



CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR FUENTES MÓVILES

INFORME FINAL

TOMO II

SANTAFÉ DE BOGOTÁ, AGOSTO 19 DE 1992

CONTAMINACION ATMOSFERICA POR FUENTES MOVILES

INFORME FINAL

TOMO II

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 II

Pag.

CAPITULO 8

DISEÑO DEL PROYECTO DE DE CONTROL DE LA CONTAMINACION POR FUENTES MOVILES.....

8.1. Dirección Técnica y Administrativa del Programa.....	5
8.2. Términos de Referencia Subproyecto de Análisis de Riesgo.....	8
Introducción.....	9
8.2.1. Inventario de Emisiones.....	9
8.2.2. Análisis de Transporte y Destino.....	9
8.2.3. Evaluación del Daño.....	10
8.2.4. Eventos de Corto Plazo.....	11
8.2.5. Datos Requeridos.....	13
8.2.6. Métodos.....	13
8.2.7. Recursos Humanos.....	16
8.2.8. Cronograma de Actividades.....	16
8.2.9. Presupuesto.....	17
8.3. Términos de Referencia Subproyecto de Modelación de Mecanismos de Advección y Dispersión de Contaminantes Atmosféricos.....	18
Introducción.....	19
8.3.1. Fundamentos Teóricos de los Modelos de Advección, Dispersión y difusión de Contaminantes Atmosféricos.....	19
8.3.2. Modelación en las Principales Ciudades del País.....	43
8.3.3. Diseño del Proyecto de Modelación Procesos de Advección, Dispersión y Difusión de Contaminantes Atmosféricos.....	70
8.4. Términos de Referencia de Análisis y Formulación de Mecanismos Técnicos para la Minimización de las Emisiones Atmosféricas Automotoras.....	74
Introducción.....	75
8.4.1. Programa de Revisión Periódica de Emisiones.....	75
8.4.2. Uso de Equipos de Control de Emisiones Automotoras.....	75
8.4.3. Mejoras en la Eficiencia Energética	77
8.4.4. Reposición del Parque Automotor.....	78
8.4.5. Diseño del Programa.....	79

8.5. Términos de Referencia Subproyecto de Optimización de Sistemas de Transporte para la Disminución de la Contaminación.....	80
Introducción.....	81
8.5.1. Mejoras en el Tráfico Automotor y Aumento de la Velocidad Promedio en Vías Vehiculares.....	82
8.5.2. Promoción de Sistemas Alternativos de Transporte Público.....	85
8.5.3. Uso del Suelo y Normas de Planificación Urbanas.....	90
8.5.4. Recursos Humanos.....	92
8.5.5. Presupuesto.....	92
8.5.6. Cronograma de Actividades.....	93
8.6. Términos de Referencia Subproyecto de Diseño de Mecanismos Económicos para el Control de la Contaminación por Fuentes Móviles.....	94
Introducción.....	95
8.6.1. Tipos de Instrumentos Económicos.....	95
8.6.2. Las Ventajas Generales de los Instrumentos Económicos....	102
8.6.3. Recursos Humanos.....	107
8.6.4. Cronograma de Actividades.....	108
8.6.5. Presupuesto.....	108
8.7. Términos de Referencia Subproyecto de Diseño de la Estructura Jurídica para el Control de la Contaminación por Fuentes Móviles....	109
Introducción.....	110
8.7.1. Viabilidad Legal de los Instrumentos Económicos Propuestos.....	111
8.7.2. Recursos Humanos.....	116
8.7.3. Cronograma de Actividades.....	116
8.7.4. Presupuesto.....	117
8.8. Términos de Referencia Subproyecto de Diseño de la Estructura Organizacional para el Control de la Contaminación por Fuentes Móviles.....	118
Introducción.....	119
8.8.1. Análisis de Alternativas Institucionales para el Control de la Contaminación por Fuentes Móviles.....	110

	Pag.
8.8.2. Recursos Humanos.....	123
8.8.3. Presupuesto.....	124
8.8.4. Cronograma de Actividades.....	124
8.9. Términos de Referencia para el Montaje de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire en Colombia.....	125
Introducción.....	126
8.9.1. Antecedentes.....	126
8.9.2. Objetivos de la Red de Calidad del Aire.....	130
8.9.3. Predimencionamiento de la Red.....	131
8.9.4. Diseño del Programa de Monitoreo.....	137
8.10. Términos de Referencia para el Control de Contingencias Debidas a la Contaminación Generada por Fuentes Móviles.....	142
Introducción.....	143
8.10.1. Antecedentes.....	143
8.10.2. Identificación de Comunidades y Ecosistemas Vulnerables.....	144
8.10.3. Análisis de Sensibilidad y Funciones de Costo.....	145
8.10.4. Plan de Control de Emergencias.....	145
8.10.5. Diseño del Plan de Contingencia.....	146

