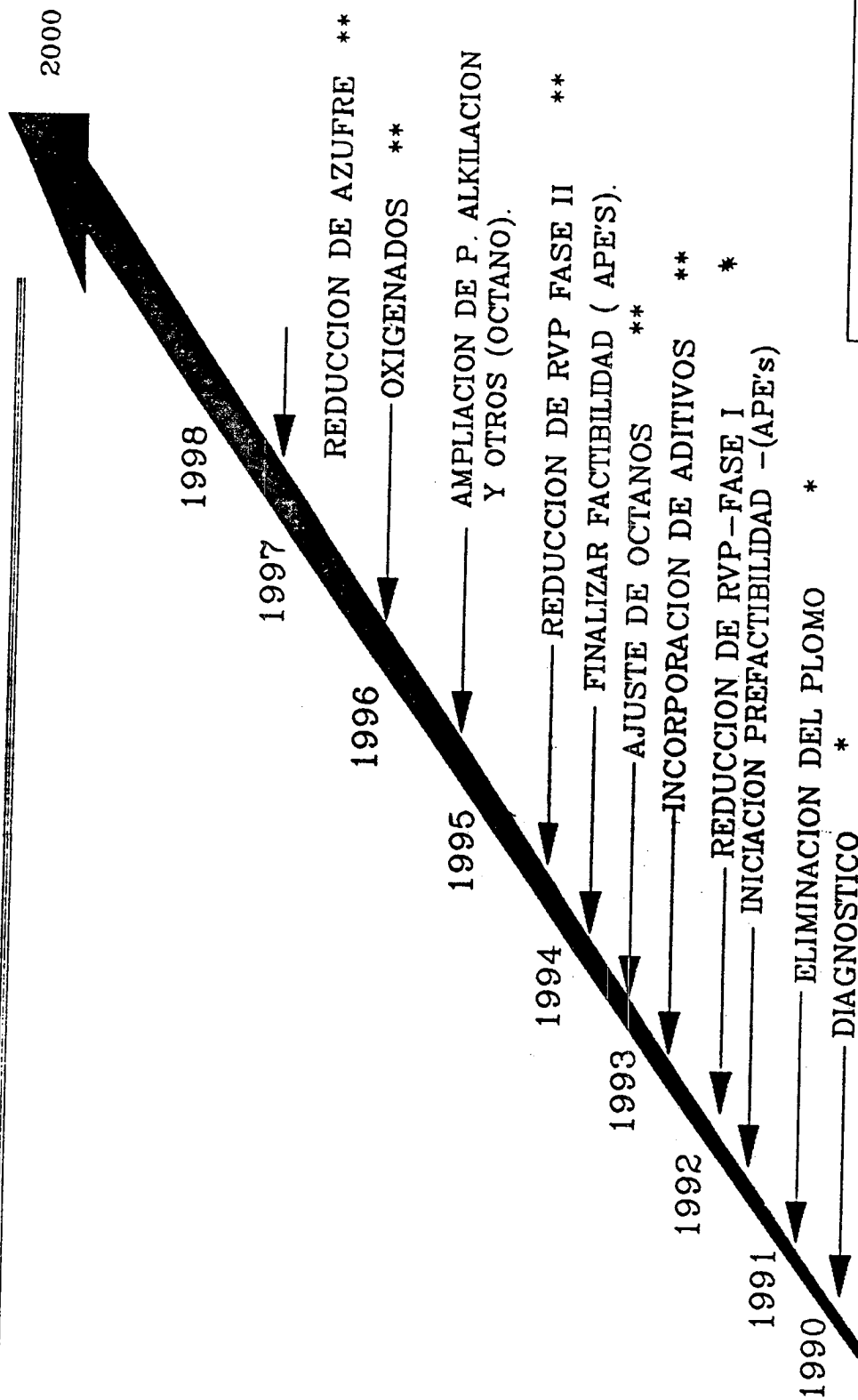
BOGOTA

3.8

5.8

-PROGRAMA GASOLINA ECOLOGICA-

PROPUESTA DE EJECUCION-EVENTOS PRINCIPALES



\* REALIZADO  
\*\* EN ESTUDIO



RECOMENDACIONES (CONT...)

## ACCIONES INMEDIATAS

### I. INCORPORACION DE ADITIVOS

- LIMPIEZA DE SISTEMAS DE INYECCION
- PROMOTORES DE COMBUSTION
- \_REDUCCION DE CONSUMO DE GASOLINA ESTIMADO EN 4 % VOL.
- \_COSTO DE APROXIMADAMENTE 1.4 CENTAVOS DE DOLAR/GALON DE GASOLINA.

### II. IMPORTACION DE GASOLINAS DE MAYOR OCTANAJE

- AUMENTAR OCTANAJE DE GASOLINA CORRIENTE DE RON-80 A RON-86
- IMPORTAR GASOLINA REGULAR (RON-94) DEL MERCADO INTERNACIONAL.
- COSTO ADICIONAL ESTIMADO EN 2.1 CENTAVOS DE DOLAR/GALON DE GASOLINA CORRIENTE.
- REDUCCION DEL CONSUMO ESTIMADO EN 3% VOL.

DIAGNOSTICO COLOMBIANO

– REQUERIMIENTOS DE OCTANO – PARQUE AUTOMOTOR ACTUAL

- EN ALTURAS POR DEBAJO DE LOS 500 METROS,

70% de gasolina regular de 86 octanos y 30% de gasolina extra de 94 octanos

- ENTRE 500–2000 METROS.

85% de gasolina regular de 86 octanos y 15 % gasolina extra de 94 octanos

- POR ENCIMA DE 2000 METROS.

Gasolina regular de 80–82 octanos es aceptable.

La gasolina extra se deberá utilizar para vehículos de muy alta relación de compresión y para aquellos vehículos que se desplacen a lugares más bajos llenando los tanques de combustible con 50% de cada una de las dos gasolinas.

## CONTAMINACION ATMOSFERICA DE LA CIUDAD DE BOGOTA

ESTUDIO REALIZADO POR LA MISION "JICA" DEL JAPON, EN 1991.

- LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE EN LA CIUDAD DE BOGOTA  
NO SATISFACE LA LEY COLOMBIANA SOBRE AMBIENTE (1)  
EN TERMINOS DE MONOXIDO DE CARBONO (CO) Y OZONO (O3).  
ADICIONALMENTE, ES ALTA LA CONCENTRACION DE HIDROCARBUROS  
DIFERENTES AL METANO (CH4) QUE SON MATERIA CAUSANTE  
DE LA FORMACION DE OZONO.

(1) DECRETO LEY No 2 DE 1982 Y No 2206 DE 1983,  
CON BASE EN LA LEY DE SANEAMIENTO AMBIENTAL DE 1979.

## CONTAMINACION ATMOSFERICA DE LA CIUDAD DE BOGOTA

(CONT...)

- PARA CUMPLIR LOS ESTANDARES DE CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE BOGOTA EN EL AÑO 2001, SE REQUIERE REDUCIR LA CONCENTRACION DE LOS DIFERENTES CONTAMINANTES EN LOS SIGUIENTES PORCENTAJES:

CO —————▶ 49 - 63 %

SO<sub>2</sub> —————▶ 18 - 26

NO<sub>x</sub> —————▶ 33

HIDROCARBUROS —————▶ 80

FUENTE: SEMINARIO SOBRE MEDIDAS CONTRA LA SITUACION ACTUAL DE CONTAMINACION  
ATMOSFERICA EN LA CIUDAD DE SANTAFE DE BOGOTA. DICIEMBRE DE 1991

## 5. INVENTARIO PARQUE AUTOMOTOR COLOMBIANO

Para determinar el número, modelo y tipo de vehículos que circulan en las ciudades en estudio se partió de la información suministrada por el Instituto Nacional del Transporte y Tránsito (valor acumulado a diciembre de 1990) para las ciudades de Santafé de Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla. La desagregación por modelo-año se establece de la siguiente manera:

|            |      |       |
|------------|------|-------|
| Anterior a | 1971 |       |
|            | 1972 | -1977 |
|            | 1978 | -1982 |
|            | 1983 | -1986 |
|            | 1987 | -1990 |

El número y tipo de vehículos por período de tiempo es el reportado por el estudio de JICA-Servicio de Salud para Santafé de Bogotá con registros al 30 de abril de 1991. Se asumen los mismos porcentajes por período de tiempo para las ciudades de Medellín, Cali y Barranquilla.

En los cuadros 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 se presenta el inventario del parque automotor, aplicando los anteriores criterios.

La proyección anual hasta el año 2001, se calcula teniendo en cuenta el promedio de crecimiento del parque automotor durante el período 1986-1990, según reporte del manual estadístico No. 12 de la Asociación Colombiana de Fabricantes de Autopartes- ACOLFA. Bajo este criterio el crecimiento anual asumido tendría el siguiente comportamiento, para Santafé de Bogotá, Medellín y Cali:

- Automóvil : 5%  
(Particular-taxi)
- Campero : 3%

- Camioneta : 4%
- Busetas : 1%
- Bus : 3.5%
- Camión : 0.8%
- Volqueta : 2.0%
- Tractomula: 2.0%

Para la ciudad de Barranquilla el crecimiento del parque automotor durante los últimos cinco años ha sido menor, por lo tanto la proyección se efectúa según los siguientes porcentajes: Automóvil (2.5%), campero (1.5%), camioneta (1.5%), buseta (0.7%), bus (2%), camión (0.8%), volqueta (0.8%) tractomula (0.8%).

En los cuadros 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, se presentan estas proyecciones hasta el año 2001.

Otro parámetro para determinar hacia el futuro el comportamiento del crecimiento del parque automotor, sería asumiendo un crecimiento anual según el PIB (Producto Interno Bruto), es decir un incremento del 3.5%, según el valor fijado por el Gobierno Nacional para el presente año. Este criterio estaría actualmente acorde con las políticas nacionales de apertura económica, masificación del transporte y sus implicaciones hacia la industria automotriz nacional.

Sin embargo, para la proyección de emisiones, se asume inicialmente los porcentajes de crecimiento de los últimos cinco años según ACOFIA, ya que para el caso de automóviles (60% del parque automotor) el valor proyectado de crecimiento (5%) es ligeramente superior al PIB (3.5%), lo cual daría un escenario bajo condición crítica.

CUADRO 5.1 PARQUE AUTOMOTOR EN SANTAFE DE BOGOTA (\*)  
(A DICIEMBRE DE 1990)

| AÑO       | AUTOMOVIL | CAMPERO | CAMIONETA | MICROBUS | BUSETA | BUS   | CAMION | VOLQUETA | TRACTOMULA | TOTAL  |
|-----------|-----------|---------|-----------|----------|--------|-------|--------|----------|------------|--------|
| < 1971    | 46232     | 8774    | 16776     | 1239     | 1044   | 4990  | 8464   | 417      | 308        | 88244  |
| 1972-1977 | 39148     | 5415    | 5759      | 104      | 2233   | 2515  | 2368   | 300      | 40         | 57882  |
| 1978-1982 | 36440     | 12460   | 8642      | 167      | 2618   | 1711  | 1995   | 559      | 51         | 64643  |
| 1983-1986 | 41249     | 3228    | 8292      | 12       | 1020   | 787   | 1116   | 145      | 26         | 55875  |
| 1987-1990 | 53579     | 4505    | 7094      | 42       | 11     | 1591  | 1458   | 161      | 27         | 68468  |
| ACUMULADO | 216648    | 34382   | 46563     | 1564     | 6926   | 11594 | 15401  | 1582     | 452        | 335112 |

(\*) INFORMACION SUMINISTRADA POR EL INSTITUTO NACIONAL DE TRANSPORTE Y TRANSITO  
(NO SE CLASIFICA POR NINGUN TIPO DE COMBUSTIBLE)

CUADRO 5.2      PARQUE AUTOMOTOR EN MEDELLIN (\*)  
( A DICIEMBRE DE 1990)

| AÑO       | AUTOMOVIL | CAMPERO | CAMIONETA | MICROBUS | BUSETA | BUS  | CAMION | VOLQUETA | TRACTOMULA | TOTAL  |
|-----------|-----------|---------|-----------|----------|--------|------|--------|----------|------------|--------|
| < 1971    | 15400     | 3430    | 5467      | 686      | 178    | 3415 | 3910   | 695      | 702        | 33883  |
| 1972-1977 | 13040     | 2117    | 1877      | 57       | 382    | 1721 | 1094   | 500      | 91         | 20879  |
| 1978-1982 | 12138     | 4871    | 2816      | 92       | 448    | 1171 | 922    | 931      | 117        | 23506  |
| 1983-1986 | 13740     | 1262    | 2702      | 6        | 174    | 538  | 515    | 241      | 61         | 19239  |
| 1987-1990 | 17842     | 1763    | 2313      | 25       | 5      | 1090 | 674    | 268      | 33         | 24013  |
| ACUMULADO | 72160     | 13443   | 15175     | 866      | 1187   | 7935 | 7115   | 2635     | 1004       | 121520 |

(\*) INFORMACION SUMINISTRADA POR EL INSTITUTO NACIONAL DE TRANSPORTE Y TRANSITO  
( NO SE CLASIFICA POR NINGUN TIPO DE COMBUSTIBLE)



CUADRO 5.3      PARQUE AUTOMOTOR EN CALI (\*)  
( A DICIEMBRE DE 1990)

| AÑO       | AUTOMOVIL | CAMPERO | CAMIONETA | MICROBUS | BUSETA | BUS  | CAMION | VOLQUETA | TRACTOMULA | TOTAL  |
|-----------|-----------|---------|-----------|----------|--------|------|--------|----------|------------|--------|
| < 1971    | 13905     | 3800    | 7160      | 285      | 93     | 2682 | 4433   | 624      | 948        | 33930  |
| 1972-1977 | 11774     | 2345    | 2458      | 24       | 200    | 1352 | 1240   | 449      | 123        | 19965  |
| 1978-1982 | 10960     | 5396    | 3688      | 38       | 235    | 919  | 1045   | 836      | 157        | 23274  |
| 1983-1986 | 12406     | 1398    | 3539      | 2        | 91     | 423  | 584    | 216      | 83         | 18742  |
| 1987-1990 | 16117     | 1953    | 3021      | 11       | 4      | 856  | 765    | 240      | 80         | 23047  |
| ACUMULADO | 65162     | 14892   | 19866     | 360      | 623    | 6232 | 8067   | 2365     | 1391       | 118958 |

(\*) INFORMACION SUMINISTRADA POR EL INSTITUTO NACIONAL DE TRANSPORTE Y TRANSITO  
( NO SE CLASIFICA POR NINGUN TIPO DE COMBUSTIBLE)

CUADRO 5.4      PARQUE AUTOMOTOR EN BARRANQUILLA (\*)  
( A DICIEMBRE DE 1990)

| AÑO       | AUTOMOVIL | CAMPERO | CAMIONETA | MICROBUS | BUSETA | BUS  | CAMION | VOLQUETA | TRACTOMULA | TOTAL |
|-----------|-----------|---------|-----------|----------|--------|------|--------|----------|------------|-------|
| < 1971    | 7067      | 2252    | 3570      | 189      | 76     | 1858 | 3268   | 125      | 211        | 18616 |
| 1972-1977 | 5984      | 1390    | 1225      | 15       | 164    | 936  | 914    | 90       | 27         | 10745 |
| 1978-1982 | 5570      | 3198    | 1839      | 25       | 192    | 637  | 770    | 168      | 35         | 12434 |
| 1983-1986 | 6305      | 828     | 1764      | 2        | 75     | 293  | 431    | 43       | 18         | 9759  |
| 1987-1990 | 8192      | 1158    | 1512      | 8        | 2      | 593  | 564    | 50       | 20         | 12099 |
| ACUMULADO | 33118     | 8826    | 9910      | 239      | 509    | 4317 | 5947   | 476      | 311        | 63653 |

(\*) INFORMACION SUMINISTRADA POR EL INSTITUTO NACIONAL DE TRANSPORTE Y TRANSITO  
( NO SE CLASIFICA POR NINGUN TIPO DE COMBUSTIBLE)

CUADRO 5.5 PROYECCION PARQUE AUTOMOTOR- SANTAFE DE BOGOTA.

| AÑO                 | AUTOMOVIL<br>(5%) | CAMPERO<br>(3%) | CAMIONETA<br>(4%) | BUSETA<br>(1%) | BUS<br>(3.5%) | CAMION<br>(0.8%) | VOLQUETA<br>(2%) | TRACTOMULA<br>(2%) | TOTAL  |
|---------------------|-------------------|-----------------|-------------------|----------------|---------------|------------------|------------------|--------------------|--------|
| Acumulado a<br>1990 | 216648            | 34382           | 46563             | 6926           | 11594         | 15401            | 1582             | 432                | 333528 |
| 1991                | 227480            | 35413           | 48425             | 6995           | 11999         | 15524            | 1613             | 440                | 347889 |
| 1992                | 238854            | 36475           | 50362             | 7065           | 12419         | 15648            | 1645             | 449                | 362917 |
| 1993                | 250797            | 37570           | 52376             | 7135           | 12854         | 15773            | 1678             | 458                | 378641 |
| 1994                | 263336            | 38697           | 54471             | 7207           | 13304         | 15899            | 1712             | 467                | 395093 |
| 1995                | 276503            | 39858           | 56650             | 7279           | 13770         | 16026            | 1746             | 476                | 412308 |
| 1996                | 290329            | 41053           | 58916             | 7352           | 14251         | 16155            | 1781             | 486                | 430323 |
| 1997                | 304845            | 42285           | 61273             | 7425           | 14750         | 16284            | 1817             | 496                | 449175 |
| 1998                | 320087            | 44399           | 63723             | 7499           | 15267         | 16414            | 1853             | 506                | 469748 |
| 1999                | 336092            | 46619           | 66910             | 7574           | 15801         | 16546            | 1890             | 516                | 491948 |
| 2000                | 352896            | 48018           | 69586             | 7650           | 16354         | 16678            | 1928             | 526                | 513636 |
| 2001                | 370541            | 50419           | 72370             | 8415           | 16926         | 16811            | 1967             | 537                | 537986 |
| Acumulado<br>Total  | 370541            | 50419           | 72370             | 8415           | 16926         | 16811            | 1967             | 537                | 537986 |

CUADRO 5.6

\* PROYECCION PARQUE AUTOMOTOR- MEDELLIN.

| AÑO                 | AUTOMOVIL<br>(5%) | CAMPERO<br>(3%) | CAMIONETA<br>(4%) | BUSETA<br>(1%) | BUS<br>(3.5%) | CAMION<br>(0.8%) | VOLQUETA<br>(2%) | TRACTOMULA<br>(2%) | TOTAL  |
|---------------------|-------------------|-----------------|-------------------|----------------|---------------|------------------|------------------|--------------------|--------|
| Acumulado a<br>1990 | 72160             | 13443           | 15175             | 1187           | 7935          | 7115             | 2635             | 1004               | 120654 |
| 1991                | 75768             | 13846           | 15782             | 1198           | 8212          | 7171             | 2687             | 1024               | 125688 |
| 1992                | 79556             | 14261           | 16413             | 1210           | 8500          | 7228             | 2741             | 1044               | 130953 |
| 1993                | 83534             | 14689           | 17069             | 1222           | 8797          | 7286             | 2796             | 1065               | 136458 |
| 1994                | 87710             | 15130           | 17752             | 1235           | 9105          | 7344             | 2852             | 1086               | 142214 |
| 1995                | 92096             | 15584           | 18462             | 1247           | 9424          | 7403             | 2909             | 1108               | 148233 |
| 1996                | 96701             | 16051           | 19201             | 1260           | 9754          | 7462             | 2967             | 1130               | 154526 |
| 1997                | 101536            | 16533           | 19969             | 1272           | 10095         | 7522             | 3026             | 1153               | 161106 |
| 1998                | 106613            | 17029           | 20768             | 1285           | 10448         | 7582             | 3087             | 1176               | 167988 |
| 1999                | 111943            | 17540           | 21598             | 1298           | 10814         | 7643             | 3149             | 1199               | 175184 |
| 2000                | 117541            | 18066           | 22462             | 1311           | 11193         | 7704             | 3212             | 1223               | 182712 |
| 2001                | 123418            | 18608           | 23361             | 1324           | 11584         | 7765             | 3276             | 1248               | 190584 |
| Acumulado<br>Total  | 123418            | 18608           | 23361             | 1324           | 11584         | 7765             | 3276             | 1248               | 190584 |

CUADRO 5.7

## PROYECCION PARQUE AUTOMOTOR- CALI

| AÑO                 | AUTOMOVIL<br>(5%) | CAMPERO<br>(8%) | CAMIONETA<br>(3%) | BUSETA<br>(1%) | BUS<br>(3.5%) | CAMION<br>(0.8%) | VOLQUETA<br>(2%) | TRACTOMULA<br>(2%) | TOTAL  |
|---------------------|-------------------|-----------------|-------------------|----------------|---------------|------------------|------------------|--------------------|--------|
| Acumulado a<br>1990 | 65162             | 14892           | 19866             | 623            | 6232          | 8067             | 2365             | 1391               | 118598 |
| 1991                | 68420             | 15338           | 20461             | 629            | 6453          | 8131             | 2412             | 1418               | 123262 |
| 1992                | 71841             | 15798           | 21075             | 635            | 6679          | 8196             | 2460             | 1447               | 128131 |
| 1993                | 75453             | 16272           | 21708             | 641            | 6912          | 8262             | 2505             | 1476               | 133229 |
| 1994                | 79204             | 16761           | 22359             | 648            | 7154          | 8328             | 2559             | 1505               | 138518 |
| 1995                | 83165             | 17263           | 23030             | 654            | 7405          | 8394             | 2611             | 1535               | 144057 |
| 1996                | 87323             | 17781           | 23721             | 661            | 7664          | 8462             | 2663             | 1566               | 149841 |
| 1997                | 91689             | 18315           | 24432             | 667            | 7932          | 8529             | 2716             | 1597               | 155877 |
| 1998                | 96273             | 18864           | 25165             | 674            | 8210          | 8597             | 2770             | 1629               | 162182 |
| 1999                | 101087            | 19430           | 25920             | 681            | 8497          | 8666             | 2826             | 1662               | 168769 |
| 2000                | 104120            | 20013           | 26698             | 688            | 8795          | 8736             | 2882             | 1695               | 173627 |
| 2001                | 109326            | 20614           | 27499             | 695            | 9102          | 8805             | 2940             | 1729               | 180710 |
| Acumulado<br>Total  | 109326            | 20614           | 27499             | 695            | 9102          | 8805             | 2940             | 1729               | 180710 |

CUADRO 5.8

## PROYECCION PARQUE AUTOMOTOR- BARRANQUILLA

| AÑO                 | AUTOMOVIL<br>(2.5%) | CAMPERO<br>(1.5%) | CAMIONETA<br>(1.5%) | BUSETA<br>(0.7%) | BUS<br>(2%) | CAMION<br>(0.8%) | VOLQUETA<br>(0.8%) | TRACTOMULA<br>(0.8%) | TOTAL |
|---------------------|---------------------|-------------------|---------------------|------------------|-------------|------------------|--------------------|----------------------|-------|
| Acumulado a<br>1990 | 33118               | 8826              | 9910                | 509              | 4317        | 5947             | 476                | 311                  | 63414 |
| 1991                | 33945               | 8958              | 10058               | 512              | 4403        | 5994             | 479                | 313                  | 64662 |
| 1992                | 34794               | 9092              | 10209               | 516              | 4491        | 6042             | 483                | 315                  | 65942 |
| 1993                | 35664               | 9229              | 10362               | 519              | 4581        | 6090             | 487                | 318                  | 67250 |
| 1994                | 36556               | 9367              | 10518               | 523              | 4672        | 6139             | 491                | 321                  | 68587 |
| 1995                | 37469               | 9508              | 10675               | 527              | 4766        | 6188             | 495                | 323                  | 69951 |
| 1996                | 38406               | 9650              | 10836               | 530              | 4861        | 6238             | 499                | 326                  | 71346 |
| 1997                | 39366               | 9795              | 10998               | 534              | 4958        | 6288             | 503                | 328                  | 72770 |
| 1998                | 40351               | 9942              | 11163               | 538              | 5058        | 6338             | 507                | 331                  | 74228 |
| 1999                | 41359               | 10091             | 11330               | 541              | 5159        | 6389             | 511                | 334                  | 75714 |
| 2000                | 42393               | 10242             | 11500               | 545              | 5262        | 6440             | 515                | 336                  | 77233 |
| 2001                | 43453               | 10396             | 11673               | 549              | 5367        | 6491             | 519                | 339                  | 78787 |
| Acumulado<br>Total  | 43453               | 10396             | 11673               | 549              | 5367        | 6491             | 519                | 339                  | 78787 |

## 6. EMISIONES DEL PARQUE AUTOMOTOR

### 6.1 Emisiones Evaporativas

Bajo esta denominación se incluyen todos los vapores de combustible generados en vehículos a gasolina, los cuales escapan a la atmósfera desde el carter, el tanque de gasolina y el carburador. Se excluyen de esta sección las pérdidas que ocurren en las estaciones de servicio durante la operación de llenado del tanque del vehículo, las cuales serán consideradas en capítulo aparte.

#### 6.1.1. Origen y Magnitud de las Emisiones Evaporativas

Como se mencionó, las emisiones evaporativas provienen del carter del vehículo, del carburador y del tanque de combustible.

##### Emisiones del Carter.

Estas emisiones están constituidas por vapores de aceite lubricante y de mezcla aire-combustible, que al ser comprimido en los cilindros, escapa al carter a través de los anillos y de ahí a la atmósfera.

Los vapores emitidos son ricos en hidrocarburos; aunque también pueden contener otros contaminantes menores. Sin embargo, se ha demostrado que las cantidades de estos últimos son despreciables.

La concentración de hidrocarburos en las emisiones del carter no varía muy ampliamente de un vehículo a otro, ni tampoco como función de su forma de operación, debido a que la fuente principal de generación es la mezcla aire combustible.

Su volumen, sin embargo, puede variar significativamente ya que él depende de los

cambios de presión en los cilindros, asociados a la forma de operación: Las emisiones son mayores durante la etapa de compresión y la carrera de impulsión, y menores durante la desaceleración y en mínima.

En Colombia no se ha llegado a medir las emisiones evaporativas, en primer lugar porque no existe una normativa que obligue a su cuantificación, y en segundo término porque se carece los elementos necesarios para efectuar las mediciones.

Por lo tanto, en defecto de datos reales para la situación nacional y con base en la discusión anterior acerca del origen de las emisiones, los estimativos deberán hacerse utilizando información a la literatura disponible.

Esta indica que las emisiones del carter representan un 20-25% de la emisión total de hidrocarburos en un vehículo cualquiera, si éste no está dotado de los sistemas de control apropiados.

Los sistemas de control (válvula de ventilación positiva del carter-válvula PCV) se introdujeron al país a partir del año 1991, de tal manera que los porcentajes señalados se aplican sólo a los vehículos anteriores a ese modelo, tanto nacionales como importados.

#### \* EMISIONES DEL CARBURADOR Y DEL TANQUE DEL COMBUSTIBLE

De acuerdo con la literatura, las emisiones del carburador y del tanque son de tres tipos, teniendo en cuenta las causas que las producen:

- a) La evaporación del combustible del vaso del carburador, de las líneas y del tanque de gasolina, que ocurre inmediatamente después de apagar el vehículo, como consecuencia del intercambio de calor entre el motor caliente y los elementos más fríos (a menor temperatura).
- b) Las llamadas emisiones diurnas, producidas por la expansión de los vapores de combustible en respuesta a las variaciones de la temperatura ambiente que



ocurren durante el día.

- c) Las pérdidas durante la marcha, correspondientes a los vapores de hidrocarburos totales provenientes de un vehículo automotor, como aporte a la contaminación atmosférica. Las pérdidas durante la marcha son importantes cuando el vehículo carece de sistemas de control de emisiones evaporativas o cuando opera a temperaturas altas (climas muy cálidos). En tales condiciones, estas emisiones pueden llegar a ser tan significativas como las dos primeras.

#### 6.1.2 Factores que afectan las emisiones Evaporativas

La magnitud de las emisiones evaporativas depende de los siguientes factores principales:

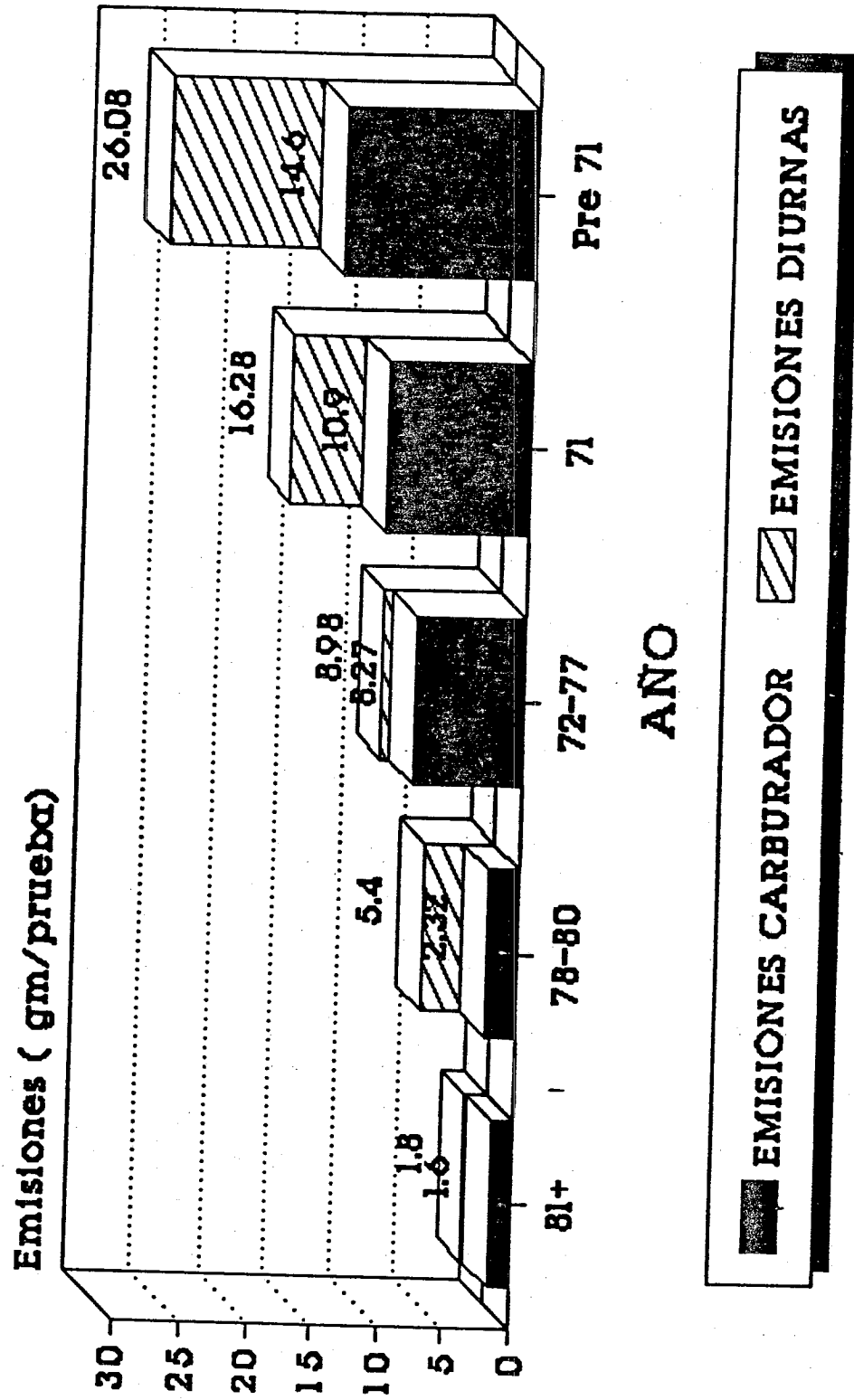
- La tecnología del vehículo.
- La volatilidad del combustible.
- La temperatura ambiente
- Los patrones de uso del vehículo
- La alteración del combustible en el tanque por acción de los agentes atmosféricos (atemperamiento del tanque).
- El nivel del tanque de combustible.

##### 6.1.2.1. Influencia de la Tecnología del Vehículo.

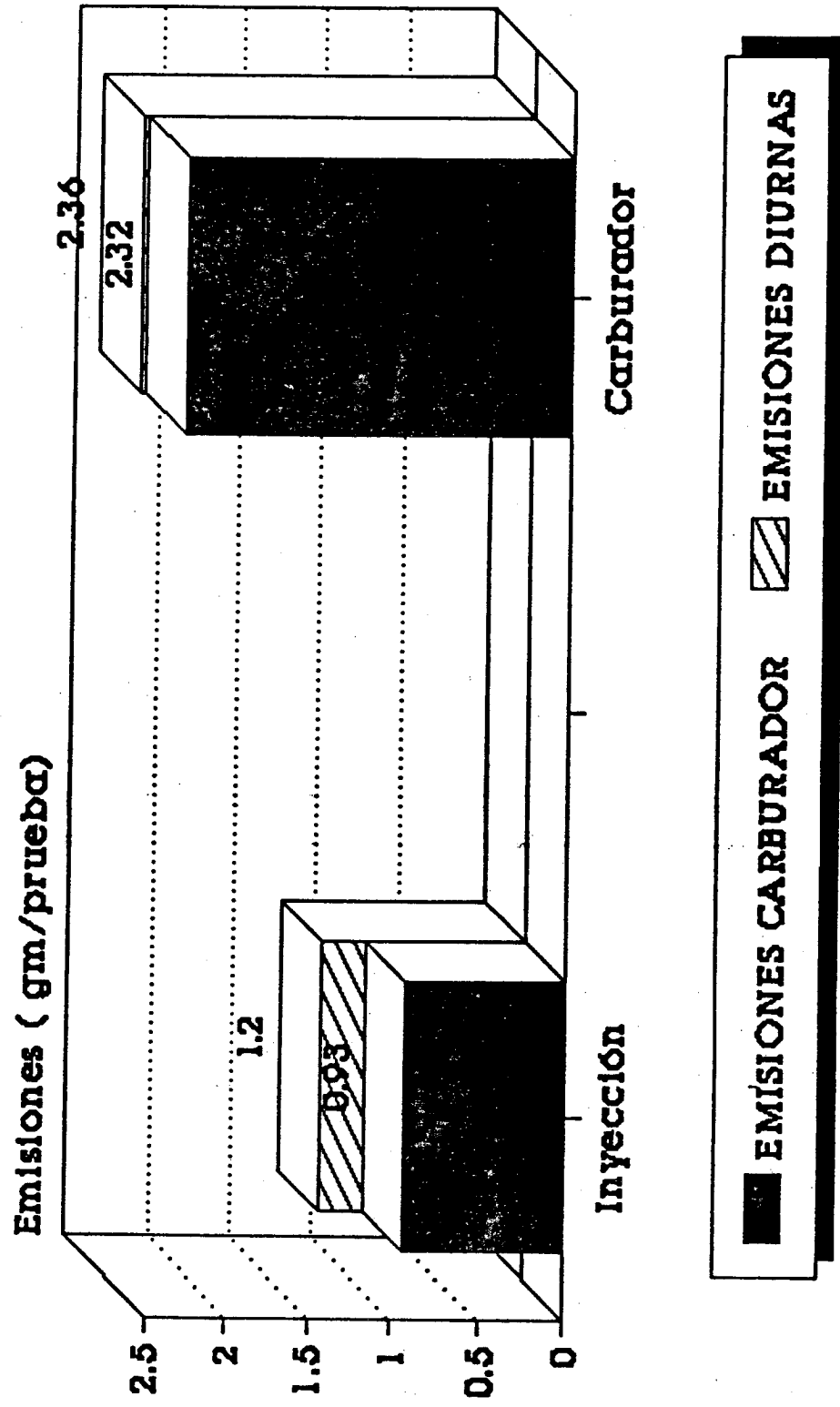
La variación de los niveles de emisión en función del modelo del vehículo puede apreciarse en la gráfica No. 6.1. La tendencia observada refleja la respuesta de la industria para cumplir, a partir del año 1981, con la exigencia de garantizar una emisión máxima de 2.0 gm/prueba.

El logro se debe entre otras causas, a la introducción de sistemas de control (canisters, por ejemplo) y a los cambios en el sistema de combustible. Las pruebas realizadas (Gráfica No. 6.2), indican que las emisiones evaporativas son

**FIGURA No 6.1**  
**Incidencia de la Tecnología del vehículo**  
**sobre las emisiones evaporativas.**



**FIGURA No 6.2**  
**Emisiones evaporativas de vehículos**  
**con carburador-inyecc. combustible**



significativamente menores en los vehículos de inyección, que en aquellos que usan carburador.

La explicación de las diferencias se encuentra en la eliminación del vaso del carburador (una de las principales fuentes de emisión) y en la mayor simplicidad del sistema de control de emisiones en los vehículos de inyección.

#### 6.1.2.2. Características (Volatilidad) del Combustible.

Las emisiones diurnas y en menor escala las emisiones del carburador "HOT SOAK" están relacionadas con la presión de vapor Reid (RVP) de la gasolina, la cual es una medida de la volatilidad del combustible.

De acuerdo con la Figura No. 6.3, entre menor sea el RVP del combustible menores serán las emisiones evaporativas. Este comportamiento define una estrategia de control de emisiones basada en la reducción de la volatilidad, la cual se está implementando en países como los Estados Unidos y en la Comunidad Económica Europea.

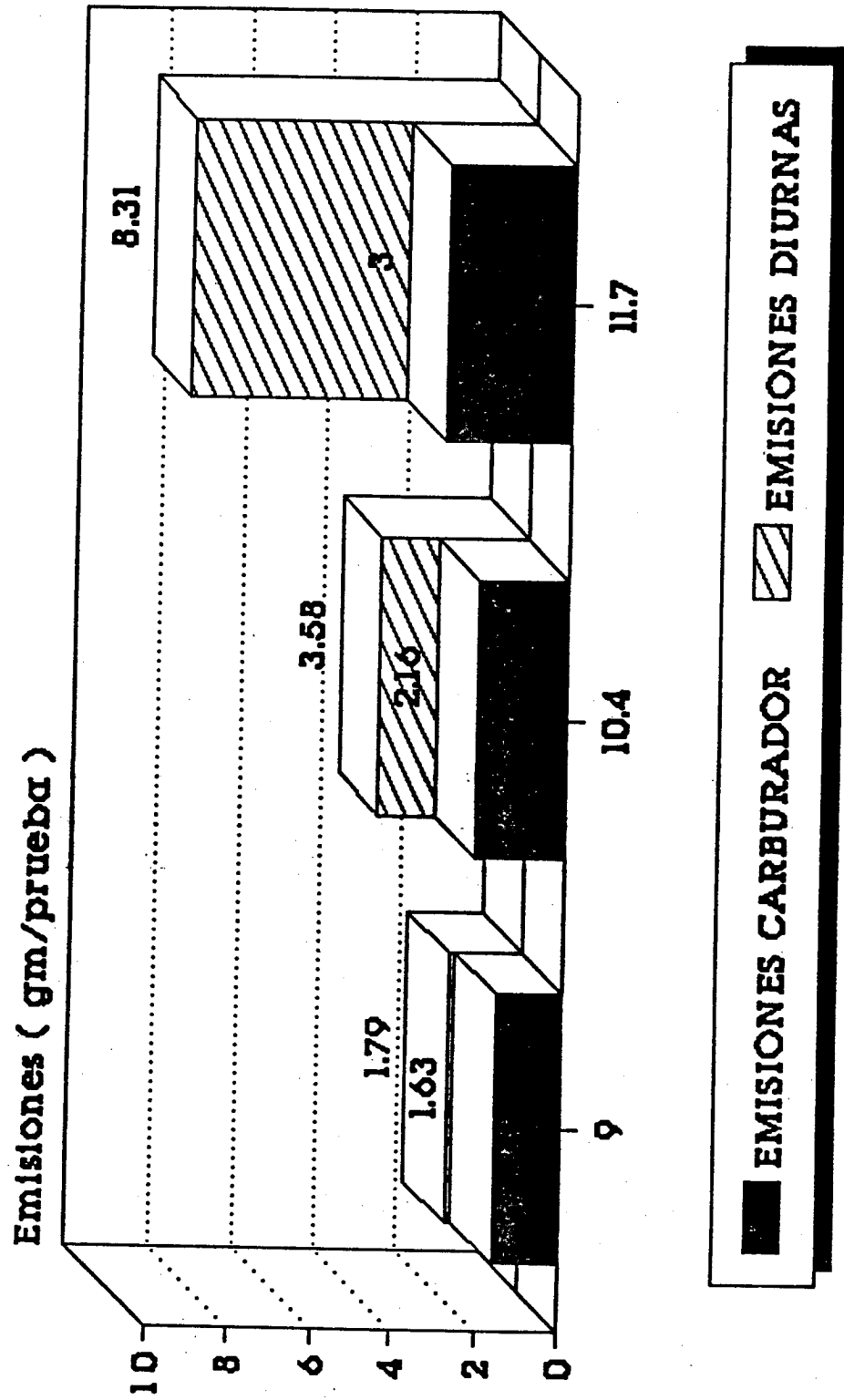
Sin embargo, aún cuando la disminución del RVP es técnicamente factible y promisorio desde el punto de vista ambiental<sup>1</sup> deben tenerse en cuenta varios aspectos para decidir la extensión de la medida (valor final recomendable para la presión del vapor):

- a) Existe el riesgo de que las reducciones drásticas puedan incrementar las emisiones por el exhosto (mucho más reactivas), con la consiguiente formación de ozono.

---

<sup>1</sup> De acuerdo con la EPA, esta acción reduciría las emisiones VOC (Compuestos orgánicos volátiles) en un 8%

**FIGURA No 6.3**  
**Incidencia del RVP sobre las**  
**emisiones evaporativas (vehículos 81+)**



Esto es explicable por el efecto que tiene la volatilidad de la gasolina sobre la operación de la máquina cuando el motor está frío. Por un lado, durante la operación en frío la preparación de la mezcla aire/combustible y su distribución entre los cilindros depende en gran medida de la volatilidad. Por otro, es bien conocido que las gasolinas con bajo RVP prolongan el período de calentamiento e incrementan consecuentemente las emisiones de hidrocarburos.

- b) Cada 1.0 Psia de reducción en el RVP disminuye aproximadamente 0.1 el número de octano del combustible y el rendimiento de la gasolina en un 2%.
- c) La cantidad de Hidrocarburos C4 y C5 en una gasolina determina en gran medida su RVP. En consecuencia, cualquier restricción en la volatilidad significará reducir la cantidad de esos hidrocarburos y en especial del Butano, lo cual conlleva el incremento de los costos de producción debido a que el volumen de gasolina y el valor del octano correspondiente a esos hidrocarburos deben ser reemplazados por componentes más costosos.

A título ilustrativo, se citan los siguientes estimativos de costo incremental hecho por el API en sus evaluaciones acerca de las implicaciones del Acta del Aire Limpio.

| REDUCCION EN<br>EL RVP | COSTO INCREMENTAL (CENTAVOS DE US\$/GALON) |               |
|------------------------|--|---------------|
|                        | SIN INVERSION                              | CON INVERSION |
| 1 Psi                  | 0.8  | 1.05          |
| 2.5 Psi                | 3.2  | 4.0           |

#### 6.1.2.3. Efecto de la Temperatura Ambiente

Como se mencionó, la temperatura ambiente tiene un efecto significativo sobre las emisiones diurnas, y en menor escala sobre las emisiones producidas por transferencia de calor desde el motor caliente hacia el carburador después de apagar el vehículo (emisiones "HOT SOAK").

Ya que las emisiones de que trata este capítulo se deben a la evaporación de los componentes más volátiles del combustible, es lógico esperar que sean mayores:

- a) Al incrementar la temperatura ambiente. Significa una mayor aproximación al punto final de ebullición de la gasolina.
- b) Al aumentar el RVP. El combustible tendrá mayor cantidad de hidrocarburos livianos.

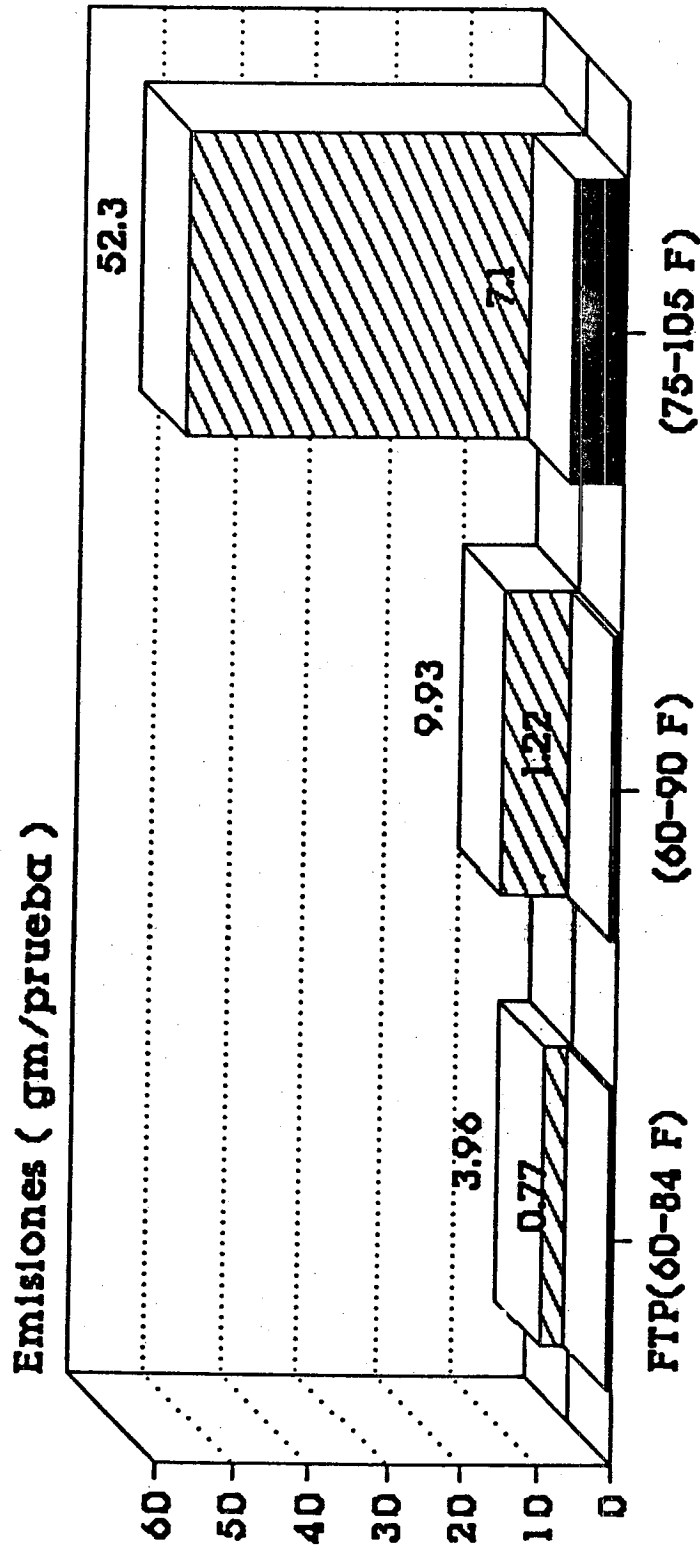
Las figuras Nos. 6.4 y No. 6.5 tomadas de la literatura, ilustran estos dos conceptos. Sin embargo, es obvio que a un RVP dado el efecto de la temperatura ambiente es incontrolable por tratarse de un agente externo no modificable, de tal manera que la única acción posible en este caso es la recuperación del combustible evaporado.

#### 6.1.2.4. Características del uso del Vehículo.

Los patrones de uso del vehículo afectan las emisiones diurnas, por su relación con la temperatura ambiente. Factores como las horas del día en que se opere, el tiempo diario de operación y el tiempo que el vehículo permanezca apagado significan variaciones importantes en las emisiones evaporativas, incluso cuando la máquina está provista de sistemas de control en la fuente.

Así por ejemplo, un vehículo que se utilice en la mañana hacia el final de la tarde, emitirá menos que otro que además se utilice al medio día; pero si el vehículo permanece apagado varios días consecutivos, y posee sistemas de control,

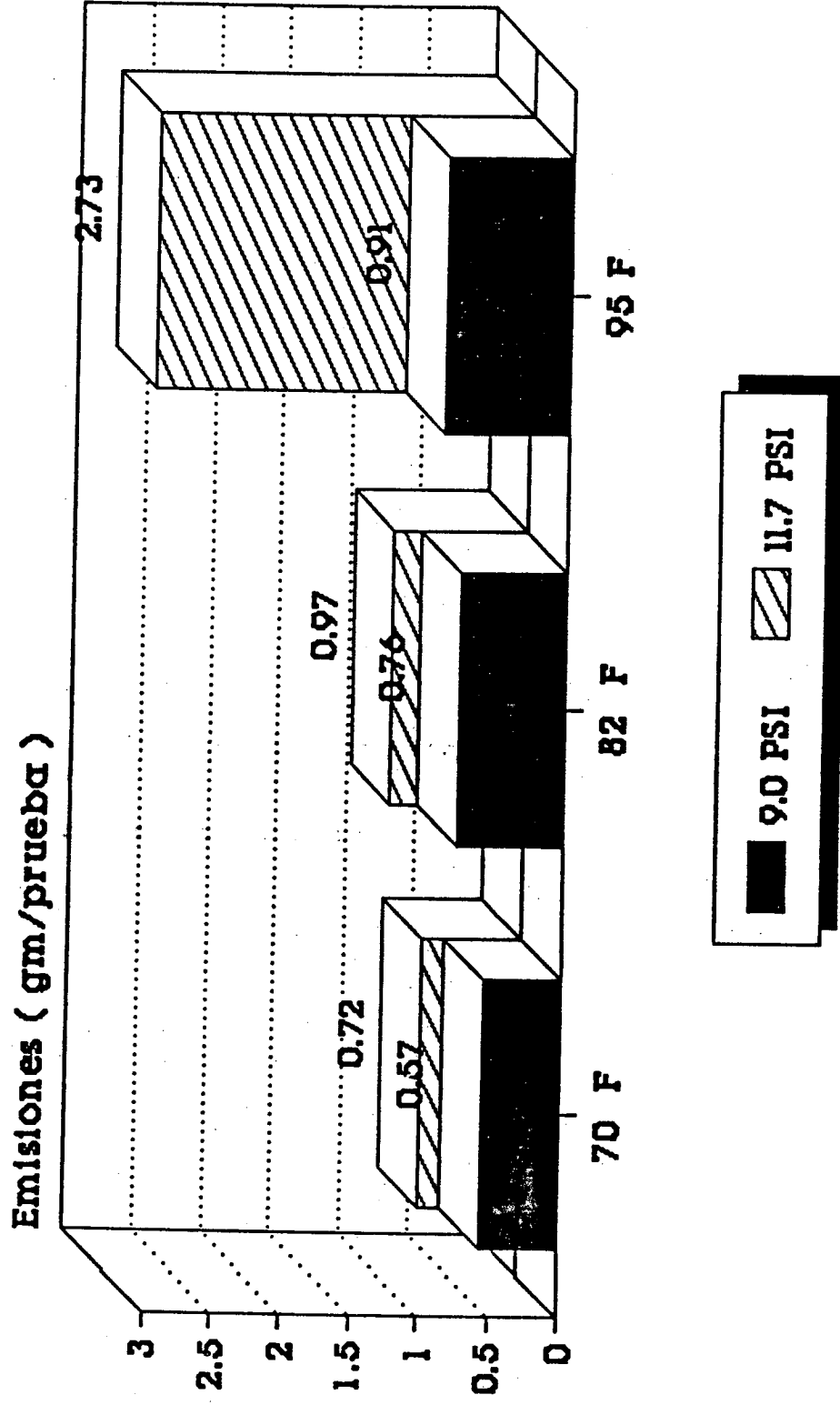
**FIGURA No 6.4**  
**Emisiones diurnas en función del incremento de temperatura (81+ con carb)**



■ EMISIONES CARBURADOR    ▨ EMISIONES DIURNAS



**FIGURA No 6.5**  
**Emisiones carburador en función del in-**  
**cremento de temperatura (81+ con carb)**



emitirá menos hidrocarburos el primer día que en los subsiguientes, como consecuencia de la disminución progresiva de la capacidad del sistema por acumulación de vapores combustibles.

#### 6.1.2.5. Atemporamiento y Nivel del Tanque de Combustible.

La temperatura del combustible en el tanque cambia obedeciendo a las variaciones diarias de la temperatura ambiente. A medida que ésta se incrementa, aumenta la temperatura del combustible y también la tasa de evaporación de los componentes más volátiles, en una magnitud que depende del RVP y del espacio (nivel del líquido) libre en el depósito de gasolina.

La Figura No. 6.6 resume algunas de las investigaciones adelantadas por la General Motors para ilustrar este efecto. Como puede verse, las emisiones diurnas se incrementan con la disminución del nivel del combustible alcanzando el valor más alto cuando el nivel en el tanque es del orden del 20% de la capacidad total.

### 6.2. CALCULO DE LAS EMISIONES EVAPORATIVAS

#### 6.2.1. Procedimiento de Cálculo

Para calcular las emisiones evaporativas se utilizará el procedimiento propuesto por Concawe<sup>2</sup>. Este correlaciona los datos experimentales del trabajo referenciado y de las investigaciones efectuadas por diferentes autores con el mismo propósito, especialmente en los Estados Unidos.

---

<sup>2</sup> Concawe. An investigation into evaporative Hydrocarbon emissions from european vehicles. Report No. 87/60 1987.

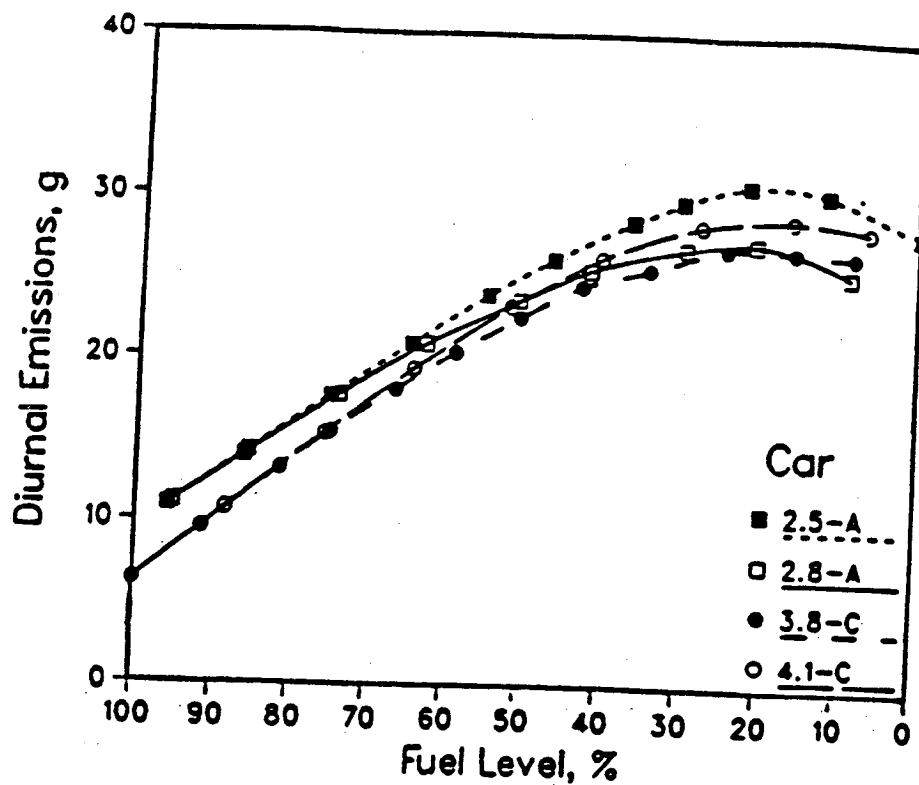


FIGURA NO. 6.6  
 VARIACION EN LAS EMISIONES DIURNAS  
 (60-84°F; RVP = 10.4 PSI)  
 EN FUNCION DEL NIVEL DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE

FUENTE: GENERAL MOTORS, *auto*

La cantidad de hidrocarburos emitida (como emisiones evaporativas) por un vehículo a gasolina es:

$$EE = HS + RN + ED$$

Siendo :

EE = Emisiones evaporativas (gm/Km)

HS = Emisiones del carburador ("HOT SOAK")

RN = Emisiones evaporativas durante la marcha

ED = Emisiones diurnas.

#### 6.2.1.1. Emisiones del Carburador

Las emisiones del carburador dependen del número de veces que el vehículo efectúe un recorrido cualquiera, y se origina cuando el motor esté apagado por efecto de la transferencia de calor entre éste (punto caliente) y el carburador (elemento a menor temperatura)

En Estados Unidos este número es 3.3 y en Europa es 3.4. En Colombia no se ha hecho un estudio sistemático para determinarlo, pero posiblemente sea superior a los anteriores si se tienen en cuenta factores determinantes como el relativamente bajo costo de los combustibles y las deficiencias de los sistemas de transporte masivo, los cuales promueven el uso más frecuente del vehículo. Sin embargo, ante la carencia de información propia, en este estudio se usará el promedio europeo (3.4 veces/día). // *Se usó el valor de 3.4 en lugar de 3.3*

En estas condiciones, las emisiones del carburador se definirán así:

$$HS = 3.4 (HS)_o$$

HS = Emisiones del carburador

$(HS)_o$  = Emisiones del carburador medidas en el banco de pruebas.

#### 6.2.1.2. Emisiones Evaporativas durante la Marcha

Las emisiones evaporativas durante la marcha se determinan experimentalmente.

$$RN = K/4 (RN)_o \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Total de Emisión} \\ \text{a} \end{array} \right.$$

RN = Emisiones evaporativas durante la marcha.

(RN)<sub>o</sub> = Emisiones medidas durante la prueba.

K = Recorrido promedio diario (Km/día)

4 = Recorrido (Km) equivalente del ciclo de manejo europeo ECE utilizado en la prueba.

El recorrido promedio diario depende de si el vehículo es particular o de servicio público. Para los primeros el valor oscila entre 18.000 y 20.000 Km/año en promedio (50 a 55 Km/día), de acuerdo con los resultados del estudio efectuado en los centros de diagnóstico de las ciudades de interés.

Los automotores de servicio público recorren entre 150 Km/día (12 horas de trabajo) y 300 Km/día (24 horas de trabajo). *7 pph - el año*

#### 6.2.1.3. Emisiones Diurnas

En la metodología propuesta por Concawe, se determinan mediante la siguiente correlación:

$$ED = 0.66(-25 + 0.51DT + 0.62 TM + 0.22 RVP)$$

En la cual:

ED = Emisiones diurnas.

DT = Suma de incrementos de temperatura durante el día (°C). Para simplificar el cálculo se toma como la diferencia entre la temperatura máxima media mensual y la temperatura media mensual.

TM = Temperatura promedio diaria (°C). Se asume como la temperatura media mensual.

RVP = Presión de vapor Reid (kpa).

CONTAMINACION POR FUENTES MOVILES  
EMISIONES EVAPORATIVAS  
(TON. METRICAS ANUALES)

|              | VEHICULOS PARTICULARES |       | VEHICULOS SERVICIO PUBLICO |       |
|--------------|------------------------|-------|----------------------------|-------|
|              | K1                     | K2    | K3                         | K4    |
| BOGOTA       | 47799                  | 49748 | 24186                      | 41085 |
| MEDELLIN     | 24426                  | 25428 | 16930                      | 29088 |
| CALI         | 29950                  | 31178 | 13006                      | 22177 |
| BARRANQUILLA | 18080                  | 18814 | 11727                      | 20089 |

VELOCIDAD PROMEDIO

Se ~~convierten~~ <sup>multiplican</sup> las velocidades del cuadro en 100 por 1

K1=50Km/día  
K2=55Km/día  
K3=150Km/día  
K4=300Km/día

### 6.2.2. Aplicación del Procedimiento. Resultados

La aplicación del procedimiento se encuentra detallada en el Anexo A. Los resultados se resumen en el Cuadro No. 6.1.

De acuerdo con este último, Bogotá estaría recibiendo alrededor de 9000 TM/año de hidrocarburos procedentes de las emisiones evaporativas de vehículos a gasolina. Para cada una de las demás ciudades esta cifra se reduce en más de un 50% en razón al menor número de unidades del parque automotor.

Como era de esperarse, la contribución de los vehículos compactos (< 1.4 litros) es muy baja frente a las emisiones de los vehículos de mayor cilindraje. Esta situación se explica por su menor nivel de emisiones y también porque el número de automotores de esta especificación es considerablemente reducido.

El aporte de los vehículos de servicio público, a pesar de su número, es prácticamente igual al aporte de los vehículos particulares. La explicación se encuentra en el recorrido diario mayor del transporte público.

### 6.3 Alternativas de Control de las Emisiones Evaporativas

A continuación se identifica las principales alternativas de control para las emisiones evaporativas de los vehículos automotores, provenientes tanto del carter como del sistema de combustible.

Las medidas propuestas en la literatura para el control de emisiones evaporativas de vehículos automotores tanto del carter como del sistema de combustión se pueden resumir así:

- a) Introducción de sistemas de control en la fuente.
  - \* Válvula pcv para las emisiones del carter. ®
  - \* Canister de carbón para las emisiones originadas en el sistema de combustible.

- b) Cambios en las características del combustible. Disminución del RVP de las gasolinas.
- c) Educación de los conductores de vehículos.
- d) Introducción de mejoras en la tecnología de los vehículos. Sistemas de inyección de combustible en reemplazo del carburador convencional.
- e) Reducción de emisiones — por número por ciudad.

#### 6.4 Programa Centros de Diagnóstico

##### 6.4.1 Objetivos

- a) Determinar niveles de emisión típicos del parque automotor colombiano, mediante la medición de gases de combustión en centros de diagnóstico, aprovechando las rutinas de sincronización del vehículo.
- b) Identificar la incidencia de las principales variables determinantes de las emisiones exhosto (tecnología de vehículo, desgaste del motor, altura sobre el nivel de mar, etc).
- c) Evaluar el efecto de la sincronización sobre el nivel de las emisiones vehiculares.
- d) Evaluar el funcionamiento de los centros de diagnóstico en relación con la medición de emisiones exhosto, como posibles integrantes de un sistema de control de contaminación de origen automotor.

##### 6.4.2. Cubrimiento y representatividad del programa

- Ciudades incluidas

- \* Santafé de Bogotá
- \* Medellín
- \* Cali
- \* Barranquilla



- **Centros de Diagnóstico**

El programa incluyó un total de veinte (20) centros de diagnóstico (cinco por ciudad).

- **Población cubierta**

El tamaño de la muestra ascendió a 1036 vehículos, los cuales representan aproximadamente un 0.16% del parque automotor de esas ciudades y cerca del 0.3% de los automoviles matriculados en las mismas.

De acuerdo con lo anterior, las conclusiones del estudio serán válidas solo para este tipo de vehículos, aunque los enunciados conceptuales (efecto de la sincronización, etc.) podrán extrapolarse a todo el parque automotor.

#### 6.4.3. **Análisis de Resultados**

La información obtenida en el programa de centros de diagnóstico (Anexo B) permite los siguientes comentarios preliminares.

- a) Se confirman los resultados obtenidos en el estudio efectuado por JICA (Agencia de Cooperación Internacional del Japón) para la ciudad de Santafé de Bogotá (Diciembre de 1991). Las emisiones del parque automotor contribuyen considerablemente al deterioro de la calidad del aire ambiente.
- b) El efecto de la sincronización reduce considerablemente las emisiones exhosto. Se presentan disminuciones del orden del 55% para hidrocarburos y del 45% para monóxido de carbono. Un ligero aumento en la concentración del dióxido de carbono indica mejor combustión, lo cual se reflejaría en un ahorro significativo de combustible.

Esta situación amerita la necesidad de impulsar una campaña de sincronización a nivel nacional, cuyos resultados darían un ahorro de

energía importante para el país, aparte de los beneficios obtenidos por mejoramiento de la calidad del aire ambiente.

La concientización del usuario en ahorro de dinero por disminución en el consumo de combustible, será sustentada cuando se obtengan resultados en el programa de sincronización y determinación del gasto de combustible que se adelanta en el Distrito de Producción de El Centro de ECOPEPETROL.

y aumento de la vida útil del motor.

- c) La concentración de contaminantes en los gases de combustión depende de la tecnología del motor. Los modelos mas recientes emiten menos que los modelos antiguos. Este comportamiento es resultado de la implementación en vehículos nuevos, de motores mas pequeños, diseños que permiten mejor eficiencia en la cámara de combustión, sistemas de recuperación de vapor, carburadores que permiten mezclas óptimas aire-combustible, etc.

Como resultado de estas apreciaciones, se justifica en principio, una reposición progresiva del parque automotor. a través de incentivos

{ O hon. pague  
mas impuestos  
vehículos  
nuevos }

- d) La altura sobre el nivel del mar, es otro parámetro determinante en el nivel de emisiones, especialmente para hidrocarburos y monóxido de carbono. Ciudades como Barranquilla y Cali tienen emisiones promedio del orden de 550 ppm, mientras que en Santafé de Bogotá el promedio se encuentra en 1100 ppm. Esto se debe a que la combustión es mejor a menor altura por mayor presencia de oxígeno.

El uso de oxigenados sería una alternativa para mejorar emisiones en regiones altas como Bogotá y Medellín. Adicionalmente la implementación de una norma de emisión a nivel nacional debe establecer una diferenciación de niveles de concentración en función de la altura (Ver caso Santafé de Bogotá).

## 7. OTROS PROGRAMAS

Como complemento de este estudio se involucran otros dos programas que inciden directamente sobre el consumo y contaminación de los combustibles automotor como son los programas de optimización de asfaltos utilizados en la pavimentación de las carreteras colombianas y el cambio de los lubricantes automotores a los 6000/km.

### 7.1 Programa nacional para el desarrollo tecnológico de los asfaltos.

#### 7.1.1. Antecedentes

En Colombia existe una red vial de aproximadamente 25600 km de los cuales hay pavimentados 10093 km, equivalente al 39.33%. El aumentar el anterior porcentaje es poco probable, debido a la escasez de recursos que se asignan por los altos costos de mantenimiento que el MOPT ha tenido y tiene previstos para el mantenimiento de las vías existentes; es así como para 1992 hay presupuestados M\$56.575.00. { Valor en U.S \$

El mal estado de las vías, pavimentadas y no pavimentadas obedece a varias razones entre las cuales se deben destacar:

- a) Mantenimiento nulo ó tardío de las mismas, que a la vez eleva los costos de manténimiento por km en proporción casi geométrica con el tiempo.
- b) Los recursos asignados generalmente no contemplan el total de necesidades de mantenimiento.
- c) Diseños no acordes con la realidad por incertidumbres con las predicciones como:
  - \* Situaciones ambientales cambiantes que afectan el comportamiento de los asfaltos

- \* Lluvias ácidas que afectan su durabilidad.
  - \* Aumento en tránsito vehicular y de las cargas/eje en los vehículos.
- d) Falta apoyo técnico a las compañías que realizan las reparaciones o que pavimentan nuevas vías en cuanto a:
- \* Las condiciones óptimas de utilizar el asfalto; en general la temperatura de manejo.
  - \* El tipo y características de agregados, para que tengan buen comportamiento mecánico y compatibilidad química con el asfalto.

Lo anterior trae como consecuencia que la vida útil de las vías pavimentadas, en vez de ser 10 años o más pueda ser de un (1) año o menos por el deterioro o fallas prematuras que presentan. Además, la situación se agrava por el alto costo de construir nuevas vías y a la vez pavimentarlas, pues es de KUS\$300, equivalentes a M\$216,9 (a \$723/US\$) por kilómetro (pavimentar un km cuesta M\$100,0).

El mal estado de las vías (pavimentadas dañadas o no pavimentadas) hacen que en Colombia haya altos costos del transporte (exceso en el consumo de combustible, mantenimiento frecuente de vehículos y tiempos de transporte dos o tres veces superiores) y regiones con "embotellamientos" muy altos en transporte. Todas estas fallas tienen repercusión en el ambiente social y costo de vida.