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

CUADROS

	Pag.
CAPITULO 8	
Cuadro 8.1. Costo, Duración y Responsables del Proyecto.....	
Cuadro 8.2. Cronograma General de Actividades.....	
Cuadro 8.3. Presupuesto para la Gerencia Técnica y Administrativa.....	7
Cuadro 8.4. Esquema para Identificar daños potenciales que pueden evitarse mediante el control de la contaminación.....	12
Cuadro 8.5. Categoría de Estabilidad.....	33
Cuadro 8.6. Características de los modelos de advección, difusión y dispersión.....	37
Cuadro 8.7. Modelos para estudiar el efecto de contaminación	38
Cuadro 8.8. Modelos para evaluar la calidad del aire de la EPA.....	40
Cuadro 8.9. Aplicación del Modelo Caja.....	45
Cuadro 8.10. Comparación de datos medidos con los obtenidos del modelo.....	46
Cuadro 8.11. Aplicación del modelo de mezcla completa.....	47
Cuadro 8.12. Tipos, cantidad y forma de los orígenes para el estudio de modelación en Santafé de Bogotá.....	49
Cuadro 8.13. División por regiones del espacio de Bogotá.....	51
Cuadro 8.14. Valores Promedio de contaminantes en las regiones del espacio de Bogotá.....	53
Cuadro 8.15. Vlores de mediciones y calculados.....	54
Cuadro 8.16. Estimación de contaminantes según modelos de dispersión.....	54
Cuadro 8.17. Aplicación del modelo CMB en las regiones de Bogotá.....	56
Cuadro 8.18. Categorías de dispersión.....	61
Cuadro 8.19. Prioridades del Control.....	64
Cuadro 8.20. Emisiones Atmosféricas calculadas sin controles.....	66
Cuadro 8.21. Mediciones de partículas suspendidas.....	68
Cuadro 8.22. Cargas contaminantes del aire provenientes de fuentes de combustión móviles.....	85
Cuadro 8.23. Costos de financieros de los sistemas de transporte en Colombia. Costos de operación sin costo de tiempo de pasajeros.....	89

	Pag.
Cuadro 8.24. Costos de financieros de los sistemas de transporte en Colombia. Costos de operación con costo de tiempo de pasajeros.....	89
Cuadro 8.25. Indicadores de rendimiento de buses a nivel internacional....	92
Cuadro 8.26. Cronograma de Actividades.....	93
Cuadro 8.27. Características de la red Panair de vigilancia de la calidad del aire.....	127
Cuadro 8.28. Zonas de control de la red nacional de vigilancia de la calidad del aire.....	128
Cuadro 8.29. Red de vigilancia de la calidad del aire, número de estaciones recomendadas.....	132
Cuadro 8.30. Red de vigilancia de la calidad del aire, equipos y costos....	134
Cuadro 8.31. Equipos a Implementar.....	135
Cuadro 8.32. Tipo de procesamiento propuesto para los parámetros considerados.....	136
Cuadro 8.33. Tipos de radio sondas necesarias para la evaluación meteorológica.....	136
Cuadro 8.34. Criterios generales para la ubicación de estaciones de medición.....	140
Cuadro 8.35. Parámetro y criterios de evaluación para la ubicación de estaciones de observación meteorológica.....	141

FIGURAS

	Pag
CAPITULO 8	
Figura 8.1. Diagrama modelo caja.....	21
Figura 8.2. Diagrama lineal del modelo.....	24
Figura 8.3. Diagrama de distribución normal de la temperatura.....	26
Figura 8.4. Representación del modelo de Gauss.....	31
Figura 8.5. Determinación del coeficiente ∂y	34
Figura 8.6. Determinación del coeficiente ∂z	34
Figura 8.7. Relación entre el consumo energético y el producto interno bruto en los Estados Unidos	77
Figura 8.8. Relación entre el consumo energético y el producto interno bruto en Colombia.....	78
Figura 8.9. Modelos Vs. concentración de HC en Bogotá.....	79

TOMO I I

CAPITULO 8

DISEÑO DEL PROYECTO DE CONTROL DE LA CONTAMINACION POR FUENTES MOVILES

CAPITULO 8

DISEÑO DEL PROYECTO DE CONTROL DE LA CONTAMINACION POR FUENTES MOVILES

Este documento presenta los términos de referencia para la ejecución del programa de control de la contaminación por fuentes móviles en Colombia. El programa se compone de nueve subproyectos interdependientes, estos se encuentran relacionados en los cuadros 8.1 y 8.2.