*y del asfalto reciclado que? y de las emulsiones que?*

#### 7.1.2. Objetivos

El programa busca, con trabajo multidisciplinario entre UIS-UNICAUCA-MOPT y ECOPEIROL (DIT-ICP), mejorar la caracterización química de los asfaltos convencionales, utilizando métodos analíticos de alta resolución para predecir su comportamiento en diferentes aplicaciones y recomendar los mejores para ser usados como pavimentos, optimizar su uso como materia prima en la construcción de los mismos y con estos conocimientos formular proyectos y propuestas tendientes a "mejorar" su durabilidad, resistencia al envejecimiento y las técnicas en el mantenimiento de pavimentos flexibles.

### 7.1.3 Investigación

El programa pretende desarrollar los siguientes objetivos específicos los cuales se revisarán periódicamente con el ánimo de redireccionarlos de acuerdo con las prioridades y necesidades del medio.

- a) Desarrollar técnicas analíticas para caracterizar químicamente los asfaltos. En primera instancia con resonancia magnética nuclear y  cromatografía líquida.
- b) Correlacionar la información sobre tipo de hidrocarburos vs. propiedades de los asfaltos.
- c) Correlacionar la información sobre tipo de hidrocarburos vs. comportamiento del asfalto como pavimento.
- d) Investigar y establecer métodos rápidos y confiables para predecir el comportamiento del asfalto como pavimento.
- e) Caracterizar los asfaltos producidos para con base en sus propiedades físico-químicas recomendar su mejor uso como pavimento y los agregados mas compatibles.
- f) Estudiar el proceso de envejecimiento de los asfaltos por métodos espectrométricos.
- g) Validar los actuales controles de calidad y/o recomendar otros adicionales.
- h) Estudiar las características químicas que facilitan la emulsividad de los asfaltos, de acuerdo con el tipo de emulgente.
- i) Establecer procedimientos, mediante técnicas modernas, para reutilizar los asfaltos de pavimentos envejecidos.

- j) Caracterizar fisico-quimicamente los asfaltos de yacimientos naturales, para utilizarlos en vias terciarias o secundarias cercanas a los mismos. (Santander, Boyaca, Huila).
- k) Estudiar el mecanismo de mejoramiento que le dan diferentes polimeros a los asfaltos, en cuanto a su comportamiento como pavimentos.
- l) Realizar estudio a nivel nacional para determinar la variación de los costos del transporte vs. el estado de las vias.

## 7.2 Programa de optimización de lubricantes automotor.

Desde hace varios años ECOPEPETROL ha estado investigando las ventajas de los aceites automotor, las cuales han evolucionado en su tecnología de aditivos, permitiendo una mayor durabilidad de recorrido. Es así como en Estados Unidos, Canada, Europa y Japón los aceites de calidad API, SF y SG para gasolina y API CD y CE para Diesel son utilizados en kilometrajes mucho mas grandes que los recomendados para estos mismos aceites en Colombia.

Para corregir el despilfarro que hay en el país con el uso de lubricantes automotor, ECOPEPETROL lideró y financió una campaña institucional educativa a nivel nacional por radio prensa y televisión, para despertar la conciencia en el usuario colombiano de no desperdiciar, y motivarlo a un uso mas racional de los aceites lubricantes. Parte de los aceites, todavia útiles en por lo menos la mitad de su vida, son vertidos a las alcantarillas contaminando fuentes de agua o suelos.

### 7.2.1. Campaña Educativa de ECOPEPETROL - Lubricantes 6000 kms.

La campaña, con un costo de M\$1000, se realizó en los últimos tres (3) años. El mensaje educativo, por radio prensa y televisión, además de las múltiples

conferencias y publicaciones realizadas en diferentes niveles culturales en el país, llevaron el mensaje de la buena calidad de los aceites lubricantes colombianos, iguales al de los países desarrollados y de no cambiarlos a los 2500 - 3000 km de recorrido sino hacerlos a los 6000 kms con los consecuentes ahorros económicos para los usuarios y para el país.

### 7.2.3. Resultados

En el presente momento el intervalo promedio de cambio de aceite lubricante automotor en el país se está acercando a los 5000 km vs. los 2500-3000 kms que se utilizaban hace aproximadamente 3 años. Sin embargo la tendencia a incrementar dicho intervalo seguirá subiendo durante el presente año y se espera que para finales de 1992 el intervalo de cambio esté llegando al nivel recomendado de 6000 km, lo cual produciría unos ahorros económicos para los usuarios, por menor consumo, y para el país, por menores importaciones de aditivos y de bases lubricantes (se importan el 50% de las bases requeridas), del orden de los M\$60.000/año (sesenta mil millones de pesos).

## 8. PROXIMAS ACTIVIDADES

### 8.1. Fase I

De acuerdo con la programación establecida se estima en un 25% el desarrollo de esta fase, la cual comprendió un diagnóstico preliminar de la calidad del aire por aporte del parque automotor. La política de mejoramiento de combustibles planteada por la Empresa Colombiana de Petróleos y las proyecciones anuales del parque automotor hasta el año 2001.

#### Proyección de Emisiones

Una vez conocidos el aporte de contaminantes por emisiones evaporativas, gases de combustión y analizada la información reportada por el programa de servitecas, se efectuará la proyección de emisiones según los estimativos de crecimiento del parque automotor para cada ciudad.

El anterior ejercicio permitirá identificar y evaluar alternativas para proponer modificaciones operacionales al parque automotor, como incremento de la velocidad media, sistema de transporte masivo, educación de conductores y usuarios del transporte. De igual manera la sensibilización de emisiones incluirá alternativas como calidad de combustibles actuales, combustibles reformulados, tecnología de vehículos y sistemas para el control de emisiones.

#### Tecnología Control de Emisiones

La revisión bibliográfica efectuada hasta el momento, permitirá evaluar técnico-económicamente dispositivos mecánicos para el control de emisiones evaporativas y exhosto.

Este análisis incluirá la evaluación de sistemas como convertidores de una, dos y tres vías para automotores y la posibilidad de usar nuevos diseños que mejoren la eficiencia de combustión. De igual manera se analizará la posibilidad de usar canisters y sistemas de recuperación de vapores.



A nivel experimental la División Técnica, en el Instituto Colombiano del Petróleo está evaluando actualmente mecanismos que permitan una mayor combustión y reducción de emisiones de vehículos automotores, estos sistemas son:

- \* Instalación de un altímetro que permite un exceso de aire en el múltiple de admisión de la cámara de combustión. Esto permite la quema de hidrocarburos y la combustión total del monóxido de carbono, lo cual reduce la emisión y permite un ahorro del combustible entre el 3-5%, según evaluaciones preliminares.
- \* La instalación en la línea del combustible de un dispositivo mecánico denominado "Power Plus", invierte la polaridad de la gasolina quedando de signo contrario con respecto al aire, lo cual genera una mayor atracción y mejor mezcla, generándose menores emisiones y ahorro de combustible como en el caso anterior.

## 8.2 Fase II

La configuración del modelo matemático que permita diseñar mecanismos de seguimiento y control de calidad del aire ambiente, es una actividad que involucra una gran variedad de variables y el conocimiento preciso de su comportamiento. La decisión sobre si un modelo en particular se puede utilizar para la evaluación de la calidad del aire se hará teniendo en cuenta:

- El nivel de detalle y la precisión de la base de datos a utilizar..
- La disponibilidad de un modelo funcional, la complejidad de la información meteorológica y la topografía del área en estudio.

Bajo este esquema se efectuó inicialmente una búsqueda bibliográfica sobre disponibilidad y alcances de modelos matemáticos específicos para fuentes móviles, con el objeto de proporcionar las bases para la selección del modelo matemático mas funcional a las condiciones particulares del estudio (Anexo C).

Posteriormente en concenso con expertos en modelación matemática de amplia trayectoria a nivel nacional, se definirá el modelo a emplear y se establecerán los mecanismos para su validación. Seguidamente se ajustarán los términos de referencia para la contratación y ejecución de esta Fase.

La configuración del modelo matemático será la herramienta fundamental para determinar la calidad del aire bajo diferentes escenarios, proponer mecanismos de control de emisiones, una red de monitoreo, un plan de contingencia y elaborar una propuesta de norma nacional para controlar dicha contaminación ajustada a las características técnicas de nuestros combustibles, del parque automotor y a la realidad socio-económica del país.

**A N E X O    A**

**EMISIONES EVAPORATIVAS <sup>W</sup> ✱**

**Procedimiento de Cálculo**

## EMISIONES EVAPORATIVAS

1. METODO DE CALCULO : CONCAWE
2. DEFINICION EMISIONES EVAPORATIVAS

$$EE = (HS + RN + ED) (30) (\text{No. de vehículos})/10^6$$

$$EE = \text{Emisiones evaporativas, TM/mes}$$

$$HS = \text{Emisiones del carburador, gm/día}$$

$$RN = \text{Emisiones evaporativas durante la marcha gm/día}$$

$$ED = \text{Emisiones diurnas, gm/día.}$$

### 3. PARQUE AUTOMOTOR

Desde el punto de vista de las emisiones evaporativas, interesan dos aspectos:

- Los vehículos a gasolina
- El cilindraje, definido en dos categorías (vehículos de menos de 1.4 litros. y vehículos de más de 1.4 litros) por las pruebas experimentales en las cuales se soporta el procedimiento de cálculo.

#### 3.1. VEHICULOS A GASOLINA

Las estadísticas del parque automotor nacional se suministran en forma agregada, sin distinciones que permitan una diferenciación en términos de las variables de interés.

En consecuencia, para superar este inconveniente se recurrirá al estudio

elaborado para Santafé de Bogotá, ciudad cuya población vehicular pueda considerarse estadísticamente representativa del conjunto nacional.

Dicho estudio establece:

- a) La discriminación por cilindraje y su relación con el tipo de combustible utilizado (Cuadro No. 1).
- b) La distribución del parque según las características (cilindraje) del motor (Cuadro No. 2).

### 3.2. DISTRIBUCION POR CILINDRAJE

Como se mencionó, para efectos de la aplicación del procedimiento interesa la distinción entre vehículos a gasolina menores o mayores de 1.4 litros.

De los cuadros anteriores se infiere que todos los vehículos a gasolina diferentes a los automóviles de cuatro cilindros, tienen motores de más de 1.4 litros.

Los automóviles de cuatro cilindros pueden analizarse con base en las estadísticas de producción nacional. Una publicación reciente de ACOIFA (El Sector Automotor Colombiano 1991. Manual Estadístico No. 1) señala que los automóviles producidos en el país durante el período 1979-1991 ascendieron a 450.769 unidades (90.5% del total del mercado). A la vez, la producción de automóviles inferiores a 1.4 litros fué de aproximadamente 196.027 unidades, las cuales representan alrededor de 43.5% del total producido. En consecuencia, el 56.5% restante corresponde a automóviles de cuatro cilindros con más de 1.4 litros.

Sobre estas bases, el inventario de vehículos a gasolina para las ciudades en estudio sería el indicado en los cuadros Nos. 3 a 6.

#### 4. INCIDENCIA DE LA TEMPERATURA

La evaporación del combustible está relacionada con la temperatura ambiente, representada según el procedimiento, por la temperatura media diaria y por la variación de la temperatura durante el día (más exactamente por la suma de los incrementos que experimenta esta variable durante el día).

Para simplificar los cálculos se trabajará con:

- a) La temperatura media mensual
- b) La diferencia entre la temperatura máxima media y la temperatura media representará la suma de incrementos de temperatura.

Estas dos variables se encuentran en el Cuadro No. 7 para las ciudades de interés.

#### 5. EMISIONES DEL CARBURADOR Y PERDIDAS DURANTE LA MARCHA

Por definición:

- a) Emisiones del carburador
  - $HS = 3.4 (HS)_o$
  - $HS =$  Emisiones del carburador
  - $(HS)_o =$  Emisiones de referencia (medidas en banco de pruebas).
  - $3.4. =$  No. de veces/día que el vehículo se apaga después de efectuarse un recorrido.
- b) Emisiones evaporativas durante la marcha
  - $RN = K/4 (RN)_o$
  - $RN =$  Pérdidas durante la marcha
  - $(RN)_o =$  Emisiones de referencia
  - $K =$  Recorrido promedio diario del vehículo.

RN y HS en función de la temperatura se encuentran consignadas en el Cuadro No. 8. Este ha sido elaborado para un RVP de 9 Psia (62 kpa), y estableciendo diferencia entre vehículos compactos (menores de 1.4 litros) y vehículos "grandes" (mayores de 1.4 litros).

El recorrido promedio anual del vehículo depende de si éste es de servicio público o particular. Encuestas realizadas en el programa de centros de diagnóstico y entre conductores de servicio público, permitieron establecer los siguientes valores promedio:

- Vehículos particulares: 18.000 a 20.000 Km/año (50 a 55 Km/día).
- Servicio Público:
  - . 150 Km/día - vehículos que laboran 12 horas/día.
  - . 300 a 350 Km/día - vehículos que operan 24 horas día

## 6. RESULTADOS

Los resultados de la aplicación del procedimiento se presentan en los cuadros Nos. 9 a 16, e incluyen la distinción entre vehículos particulares y de servicio público.

Cada uno establece las diferenciaciones mencionadas sobre tamaño del motor (cilindraje) y recorrido medio diario según el tipo de servicio.

Como norma general se observan los siguientes comportamientos:

- a) La contribución de los vehículos compactos (<1.4 Lts) es muy baja frente a las emisiones de los vehículos de mayor cilindraje. Ello se debe tanto al menor nivel de emisiones de los primeros, como a su número relativamente menor.

- b) El aporte de los vehículos de servicio público, a pesar de su número, es prácticamente igual al aporte de los vehículos particulares. La explicación se encuentra en el recorrido diario mayor del transporte público.



INVENTARIO PARQUE AUTOMOTOR  
CLASIFICACION POR CARACTERISTICA (DISTINTIVA)  
DEL MOTOR Y TIPO DE COMBUSTIBLE

| TIPO DE VEHICULO |             |               | COMBUSTIBLE |
|------------------|-------------|---------------|-------------|
| AUTOMOVILES      | AUTOMOVILES | 4 CILINDROS   | GASOLINA    |
|                  |             | 6-8 CILINDROS |             |
|                  | CAMPEROS    | -3000C.C      |             |
|                  |             | 3001 C.C      |             |
|                  | CAMIONETAS  | -3000 C.C     |             |
|                  |             | 3001 C.C      |             |
|                  | MICROBUS    | -3000 C.C     |             |
| 3001 C.C         |             |               |             |
| BUSES            | BUSETAS     |               | GASOLINA    |
|                  | BUSES       |               | GASOLINA    |
| CAMIONES         |             | CAMION        |             |
|                  | VOLQUETA    | -8000 C.C     | GASOLINA    |
|                  |             |               |             |
|                  | TRACTOMULA  | 8001 C.C      | DIESEL      |

CONTAMINANTES POR FUENTES MOVILES  
DISTRIBUCION DEL PARQUE AUTOMOTOR POR CILINDRAJE

| TIPO DE VEHICULO |   | FRACCION                          |
|------------------|---|-----------------------------------|
| 1. AUTOMOVIL     | <div> <div></div> <div>4 CILINDROS</div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div>6-8 CILINDROS</div> <div></div> </div> | <div>0.661</div> <div>0.339</div> |
| 2. CAMPERO       | <div> <div></div> <div>-3000 C.C</div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div>3001 C.C</div> <div></div> </div>        | <div>0.494</div> <div>0.506</div> |
| 3. MICROBUS      | <div> <div></div> <div>-3000 C.C</div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div>3001 C.C</div> <div></div> </div>        | <div>0.663</div> <div>0.337</div> |
| 4. CAMIONETA     | <div> <div></div> <div>-3000 C.C</div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div>3001 C.C</div> <div></div> </div>        | <div>0.831</div> <div>0.169</div> |
| 5. BUS           | <div> <div></div> <div>GASOLINA</div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div>DIESEL</div> <div></div> </div>           | <div>0.819</div> <div>0.181</div> |
| 6. CAMIONES      | <div> <div></div> <div>GASOLINA</div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div>DIESEL</div> <div></div> </div>           | <div>0.765</div> <div>0.235</div> |

CONTAMINACION POR FUENTES MOVILES  
SANTAFE DE BOGOTA: VEHICULOS A GASOLINA  
(No. UNIDADES)

| TIPO DE VEHICULO       |          | DISTRIBUCION POR CILINDRAJE |            |
|------------------------|----------|-----------------------------|------------|
| A. SERVICIO PARTICULAR |          | < 1.4 Lts.                  | > 1.4 Lts. |
| 1.AUTOMOVILES          |          | 52352                       | 129721     |
| 2.CAMPEROS             |          |                             | 36622      |
| 3.MICROBUS             |          |                             | 1097       |
| 4.CAMIONETAS           |          |                             | 35782      |
| 5.BUSES                |          |                             | 957        |
| 6.CAMIONES             |          |                             | 11415      |
| 7.BUSETAS              |          |                             | 200        |
|                        | SUBTOTAL | 52352                       | 215794     |
| B. SERVICIO PUBLICO    |          |                             |            |
| 1.AUTOMOVILES          |          | 11182                       | 27707      |
| 2.CAMPEROS             |          |                             | 184        |
| 3.MICROBUS             |          |                             | 428        |
| 4.CAMIONETAS           |          |                             | 12901      |
| 5.BUSES                |          |                             | 8780       |
| 6.CAMIONES             |          |                             | 2519       |
| 7.BUSETAS              |          |                             | 6755       |
|                        | SUBTOTAL | 11182                       | 59274      |
|                        | TOTAL    | 63534                       | 275068     |

CONTAMINACION POR FUENTES MOVILES  
MEDELLIN: VEHICULOS A GASOLINA  
(No.UNIDADES)

| TIPO DE VEHICULO       | DISTRIBUCION POR CILINDRAJE |            |
|------------------------|-----------------------------|------------|
|                        | < 1.4 Lts.                  | > 1.4 Lts. |
| A. SERVICIO PARTICULAR |                             |            |
| 1.AUTOMOVILES          | 16316                       | 40429      |
| 2.CAMPEROS             | —                           | 12734      |
| 3.MICROBUS             | —                           | 435        |
| 4.CAMIONETAS           | —                           | 12577      |
| 5.BUSES                | —                           | 826        |
| 6.CAMIONES             | —                           | 3872       |
| 7.BUSETAS              | —                           | 290        |
| SUBTOTAL               | 16316                       | 71163      |
| B. SERVICIO PUBLICO    |                             |            |
| 1.AUTOMOVILES          | 4434                        | 10987      |
| 2.CAMPEROS             | —                           | 709        |
| 3.MICROBUS             | —                           | 431        |
| 4.CAMIONETAS           | —                           | 2598       |
| 5.BUSES                | —                           | 5673       |
| 6.CAMIONES             | —                           | 4940       |
| 7.BUSETAS              | —                           | 897        |
| SUBTOTAL               | 4434                        | 26235      |
| TOTAL                  | 20750                       | 97398      |

CONTAMINACION POR FUENTES MOVILES  
CALI: VEHICULOS A GASOLINA  
(No. UNIDADES)

TIPO DE VEHICULO

|                        | DISTRIBUCION POR CILINDRAJE |              |
|------------------------|-----------------------------|--------------|
|                        | < 1.4 Lts.                  | > 1.4 Lts.   |
| A. SERVICIO PARTICULAR |                             |              |
| 1.AUTOMOVILES          | 16233                       | 40222        |
| 2.CAMPEROS             |                             | 13705        |
| 3.MICROBUS             |                             | 105          |
| 4.CAMIONETAS           |                             | 19090        |
| 5.BUSES                |                             | 344          |
| 6.CAMIONES             |                             | 4952         |
| 7.BUSETAS              |                             | 71           |
|                        | <u>SUBTOTAL</u>             | <u>78489</u> |
|                        | 16233                       |              |
| B. SERVICIO PUBLICO    |                             |              |
| 1.AUTOMOVILES          | 2504                        | 6203         |
| 2.CAMPEROS             |                             | 1187         |
| 3.MICROBUS             |                             | 255          |
| 4.CAMIONETAS           |                             | 785          |
| 5.BUSES                |                             | 4760         |
| 6.CAMIONES             |                             | 4764         |
| 7.BUSETAS              |                             | 552          |
|                        | <u>SUBTOTAL</u>             | <u>18506</u> |
|                        | TOTAL                       | 96995        |
|                        | 18737                       |              |

CONTAMINACION POR FUENTES MOVILES  
BARRANQUILLA: VEHICULOS A GASOLINA  
(No. UNIDADES)

| TIPO DE VEHICULO       | DISTRIBUCION POR CILINDRAJE |            |
|------------------------|-----------------------------|------------|
|                        | < 1.4 Lts.                  | > 1.4 Lts. |
| A. SERVICIO PARTICULAR |                             |            |
| 1.AUTOMOVILES          | 7189                        | 17814      |
| 2.CAMPEROS             | —                           | 7884       |
| 3.MICROBUS             | —                           | 49         |
| 4.CAMIONETAS           | —                           | 8870       |
| 5.BUSES                | —                           | 340        |
| 6.CAMIONES             | —                           | 3656       |
| 7.BUSETAS              | —                           | 114        |
|                        | SUBTOTAL                    | 38727      |
| B. SERVICIO PUBLICO    |                             |            |
| 1.AUTOMOVILES          | 2333                        | 5782       |
| 2.CAMPEROS             | —                           | 942        |
| 3.MICROBUS             | —                           | 190        |
| 4.CAMIONETAS           | —                           | 1040       |
| 5.BUSES                | —                           | 3171       |
| 6.CAMIONES             | —                           | 1703       |
| 7.BUSETAS              | —                           | 395        |
|                        | SUBTOTAL                    | 13223      |
|                        | TOTAL                       | 51950      |

# CONTAMINACION POR FUENTES MOVILES

TEMPERATURA MEDIA (Tm) E INCREMENTO DE TEMPERATURA (DT)  
(°C )

| MES        | BOGOTA |    | MEDELLIN |    | CALI |    | BQUILLA |    |
|------------|--------|----|----------|----|------|----|---------|----|
|            | Tm     | DT | TM       | DT | Tm   | DT | Tm      | DT |
| ENERO      | 13     | 6  | 22       | 6  | 24   | 6  | 27      | 5  |
| FEBRERO    | 14     | 6  | 22       | 6  | 24   | 6  | 27      | 5  |
| MARZO      | 15     | 5  | 22       | 6  | 24   | 6  | 27      | 5  |
| ABRIL      | 15     | 5  | 22       | 6  | 24   | 6  | 27      | 6  |
| MAYO       | 15     | 5  | 22       | 6  | 23   | 6  | 28      | 5  |
| JUNIO      | 14     | 5  | 22       | 6  | 24   | 6  | 28      | 5  |
| JULIO      | 14     | 4  | 22       | 6  | 24   | 6  | 28      | 5  |
| AGOSTO     | 14     | 5  | 22       | 6  | 24   | 6  | 28      | 5  |
| SEPTIEMBRE | 14     | 5  | 21       | 7  | 24   | 6  | 28      | 5  |
| OCTUBRE    | 14     | 5  | 21       | 6  | 23   | 6  | 27      | 5  |
| NOVIEMBRE  | 14     | 5  | 21       | 6  | 23   | 6  | 27      | 5  |
| DICIEMBRE  | 14     | 6  | 21       | 7  | 23   | 6  | 27      | 5  |

# EMISIONES EVAPORATIVAS EN FUNCION DE LA TEMPERATURA AMBIENTE (Tm)

RVP= 9 Psia (62 Kpa)

\* EMISIONES = RN + HS

| * EMISIONES |                                 |
|-------------|---------------------------------|
| Tm (C)      | VEH. COMPACTOS<br>( < 1.4 Lts.) |
| 10          | 2.1                             |
| 15          | 3.1                             |
| 20          | 4.63                            |
| 25          | 6.87                            |
| 30          | 9.55                            |
| 35          | 14                              |
|             | GRANDES<br>( > 1.4 Lts.)        |
|             | 9.1                             |
|             | 12.1                            |
|             | 15.5                            |
|             | 20.45                           |
|             | 26.6                            |
|             | 35.1                            |



EMISIONES EVAPORATIVAS  
SANTAFE DE BOGOTA- VEHICULOS PARTICULARES  
( TONELADAS METRICAS )

| MES   | <1.4 LITROS  |             |  | >1.4 LITROS |             |  | TOTAL      |             |
|-------|--------------|-------------|--|-------------|-------------|--|------------|-------------|
|       | K=50 Km./día | K=55 Km/día |  | K=50 Km/día | K=55 Km/día |  | K=50Km/día | K=55 Km/día |
| 1     | 21.3         | 22.3        |  | 350.8       | 366.2       |  | 372.1      | 388.5       |
| 2     | 23           | 24          |  | 372.6       | 388.8       |  | 395.6      | 412.8       |
| 3     | 24.2         | 25.2        |  | 392.1       | 409.1       |  | 416.3      | 434.3       |
| 4     | 24.2         | 25.2        |  | 392.1       | 409.1       |  | 416.3      | 434.3       |
| 5     | 24.2         | 25.2        |  | 392.1       | 409.1       |  | 416.3      | 434.3       |
| 6     | 22.5         | 23.5        |  | 370.4       | 386.6       |  | 392.9      | 410.1       |
| 7     | 22           | 22.9        |  | 368.2       | 384.4       |  | 390.2      | 407.3       |
| 8     | 22.5         | 23.5        |  | 370.4       | 386.6       |  | 392.9      | 410.1       |
| 9     | 22.5         | 23.5        |  | 370.4       | 386.6       |  | 392.9      | 410.1       |
| 10    | 22.5         | 23.5        |  | 370.4       | 386.6       |  | 392.9      | 410.1       |
| 11    | 22.5         | 23.5        |  | 370.4       | 386.6       |  | 392.9      | 410.1       |
| 12    | 23           | 24          |  | 372.6       | 388.8       |  | 395.6      | 412.8       |
| TOTAL | 274.4        | 286.3       |  | 4492.5      | 4688.5      |  | 4766.9     | 4974.8      |

EMISIONES EVAPORATIVAS  
SANTAFE DE BOGOTA; VEHICULOS SERVICIO PUBLICO  
( TONELADAS METRICAS )

| MES   | <1.4 LITROS   |              | >1.4 LITROS  |              | TOTAL       |              |
|-------|---------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
|       | K=150 Km./día | K=300 Km/día | K=150 Km/día | K=300 Km/día | K=150Km/día | K=300 Km/día |
| 1     | 8.7           | 15           | 180.8        | 307.5        | 189.5       | 322.5        |
| 2     | 9.1           | 15.4         | 191.2        | 324.6        | 200.3       | 340          |
| 3     | 9.4           | 15.7         | 201.1        | 341.1        | 210.5       | 356.8        |
| 4     | 9.4           | 15.7         | 201.1        | 341.1        | 210.5       | 356.8        |
| 5     | 9.4           | 15.7         | 201.1        | 341.1        | 210.5       | 356.8        |
| 6     | 9             | 15.3         | 190.6        | 324.1        | 199.6       | 339.4        |
| 7     | 8.9           | 15.2         | 190.1        | 323.4        | 199         | 338.6        |
| 8     | 9             | 15.3         | 190.6        | 324.1        | 199.6       | 339.4        |
| 9     | 9             | 15.3         | 190.6        | 324.1        | 199.6       | 339.4        |
| 10    | 9             | 15.3         | 190.6        | 324.1        | 199.6       | 339.4        |
| 11    | 9             | 15.3         | 190.6        | 324.1        | 199.6       | 339.4        |
| 12    | 9.1           | 15.4         | 191.2        | 324.6        | 200.3       | 340          |
| TOTAL | 109           | 184.6        | 2309.6       | 3923.9       | 2418.6      | 4108.5       |

EMISIONES EVAPORATIVAS  
MEDELLIN: VEHICULOS PARTICULARES  
( TONELADAS METRICAS )

| MES   | <1.4 LITROS  |             | >1.4 LITROS |             | TOTAL      |             |
|-------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
|       | K=50 Km./día | K=55 Km/día | K=50 Km/día | K=55 Km/día | K=50Km/día | K=55 Km/día |
| 1     | 14.9         | 15.4        | 192.8       | 200.8       | 207.7      | 216.2       |
| 2     | 14.9         | 15.4        | 192.8       | 200.8       | 207.7      | 216.2       |
| 3     | 14.9         | 15.4        | 192.8       | 200.8       | 207.7      | 216.2       |
| 4     | 14.9         | 15.4        | 192.8       | 200.8       | 207.7      | 216.2       |
| 5     | 14.9         | 15.4        | 192.8       | 200.8       | 207.7      | 216.2       |
| 6     | 14.9         | 15.4        | 192.8       | 200.8       | 207.7      | 216.2       |
| 7     | 14.9         | 15.4        | 192.8       | 200.8       | 207.7      | 216.2       |
| 8     | 14.9         | 15.4        | 192.8       | 200.8       | 207.7      | 216.2       |
| 9     | 14.2         | 14.7        | 181.5       | 189         | 195.7      | 203.7       |
| 10    | 14           | 14.6        | 180.8       | 188.3       | 194.8      | 202.9       |
| 11    | 14           | 14.6        | 180.8       | 188.3       | 194.8      | 202.9       |
| 12    | 14.2         | 14.7        | 181.5       | 189         | 195.7      | 203.7       |
| TOTAL | 175.6        | 181.8       | 2267        | 2361        | 2442.6     | 2542.8      |

CUADRO No.11

EMISIONES EVAPORATIVAS  
MEDELLIN : VEHICULOS SERVICIO PUBLICO  
( TONELADAS METRICAS )

| MES   | <1.4 LITROS   |              | >1.4 LITROS  |              | TOTAL       |              |
|-------|---------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
|       | K=150 Km./día | K=300 Km/día | K=150 Km/día | K=300 Km/día | K=150Km/día | K=300 Km/día |
| 1     | 14            | 29           | 130.1        | 218.7        | 144.1       | 247.7        |
| 2     | 14            | 29           | 130.1        | 218.7        | 144.1       | 247.7        |
| 3     | 14            | 29           | 130.1        | 218.7        | 144.1       | 247.7        |
| 4     | 14            | 29           | 130.1        | 218.7        | 144.1       | 247.7        |
| 5     | 14            | 29           | 130.1        | 218.7        | 144.1       | 247.7        |
| 6     | 14            | 29           | 130.1        | 218.7        | 144.1       | 247.7        |
| 7     | 14            | 29           | 130.1        | 218.7        | 144.1       | 247.7        |
| 8     | 14            | 29           | 130.1        | 218.7        | 144.1       | 247.7        |
| 9     | 13.2          | 27.1         | 122          | 204.7        | 135.2       | 231.8        |
| 10    | 13.1          | 27.1         | 121.8        | 204.4        | 134.9       | 231.5        |
| 11    | 13.1          | 27.1         | 121.8        | 204.4        | 134.9       | 231.5        |
| 12    | 13.2          | 27.1         | 122          | 204.7        | 135.2       | 231.8        |
| TOTAL | 164.6         | 340.4        | 1528.4       | 2567.8       | 1693        | 2908.2       |

EMISIONES EVAPORATIVAS  
CALI: VEHICULOS PARTICULARES  
( TONELADAS METRICAS )

| MES   | <1.4 LITROS  |             | >1.4 LITROS |             | TOTAL      |             |
|-------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
|       | K=50 Km./día | K=55 Km/día | K=50 Km/día | K=55 Km/día | K=50Km/día | K=55 Km/día |
| 1     | 17.6         | 18.3        | 237.1       | 246.8       | 254.7      | 265.1       |
| 2     | 17.6         | 18.3        | 237.1       | 246.8       | 254.7      | 265.1       |
| 3     | 17.6         | 18.3        | 237.1       | 246.8       | 254.7      | 265.1       |
| 4     | 17.4         | 18.1        | 236.3       | 246         | 253.7      | 264.1       |
| 5     | 16.3         | 16.9        | 223.8       | 232.9       | 240.1      | 249.8       |
| 6     | 17.4         | 18.1        | 236.3       | 246         | 253.7      | 264.1       |
| 7     | 17.6         | 18.3        | 237.1       | 246.8       | 254.7      | 265.1       |
| 8     | 17.6         | 18.3        | 237.1       | 246.8       | 254.7      | 265.1       |
| 9     | 17.6         | 18.3        | 237.1       | 246.8       | 254.7      | 265.1       |
| 10    | 16.3         | 16.9        | 223.8       | 232.9       | 240.1      | 249.8       |
| 11    | 16.1         | 16.7        | 223         | 232.1       | 239.1      | 248.8       |
| 12    | 16.3         | 16.9        | 223.8       | 232.9       | 240.1      | 249.8       |
| TOTAL | 205.4        | 213.4       | 2789.6      | 2903.6      | 2995       | 3117        |

CUADRO No.13

EMISIONES EVAPORATIVAS  
CALI : VEHICULOS SERVICIO PUBLICO  
( TONELADAS METRICAS )

| MES   | <1.4 LITROS   |              | >1.4 LITROS  |              | TOTAL       |              |
|-------|---------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
|       | K=150 Km./día | K=300 Km/día | K=150 Km/día | K=300 Km/día | K=150Km/día | K=300 Km/día |
| 1     | 8.9           | 18.2         | 101.7        | 170.4        | 110.6       | 188.6        |
| 2     | 8.9           | 18.2         | 101.7        | 170.4        | 110.6       | 188.6        |
| 3     | 8.9           | 18.2         | 101.7        | 170.4        | 110.6       | 188.6        |
| 4     | 8.9           | 18.2         | 101.7        | 170.2        | 110.6       | 188.4        |
| 5     | 8.3           | 17.1         | 95.8         | 160.3        | 104.1       | 177.4        |
| 6     | 8.9           | 18.2         | 101.5        | 170.2        | 110.4       | 188.4        |
| 7     | 8.9           | 18.2         | 101.7        | 170.4        | 110.6       | 188.6        |
| 8     | 8.9           | 18.2         | 101.7        | 170.4        | 110.6       | 188.6        |
| 9     | 8.9           | 18.2         | 101.7        | 170.4        | 110.6       | 188.6        |
| 10    | 8.3           | 17.1         | 95.8         | 160.3        | 104.1       | 177.4        |
| 11    | 8.3           | 17           | 95.6         | 160.1        | 103.9       | 177.1        |
| 12    | 8.3           | 17.1         | 95.8         | 160.3        | 104.1       | 177.4        |
| TOTAL | 104.4         | 213.9        | 1196.4       | 2003.8       | 1300.8      | 2217.7       |

EMISIONES EVAPORATIVAS  
BARRANQUILLA: VEHICULOS PARTICULARES  
( TONELADAS METRICAS )

| MES   | <1.4 LITROS  |             | >1.4 LITROS |             | TOTAL      |             |
|-------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
|       | K=50 Km./día | K=55 Km/día | K=50 Km/día | K=55 Km/día | K=50Km/día | K=55 Km/día |
| 1     | 9.5          | 9.8         | 137.8       | 143.4       | 147.3      | 153.2       |
| 2     | 9.5          | 9.8         | 137.8       | 143.4       | 147.3      | 153.2       |
| 3     | 9.5          | 9.8         | 137.8       | 143.4       | 147.3      | 153.2       |
| 4     | 9.5          | 9.9         | 138.2       | 143.8       | 147.7      | 153.7       |
| 5     | 10.2         | 10.6        | 145.1       | 151.1       | 155.3      | 161.7       |
| 6     | 10.2         | 10.6        | 145.1       | 151.1       | 155.3      | 161.7       |
| 7     | 10.2         | 10.6        | 145.1       | 151.1       | 155.3      | 161.7       |
| 8     | 10.2         | 10.6        | 145.1       | 151.1       | 155.3      | 161.7       |
| 9     | 10.2         | 10.6        | 145.1       | 151.1       | 155.3      | 161.7       |
| 10    | 9.5          | 9.8         | 137.8       | 143.4       | 147.3      | 153.2       |
| 11    | 9.5          | 9.8         | 137.8       | 143.4       | 147.3      | 153.2       |
| 12    | 9.5          | 9.8         | 137.8       | 143.4       | 147.3      | 153.2       |
| TOTAL | 117.5        | 121.7       | 1690.5      | 1759.7      | 1808       | 1881.4      |

CUADRO No.15

EMISIONES EVAPORATIVAS  
BARRANQUILLA : VEHICULOS SERVICIO PUBLICO  
( TONELADAS METRICAS )

| MES   | <1.4 LITROS   |              |  | >1.4 LITROS  |              |  | TOTAL       |              |
|-------|---------------|--------------|--|--------------|--------------|--|-------------|--------------|
|       | K=150 Km./día | K=300 Km/día |  | K=150 Km/día | K=300 Km/día |  | K=150Km/día | K=300 Km/día |
| 1     | 9.9           | 20.1         |  | 85.7         | 143.7        |  | 95.6        | 163.8        |
| 2     | 9.9           | 20.1         |  | 85.7         | 143.7        |  | 95.6        | 163.8        |
| 3     | 9.9           | 20.1         |  | 85.7         | 143.7        |  | 95.6        | 163.8        |
| 4     | 9.9           | 20.2         |  | 85.7         | 143.9        |  | 95.6        | 164.1        |
| 5     | 10.5          | 21.2         |  | 90.2         | 151.2        |  | 100.7       | 172.4        |
| 6     | 10.5          | 21.2         |  | 90.2         | 151.2        |  | 100.7       | 172.4        |
| 7     | 10.5          | 21.2         |  | 90.2         | 151.2        |  | 100.7       | 172.4        |
| 8     | 10.5          | 21.2         |  | 90.2         | 151.2        |  | 100.7       | 172.4        |
| 9     | 10.5          | 21.2         |  | 90.2         | 151.2        |  | 100.7       | 172.4        |
| 10    | 9.9           | 20.1         |  | 85.7         | 143.7        |  | 95.6        | 163.8        |
| 11    | 9.9           | 20.1         |  | 85.7         | 143.7        |  | 95.6        | 163.8        |
| 12    | 9.9           | 20.1         |  | 35.7         | 143.7        |  | 95.6        | 163.8        |
| TOTAL | 121.8         | 246.8        |  | 1050.9       | 1762.1       |  | 1172.7      | 2008.9       |

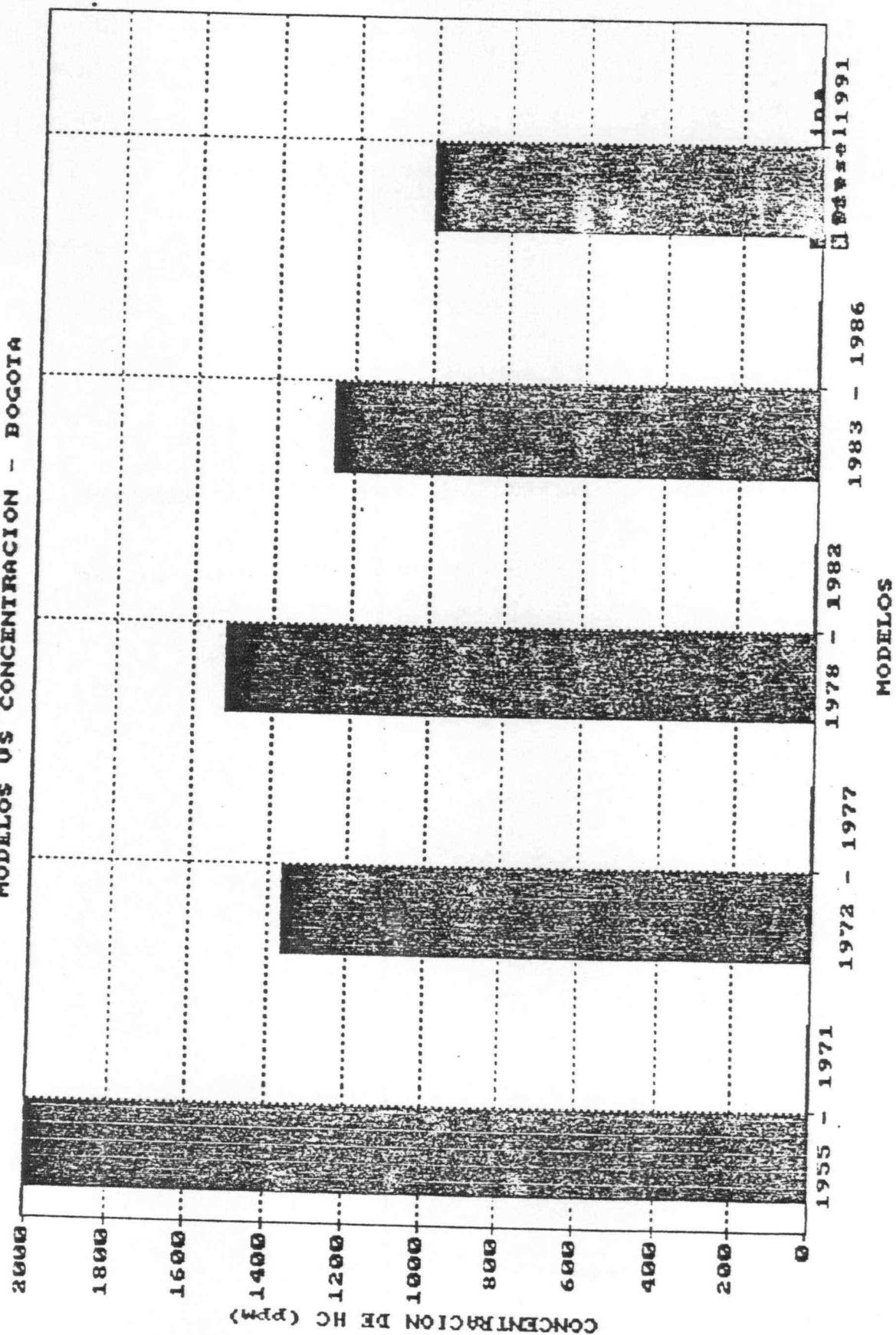


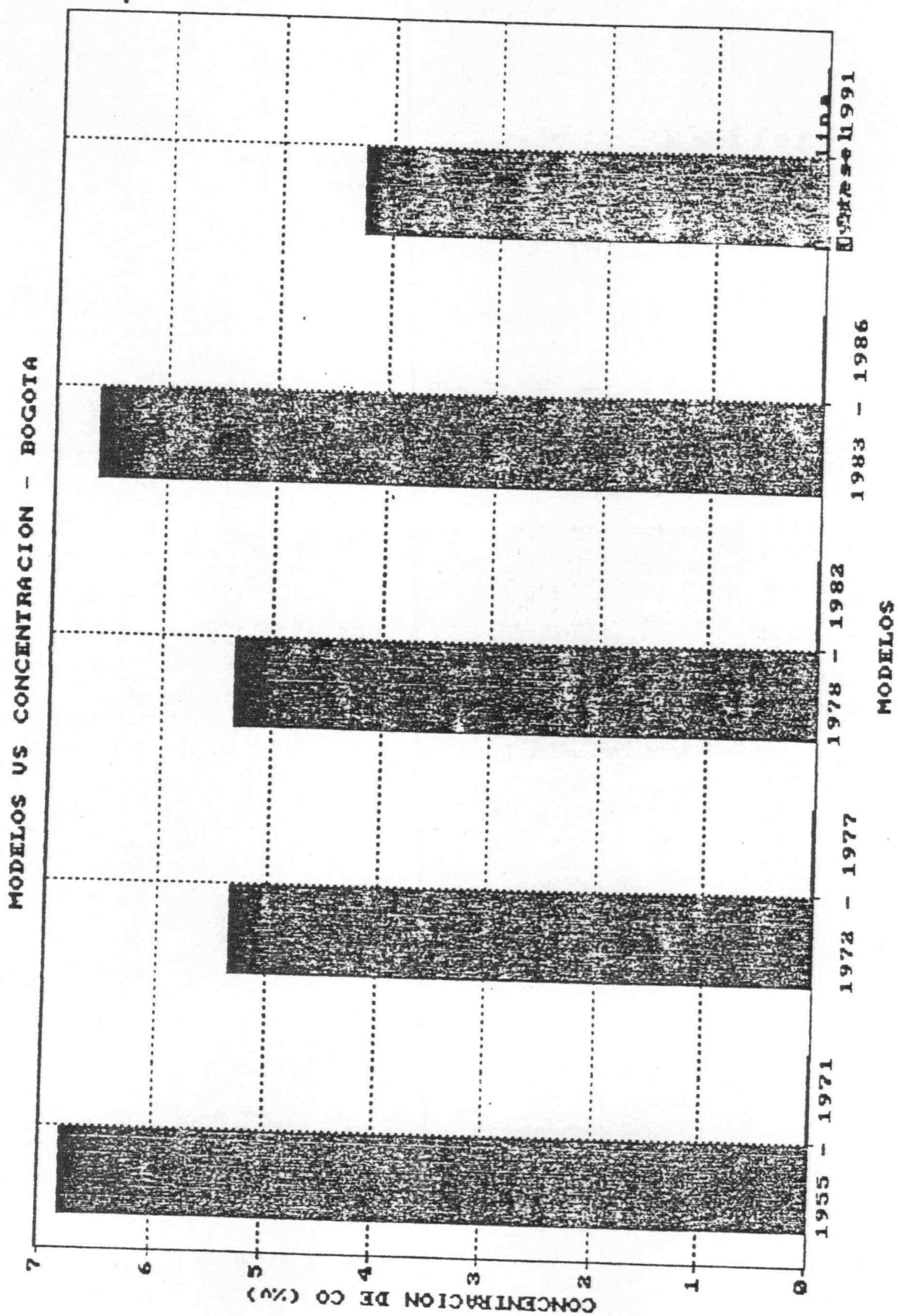
**A N E X O      B**

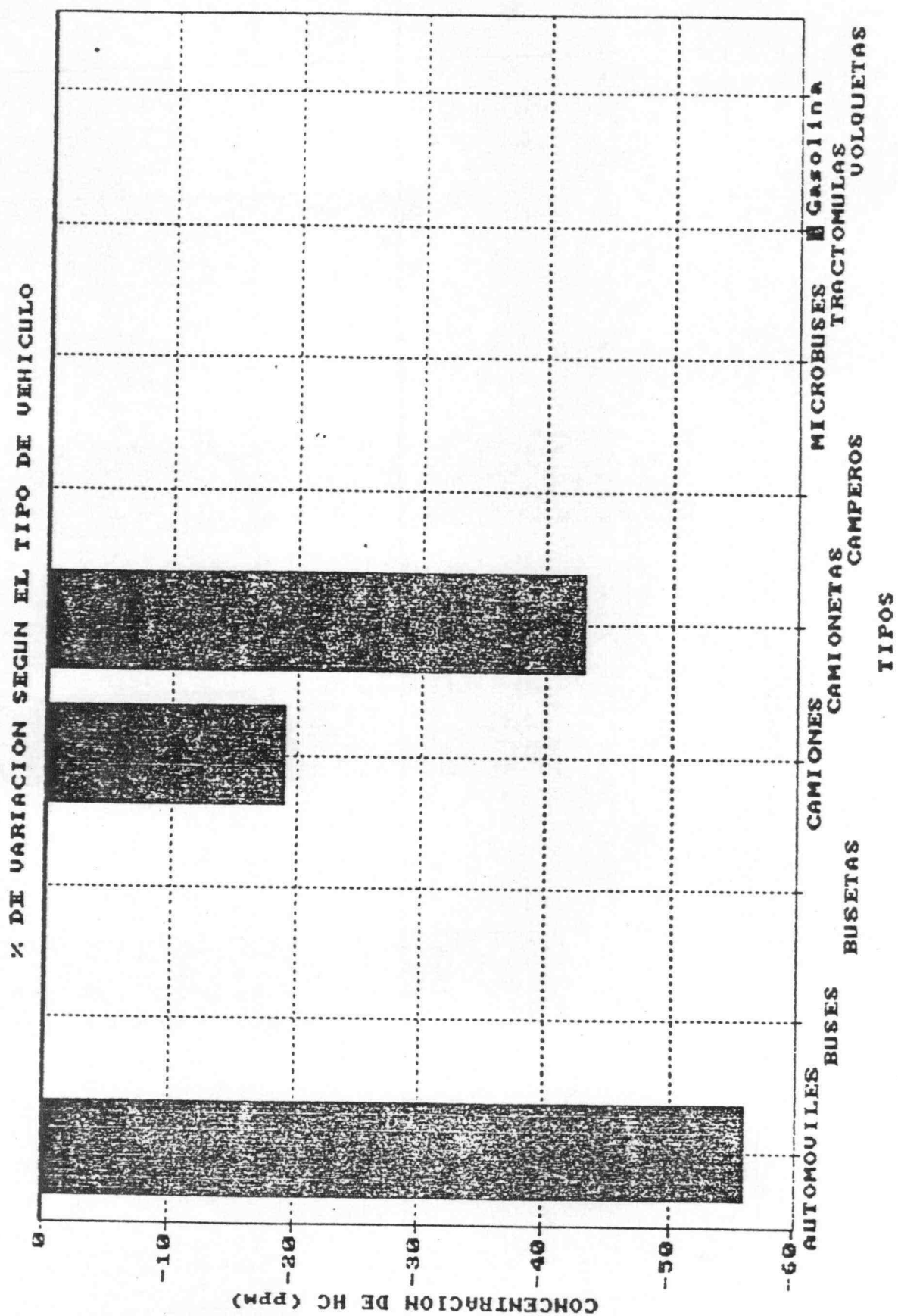
**PROGRAMA CENTROS DE DIAGNOSTICO**

**Comportamiento Gráfico por Ciudad**

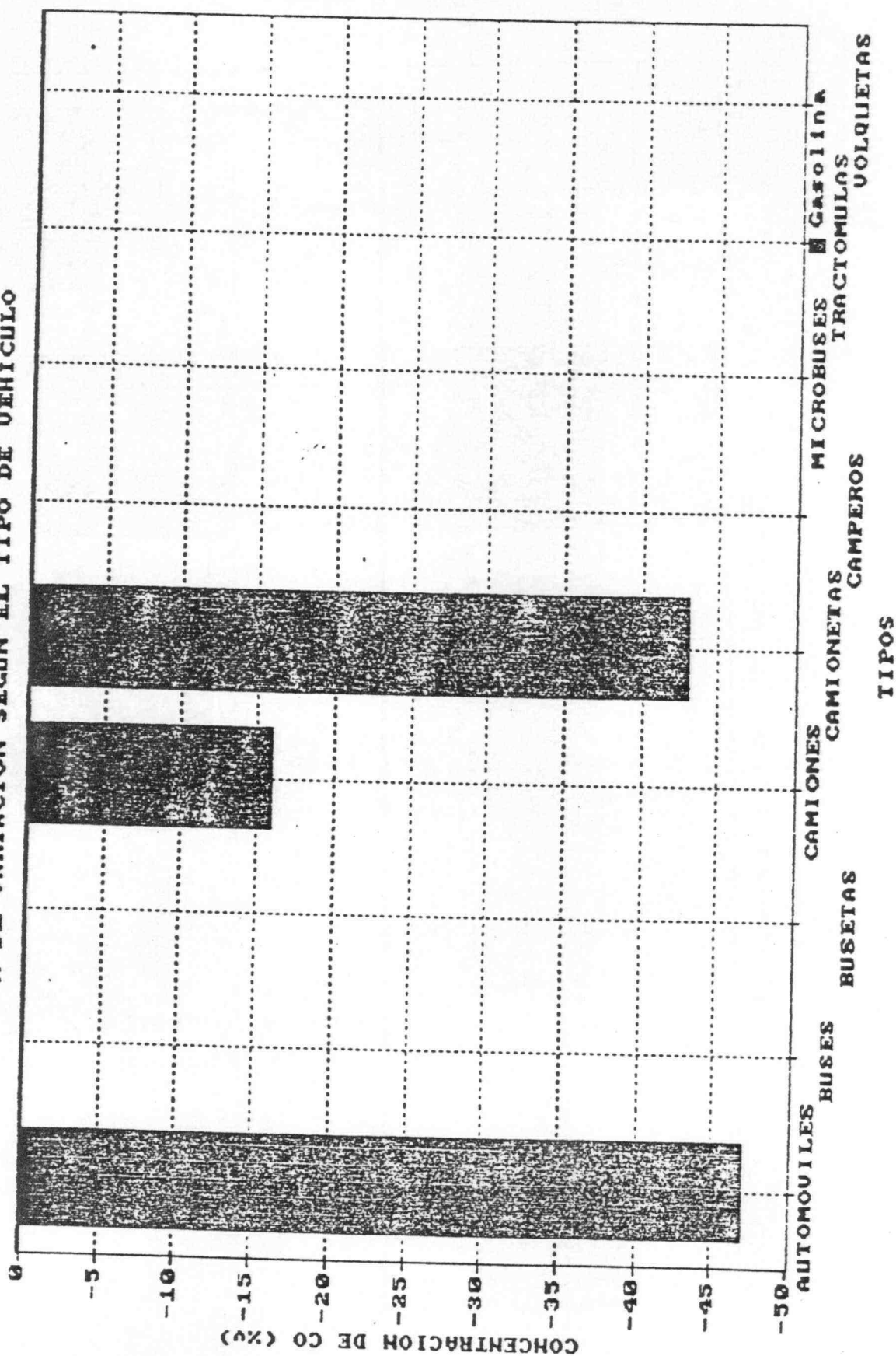
# MODELOS US CONCENTRACION - BOGOTA

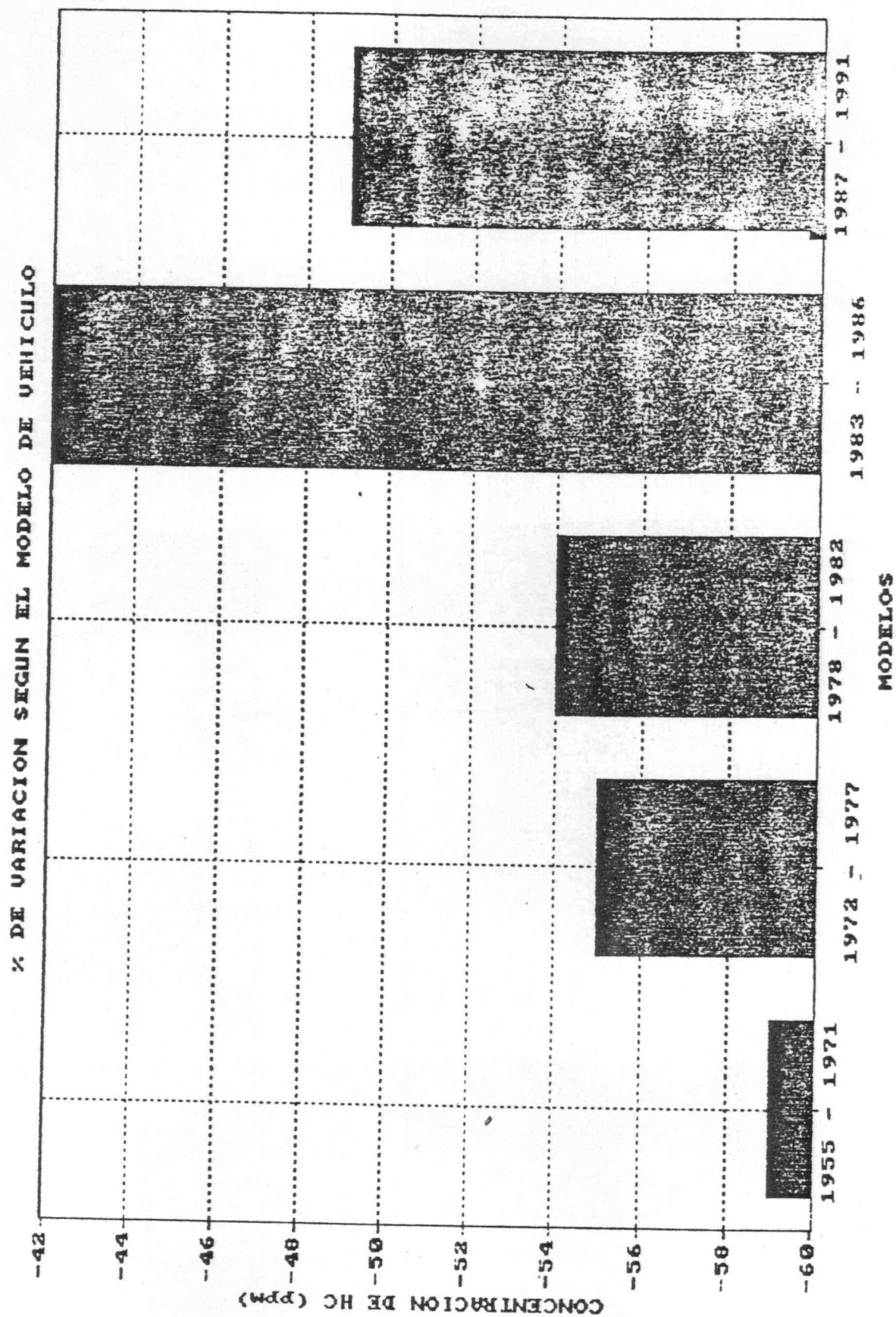




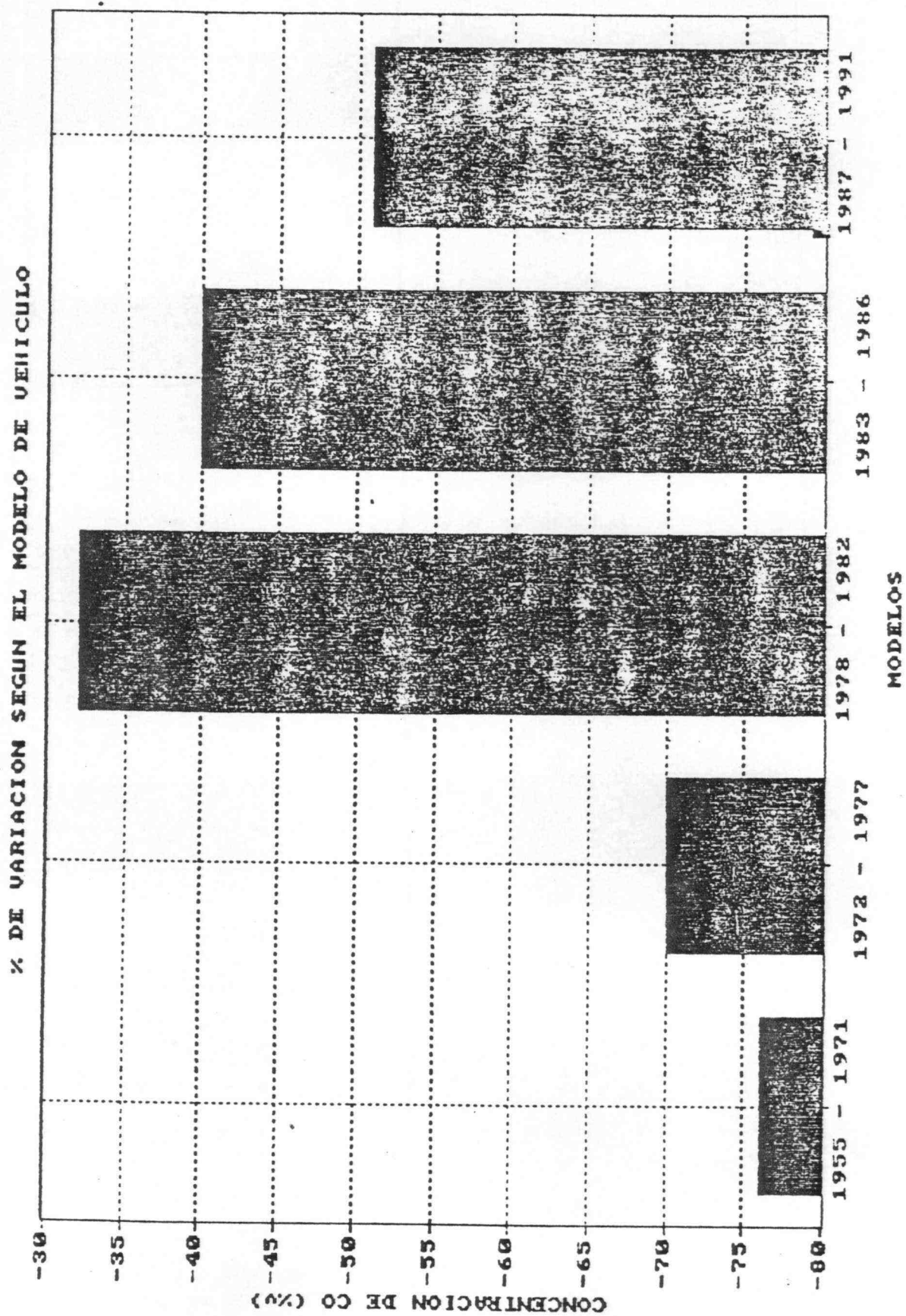


% DE VARIACION SEGUN EL TIPO DE VEHICULO

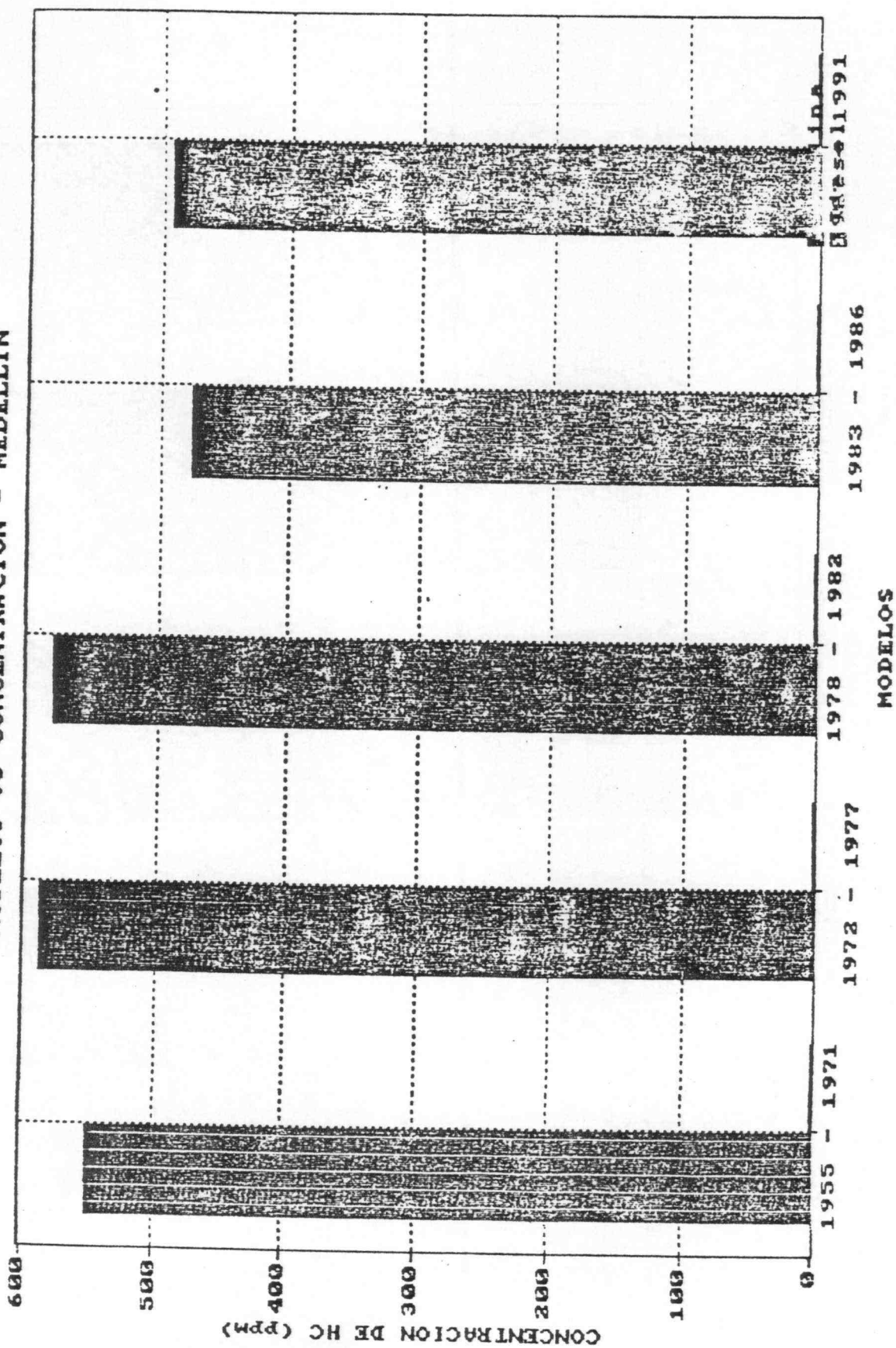






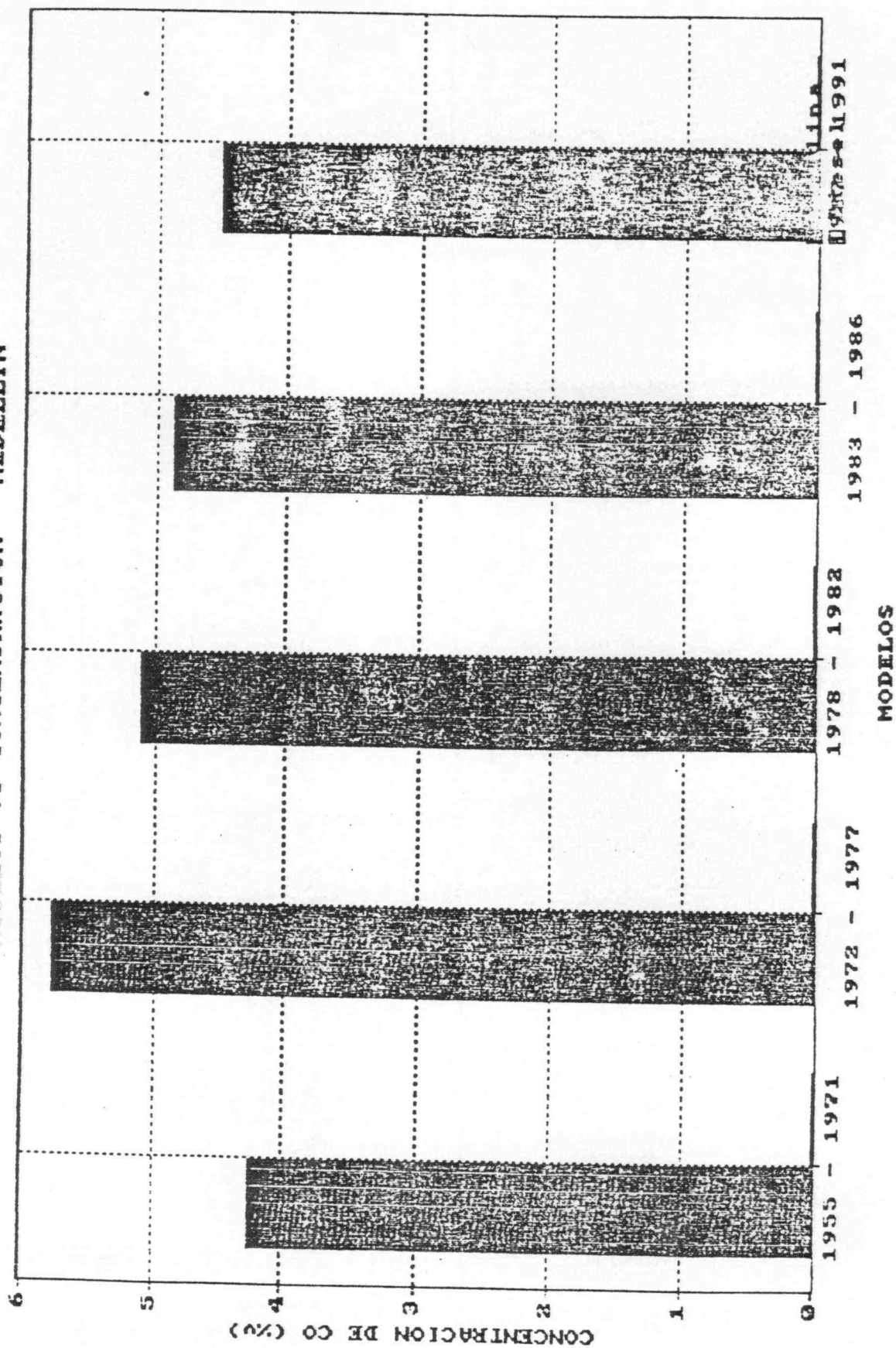


# MODELOS VS CONCENTRACION - MEDELLIN

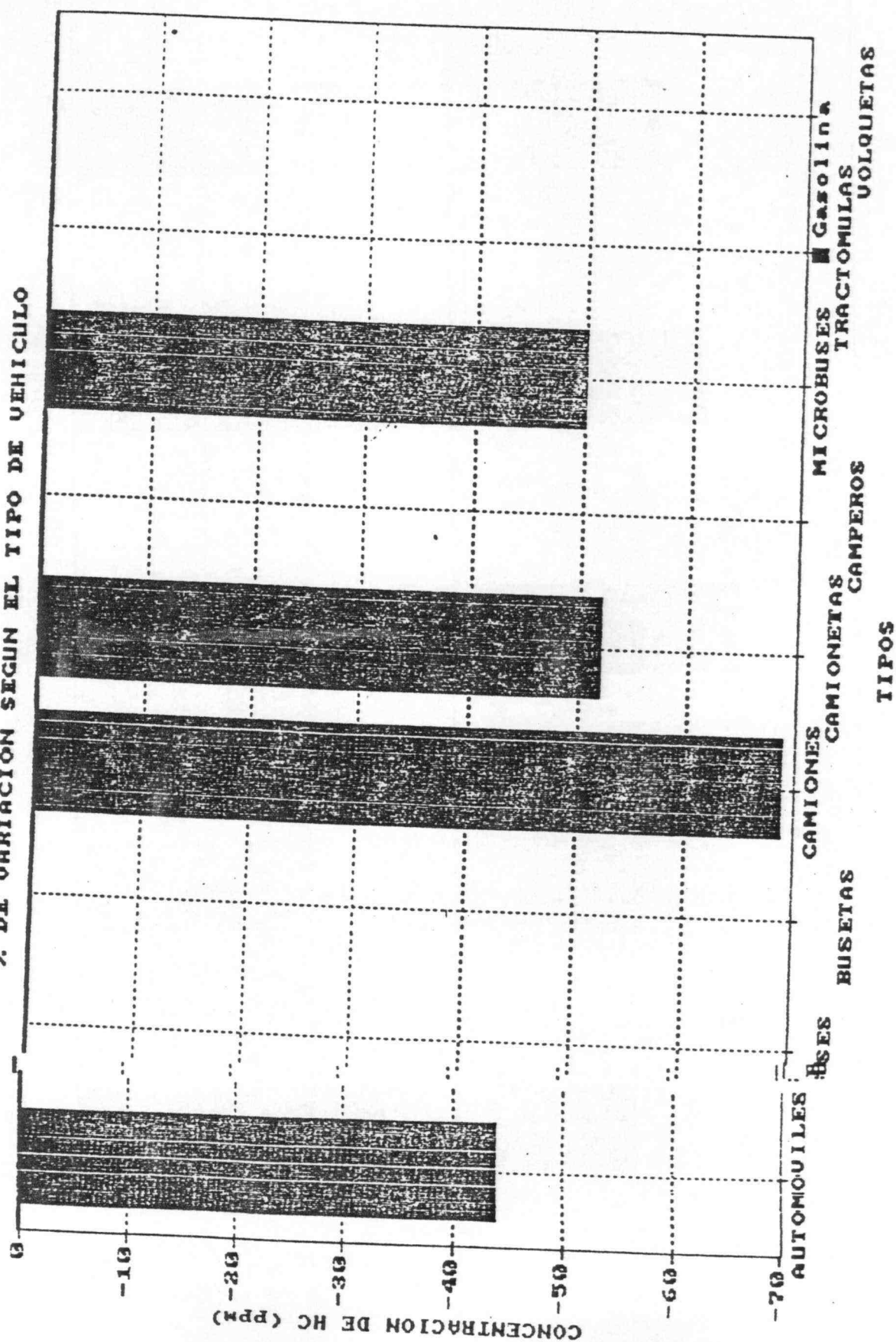




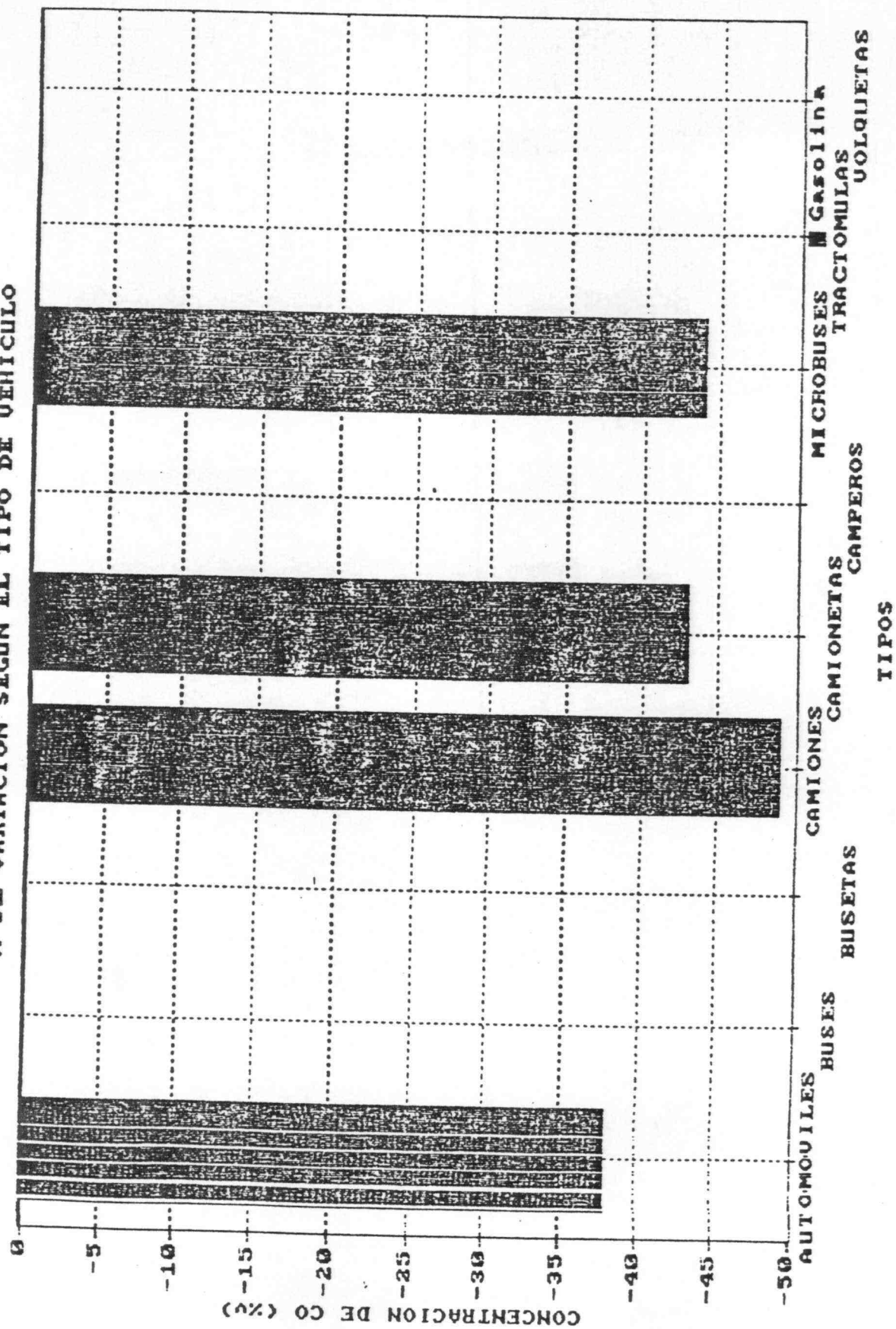
MODELOS US CONCENTRACION - MEDELLIN



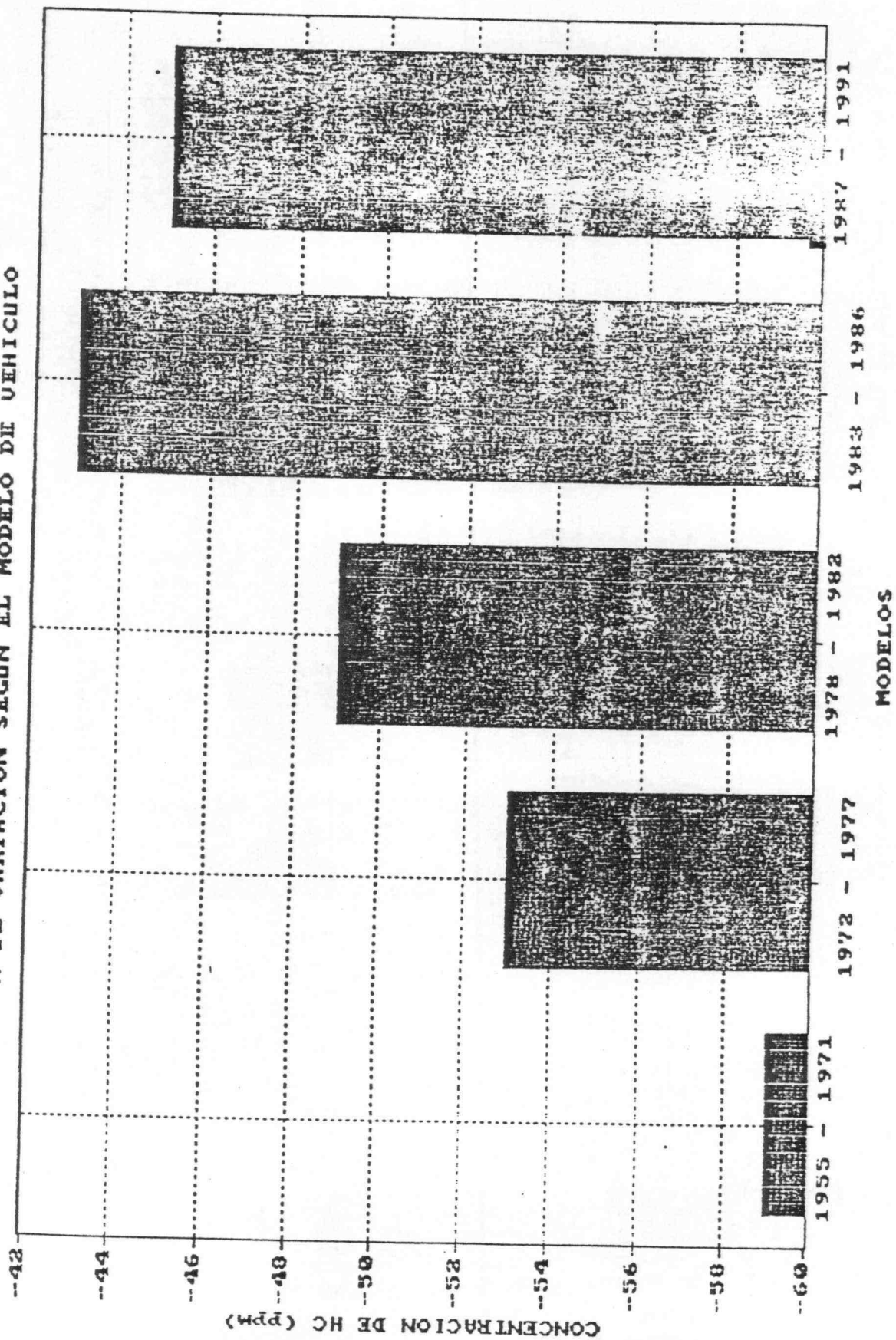
% DE VARIACION SEGUN EL TIPO DE VEHICULO



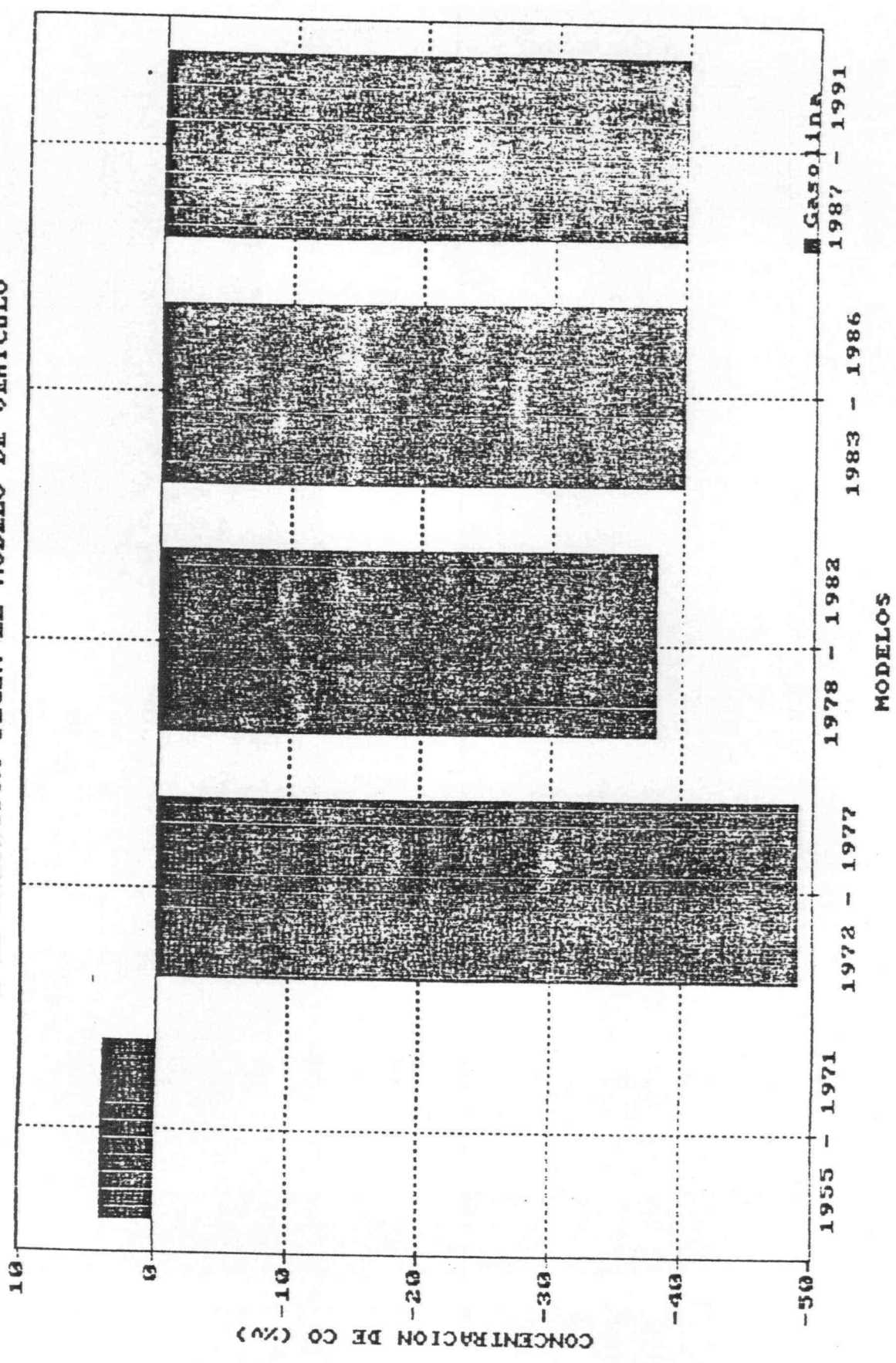
% DE VARIACION SEGUN EL TIPO DE VEHICULO



% DE VARIACION SEGUN EL MODELO DE VEHICULO

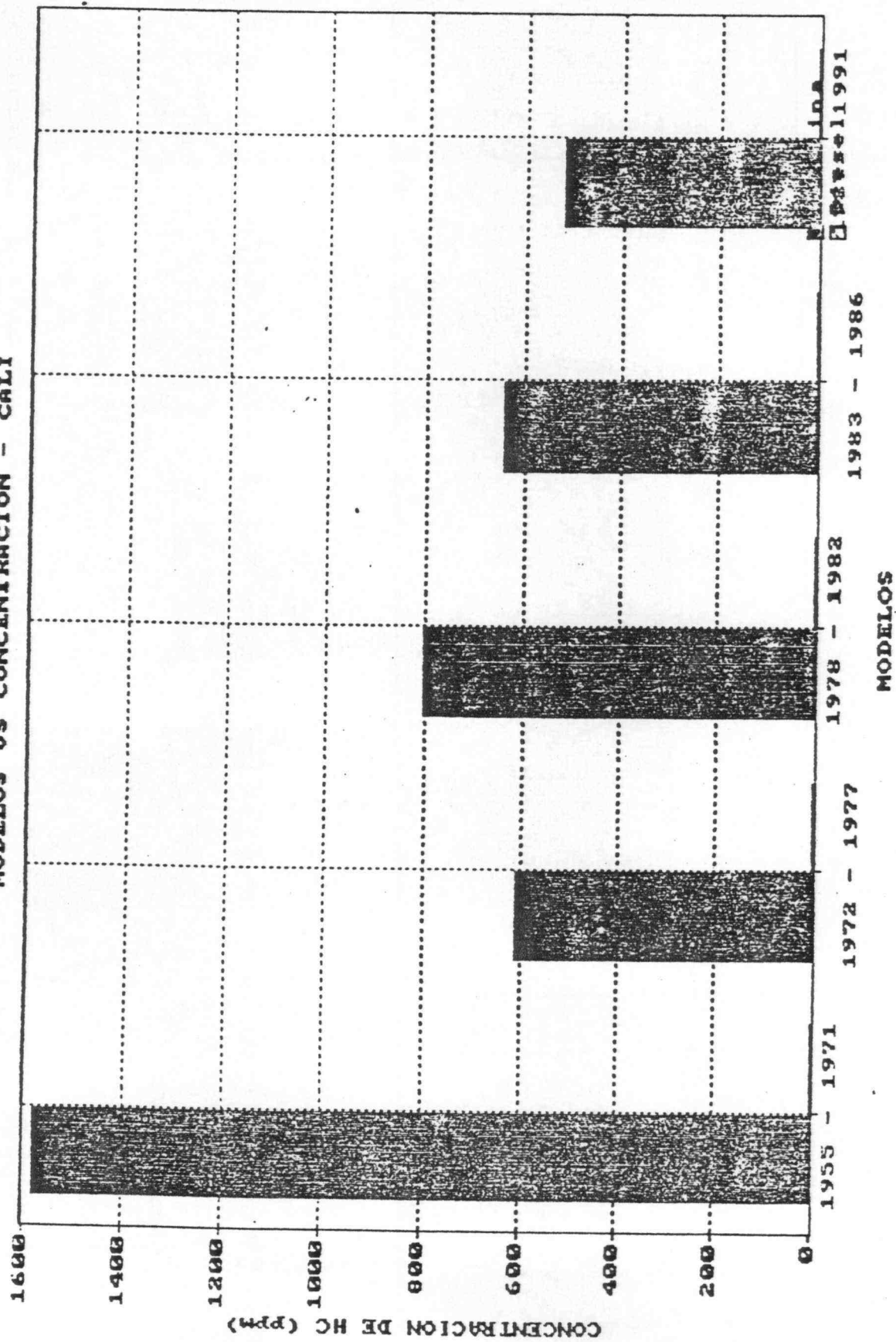


% DE VARIACION SEGUN EL MODELO DE VEHICULO

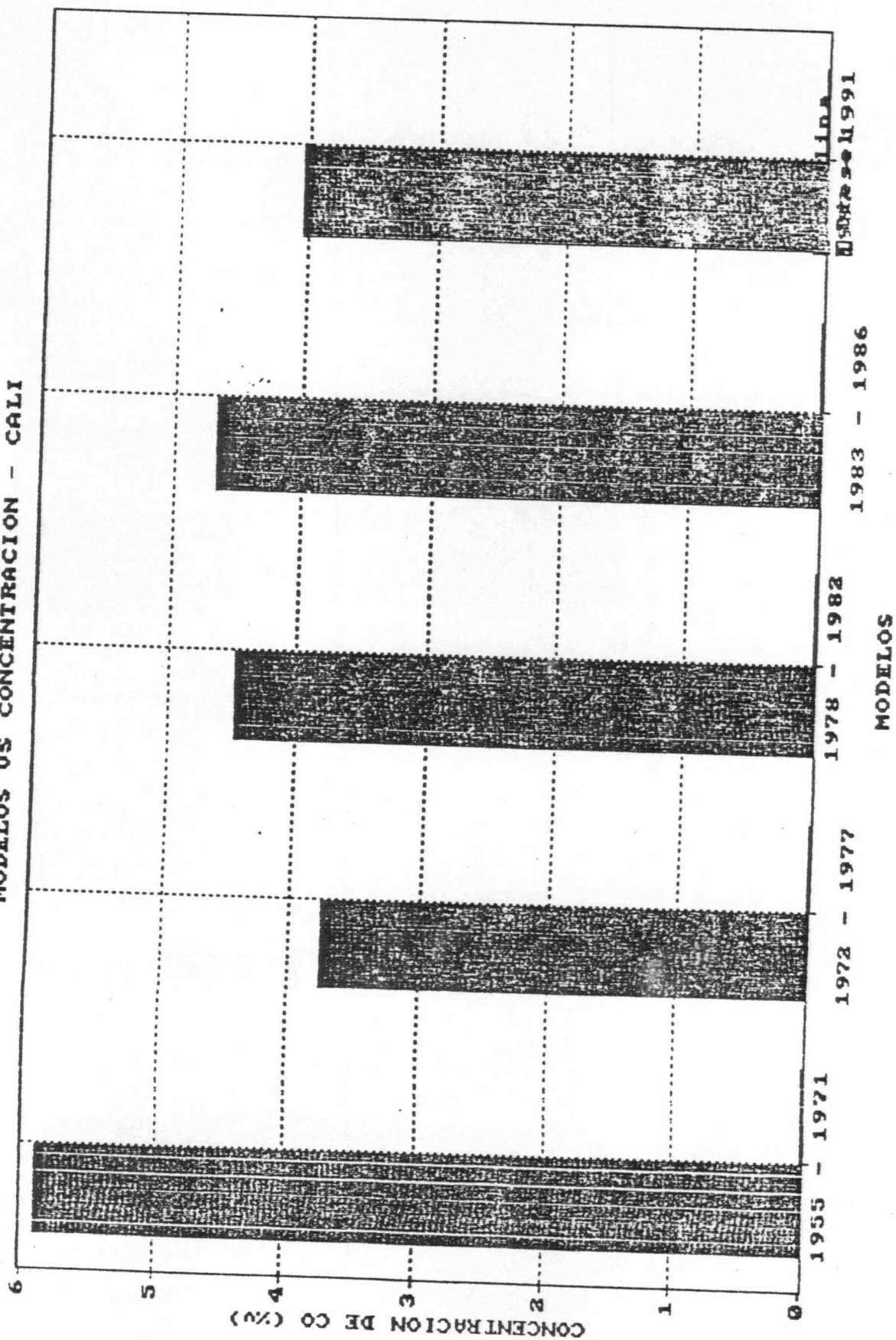




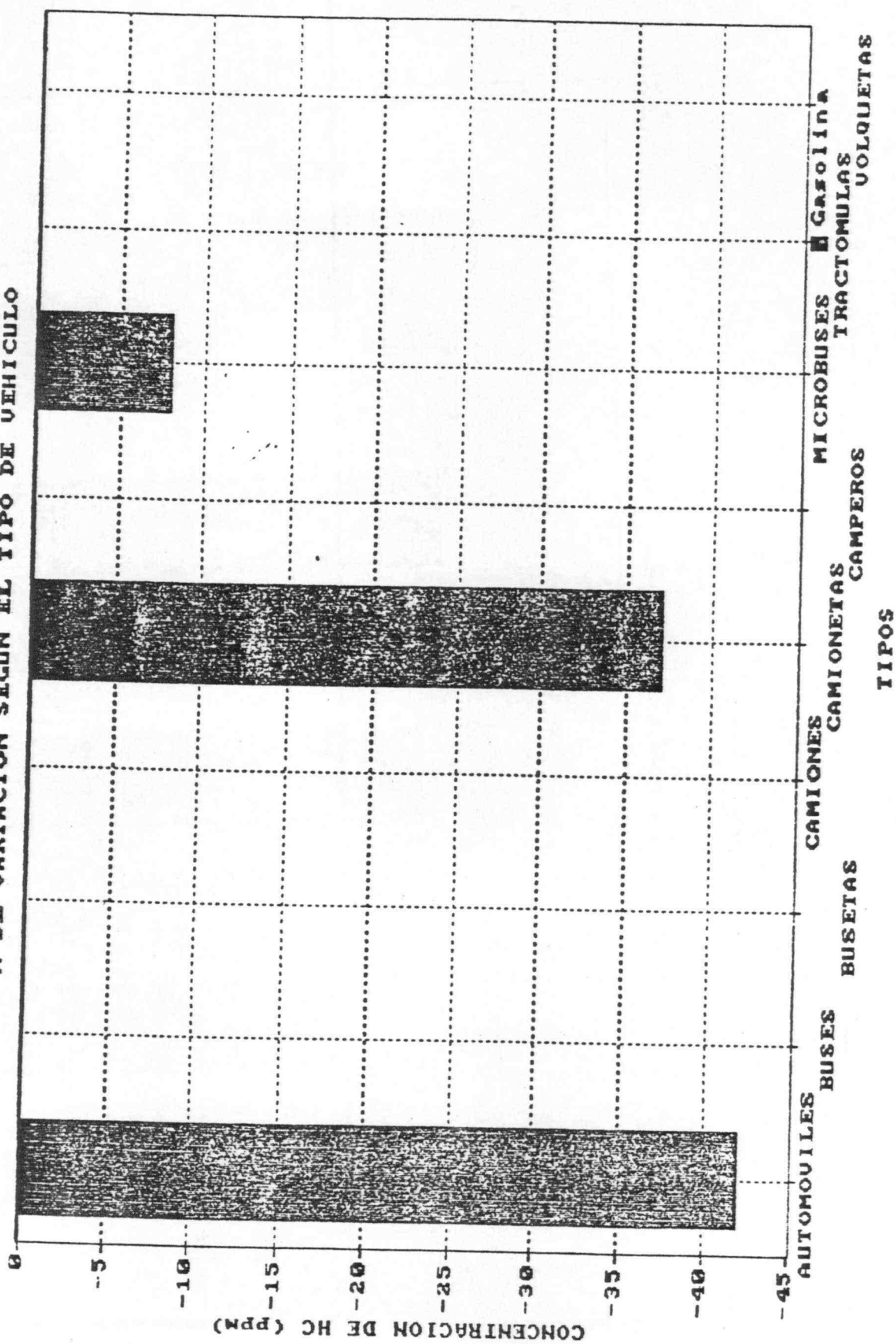
# MODELOS US CONCENTRACION - CALI



# MODELOS US CONCENTRACION - CALI

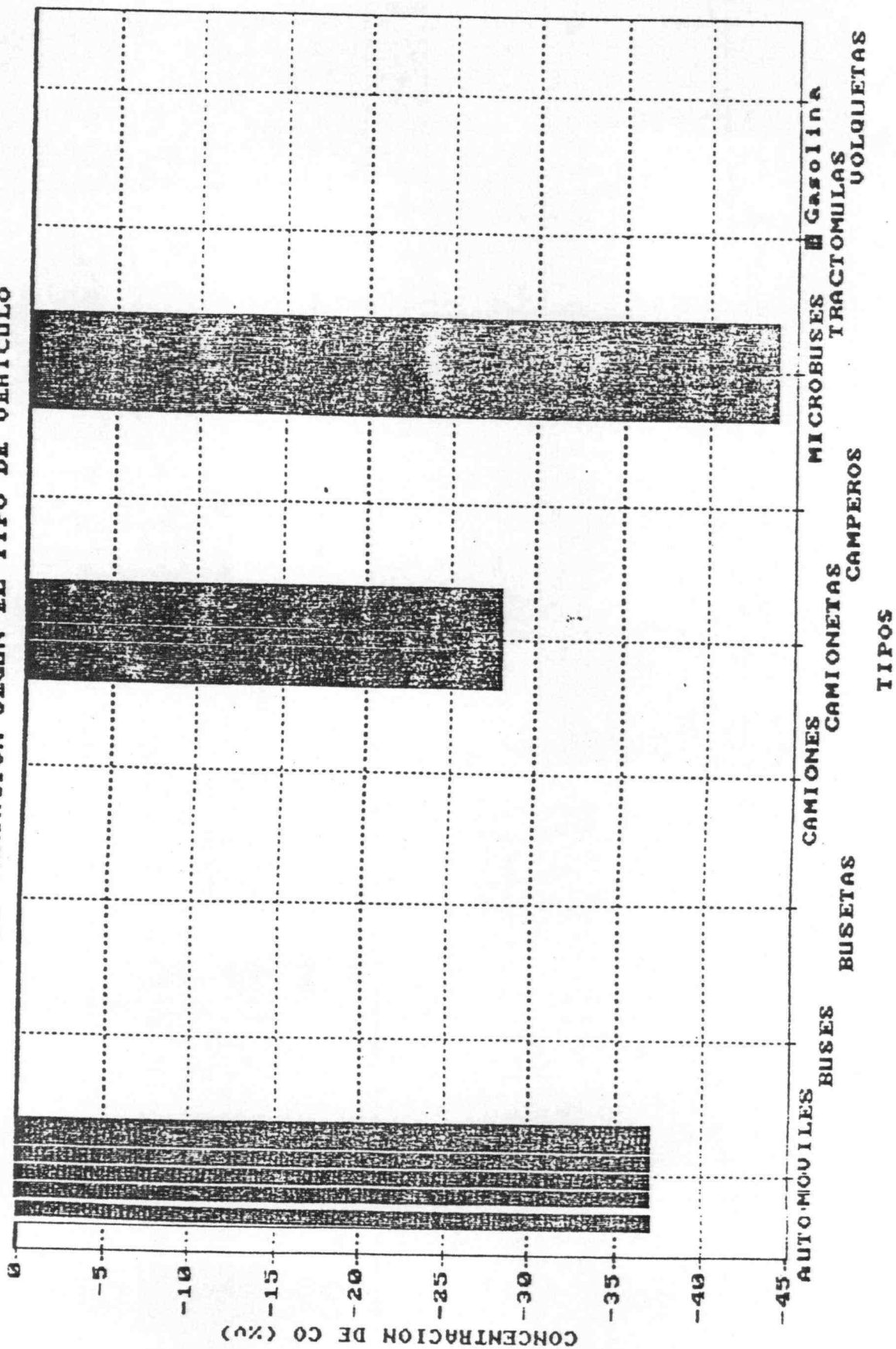


% DE VARIACION SEGUN EL TIPO DE VEHICULO

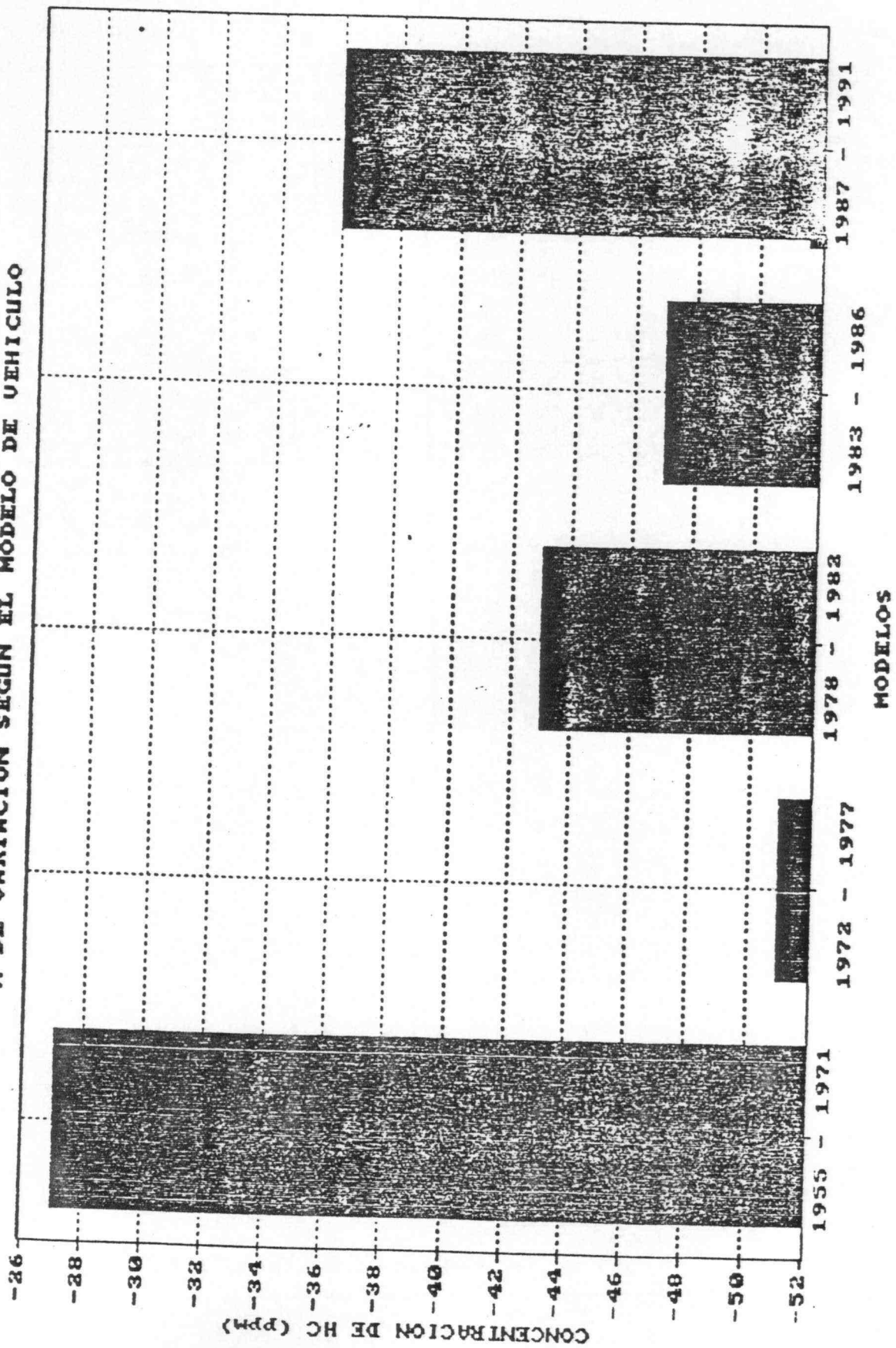




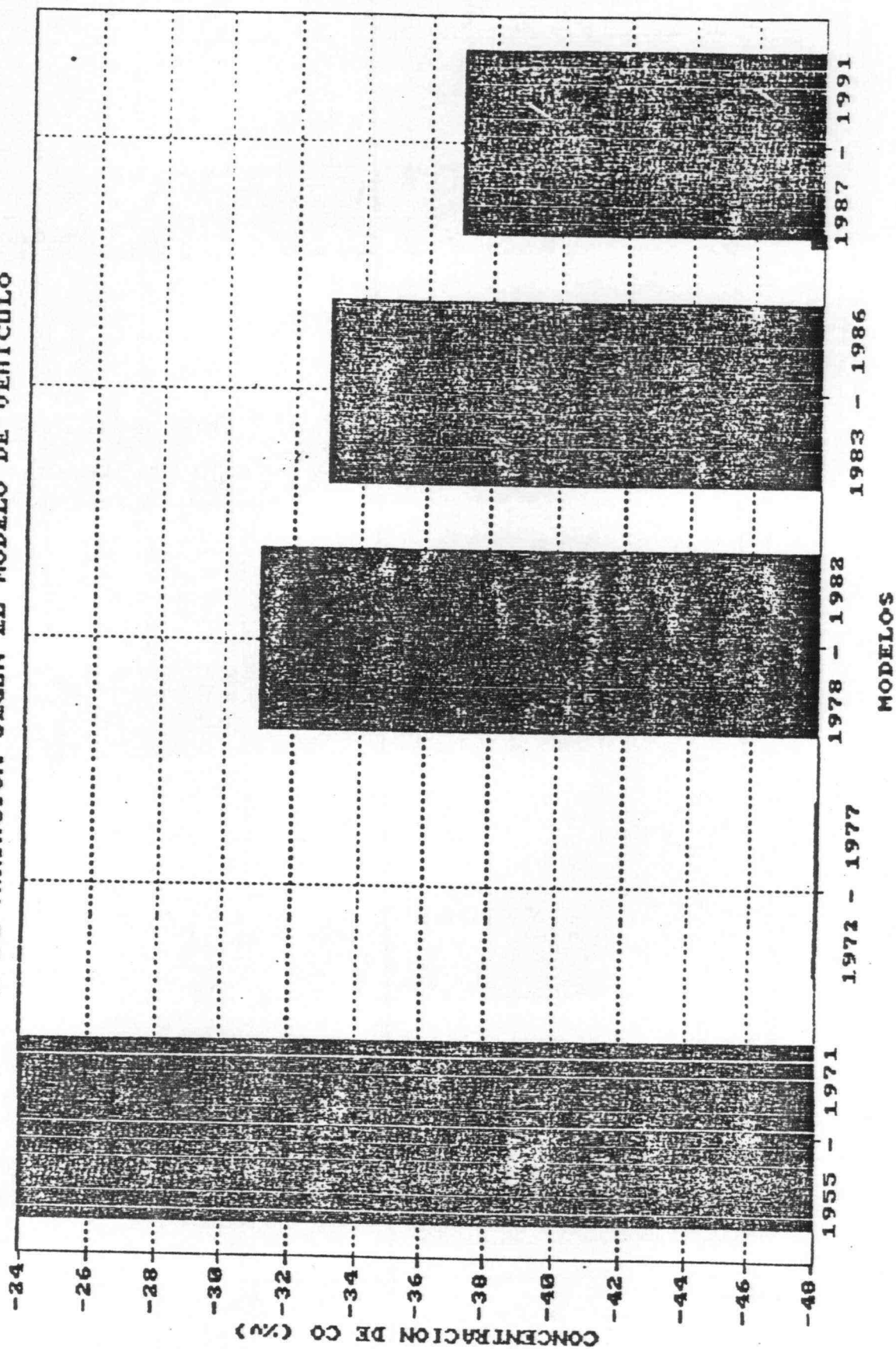
% DE VARIACION SEGUN EL TIPO DE VEHICULO



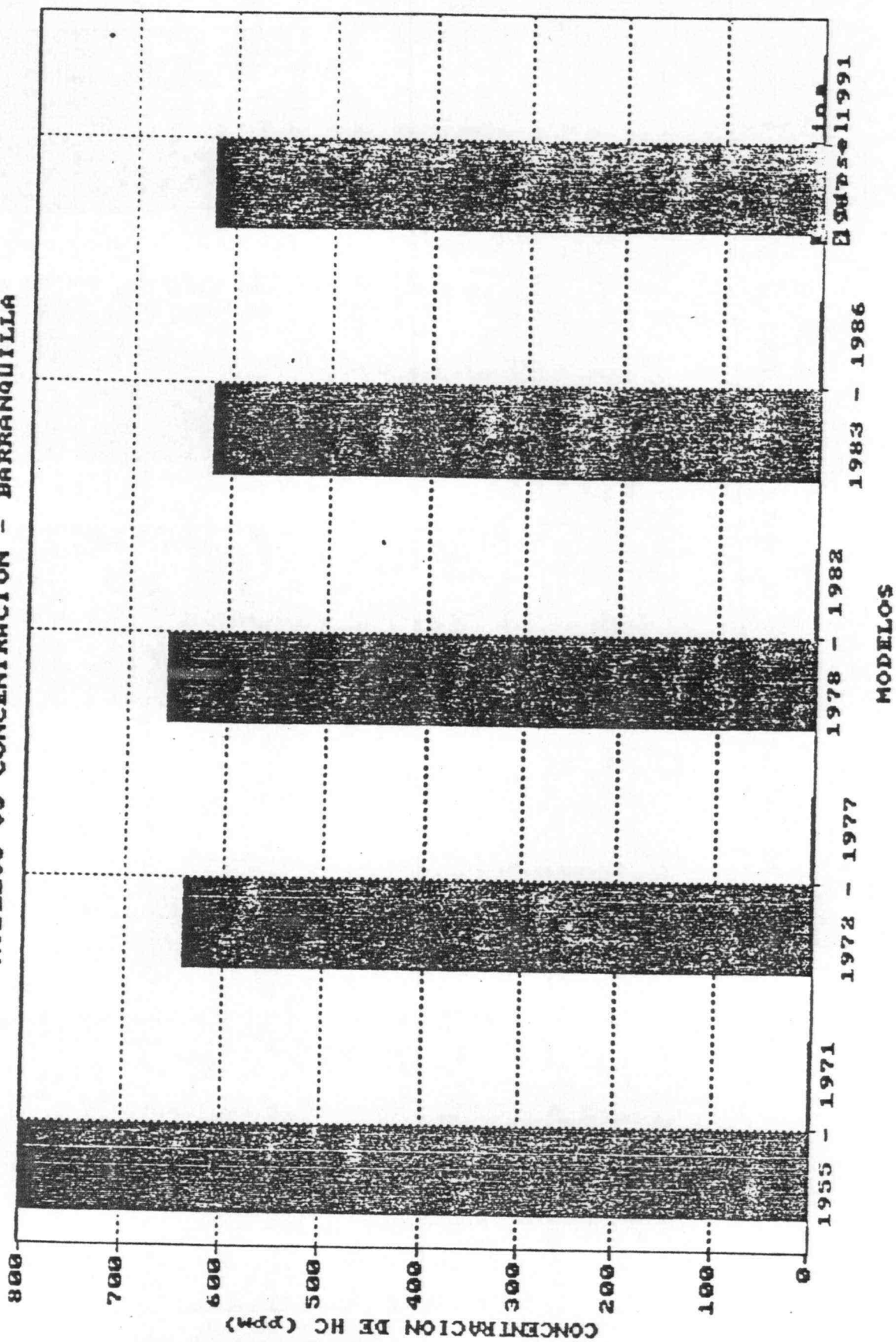
% DE VARIACION SEGUN EL MODELO DE VEHICULO



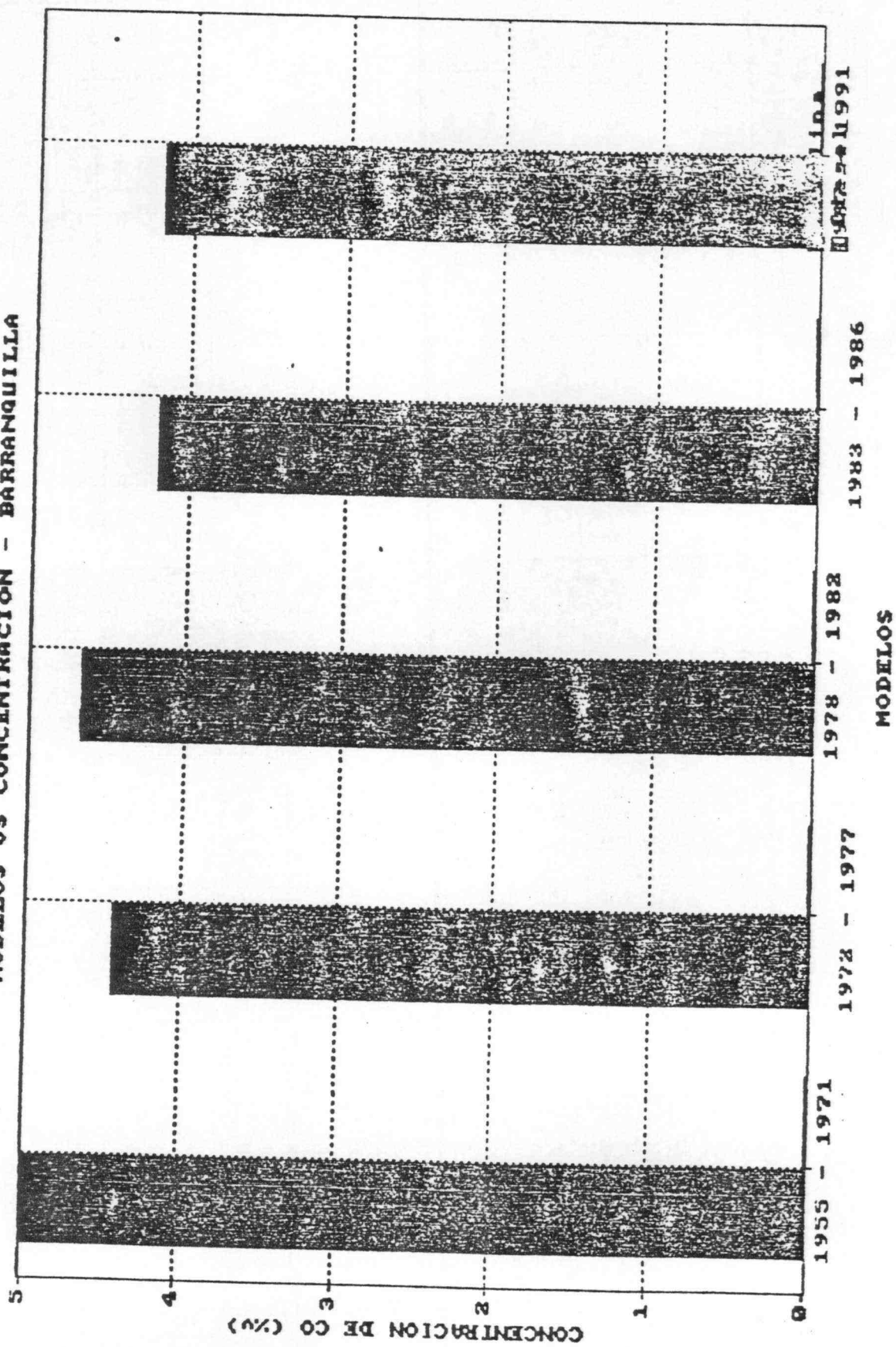
% DE VARIACION SEGUN EL MODELO DE VEHICULO



# MODELOS US CONCENTRACION - BARRANQUILLA

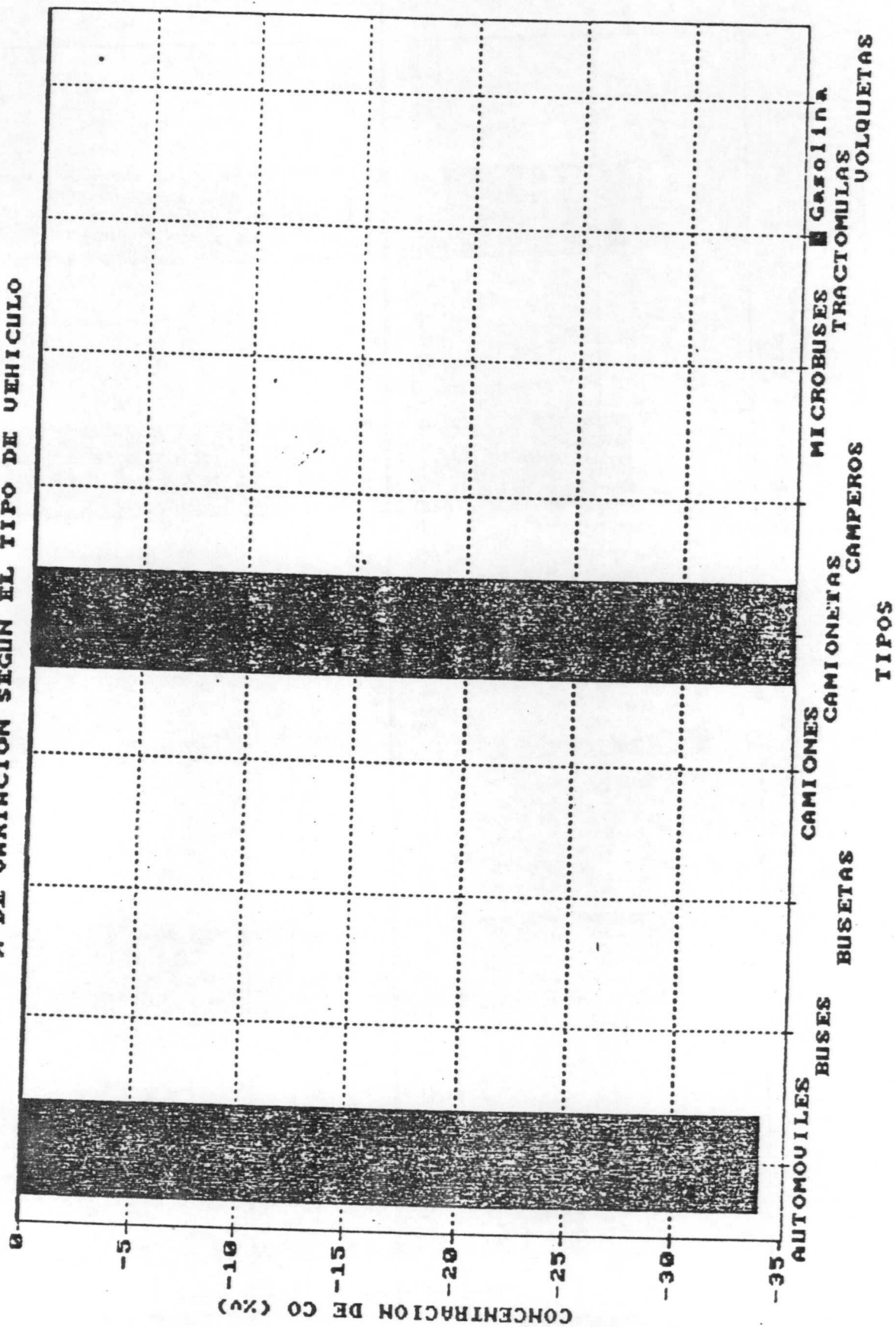


MODELOS US CONCENTRACION - BARRANQUILLA

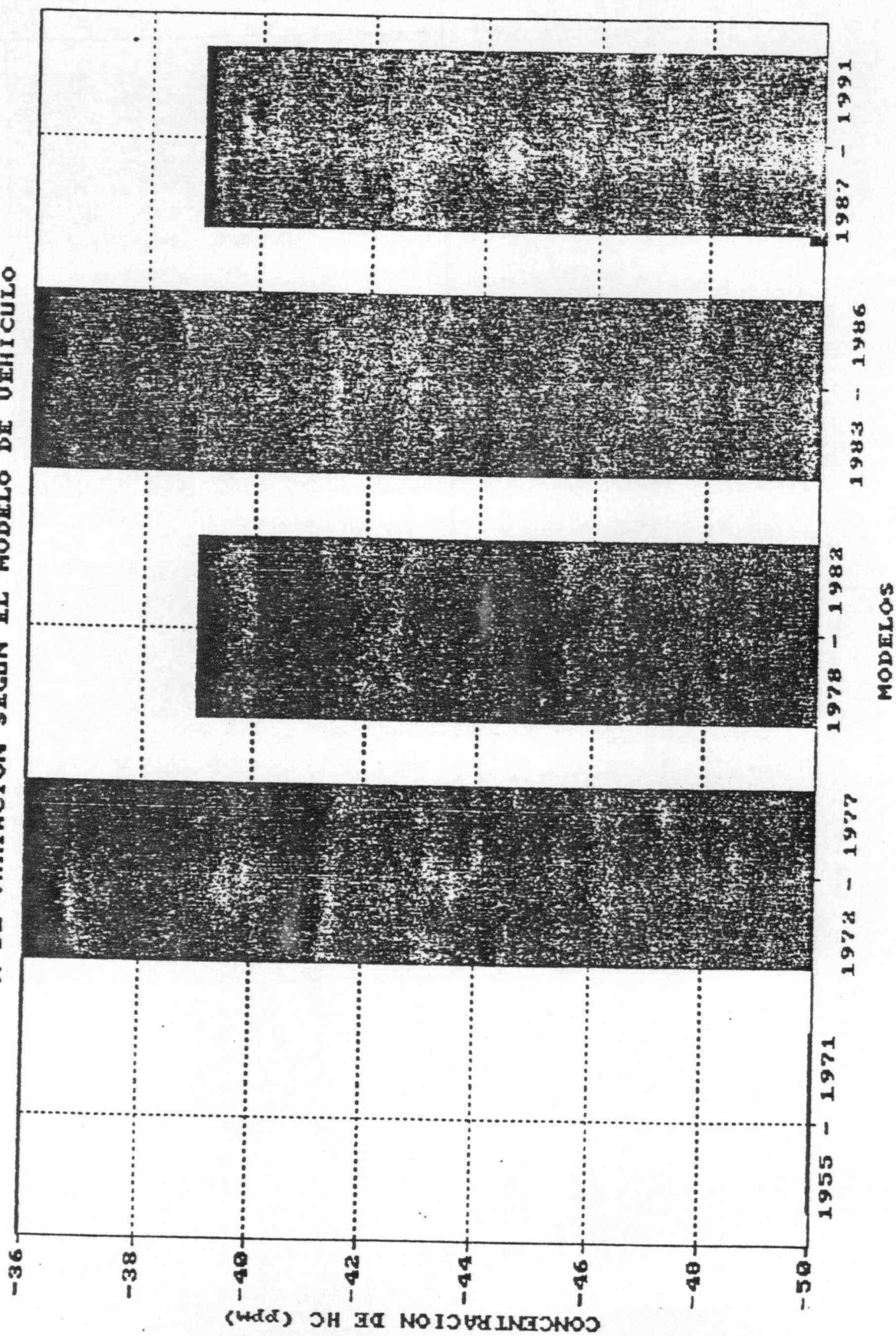




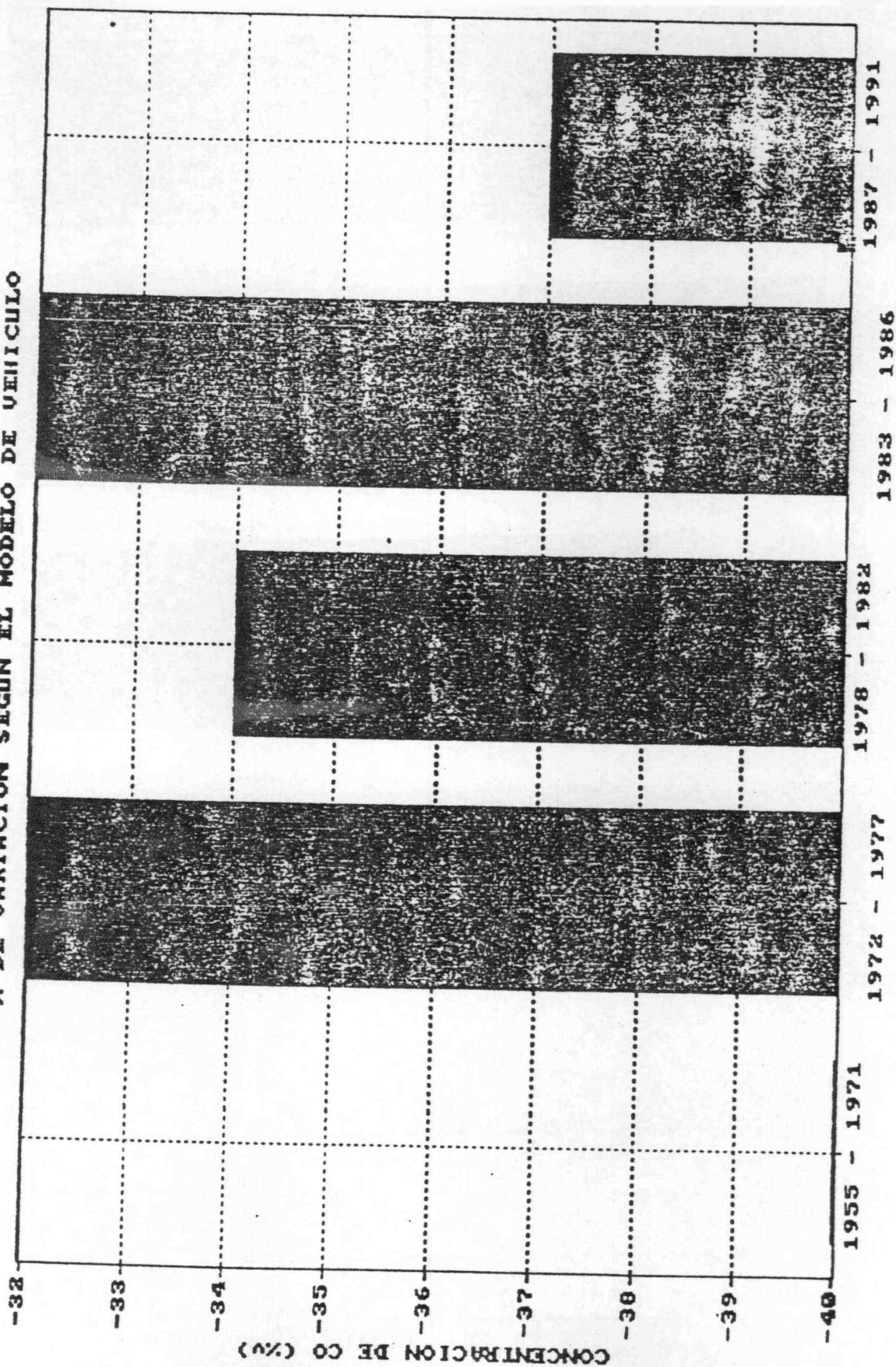
% DE VARIACION SEGUN EL TIPO DE VEHICULO



% DE VARIACION SEGUN EL MODELO DE VEHICULO



% DE VARIACION SEGUN EL MODELO DE VEHICULO



MODELOS



**A N E X O   C**

**MODELOS DE DISPERSION**

**PARA CONTAMINACION ATMOSFERICA**

**EMPRESA COLOMBIANA DE PETROLEOS**  
**VICEPRESIDENCIA DE REFINACION**  
**DIVISION TECNICA**

**CONTAMINACION POR FUENTES MOVILES**  
**MODELO DE DISPERSION CALIDAD DEL AIRE**  
**(Revisión 1)**

**Santafé de Bogotá, Abril de 1992**

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION
2. ALCANCES
3. GENERALIDADES CONTAMINACION ATMOSFERICA POR AUTOMOTORES
4. MODELACION MATEMATICA
  - 4.1 CLASES DE MODELOS
  - 4.2 NIVEL DE SOFISTICACION
  - 4.3 MODELOS MAS UTILIZADOS
    - 4.3.1 MODELOS PUNTUALES PARA  $SO_x$  Y PARTICULAS
    - 4.3.2 MODELOS PARA FUENTES PUNTUALES EN TERRENO COMPLEJO
    - 4.3.3 MODELOS PARA FUENTES MULTIPLES AREAS URBANAS
    - 4.3.4 MODELOS PARA MONOXIDO DE CARBONO
    - 4.3.5 MODELO PARA  $NO_x$
    - 4.3.6 MODELO PARA EMISIONES FUGITIVAS
  - 4.4 INFORMACION REQUERIDA PARA UN MODELO
    - 4.4.1 DATOS DE LA FUENTE
      - 4.4.1.1 Datos de una fuente puntual simple.
      - 4.4.1.2 Datos de una fuente líneal.
  - 4.5 INFORMACION METEOROLOGICA
  - 4.6 CONCENTRACION DE FONDO (BACKGROUND)
  - 4.7 CALIBRACION Y EVALUACION DE MODELOS
  - 4.8 EXACTITUD DE LOS ESTIMATIVOS

5. ALTERNATIVAS DE SELECCION PARA EL MODELO DE  
FUENTES MOVILES

5.1 APRAC

5.2 APRAC-3

5.3 CALINE-3

5.4 HIWAY

5.5 HIWAY-2

## 1. INTRODUCCION.

En la lucha por prevenir y reducir la contaminación atmosférica, se han ensayado y puesto en práctica múltiples estrategias, principalmente en Estados Unidos y Europa Occidental. En los últimos años se ha prestado atención a la contaminación producida por el parque automotor y a la aplicación de reglamentos sobre emisión de contaminantes. Esto nos lleva a pensar en la aplicación de medidas semejantes que impliquen uso de combustibles limpios, mejoramiento en los dispositivos de combustión, tratamiento de gases de salida, etc.

Bajo este esquema, la Empresa Colombiana de Petróleos se encuentra adelantando conjuntamente con el Departamento Nacional de Planeación, un proyecto de evaluación de calidad de aire por contaminación de fuentes móviles, en las ciudades de Santafé de Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla.

El objetivo de este documento, es proporcionar las bases para la adecuación e implantación de un modelo matemático, que permita configurar un programa de calidad de aire por efecto de contaminación por fuentes móviles.

Este documento presenta inicialmente algunas generalidades sobre contaminación por fuentes móviles, consideraciones sobre utilización de modelos de dispersión y finalmente se dan lineamientos para la estructuración de un modelo matemático específico para fuentes móviles.

## 2. ALCANCES.

La Empresa Colombiana de Petróleos está interesada en contratar la conformación y ejecución de un modelo de calidad de aire para evaluar contaminación originada por fuentes móviles en las ciudades de Santafé de Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla. Esta herramienta permitirá diseñar mecanismos de seguimiento y control a la calidad del aire ambiente en dichas ciudades.

Específicamente la utilidad del modelo de dispersión debe permitir hacer evaluaciones de condiciones críticas, evaluar diferentes sitios de la ciudad en estudio, formular estrategias de control, determinar impactos, formular acciones de mitigación y promover mecanismos de <sup>planificación</sup> ~~planeación~~ ambiental.

Para la estructuración y validación del modelo de dispersión, además de estudios promovidos por otras

entidades, ECOPETROL cuenta con un diagnóstico por contaminación urbana para cada ciudad en estudio, a partir del cálculo de gases de combustión (exhosto), estimativo de emisiones evaporativas, y efectos de la sincronización según evaluación efectuada en varias servitecas de las ciudades en estudio.

### **3. GENERALIDADES SOBRE CONTAMINACION ATMOSFERICA POR AUTOMOTORES.**

Las actividades de transporte urbano (colectivo, particular, industrial, comercial) han creado serios problemas sanitarios en las ciudades por efecto de la contaminación del aire en todas sus formas (gases, partículas, ruido y calor).

Los principales parámetros que definen el problema ambiental urbano por automotores son:

- a) La geografía y zonificación de la ciudad, ya sea comercial, industrial, residencial o recreativa. El volumen y velocidad de parque automotor, así como también las características de las vías (arterias, calles, carreras, vías de acceso y autopistas).
- b) El factor horario, dependiendo de la zona, es otro

elemento importante ya que durante las horas pico (8am, 12m, 6pm) se presenta un mayor movimiento del parque automotor y una disminución de la velocidad media.

- c) El tipo de vehículo es importante ya que su frecuencia y hora de uso del automotor están internamente ligados al carácter del transporte, sea éste público o privado. Así los buses y taxis en movimiento permanente crean un problema de contaminación continua, mientras que los vehículos particulares lo agravan principalmente en las horas pico.

Las características de peso, capacidad de transporte, tipo de combustible, estado de funcionamiento del motor y el hábito de manejo del conductor, también son igualmente importantes.

- d) La meteorología de la ciudad, la cual comprende:
- Dirección, intensidad y frecuencia de los vientos intervienen en la dilución de los contaminantes gaseosos y partículas en suspensión.



- Radiación solar la cual depende de la presencia de nubes, estaciones, etc. El efecto solar es muy importante en la formación del "smog fotoquímico"
- El aspecto geométrico de la ciudad y sus contornos geográficos. La presencia de montañas ocasiona importantes variaciones en los patrones de circulación del viento. Así mismo las edificaciones pueden ocasionar a menor escala cambios en la circulación del aire en las calles, encerramiento del ruido, y aumento de la temperatura del aire.

#### **4. MODELACION MATEMATICA.**

El objetivo de este capítulo es proporcionar, información de referencia y análisis para la aplicación de modelos de dispersión, que sirva para seleccionar un modelo aplicable a las necesidades del estudio en referencia. La decisión sobre si un modelo se puede usar de manera adecuada para la evaluación del impacto que genera una fuente y sus estrategias de control, se deberá hacer teniendo en cuenta:

- El nivel de detalle y la precisión de la base de datos utilizada.

- La complejidad de la meteorología y la topografía del área en estudio.
- La competencia de los técnicos para entender la simulación que se hace con el modelo.
- Los recursos disponibles.

La base de datos requerida para el desarrollo de un modelo de dispersión incluye, información de la fuente generadora, datos meteorológicos y calidad del aire. Se debe contar con datos experimentales antes de aplicar un modelo, de tal forma que permita su posterior validación.

#### **4.1 CLASES DE MODELOS.**

Los modelos de calidad del aire que se mencionan a continuación pueden ser clasificados en cuatro (4) categorías: Gaussianos, numéricos, estadísticos o empíricos y físicos. Dentro de estas categorías existe un gran número de algoritmos de cómputo, los cuales tienen su propia aplicación.

Mientras cada uno de estos algoritmos tiene la misma base genérica (gaussiana), se acepta en la práctica corriente

referirse a ellos como modelos individuales. Ejemplo de lo anterior son los modelos CRSTER y RAM referidos como modelos individuales, aunque se sabe que ellos son variaciones del modelo gaussiano básico. En muchos casos, las diferencias reales entre un modelo y otro son el grado de detalle considerado en los datos de entrada y salida.

Los modelos Gaussianos son los más utilizados para estimar el impacto causado por la emisión de contaminantes no reactivos.

Los modelos numéricos son más apropiados que los gaussianos para las aplicaciones en fuentes múltiples que involucran contaminantes reactivos, sin embargo requieren una base de datos de entrada más extensa y no son ampliamente utilizados.

Las técnicas estadísticas o empíricas son frecuentemente empleadas en situaciones donde no existe un adecuado entendimiento científico del proceso físico y químico, o cuando se carece de una base de datos, lo cual hace que el modelo gaussiano o numérico se vuelve impráctico.

Los modelos físicos involucran el uso de un tunel de viento u otras facilidades que permitan simular condiciones de flujo de fluidos. Este tipo de modelaje es un proceso complejo, en donde se requiere un alto nivel de conocimiento. Aún así los modelos físicos pueden ser muy útiles en un área limitada a pocos kilómetros cuadrados.

#### **4.2 NIVEL DE SOFISTICACION DE LOS MODELOS.**

Para los diferentes modelos conocidos, se consideran dos (2) niveles de sofisticación. El primer nivel consiste en una técnica simple de estimación del impacto sobre la calidad del aire que causa una fuente de emisión o un conjunto de las mismas. Si este nivel permite establecer que la concentración aportada por la fuente excede el nivel permisible, será necesario aplicar un segundo nivel de modelo más sofisticado.

El segundo nivel consiste en técnicas que proveen más detalle y tratamiento del proceso físico-químico de la atmósfera, requieren mayor nivel de detalle en los datos de entrada, pero generan unos estimativos de concentración más reales sobre el área en estudio y sobre la efectividad de las medidas de control.

#### **4.3 MODELOS MAS UTILIZADOS.**

Aunque existe una gran disponibilidad de modelos de dispersión, es de señalar, que a pesar del número de estudios que se han desarrollado, ellos todavía no pueden ser aceptados como un estándar del comportamiento y de la evaluación de la calidad del aire en cada caso.

##### **4.3.1 Modelos puntuales para dióxido de azufre y partículas.**

Los modelos gaussianos son de amplia utilización para estimar las concentraciones de dióxido de azufre y material particulado. Para fuentes puntuales, se sugieren dos niveles de sofisticación en los modelos a emplear. El primero está compuesto por los modelos que pueden proveer una estimación preliminar de las concentraciones; si el análisis demuestra que se excede el incremento permisible en la calidad del aire, la fuente debe ser objeto de un análisis más refinado.

Para situaciones en terrenos planos que no tienen complejidad meteorológica, existen varias publicaciones y modelos computarizados que pueden ser utilizados.

Cuando se requiere un mayor análisis y no existe problemas de topografía abrupta o limitantes en información meteorológica, el modelo CRSTER, (Single

Source Model), el MPTEP (The multiple point gaussian algorithm with terrain adjustments), el ISC (the industrial source complex), o el RAM (the gaussian plume multiple source air quality algorithm) son recomendados dependiendo de la naturaleza de su aplicación.

EL CRSTER, es recomendado para fuentes puntuales en áreas rurales, donde existe una chimenea o las emisiones de un grupo de ellas se pueden asumir como si ocurrieran en un mismo sitio. Si las chimeneas están ampliamente espaciadas o existen fuentes múltiples a considerar en una zona rural, se recomienda el modelo MPTEP. Si la fuente está localizada en un área urbana, se recomienda el modelo RAM.

Para el caso de fuentes con configuraciones complejas que no permitan simularlas como fuentes puntuales es recomendable emplear el modelo ISC ya sea en localizaciones rural o urbana.

Generalmente se considera al modelo CRSTER como el más adecuado para aplicaciones en zonas rurales. EL MPTEP y el ISC proveen esencialmente el mismo estimativo para una fuente simple y puntual tal como hace el CRSTER.

#### 4.3.2. Modelos para fuentes puntuales en terreno con topografía compleja.

Aunque la necesidad de un modelo refinado para terreno complejo es reconocida desde hace varios años, este tipo de modelo no ha sido desarrollado aún. La necesidad de una base de datos externa y el conocimiento del comportamiento de las variables atmosféricas en las cercanías del terreno complejo, dificultan el desarrollo de un modelo refinado. Esto se complica más por el hecho de que cada terreno complejo se considera como único.

Debido a lo anterior, hasta tanto no se tenga bien documentado el comportamiento de las plumas en terreno complejo y no se construya y desarrolle un nuevo modelo, se seguirán usando las adaptaciones de los algoritmos existentes a esta clase de terreno.

El modelo VALLEY es la técnica más empleada para terreno complejo y determina concentraciones promedio anual y promedio cada 24 horas. Este modelo se debe usar con las siguientes restricciones para el cálculo en 24 horas.

- \* Estabilidad tipo F, según Pasquill y Gifford.
- \* Velocidad de viento de 2.4 m/s.

- \* Seis (6) horas de ocurrencia en un período de 24 horas.

#### 4.3.3. Modelos para fuentes múltiples urbanas de dióxido de azufre y material particulado.

Debido a la complejidad de la mayoría de fuentes múltiples y a la amplia aceptación de varios modelos, el proceso de "Screening" es generalmente aceptado. Si se desea una evaluación preliminar de estrategia de control, es posible utilizar el modelo ROLLBACK. Sin embargo en la mayoría de los casos este modelo no permite una aceptable demostración para comprobar el límite de emisión.

El modelo CDM (climatological dispersin model) es recomendable para evaluar el impacto a largo plazo, simulando un promedio anual para un grupo de fuentes múltiples en zonas urbanas. El RAM es aconsejado para una evaluación similar pero a corto término.

#### 4.3.4. Modelos para monóxido de carbono.

Los procedimientos de selección para modelos en fuentes puntuales, son también aplicables a la evaluación de fuentes puntuales de monóxido de carbono.

El modelo HIWAY-2, puede ser utilizado para obtener



estimativos más detallados del impacto causado por autopistas e intersecciones de carreteras donde se supone existen altas concentraciones.

Generalmente las técnicas de selección o "screening" son aplicables a fuentes móviles y se debe utilizar la estabilidad E de Pasquill-Gifford y condición de peor caso para zonas rurales, y estabilidad tipo D y peor caso para zonas urbanas.

#### 4.3.5. Modelos para dióxido de nitrógeno (promedio anual).

Las recomendaciones de uso de modelos para fuentes puntuales, son también aplicables a las fuentes puntuales de óxidos de nitrógeno pero bajo limitadas circunstancias. Se requiere asumir que todos los  $\text{NO}_x$  son emitidos como  $\text{NO}_2$  (o que todos los  $\text{NO}_x$  se convierten en  $\text{NO}_2$  antes de alcanzar el suelo) y que el  $\text{NO}_2$  se comporta como un contaminante no reactivo; cumpliéndose estas condiciones es posible usar el modelo CMD. Una manera más precisa para los estimativos es:

- \* Calculando el promedio anual de los  $\text{NO}_x$  con el modelo CMD.

#### **4.3.6. Modelos para emisiones fugitivas.**

Las partículas que arrastra el viento, el polvo de las vías, las actividades agrícolas y principalmente la minería de superficie son referidas como fuentes de emisiones fugitivas de material particulado. Desafortunadamente no existe una adecuada caracterización de estas emisiones. Las emisiones fugitivas provenientes de fuentes complejas son también difíciles de caracterizar y cuantificar.

Para determinar la sedimentación gravitacional, se puede acudir al modelo ISC, siempre y cuando se conozcan las emisiones fugitivas.

#### **4.4. INFORMACION REQUERIDA PARA UTILIZAR UN MODELO.**

Las concentraciones estimadas a partir de un modelo de dispersión, pueden variar dependiendo de la fuente, la meteorología, la topografía y los datos de calidad del aire.

##### **4.4.1. Datos de la fuente.**

Las fuentes de emisión de contaminante, pueden ser clasificadas en: puntuales, lineales y de área. Las puntuales son aquellas que emiten una gran cantidad de un contaminante desde una chimenea o un grupo de ellas. Las

fuentes lineales más frecuentemente conocidas son las carreteras y calles a lo largo de las cuales existe un determinado movimiento de vehículos. Las fuentes de área son un conjunto de fuentes menores con pequeñas emisiones individuales, y a las cuales no resulta práctico considerarlas por separado. Las fuentes de área son tratadas como una red de pequeñas áreas cuadradas, con emisiones de contaminantes distribuidas uniformemente en cada rejilla cuadrada.

#### **4.4.1.1. Datos de una Fuentes Puntual Simple.**

Para las aplicaciones con fuentes puntuales, se debe establecer la carga o condición de operación según la capacidad de diseño.

En general se debe tener presente los siguientes aspectos:

- \* Esquema de la planta (diagramas de flujo y de proceso).
- \* Parámetros de la chimenea como: altura, diámetro, temperatura y volumen de gases, velocidad de salida a diferentes porcentajes de carga.

- \* Tamaño de las calderas, cantidad de megavatios asociados, vapor generado, consumo de combustible.
- \* Condiciones de operación. Tipo y cantidad de contaminantes emitidos.
- \* Especificaciones de los equipos de control.

#### **4.4.1.2 Datos de una Fuente Lineal.**

Comprende información de calles y autopistas, en las cuales se requiere saber a lo largo y ancho, el tipo y la cantidad de contaminantes emitidos, el número de carriles, las emisiones por cada carril y la altura que alcanzan.

#### **4.5. INFORMACION METEOROLOGICA.**

Para que un modelo de dispersión proporcione estimaciones precisas, la información meteorológica a utilizar debe ser representativa de las condiciones de transporte y dispersión. Esta representatividad de la información depende de:

- \* La proximidad del sitio de monitoreo meteorológico al área bajo estudio.

- \* La complejidad del terreno.
- \* La exposición del sitio del monitoreo.
- \* El período durante el cual se colecta la información.

Los datos mínimos requeridos son: dirección y velocidad del viento, estabilidad atmosférica, temperatura, altura de mezcla, radiación solar

#### Longitud del Registro.

Se debe contar con cinco (5) años de información meteorológica para estimar concentraciones en un modelo de calidad del aire. La información de los cinco años debe ser consecutiva. Sin embargo en muchos sitios esta condición no se puede cumplir. Si la información disponible cubre un período mayor a un (1) año pero menor a cinco (5), esta se puede utilizar, si logra demostrarse que los años en que se recolectó, son climatológicamente representativos. Un mínimo de información completa de un año debe estar siempre disponible. Cuando no se dispone de observaciones representativas aún para un período corto de tiempo, las concentraciones estimadas pueden ser

limitadas a la consideración de la peor condición meteorológica.

Un análisis de la "peor condición meteorológica" debe basarse en una razonable interpretación de los registros climáticos y deben considerarse características críticas de la dispersión tales como fumigación, cónica o curvatura de las emisiones y el impacto de ella en el terreno. Debido a la incertidumbre que genera esta técnica, las concentraciones más altas que se estimen se deberán usar como el impacto de la fuente hasta tanto no se tenga una mejor base de datos.

#### 4.6 CONCENTRACION DE FONDO (BACKGROUND).

En la evaluación del impacto de una fuente de emisión sobre la calidad del aire se debe considerar necesariamente la concentración de fondo, o sea aquella que existe previamente y de manera independiente a la aportada por la fuente estudiada.

La concentración de fondo es atribuida a las fuentes naturales y a las artificiales no identificadas.

Es común asumir que la concentración promedio anual de fondo oscila entre 30-50 mg/m<sup>3</sup> para partículas.

Las evaluaciones reales de calidad se usan para establecer la concentración de fondo en los alrededores de la fuente de emisión. Cuando la fuente no está

aislada, es necesario un modelo de fuentes múltiples para establecer el impacto de todas las fuentes cercanas.

Si una fuente está verdaderamente aislada y no es afectada por otras fuentes artificiales, existen dos maneras para establecer el "background".

Una opción es usando datos de calidad del aire en las vecindades de la fuente, a partir del promedio de los resultados obtenidos, especialmente durante las veces que la fuente no esté impactando sobre el receptor.

Otra opción se puede emplear cuando los equipos de medición no están localizados en las vecindades de la fuente. En este caso el promedio de las concentraciones medidas desde el punto de medición "reconocido" se usa para establecer el background.

En el caso de una fuente existente cerca a un grupo de fuentes múltiples urbanas, y que ella esté contribuyendo en la concentración medida, su aporte será obtenido al sustraer de la concentración total real el valor estimado según el modelo como concentración generada.

#### 4.7. CALIBRACION Y EVALUACION DE MODELOS.

La calibración de un modelo de dispersión es el proceso de identificación sistemática de los errores y la aplicación de un factor de corrección, esto envuelve la aplicación de análisis de regresión u otras herramientas estadísticas para ajustar el modelo y sus estimativos hasta alcanzar un nivel de similitud con los datos reales.

Cualquier aplicación de un modelo de dispersión puede tener deficiencias, las cuales pueden llevar a error en el cálculo de los estimativos. Siempre, como práctica para obtener el nivel de confianza de las estimaciones, estas deben ser comparadas con mediciones reales de la calidad del aire.

El proceso de validación de un modelo consiste en el seguimiento de estos pasos:

- \* Comparar las concentraciones estimadas con datos reales de calidad del aire.
- \* Determinar la causa de las discrepancias.



- \* Corregir y mejorar la base de datos.
- \* Modificar, si es necesario, el modelo de tal manera que se tenga una mejor representación matemática de la realidad física.

#### **4.8. EXACTITUD DE LOS ESTIMATIVOS.**

Si la evaluación por una o varias técnicas estadísticas indica que las concentraciones estimadas no son una representación satisfactoria de las concentraciones observadas, es probable que esté ocurriendo que los datos de la fuente de emisión, la información meteorológica y la calidad del aire no sean apropiadas, seguras o completas, o que el modelo en sí mismo es inadecuado para el área bajo estudio.

Si los datos de calidad del aire son de alguna manera impropios o incorrectos, la exactitud de los estimativos del modelo de dispersión no pueden ser determinados.

Los siguientes factores son los que más frecuentemente causan que un modelo sea considerado inadecuado o inapropiado para un área dada:

- \* El modelo es aplicado a un área con terreno complejo o único y existe información meteorológica deficiente.
- \* La fuente de emisiones varía notablemente con el tiempo.
- \* El contaminante emitido es objeto de una alta y variable reacción química en la atmósfera o se presenta un proceso de remoción.
- \* El modelo es aplicado a contaminantes con características diferentes a aquellas consideradas en su desarrollo.

Si se encuentra cualquiera de estas circunstancias, será necesario seleccionar un modelo de dispersión más apropiado.

## 5. ALTERNATIVAS DE SELECCION PARA EL MODELO DE DISPERSION EN FUENTES MOVILES.

El propósito de este capítulo no debe entenderse como la definición del modelo matemático para el caso del estudio, sino más bien como una presentación de modelos específicos aplicados a evaluación de fuentes móviles, que permitan al Contratista ajustar una técnica de análisis como herramienta analítica para la evaluación de la calidad del aire.

Estos modelos se han diseñado para simular cambios de calidad de aire por efecto de emisiones de automotores. Para vías sencillas, estos modelos se basan asumiendo fuentes lineales, mientras que para áreas urbanas se basan asumiendo conjuntamente fuentes lineales y de área.

### 5.1 APRAC.

El APRAC es un modelo de difusión utilizado en áreas urbanas, para simular concentración de CO a partir de información conocida sobre tráfico automotor y condiciones meteorológicas.

El modelo calcula concentraciones de CO por difusión según los siguientes alcances:

- \* Difusión extra-urbana por fuentes en áreas urbanas y en la misma dirección del viento.
- \* Difusión intra-urbana por fuentes en autopistas, arterias y vías de acceso.
- \* Difusión local en vías internas.

El modelo APRAC requiere información de tráfico automotor dentro de áreas urbanas y existen tres versiones de este modelo.

\* Sinóptico:

Requiere información horaria de condiciones meteorológicas y de tráfico automotor, para evaluar concentraciones hasta en 10 receptores. Es más eficiente que el modelo climatológico para tiempos de simulación menor a dos días.

\* Climatológico:

Requiere información horaria de tráfico y climatología, para predicciones hasta en 10 receptores. Los cálculos principales son preestimados y almacenados como punto de partida para el desarrollo del modelo.

### 5.2 APRAC-3

El APRAC-3 es una versión posterior al APRAC, el cual contiene dos modificaciones:

- \* La metodología computacional para factores de emisión ha sido actualizada y el programa ajustado para facilitar incorporar nuevos valores de emisiones.
- \* La base de datos se ha aumentado para establecer cálculos en flujos de tráfico bajos y varias fuentes por área.

Otras modificaciones incluyen diferentes velocidades del viento para cada receptor y la incorporación de subrutinas para el cálculo de intercepciones locales.

### 5.3 CALINE-3

Este modelo se usa para estimar concentraciones de compuestos no reactivos en tráfico por autopistas. Es una versión actualizada del modelo Gaussiano, que aplica para determinar calidad del aire en receptores localizados vientos abajo y en áreas topográficamente uniformes. El modelo sirve para diferentes direcciones del viento, orientación de vías y localización de receptores. Maneja hasta 20 receptores y tiene un

algoritmo para calcular velocidades de deposición y concentración de partículas.

El CALINE-3 es apropiado para las siguientes aplicaciones:

- Fuentes lineales.
- Areas urbanas o rurales.
- Terrenos homogéneos.
- Distancias de transporte menores a 50 kilómetros y de 1 a 24 horas como tiempo promedio de análisis.

Se requieren los siguientes datos de entrada:

Información de la Fuente:

Coordenadas del receptor y de la fuente, inventario del parque automotor, área de la fuente, ancho de la zona de mezcla.

Información meteorológica:

Velocidad del viento, dirección del viento (ángulo con respecto al eje Y), estabilidad atmosférica, calidad aire ambiente (background de la vía).

### Información del Receptor:

Coordenadas y altura de referencia para cada receptor.  
La información de salida reporta valores de concentración para cada condición meteorológica específica.

#### **5.4 HIWAY**

Este modelo es una actualización del modelo Gaussiano, calcula horariamente concentraciones de sustancias no reactivas en dirección vientos abajo a lo largo de avenidas.

El modelo se aplica para terrenos con topografía moderada, condiciones uniformes de velocidades de viento, diferentes direcciones y orientaciones de avenidas. Cada corrida del modelo simula una hora específica.

#### **5.5 HIWAY-2**

Es la última versión del modelo HIWAY la cual incorpora turbulencia cercana a la avenida inducida por el tráfico y factores de arrastre aerodinámico. La turbulencia se incorpora para ajustar las curvas de dispersión y el factor de arrastre aerodinámico por velocidad de aire como consecuencia del movimiento de automotores, se incorpora como una relación empírica basada en las velocidades del tráfico y viento y en las direcciones del viento y de las vías.

ANEXO 2. Resumen Ejecutivo. Estrategias de manejo de los precios de los hidrocarburos en el corto y largo plazo.



## **Resumen Ejecutivo**

### **Estrategias de manejo de los precios de los hidrocarburos en el corto y el largo plazo**

#### **I. INTRODUCCION**

El presente artículo contiene las principales conclusiones de un estudio realizado para Ecopetrol, cuyo objetivo era determinar una estrategia general de manejo de los precios de los hidrocarburos y de su estructura, con el fin de aproximarse a los costos de oportunidad (internacionales), teniendo en cuenta las limitaciones macroeconómicas que puede enfrentar ese proceso /.

El estudio cubre dos grupos de temas. De una parte, los aspectos macroeconómicos y distributivos del manejo general de los precios de los hidrocarburos, los costos se presentan en la siguiente sección. De otra, los criterios y estrategias de fijación de precios por productos específicos, de los cuales se ocupa la tercera sección.

El artículo contiene recomendaciones concretas en materia de política de precios de los diferentes tipos de hidrocarburos, teniendo en cuenta sus efectos macroeconómicos, inflacionarios, distributivos, de eficiencia en la asignación de los recursos, de conservación del medio ambiente e incluso algunos de tipo práctico y operativo.

## **II. ASPECTOS MACROECONOMICOS Y DISTRIBUTIVOS DE LAS POLITICAS GENERALES DE PRECIOS DE LOS HIDROCARBUROS**

### **A. Efectos inflacionarios de los cambios de precios de los hidrocarburos**

El efecto de las alzas de precios de los hidrocarburos sobre el índice de precios al consumidor suele ser analizado a través de su impacto directo e indirecto en los costos de producción de todos los artículos que conforman la canasta de consumo. Este método es incompleto, al menos por cuatro razones:

- a. Porque no tiene en cuenta el efecto regulador que ejercen las importaciones sobre los precios de los bienes de producción nacional. En ausencia de importaciones, los aumentos de costos podrían reflejarse enteramente en los precios, pero éste no puede ser el caso en una economía abierta donde pueden elevarse las importaciones cuando se encarecen los bienes domésticos.
- b. Porque no tiene tampoco en cuenta la posibilidad de sustitución de los hidrocarburos por otras fuentes de energía en la producción de los bienes nacionales. En la medida en que existan posibilidades de sustitución, el incremento de costos es menor que lo que indican los cálculos tradicionales, los cuales se basan en coeficientes técnicos fijos.
- c. Porque no se considera la posibilidad de sustitución de los hidrocarburos por otras fuentes de energía en el consumo final de los

hogares. Como en el caso de la producción, el método tradicional tampoco considera que los hogares pueden reasignar sus demandas de energía hacia otras fuentes cuando se encarecen los hidrocarburos.

d. Finalmente, porque no se consideran los efectos de demanda agregada que puede causar el cambio en el precio de los hidrocarburos. Un alza de precios de estos bienes que no sea compensada con mayor gasto público implica una pérdida en el poder de compra de los hogares, que debe traducirse en menores presiones inflacionarias en la economía en su conjunto, probablemente a través de reducciones en los precios de bienes diferentes a los combustibles, típicamente en los precios de los alimentos, por ser los más flexibles en toda la economía.

La omisión de estos cuatro efectos implica que los cálculos tradicionales sobreestiman el impacto inflacionario de los aumentos de precios de los hidrocarburos. Para este estudio se construyó un modelo de equilibrio general, cuya estructura se explica en detalle en el informe final entregado a Ecopetrol. Este modelo incorpora la totalidad de estos efectos, corrigiendo así los sesgos de cálculos anteriores.

Con base en dicho modelo se encontró que el alza en el precio interno del conjunto de los derivados del petróleo, cuyo principal componente es la gasolina, sólo genera presiones inflacionarias cuando el gobierno compensa con mayor gasto público su efecto recesivo. En este caso, un aumento del 20% en el precio de los hidrocarburos induce un aumento de 0.7 puntos en el índice de precios al consumidor. Pero si el gobierno mantiene inmodificado sus niveles de gasto y permite por lo tanto que se den los efectos recesivos del alza de precios de los hidrocarburos (véase más adelante), no ocurre ningún cambio apreciable en el IPC.

Puede decirse así que los efectos inflacionarios que se atribuyen al alza en el precio de la gasolina tienen lugar exclusivamente porque el gobierno utiliza los ingresos adicionales como fuente de financiamiento de mayor gasto.

Lo anterior no quiere decir, por supuesto, que en ausencia del mayor gasto no se eleven algunos precios específicos. En particular, en el estudio se encuentra que el alza del 20% en el precio de los derivados del petróleo (cuando no hay mayor gasto público) eleva en 2.6% el precio del conjunto de los servicios de transporte de la economía. Simultáneamente, sin embargo, da origen a una reducción del 1.9% en el precio de los alimentos, debido enteramente a la contracción de la demanda. En contraste, cuando el gobierno eleva el gasto público y contrarresta los efectos recesivos de la medida, el precio del transporte se eleva en 3% y cambian apenas de forma despreciable los precios de los alimentos (Cuadros 1 y 2).

Puesto que el aumento en el precio interno de los combustibles puede utilizarse como un mecanismo de generación de ingresos fiscales, conviene comparar sus efectos con la alternativa de elevar la tarifa general del IVA para producir los mismos ingresos adicionales. Se requeriría elevar dicha tarifa en un 14.7% (es decir, del 12% actual al 13,8% aproximadamente) para producir los mismos ingresos fiscales adicionales que un alza del 20% en el precio de los hidrocarburos. Bajo el supuesto de que se aumente el gasto público, el aumento en el IPC sería ahora de 0.4 puntos, frente a 0.7 puntos en el caso en que se eleva el precio de los combustibles. El IVA es así menos inflacionario que el aumento de precios de los combustibles (y alcanza a reducir en 0.4 puntos el IPC cuando no se eleva el gasto público, cosa que

prácticamente no ocurre cuando se elevan los precios de los hidrocarburos). Por otro lado, como es de esperarse, el aumento del IVA no afecta de manera apreciable el precio del transporte (Cuadro 2.2.A=3).

Los impactos inflacionarios discutidos no tienen en cuenta sin embargo el efecto sobre expectativas que puede tener el alza de los precios de los hidrocarburos, a través del cual pueden originarse alzas de otros precios, en particular de los alimentos. Sin embargo, los resultados de estas simulaciones indican que tales alzas por expectativas resultarían insostenibles macroeconómicamente, y por lo tanto tenderían a ser revertidas en el tiempo, a menos que sean validadas por un mayor gasto público o por ajustes en uno o varios de los precios básicos de la economía, típicamente la tasa de cambio, los salarios o los precios de los servicios públicos. En la medida en que las prácticas de indexación conduzcan a ajustes más frecuentes de estos precios, más factible será la validación de las alzas iniciales generadas por expectativas, que de otra forma serían a la larga insostenibles. Como es sabido, la frecuencia de las ajustes de precios tiende a ser mayor entre mayor sea la inflación y cuando su tendencia es ascendente. Por consiguiente, es imprudente propiciar ajustes reales de los precios de los hidrocarburos en coyunturas de inflación alta o creciente. Es esencial, además, que cuando se efectúen los ajustes el gobierno mantenga la disciplina fiscal y evite transmitir a otros precios bajo su control las alzas iniciales que pueden darse en algunos precios por razones de expectativas. En particular debe evitar que los ajustes de la tasa de cambio o de las tarifas de servicios públicos se indexen con respecto a la inflación observada de corto plazo cuando se produzcan los ajustes de precios de los hidrocarburos. Los patrones de indexación del tipo de

cambio y las tarifas deben basarse en las tendencias de mediano plazo de la inflación, no en las variaciones observadas mes a mes del IPC.

#### **B. Efectos sobre la actividad económica de los cambios de precios de los hidrocarburos**

Los aumentos de precios de los hidrocarburos inducen disminuciones en el ritmo de actividad económica, a menos que sean compensados con aumentos en el gasto público. La razón se encuentra en que tales aumentos implican una transferencia de capacidad de gasto del sector privado hacia el sector público. En el estudio se concluye que un aumento del 20% en el precio de los hidrocarburos reduce en cerca de un punto el ritmo de crecimiento económico, y en 1.7 puntos el ritmo de crecimiento del consumo privado. Las caídas de producción son notorias en los bienes de industriales intermedios y de consumo liviano (1.5 y 1.2%, respectivamente), en los servicios de transporte (2.1%), el comercio (1.8%) y el resto de servicios (1.2%). Únicamente se presentan aumentos de producción en los sectores productores de sustitutos de los derivados del petróleo, como son el carbón (0.9%) y el gas natural (6.5%), que pasan a ser utilizados en forma más intensiva por los sectores productivos (Véase Cuadro 2).

En comparación con el aumento de precios de los hidrocarburos, los ajustes del IVA son apenas ligeramente menos recesivos (0.8% de caída del PIB, frente al 0.9%), aunque afectan más severamente a la industria de bienes de consumo liviano (-2.8%).

### **C. Efectos distributivos de los cambios de precios de los hidrocarburos**

Como ocurre con los análisis tradicionales que evalúan los efectos inflacionarios de las alzas de precios de los combustibles, en materia distributiva también tiende a mirarse usualmente sólo un aspecto del problema, como es la importancia del gasto en combustibles y transporte de los distintos estratos de ingreso. Sin embargo, este tipo de análisis es incompleto porque no considera los cambios en otros precios, en particular los alimentos, y porque tampoco tiene en cuenta lo que ocurre con los ingresos de las familias al cambiar los niveles y composición del empleo por efecto de la medida. El modelo construido en este estudio permite tener en cuenta en forma integrada todos estos efectos para evaluar la incidencia distributiva total de las políticas de precios de los hidrocarburos.

Los aumentos de precios de los combustibles tienden a tener efectos más severos sobre el ingreso real de las clases más bajas (urbanas) por dos razones:

- a. Porque es mayor el peso relativo que tiene el gasto en transporte y combustibles en la canasta de consumo de los pobres. Por ejemplo, para el decil más pobre, el gasto en refinados de petróleo representa el 3.6% de sus gastos de consumo y el gasto en transporte el 17.7%. En contraste, para el decil 5, esos porcentajes son 0.9 y 13.7% y para el decil 10 1.8% y 6.7%.
- b. Porque sus ingresos son más vulnerables a los cambios en la actividad económica, debido a que son en mayor medida de origen informal.

De acuerdo con los resultados del estudio, el aumento del 20% en el precio de los derivados del petróleo reduce en 2.1% el ingreso real del decil más bajo de ingresos urbanos, en 1.6% el ingreso del decil 5 y en una proporción semejante el ingreso del decil urbano más alto.

Estos resultados indican que los ajustes de precios de los hidrocarburos pueden generar resistencia social y que tiene sustento la opinión generalizada según la cual estos ajustes afectan más severamente a los pobres (aunque no en magnitud muy pronunciada). Esto no justifica, sin embargo, el mantenimiento de subsidios generalizados a los precios de los hidrocarburos ya que, no obstante estos resultados, tales subsidios son totalmente regresivos. La razón es, sencillamente, que el grueso del consumo directo e indirecto de hidrocarburos lo realizan las clases altas, aunque represente para ellas un porcentaje menor de su gasto total. En efecto, el decil de ingreso urbano más alto consume el 40% de los productos refinados del petróleo destinado a las familias urbanas. En contraste, los cinco deciles urbanos más pobres --la mitad de la población urbana-- consumen en total apenas el 18.5%. Visto de otra forma, el consumo por hogar de productos refinados del petróleo en el decil más rico es aproximadamente 11 veces el de las clases bajas (hasta el decil 5).

Por consiguiente, la eliminación del subsidio generalizado puede generar recursos adicionales al Estado, que pueden servir para financiar con creces subsidios directos focalizados en las clases de ingreso más bajos con el objeto de compensarlas por la pérdida sufrida por el aumento en los precios de los hidrocarburos. Una política de desmonte de los subsidios de los precios de los hidrocarburos debe tener en



cuenta estas consideraciones y debe ser presentada públicamente junto con un programa de subsidios directos focalizados (por ejemplo, para gastos en vivienda, salud o educación, del tipo de los propuestos en el actual Plan de Desarrollo).

En comparación con los ajustes de precios de los hidrocarburos, los aumentos en las tasas del IVA son preferibles desde el punto de vista distributivo, ya que afectan en forma más homogénea a todos los estratos de ingreso urbano.

### **III. NIVEL Y ESTRUCTURA DE LOS PRECIOS E IMPUESTOS POR PRODUCTOS.**

#### **METAS Y ESTRATEGIA DE AJUSTE**

##### **A. Precios antes de impuestos**

###### **1. Productos de la refinación**

La meta a mediano plazo debe ser la de liberar los precios de los productos de la refinación del petróleo. Este objetivo se justifica y facilita en tanto se trata de bienes comerciables internacionalmente y en cuanto, en principio, no existen razones que justifiquen la presencia a largo plazo de monopolios estatales o privados en las actividades de refinación y distribución. En estas condiciones se puede esperar que la operación de un mercado competitivo genere precios "eficientes", que reflejen apropiadamente los costos de oportunidad de los distintos productos y, en consecuencia, que conduzcan a una correcta asignación de recursos en la economía. Solamente en lo que hace al transporte por poliductos se presentan condiciones que justifican el monopolio o la

regulación estatal y que, por tanto, exigen la fijación administrativa del precio de este servicio en forma permanente.

El caso del gas natural (como el de la energía eléctrica) presenta características diferentes que hacen conveniente la fijación administrativa o la regulación de sus precios en todas las etapas del proceso, como se indica más adelante.

Los costos de oportunidad de los productos de la refinación del petróleo, que deben constituir las metas de la fijación administrativa de los precios, mientras ésta exista, son los siguientes:

- a) Precio al productor:
  - i) Productos importados: precios CIF de importación más costos de transporte del puerto de importación a la planta de abasto.
  - ii) Productos exportados: precios FOB de exportación menos costos de transporte de la refinería al puerto de exportación más costos de transporte de la refinería a planta de abasto.

- b) Precio al consumidor:

Precios al productor, más costos marginales de distribución (incluyendo costos de transporte de planta de abasto a los centros de consumo), más impuestos indirectos.

Conviene señalar que éstos son precisamente los precios que se establecerían en un mercado libre con competencia perfecta.

Los precios en planta de abasto, como los precios de venta de los mayoristas a los minoristas y los precios de venta al público en las

distintas localidades, deberían reflejar de la mejor manera posible las diferencias en costos marginales de transporte y distribución de los productos. La correcta estimación de los costos de transporte y distribución resulta importante, en consecuencia, no solamente para determinar el nivel general de los precios, sino, ante todo, su estructura territorial.

A este fin, se hace necesario modificar la actual estructura contable de Ecopetrol que exagera el margen de transporte y manejo y subestima el precio ex-refinería. Asimismo, en tanto se liberen los precios al distribuidor, resulta prioritario un mayor conocimiento de los costos incrementales de distribución. En particular, se recomienda la ejecución de un estudio que compare la estructura de costos y márgenes de distribución en Colombia y otros países.

Lo anterior no obsta para que se apliquen algunos subsidios explícitos y específicos a los combustibles que se transporten a zonas aisladas, con el objeto de evitar un costo excesivamente alto en ellas, fundamentalmente por razones de equidad y, en algunas instancias, de desarrollo regional fronterizo. En algunas localidades fronterizas, sin embargo, resultaría más económico importar los productos de los países vecinos.

## 2. Gas natural

En el caso del gas natural, los precios al consumidor (antes de impuestos) deben seguir una trayectoria tal que cubra en todo momento los costos de extracción (e importación, si es del caso), transporte y distribución, más un costo de oportunidad de la reserva. Este último debe aumentar de manera exponencial en pesos constantes, con la tasa

de descuento social, de tal manera que el precio al consumidor (antes de impuestos) se iguale con el precio equivalente (en términos de energía útil) del sustituto apropiado en la época en que se prevea que la producción máxima de las reservas disponibles y esperadas (más las importaciones máximas posibles) no será suficiente para atender la totalidad de la demanda por gas natural a un precio inferior. Esta es la denominada "regla" o "principio" de Hotelling.

La estimación de esta trayectoria óptima de los precios conlleva complejos problemas metodológicos que se discuten en el informe final. Su determinación enfrenta hoy dificultades especiales asociadas con la incertidumbre con respecto al monto y al costo de las reservas disponibles en Cusiana, a la cuantía máxima y al precio de eventuales importaciones procedentes de Venezuela y a la demanda futura para usos de energía eléctrica.

En cuanto a los usos en generación de energía eléctrica se concluye que:

i) Dada la disponibilidad de una nueva tecnología eficiente de generación de energía eléctrica a partir de gas natural, mediante turbinas de ciclo combinado, el plan óptimo de expansión de generación en el sector eléctrico debería contener una cantidad apreciable de nueva capacidad de generación a gas. En estas condiciones, las proyecciones de demanda por gas natural crecerán con mayor rapidez y, en consecuencia, lo mismo sucederá con sus costos de oportunidad. La trayectoria de los precios deseados sería igual a aquella trayectoria que, siguiendo el principio de Hotelling, haga indiferente instalar más plantas con turbinas de ciclo combinado, a partir de un determinado año, frente a otros proyectos económicos de expansión del sistema

eléctrico.

En estas condiciones se hará conveniente sustituir, en un futuro no muy lejano, el gas utilizado en plantas térmicas más convencionales e ineficientes. Para que tal cosa ocurra será necesario eliminar los subsidios actuales o trasladarlos al uso de combustibles alternos, como el carbón, si la situación financiera de Corelca así lo exige.

ii) La construcción de plantas de ciclo combinado exige disponer de un suministro confiable de gas natural con una trayectoria de precios relativamente conocida , especialmente si las lleva a cabo el sector privado. Dado que la trayectoria óptima de los precios de gas implica un crecimiento en términos reales con el tiempo, los contratos de suministro deberían prever una cláusula de esta naturaleza. De no procederse en esta forma, quienes suscriban los primeros contratos se asegurarían un suministro a precios que a la larga resultarán subsidiados frente a los costos de oportunidad del gas. En adición, posiblemente se generaría una inversión en producción de electricidad a gas superior a la que sería deseable desde el punto de vista de la economía en su conjunto.

### 3. Crudos pesados

Los crudos pesados se pueden exportar o refinar; sinembargo, si ninguna de estas dos opciones resulta rentable, se deben tratar como productos no comercializables, en forma similar al gas natural.

En consecuencia, el precio al productor debe ser igual al valor mayor de las siguientes tres cifras:

- i) El precio FOB de exportación menos el costo de transporte del campo al puerto de exportación;
- ii) El costo de oportunidad de los productos que se obtendrían de su refinación, menos el costo de refinación, menos el costo de transporte del campo a la refinería;
- iii) El costo de extracción más un costo de agotamiento de la reserva calculado en forma similar a lo indicado en el caso del gas natural.

Los precios al consumidor deberían ser iguales al precio al productor, estimado de esta forma, más los costos de transporte del campo al centro de consumo, más impuestos indirectos.

Los estimativos muy preliminares realizados para el estudio demuestran la necesidad de proceder a un estudio detallado de este tema, como se indica adelante.

## **B. Impuestos**

### **1. Impuestos a los combustibles del sector transporte**

Para una correcta asignación de recursos en la economía, los usuarios del sistema vial de transporte deben pagar impuestos que cubran aproximadamente los siguientes costos incrementales:

- i) Los costos de mantenimiento del sistema vial ocasionados por el tráfico automotor. Estos costos de mantenimiento deben ser calculados de manera tal que permitan que las carreteras se conserven en su estado inicial; de lo contrario, si hay un gasto subóptimo de mantenimiento, el tráfico de cada automotor causaría costos a los

demás usuarios en razón del deterioro que sufrirían las vías.

ii) Costos asociados con la congestión.

iii) Costos asociados con la contaminación producida por los automotores.

iv) Costos asociados con el riesgo de accidentes.

En el último caso, la forma óptima de resolver el problema es a través de un seguro mínimo obligatorio, como se ha instituido ya en el país.

En algunos casos específicos (autopistas interurbanas y circunvalares de alta velocidad, y con pocas entradas y salidas) el mejor instrumento para cobrar tanto los costos de mantenimiento como los costos de congestión son los peajes.

Para los demás costos de congestión -especialmente urbana- lo más apropiado son los impuestos o licencias diferenciales para transitar por áreas especiales (centros de las ciudades) y los impuestos al parqueo.

Para cubrir los costos de mantenimiento del resto del sistema vial, algunos especialistas han propuesto una licencia o impuesto de rodamiento proporcional al kilometraje transitado por cada vehículo durante el período, con tasas diferenciales según su peso. No obstante, ante la dificultad de controlar las lecturas de kilometraje recorrido, las licencias o impuestos de rodamiento en la práctica cobran sumas fijas que varían con el tipo de vehículo (en general, según peso y valor o

edad) pero no con su utilización real.

**En consecuencia, el instrumento más apropiado en la práctica para cubrir los costos generales de mantenimiento del sistema vial son los impuestos a los combustibles,** que son automáticamente proporcionales al uso del vehículo y, de manera aproximada, a su peso, ya que los vehículos más pesados requieren un mayor uso de combustibles por kilómetro recorrido. Sin embargo, comoquiera que la relación de daño a peso es mucho mayor que la de uso de combustibles a peso, conviene de todas maneras complementar los impuestos a los combustibles con licencias o impuestos de rodamiento diferenciadas según el peso de los vehículos y, como se indica más abajo, con algunas otras características de los vehículos que determinan su capacidad contaminante.

La suma de ingresos de peaje e impuesto a los combustibles llegó a los 210.000 millones de pesos en 1990 (estimado de 270.000 millones de pesos en 1991), cifra que supera los gastos de mantenimiento ejecutados en ese año, pero que tendría que incrementarse en un 26% en términos reales para ser equivalente a estimativos muy preliminares del nivel óptimo gastos de mantenimiento. El aumento real en el valor del impuesto a los combustibles se situaría entre 26% y 33%, según que el incremento requerido provenga de ambas fuentes, en proporción a su participación actual, o en su totalidad de aumentos en los impuestos a los combustibles. Si los precios al productor se elevan al nivel de sus costos de oportunidad y la tasa de impuestos se mantiene, el valor real de éstos superaría lo requerido por concepto de gastos "óptimos" de mantenimiento del sistema vial. Este tema exige estudios cuantitativos más detallados.



Para reflejar bien los costos incrementales de mantenimiento, el impuesto a los combustibles debería ser directamente proporcional a la eficiencia (medida en términos de kilómetros recorridos por galón) de los distintos combustibles y del tipo de vehículo que tienda a utilizarlos en forma predominante. Lo último exigiría gravámenes diferenciales a nivel de minorista, lo que no es recomendable desde el punto de vista administrativo.

En cuanto a lo primero, ello exigiría gravar en mayor medida el diesel y el gas natural comprimido que la gasolina. Sin embargo, la emisión de contaminantes es, por lo general, inversamente proporcional a la eficiencia del combustible. Además, la mayor eficiencia del diesel conduciría a un ahorro global del gasto deméstico en energéticos. Por lo tanto, no se recomienda que el impuesto a los combustibles diferencie según su eficiencia relativa.

No obstante, se debería imponer una sobretasa adicional al diesel y a la gasolina frente al gas natural comprimido, por su mayor emisión de otros contaminantes.

Lo anterior sugeriría, en conclusión, impuestos similares por galón para la gasolina y el diesel e inferiores para el gas natural comprimido. No obstante, existen dos dificultades prácticas para aplicar esta receta. La primera estriba en que el diesel o ACPM es también utilizado en otros sectores. Cobrar un impuesto por costos de utilización de las vías a combustibles utilizados por la agricultura, la industria o la generación eléctrica, resulta no solamente inequitativo, sino que genera una distorsión en la asignación de recursos en éstos últimos

sectores. La segunda dificultad consiste en que, si la diferencia de precios lo justifica, el diesel puede ser mezclado con kerosene, producto al que por ningún motivo se debería gravar con un impuesto vial.

Si no existe una forma viable de controlar el uso y gravar diferencialmente a los combustibles utilizados en el sector transporte y en otros sectores (caso del diesel o ACPM), o de controlar la desviación de kerosene hacia el sector transporte, se hace necesario efectuar un compromiso entre lo deseable y lo practicable.

Una posibilidad sería la de, en un extremo, cobrar a la gasolina los costos plenos que ocasiona la utilización de vehículos en el sistema vial y, en el otro, no cobrar ningún impuesto al kerosene que es utilizado por grupos pobres en el sector rural. El precio del diesel para el transporte y otros usos tendría que ocupar un lugar intermedio, según qué tan difícil resulte evitar la desviación de uno a otro uso y las sustituciones no deseadas por otros productos. El impuesto al gas natural comprimido, habría que fijarlo por debajo del correspondiente al diesel para transporte, para no incentivar una sustitución indeseada que favorezca al diesel frente al gas natural comprimido.

Los impuestos a los combustibles no son un instrumento apropiado para cobrar los costos de **expansión** del sistema vial. Los impuestos orientados a controlar la congestión, los impuestos de rodamiento y a la venta de vehículos y las contribuciones de valorización constituirían mecanismos más idóneos en caso de que se considere necesario o conveniente que los beneficiarios directos paguen los costos de inversión en carreteras.

## 2. Impuestos por contaminación.

Los precios a los combustibles pueden ser un elemento importante de una política de control de la contaminación, pero deben complementarse con otros, a saber: regulaciones que exijan la utilización de convertidores catalíticos en carros nuevos o anteriores a una determinada fecha para permitir su circulación; licencias o impuestos de rodamiento diferenciales por la capacidad contaminante de los diferentes tipos de vehículos (recuérdese que también deben ser diferenciales por peso para cobrar los costos de uso del sistema vial).

En el caso de las fuentes fijas, por el contrario, posiblemente resulte más eficiente un sistema de permisos negociables o de impuestos directos a las emisiones, que uno de impuestos a los energéticos.

Sin embargo, si se usan estos últimos para los automotores y no para las fuentes fijas pueden presentarse problemas con aquellos energéticos que pueden ser utilizados por unos y otros (v. gr. el diesel o ACPM), al igual de lo que sucede con los impuestos vinculados con los costos de mantenimiento.

En todo caso, para el sector residencial, industrial y de generación de energía eléctrica se haría necesario establecerlos sobre todos los energéticos. El análisis del capítulo II del Informe Final permite establecer cuáles energéticos deberían ser gravados con tasas mayores o menores de contaminación. Sin embargo, de lo expuesto resulta claro que cuantificar su valor, aún de manera aproximada, está muy lejos del alcance del presente estudio y exige trabajos adicionales detallados.

### 3. El IVA sobre los derivados del petróleo

Los derivados del petróleo, como cualquier otro bien o servicio en la economía, deberían en principio estar sujetos al gravamen general sobre el valor agregado (IVA). No obstante, en el caso colombiano no parece recomendable mantenerlos o incluirlos en la base del IVA por dos razones:

i) Para no generar distorsiones en la estructura de consumo de los energéticos, los demás energéticos deberían también estar sujetos al IVA. Mientras ésto no ocurra, como sucede en Colombia, resulta preferible no gravar con IVA a los derivados de petróleo.

ii) Las consideraciones administrativas mencionadas en el numeral anterior, no hacen conveniente extender los gravámenes a los derivados del petróleo a nivel minorista. El gravamen al valor agregado, sinembargo, debería extenderse hasta esa etapa.

### 4. Modalidad y características de los impuestos.

#### a. Nivel de imposición

Los impuestos a los derivados del petróleo presentan una enorme ventaja comparativa en cuanto a su administración y recaudo, siempre y cuando el gravamen tenga lugar ex-refinería y en los puertos de importación, o en las plantas de abasto. La administración de un gravamen a nivel minorista (estación de servicio, entrega a domicilio) se encarece y dificulta considerablemente, aún bajo el sistema actual

de fijación administrativa de los precios una vez al año. Por supuesto, se haría tanto más compleja en cuanto los precios se ajusten con mayor periodicidad para reflejar las variaciones de los precios internacionales y aún más si éstos se liberan en el futuro, como parece ser la meta deseable a largo plazo de la política de precios (ver adelante).

#### **b. Impuestos específicos o ad-valorem**

Aparte del IVA, los impuestos vinculados con los costos incrementales ocasionados por el tránsito de los vehículos a través del sistema vial, o con los costos de contaminación, se aproximarían en teoría mejor mediante impuestos específicos, cuyo valor se indexe con los índices generales de precios o, preferiblemente, con índices apropiados a los costos de mantenimiento de las carreteras y a los costos de contaminación.

Además, en esta forma las variaciones en los precios al consumidor serían menores que las variaciones en los precios internacionales, con lo cual se reducirían sus efectos de corto plazo sobre la tasa de inflación.

Más aún, el impuesto ad-valorem haría más difícil establecer mecanismos de estabilización de los gastos fiscales derivados de los ingresos petroleros.

Por último, es más fácil administrar un impuesto específico cobrado en planta de abasto o a la salida de las refinerías, que un impuesto ad-valorem, especialmente cuando en el futuro se liberen los precios.

## **C. Otros Problemas de la Estructura de los Precios**

### **1. Energéticos utilizados en el sector residencial**

El análisis permite concluir que existen los siguientes problemas: a)

Colombia es el país de América Latina que utiliza en menor proporción gas natural y gas propano en el sector residencial, a pesar de que éstos constituyen los combustibles más económicos para satisfacer las principales necesidades energéticas de este sector (cocción y calentamiento de agua). El problema básico ha sido la limitación del suministro de estos energéticos. Ello se ha debido a prioridades de política, pero también en parte al bajo nivel de los precios, especialmente en el caso de gas propano, lo cual no ha hecho atractivo para Ecopetrol producirlo en mayor cuantía o importar los faltantes y lo ha llevado en repetidas ocasiones a desincentivar su utilización. Esta, por supuesto no ha sido la única razón, ya que el subsidio en las importaciones de gasolina es mayor y, sin embargo, en este caso se ha garantizado un suministro pleno. La diferencia en actitudes puede haber estado relacionada con el hecho de que la gasolina no tiene sustitutos mientras que el gas propano sí.

Recientemente la empresa ha tomado la decisión de garantizar el suministro pleno de gas propano, pero ha dejado saber que procederá gradualmente y en la medida en que se ajusten los precios, con el objeto de evitar que se establezca un subsidio permanente a las importaciones de gas propano como ha sucedido con las de gasolina.

b) A la tarifa media actual para el sector residencial, el consumo de energía eléctrica resulta más económico que el de carbón o kerosene, contrariando los costos de oportunidad relativos. Más grave aún, para los hogares con consumos reducidos, tomando en cuenta la estructura de tarifas según niveles de consumo, resulta más barata que el gas licuado y, en algunos casos, aún que el gas natural. La reducción de los subsidios en las tarifas de energía eléctrica aparece, así, como una condición para que el patrón de consumo residencial refleje una correcta asignación de recursos.

c) El cocinol es hoy más barato que cualquiera de los otros combustibles, cuando cocinar con gasolina tiene costos de oportunidad más altos que la mayoría de los sustitutos potenciales, aún sin contar los costos y efectos sobre la salud pública que su utilización ocasiona. El único combustible que se podría ofrecer a su costo de oportunidad sin exigir un incremento excesivo en los gastos familiares en energía es el gas natural. Así, solamente cuando exista pleno suministro de gas natural en la ciudad de Bogotá será viable eliminar totalmente el consumo de cocinol. Para ello sería conveniente subsidiar las conexiones a viviendas de clases de ingresos bajos, e incluso subsidios temporales al consumo del gas, con el objeto de estimular la sustitución. Lo mismo se podría hacer con distribución de gas propano en aquellos pueblos en donde ya se estableció un cierto nivel de consumo de cocinol.

d) Colombia presenta el mayor consumo relativo de leña en América Latina. Este es el más ineficiente de los energéticos y el de mayores efectos ambientales negativos. Se hace necesario disponer de una estrategia de distribución de combustibles alternos subsidiados al

sector rural.

En varios países se utiliza el kerosene para este propósito, en otros el gas propano y, en unos pocos, las briquetas de carbón. Debido a la posibilidad de que el kerosene se sustituya por diesel, y a que no existe una cultura al respecto en Colombia, no parecería aconsejable este camino. La falta de tradición hace también difícil establecer un programa masivo de briquetas, si bien la amplia disponibilidad de carbón en muchas regiones podría hacerlo aconsejable. Alternativamente, si se masifica el consumo de gas propano, este podría ser un combustible apropiado para el sector rural. No obstante, como su precio se habrá de llevar al precio internacional, se debería estudiar la viabilidad de otorgar subsidios específicos orientados al sector rural (para bombonas de 10 libras o menos, con válvulas adecuadas de seguridad y que no se comercialicen en las ciudades).

En todo caso, resulta urgente estudiar la viabilidad de un programa de suministro subsidiado de energéticos al sector rural, que exige un diseño cuidadoso desde el punto de vista de su administración y control.

## 2. Energéticos utilizados en el sector industrial

Los principales problemas son los siguientes:

- a) Al igual que en el caso del sector residencial, el suministro limitado de gas natural y propano, que exige las soluciones anotadas atrás.



b) En adición, los crudos pesados son hoy más baratos que otros combustibles y probablemente lo serían con respecto al gas natural transportado al interior del país. Los estimativos preliminares sugieren que el orden de los costos de oportunidad es el contrario. Es importante proceder a un estudio detallado que permita despejar las dudas al respecto, especialmente ante las nuevas perspectivas de suministro de gas natural a la industria del interior del país.

#### **D. Trayectoria del Ajuste y liberación de precios.**

El análisis de los Capítulos VI y VII del Informe Final permite las siguientes conclusiones:

##### **1. Liberación de precios**

a) Con respecto a los combustibles, la secuencia de liberación debe ser la siguiente:

- i) Márgenes de los minoristas;
- ii) Márgenes de distribución mayorista e importación de combustibles;
- iii) Precios ex-refinería.

La liberación de márgenes o precios, en mercados que han estado estrictamente regulados, puede conducir inicialmente a incrementos sustanciales, por varias razones:

- i) Los márgenes fijados administrativamente pueden haber estado por debajo de los del equilibrio competitivo, especialmente en el caso

de los mayoristas.

ii) En tal caso, las empresas habrían retrasado programas de inversión y modernización que buscarían acometer al inicio de la liberación. Este hecho podría conducir márgenes iniciales exageradamente altos con el objeto de obtener financiamiento para esas inversiones. Las nuevas inversiones conducirían en el futuro a una reducción de márgenes.

iii) En cualquier caso, el proceso de aprendizaje en un mercado de esta naturaleza puede conducir inicialmente a "overshoots", que luego en el tiempo se aminoren.

En consecuencia, podría ser conveniente que antes de proceder a la liberación de los márgenes mayoristas se fije un tope máximo por vía administrativa, superior al actual pero que evite un alza excesiva al liberar, lo cual podría desprestigiar el proceso de liberación. Así mismo, por lo dicho anteriormente, no parecería conveniente liberar los márgenes de distribución mayorista sino hasta tanto los precios en refinería se hayan acercado a los equivalente internacionales y se hayan obviado los problemas de estructura que hoy día acusan los precios regulados. De no proceder en esta forma los mayoristas podrían apropiarse de las diferencias entre los precios ex-refinería y los equivalentes de importación.

Tomando en cuenta los aspectos de aprendizaje del mercado, parecería conveniente que la liberación de márgenes de distribución minorista proceda también por etapas. En una primera etapa podría liberarse el margen de distribución minorista de la gasolina extra. El precio se estabilizaría con rapidez, por cuanto un margen excesivo llevaría a sustituir el consumo por gasolina regular y el proceso de aprendizaje de

funcionamiento de mercado libre tendría un costo social muy reducido.

b) La liberación de precios y de importaciones del gas propano permitiría la operación de un mercado muy competitivo, que garantizaría un pleno suministro de este producto, superando las épocas de restricción que han conducido a un patrón tan atípico e ineficiente de consumo del sector residencial y de la pequeña y mediana industria.

No obstante, la liberación de precios e importaciones no se puede hacer a corto plazo, comoquiera que mientras que se llevan a cabo las inversiones que permitan importar la totalidad de los faltantes, los distribuidores podrían apropiarse de las rentas que permite una situación de suministro restringido. Se requiere, entonces, de un período de transición, durante el cual se vayan elevando los precios del gas propano en términos reales, hasta acercarse a los precios internacionales y Ecopetrol vaya incrementando las importaciones del producto.

Para que Ecopetrol disponga de un estímulo suficiente que permita acelerar este proceso, convendría autorizar un precio de venta equivalente al promedio ponderado entre el precio actual, en valor constante, y el precio CIF de importación más costos de transporte a planta de abasto. Más aún, con el objeto de permitir la libertad de importaciones y de precios a un plazo más corto, podría ser conveniente fijar y anunciar desde ahora una fecha, v. gr. a dos años vista, en la cual se liberarán tanto los precios como las importaciones del producto.

## 2. Estrategia de Ajuste

En una primera etapa, se deben elevar los precios al productor hasta el nivel de sus costos de oportunidad, manteniendo aproximadamente el valor actual en términos constantes de los impuestos indirectos; y, en una segunda etapa, se deben llevar las tasas de los impuestos, aplicados sobre los precios correctos de los productos, a los niveles deseados de acuerdo con los criterios señalados atrás.

Esta secuencia tendría las siguientes ventajas:

- i) Se facilitaría la vinculación de capitales privados a las inversiones requeridas en ampliación de la capacidad de refinación, en condiciones de competitividad eficiente.
- ii) Una estructura inadecuada de los precios al productor de derivados de petróleo induce ineficiencias en el manejo de la empresa estatal. Así, por ejemplo, continuarían vigentes los desestímulos al incremento de la oferta de gas propano y la eventual liberación de sus importaciones y precios se vería inconvenientemente retrasada.
- iii) Se facilitaría la liberación de los márgenes de distribución mayorista y de la importación de productos refinados.
- iv) En forma más general, elevar los precios al productor al nivel de los precios internacionales facilita que se ajusten de manera automática ante las variaciones de aquellos y hace posible un tránsito más rápido a la desregulación de los precios en toda la economía petrolera, que debe ser el objetivo final de la política. Estos objetivos no se conseguirían, o se pospondrían innecesariamente en el tiempo, si

se sigue la política de incrementar primero los impuestos y sólo después los precios al productor.

v) Se facilitaría el desarrollo de instrumentos de estabilización frente a variaciones en los precios internacionales del petróleo.

Para que esta estrategia no resulte en menores ingresos fiscales, frente a la alternativa de elevar primero los impuestos indirectos, sería necesario establecer un sistema especial de pago corriente ("pay as you go") para el pago de los impuestos de renta y la transferencia de utilidades de Ecopetrol.

El procedimiento sería el siguiente: a finales de cada año, como parte del ejercicio de elaboración de presupuesto de la empresa y de su aprobación por el CONFIS, se proyectarían de común acuerdo las utilidades para el año siguiente, se convendría el nivel de inversión a ejecutar y su estructura de financiamiento y, en consecuencia, el monto de las utilidades a ser transferidas. El monto proyectado del impuesto de renta y las transferencias de utilidades netas se giraría por partes iguales durante los doce meses del año. En caso de que ocurran hechos que obliguen a revisar las utilidades proyectadas se procedería a efectuar los ajustes del caso para determinar el monto de los anticipos por transferencias e impuesto de renta a efectuar durante los meses restantes del año. Una vez cerrado el balance de la empresa se harían los ajustes del caso.

La secuencia recomendada otorgaría prioridad a corregir los problemas de nivel y de estructura que se presentan en los precios al productor, dejando para una segunda etapa los problemas que se vinculan tanto con

el nivel como con la estructura deseada de los impuestos. En consecuencia, se arreglarían en una primera etapa problemas de estructura tales como los bajos niveles de los precios de gas propano y gas natural, del cocinol, las distorsiones que existen en los precios relativos del kerosene y los que puedan existir en los precios relativos de los crudos pesados; vale decir, los que causan las mayores distorsiones en la asignación de recursos en la economía.

Se dejarían para la segunda etapa la eventual diferenciación en los niveles de impuestos de la gasolina y el diesel para transporte (pero se distinguiría desde una etapa temprana el precio del ACPM para la industria y la agricultura) y el establecimiento de gravámenes diferenciales a todos los energéticos por consideraciones de contaminación. Mientras tanto, se podrían adelantar estudios adicionales que permitan precisar los costos de estas externalidades y diseñar mejor la estructura impositiva.

Se recomienda proceder en dos o tres ajustes puntuales, que lleven los precios al productor a los niveles deseados. Las fechas y magnitudes de estos ajustes dependerían de la evolución de los índices generales de inflación, con el objeto de que su efecto sobre expectativas y anticipación de precios sea lo menor posible.

ANEXO 3. Términos de Referencia. Proyecto Elaboración Propuesta Técnico  
Económica para la Formulación del Programa control de la  
Contaminación de Fuentes Móviles en Colombia

## **PROYECTO ELABORACION PROPUESTA TECNICO ECONOMICA PARA LA FORMULACION DEL PROGRAMA CONTROL DE CONTAMINACION DE FUENTES MOVILES EN COLOMBIA**

Conforme a lo dispuesto en la Constitución Nacional y la política ambiental colombiana aprobada por el CONPES, en relación a la contaminación atmosférica, se presentan la propuesta técnica económica para la formulación del Programa de Control de Contaminación por Fuentes Móviles. El programa cuenta con dos etapas: la primera, será la elaboración y preparación de los términos de referencia (Proyecto de Asistencia Preparatoria) y la segunda, será en trabajo posterior que consistirá en la ejecución del proyecto general de "Control de Contaminación de Fuentes Móviles en Colombia, con base en las propuestas elaboradas en la 1a. etapa.

### **OBJETIVOS DEL PROYECTO DE ASISTENCIA PREPARATORIA**

Los cuatro objetivos del proyecto de asistencia preparatoria al programa de contaminación por fuentes móviles serán:

1. Recolectar y analizar la información preliminar del sector transporte en Colombia y los problemas de contaminación que se generan.
2. Revisión y Análisis de las estrategias de control de contaminación de fuentes móviles y los estándares de contaminación vigentes en Colombia y en países de Norteamérica (Estados Unidos y México) y otros países de la Comunidad Económica Europea.



3. Revisión de los modelos económicos y metodologías económicas existentes que podrían ser utilizados posteriormente en el análisis del proyecto general "Control de Contaminación de Fuentes Móviles en Colombia"
4. Coordinación de un informe de avance técnico que discutirá las posibilidades de reformulación de combustibles en el país para minimizar la contaminación atmosférica de las principales ciudades.
5. Con base en la información recolectada y este análisis preliminar se elaborarán los términos de referencia específicos para desarrollar el proyecto general del "Control de Contaminación de Fuentes Móviles en Colombia" que tendría una duración aproximada de 1 a 2 años.

## **OBJETIVO ESPECIFICO DEL PROYECTO**

### **ELABORACION DE LOS TERMINOS DE REFERENCIA**

#### **I. OBJETIVO INMEDIATO 1**

- 1.1 Preparar un inventario de las diferentes clases y cantidades de contaminantes producidos por el parque automotor que existe actualmente en Colombia, incluyendo las proyecciones en el mediano plazo. Este análisis preliminar sentará las bases para una evaluación más específica y detallada en el desarrollo del proyecto general. Por ejemplo, la investigación inicial deberá determinar cuáles áreas (probablemente urbanas) deben ser analizadas de manera intensiva en el proyecto "Control de contaminación de Fuentes Móviles".

- 1.2 El proyecto general, a diseñar, "Control de contaminación de Fuentes Móviles", deberá incluir una identificación de los puntos críticos en los cuales dichos contaminantes afectan la salud humana y causan daños materiales y ecológicos. Para este propósito la preparación de los términos de referencia incluirá la identificación de las fuentes y estadística de la información requerida para la determinación de la población afectada, la sensibilidad de los ecosistemas y de otros recursos que puedan ser afectados por la contaminación.
- 1.3 Identificar algunos métodos de evaluación de riesgo requeridos en el proyecto general "Control de contaminación de Fuentes Móviles", con el propósito de que posteriormente, en la ejecución del proyecto general se pueda analizar comparativamente la importancia de los diferentes riesgos y daños generados por las fuentes móviles.

## **II. OBJETIVO INMEDIATO 2**

- 2.1 Revisar y evaluar las estrategias y estándares nacionales e internacionales existentes. Esta fase preparatoria incluirá la recolección de la información acerca de los estándares, los instrumentos económicos y otras estrategias de control que estén en uso en México, los Estados Unidos y los países asociados a la Comunidad Económica Europea.
- 2.2 La labor de preparación de los términos de referencia incluirá, también, una revisión de la información sobre los estándares y estrategias de regulación existentes en el país. Así mismo, tratará de identificar las metodologías

necesarias para estimar los costos y beneficios de estos programas, así como de las estrategias que deberán de proponerse en el proyecto general "Control de contaminación de Fuentes Móviles", que se ejecutará posteriormente.

### **III. OBJETIVO INMEDIATO 3**

Identificación de algunas metodologías y modelos requeridos en el proyecto general "Control de contaminación de Fuentes Móviles".

3.1 Esta etapa del proyecto de diseño de los términos de referencia consistirá en una identificación de algunos métodos y modelos disponibles para:

- Estimar las emisiones contaminantes provenientes de fuentes móviles.
- Modelar el transporte, difusión y dispersión de contaminantes atmosféricos.
- Evaluar económicamente el daño causado por la exposición a los agentes contaminantes (estimación costo beneficio).

3.2 Revisar los modelos y métodos económicos requeridos para el análisis y evaluación de alternativas de política para el control de contaminación por fuentes móviles.

### **IV. OBJETIVO INMEDIATO 4**

Coordinar con Ecopetrol la preparación de un informe de avance del componente técnico del proyecto de control de fuentes móviles, que analice las posibilidades de reformular la gasolina motor, con el objeto de minimizar la contaminación atmosférica en el país.

## **V. OBJETIVO INMEDIATO 5**

Diseño de los términos de referencia del proyecto general

Para cada elemento del proyecto general se hará lo siguiente:

- 5.1 Describir las clases y fuente de información requeridas para el análisis.
- 5.2 Determinar la metodología que deberá usarse, teniendo en cuenta los métodos de estimación de los costos externos y los beneficios de los diferentes programas de control.
- 5.3 Estimar el presupuesto de los proyectos.
- 5.4 Describir el grado de calificación profesional del equipo que llevará a cabo el estudio e identificar las instituciones que cuentan con las características apropiadas para la elaboración del estudio.
- 5.5 Proponer el cronograma para la realización de los diferentes trabajos.
- 5.6 Determinar los temas que deben incluirse en el informe final.

## OBJETIVOS DEL PROYECTO GENERAL A DISEÑAR

### 1. Análisis de las fuentes de emisión

El proyecto que se diseñará, deberá analizar los diferentes tipos de contaminación ocasionado por el funcionamiento de automotores en el aire, agua (emisiones directas y ocasionadas por precipitación) y contaminación ocasionada por desperdicios sólidos (ocasionada por la incorrecta disposición de aceites de motor, baterías, llantas y vehículos usados). Todos los grupos del sector transporte serán examinados incluyendo sistemas de trabajo aéreo, terrestre y acuático. Esta sección desarrollará el trabajo iniciado en la etapa de preparación de las propuestas descritas anteriormente.

### 2. Destino, propagación y evaluación de riesgo

El proyecto deberá incluir una fase de evaluación de riesgo diseñada para identificar los problemas de contaminación más graves que requieren control a través del análisis de la propagación y destino de estos contaminantes. Esto comprenderá los efectos sobre la salud humana, bienestar (por ejemplo: daños materiales de las cosechas, bosques y riqueza pesquera debida a la precipitación de ácidos, visibilidad y ruido), y deterioro del medio ambiente. Cuando sea posible los daños serán cuantificados en dinero.

Esta sección desarrollará el trabajo propuesto en la etapa preparatoria.

### **3. Análisis y estrategia de control**

Se deberán examinar todas las estrategias de control conocidas y se escogerán las estrategias de control específicas que puedan ser recomendadas así como la posible efectividad de las mismas.

#### **COMPONENTES ESPECIFICOS DE LA IDENTIFICACION Y EVALUACION DE LAS ESTRATEGIAS DE CONTROL EN EL PROYECTO GENERAL**

- a) Recopilar la información estadística referente a las fuentes de contaminación móviles en el país. Esto incluirá la descripción de los sistemas de transporte automotor, marítimo, aéreo y férreo en el país.
- b) Recolectar la información detallada de las características del parque automotor, tales como la distribución por regiones de los tipos, dimensiones y edad de los motores y combustibles utilizados, y la intensidad de uso de las diferentes formas de transporte.
- c) Evaluación técnica de los sistemas para:
  - Control in-situ de las emisiones contaminantes provenientes de las fuentes móviles (canisters, convertidores catalíticos, etc).
  - Reformulación de los combustibles producidos en el país y reglamentaciones para los combustibles importados.
  - Sustitución por combustibles menos contaminantes.
  - Revisión periódica de las características de combustión y operación de las fuentes móviles para minimizar la generación de residuos y el ruido.

- d) Evaluación social y económica (análisis costo-beneficio) de sistemas de control in-situ de las emisiones contaminantes provenientes de las fuentes móviles. Este análisis incluirá la estimación de las externalidades económicas y los beneficios asociados con la contaminación del aire por fuentes móviles. Por ejemplo, beneficios no cuantificables como efectos sobre la salud humana y mejoramiento en la visibilidad serán medidos y cuantificados con la mayor precisión que sea posible.
- e) Evaluación técnica y económica de las alternativas para reducir la contaminación de fuentes móviles por medio del rediseño y la mejor administración del sistema vial público. Este análisis incluirá la evaluación de las nuevas estrategias de diseño y manejo de las autopistas y el sistema urbano de vías así como del control del tráfico por medio de acceso limitado a determinados corredores viales, restricciones a la localización y horario del tráfico vehicular en las áreas urbanas, además de instrumentos económicos para reducir la congestión del tráfico y su consecuente contaminación.
- Evaluación económica y técnica de las estrategias para mejorar el diseño y administración de los sistemas de transporte público tales como el servicio de buses urbanos e interurbanos, el metro o los sistemas férreos urbanos y mecanismos alternativos de transporte como los férreos en las áreas costeras y fluviales.
- Desarrollo de planes de contingencia que deberán utilizarse en caso de que se presenten circunstancias inusuales que puedan causar incidentes críticos de polución. Por ejemplo, las inversiones térmicas que se presentan de manera

ocasional, en las zonas urbanas y que producen incrementos críticos en el nivel de contaminación hacen necesaria la implementación de programas para reducir temporalmente la emisión y proteger los grupos poblacionales más sensibles a la exposición.

- Se estudiarán diversas formas de implementación de los distintos métodos técnicos de control. Se analizarán la inversión pública directa, la regulación, la educación pública y los instrumentos económicos como posibles alternativas de política para ser incluidas como recomendaciones en el informe final. Se hará énfasis en el uso de regulaciones indirectas que maximicen la eficiencia económica, permitan flexibilidad en las respuestas e incentiven la innovación en las técnicas de control de la contaminación. Estos instrumentos pueden incluir tarifas a los usuarios basadas en el diseño del vehículo y del motor, impuestos diferenciales a los combustibles con relación a su grado de toxicidad, programas de educación e inspección para promover un correcto mantenimiento de los vehículos, etc.

#### 4. Selección y diseño detallado de las estrategias específicas

- Con base en la identificación de los problemas más críticos de contaminación y la evaluación de las estrategias disponibles, se presentará un conjunto de estrategias y políticas así como una evaluación de su mayor o menor aptitud para resolver cada uno de los problemas prioritarios.
- Los programas deberán incluir recomendaciones para el diseño de la estructura institucional requerida para la construcción, implementación, administración y ejecución adecuada de las estrategias recomendadas.



- El proyecto incluirá planes para la vigilancia de la contaminación por fuentes móviles así como los métodos para "relating emissions to ambient concentrations" en áreas geográficas específicas.

Los criterios para la recomendación de estrategias incluirán:

- Efectividad del control de riesgo
- Eficiencia económica
- Equidad
- Factibilidad legal y administrativa, y
- Concordancia con los acuerdos internacionales.

| Presupuesto (2 meses)                                | Tiempo  | Total \$   |
|--|---------|------------|
| Director del Proyecto<br>William O'Neil (40% tiempo) | 2 meses | 1'600.000  |
| Investigadores                                       |         |            |
| Eduardo Lora (20% tiempo)                            | 2 meses | 920.000    |
| Guillermo Perry (50% tiempo)                         | 1 mes   | 1'200.000  |
| Ernesto Sánchez (20% tiempo)                         | 2 meses | 800.000    |
| Pilar Medina (40% tiempo)                            | 1 mes   | 400.000    |
| Asistentes (100%)                                    | 2 meses | 700.000    |
| Overhead Fedesarrollo 100%                           |         | 5'620.000  |
| Consultores externos expertos en otras disciplinas   |         | 5'000.000  |
| Total  |         | 16'240.000 |



# FEDESARROLLO

FUNDACION PARA LA EDUCACION SUPERIOR Y EL DESARROLLO

FEDESARROLLO es una entidad colombiana, sin ánimo de lucro dedicada a promover el adelanto científico y cultural y la educación superior, orientándolos hacia el desarrollo económico y social del país.

Para el cumplimiento de sus objetivos, adelantará directamente o con la colaboración de universidades y centros académicos, proyectos de investigación sobre problemas de interés nacional.

Entre los temas de investigación que han sido considerados de alta prioridad están la planeación económica y social, el diseño de una política industrial para Colombia, las implicaciones del crecimiento demográfico, el proceso de integración latinoamericana, el desarrollo urbano y la formulación de una política petrolera para el país.

FEDESARROLLO se propone además crear una conciencia dentro de la comunidad acerca de la necesidad de apoyar a las Universidades colombianas con el fin de elevar su nivel académico y permitirles desempeñar el papel que les corresponde en la modernización de nuestra sociedad.