- 1.- Análisis de riesgos ambientales por la contaminación generada por las fuentes móviles.
- 2.- Modelación de la calidad del aire.
- 3.- Mecanismos técnicos para la reducción de emisiones automotoras contaminantes.
- 4.- Optimización de sistemas de transporte.
- 5.- Mecanismos económicos para el control de la contaminación generada por las fuentes móviles.
- 6.- Estructura jurídica para el control de la contaminación generada por las fuentes móviles.
- 7.- Estructura organizacional para el control de la contaminación generada por las fuentes móviles.
- 8.- Montaje de la red de calidad del aire.
- 9.- Plan de contingencias debidas a la contaminación generada por las fuentes móviles.


Este programa inició su desarrollo bajo la dirección del departamento Nacional de Planeación y la cooperación del PNUD y ECOPETROL. El

CUADRO 8.1. COSTO, DURACION Y RESPONSABLES DEL PROYECTO

Subproyecto o Actividad	Costo a Contratar	Duración	Responsable
8.1. Dirección Técnica y Administrativa del programa	US \$ 120.750.00	21 meses	DNP - PNUD
8.2. Análisis de Riesgo	US \$ 25.000.00	6 meses	DNP - PNUD
8.3. Modelación de Contaminantes Atmosféricos	US \$ 42.858.00	14 meses	ECOPETROL
8.4. Programa de Revisión Periódica de Emisiones de Exosto y Mejoras en la Eficiencia de los Automotores		11 meses	ECOPETROL
8.5. Optimización de Sistemas de Transporte para la Disminución de la Contaminación	US \$ 102.857.00	9 meses	DNP
8.6. Diseño de Mecanismos Económicos para el Control de la Contaminación por Fuentes Móviles	US \$ 56.000.00	9 meses	ECOPETROL
8.7. Diseño de la Estructura Jurídica para el Control de la Contaminación por Fuentes Móviles	US \$ 15.750.00	6 meses	DNP
8.8. Diseño de la Estructura Organizacional para el Control de la Contaminación por Fuentes Móviles	US \$ 10.500.00	5 meses	DNP
8.9. Montaje de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire en Colombia	US \$ 42.858.00	7 meses	DNP
8.10. Control de Contingencias debidas a la Contaminación Generada por las Fuentes Móviles	US \$ 40.000.00	7 meses	DNP
TOTAL	US \$ 456.573.00		

CUADRO 8.2. CRONOGRAMA GENERAL DE ACTIVIDADES

Subproyecto o Actividad	meses																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
8.1. Dirección Técnica y Administrativa																					
8.2. Análisis de Riesgo																					
8.3. Modelación de Contaminantes Atmosféricos																					
8.4. Programa de Revisión Periódica de Emisiones de Exosto y Mejoras en la Eficiencia de los Automotores																					
8.5. Optimización de Sistemas de Transporte para la Disminución de la Contaminación																					
8.6. Diseño de Mecanismos Económicos para el Control de la Contaminación por Fuentes Móviles																					
8.7. Diseño de la Estructura Jurídica para el Control de la Contaminación por Fuentes Móviles																					
8.8. Diseño de la Estructura Organizacional para el Control de la Contaminación por Fuentes Móviles																					
8.9. Montaje de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire en Colombia																					
8.10. Control de Contingencias debidas a la Contaminación Generada por las Fuentes Móviles																					

 Programado

programa tiene una duración adicional a la etapa preparatoria, de 21 meses y un costo aproximado de \$ 320 millones de pesos. Adicional a los proyectos interdependientes que conforman el programa, se requiere coordinar técnica y administrativamente la ejecución de los proyectos identificados, para el efecto a continuación se presentan los términos de referencia de la Dirección Técnica y Administrativa del proyecto.

8.1. Dirección Técnica y Administrativa del Programa

8.1. Dirección Técnica y Administrativa del Programa

Para la dirección técnica y administrativa de programa se propone la conformación de un equipo, que siga los lineamientos que dice el Departamento Nacional de Planeación, y que este conformado por un coordinador del proyecto, un ingeniero ambiental, un administrador de empresas y una secretaria. Este equipo se encargará de preparar los pliegos de condiciones, evaluar las propuestas, agilizar las contrataciones administrativas, controlar el presupuesto, y de manera prioritaria coordinar, supervisar y hacer interventoría al desarrollo de cada uno de los proyectos que compone el programa.

El director del proyecto deberá ser un especialista en protección ambiental con estudios de post-grado a nivel de Ph.D, adicionalmente educación formal y experiencia en gerencia de proyectos de ingeniería. Este profesional deberá contar con una experiencia profesional de por lo menos 10 años.

El ingeniero ambiental dará el soporte técnico y deberá tener estudios de master en ingeniería ambiental.

El administrador de empresas deberá tener amplia experiencia en manejo contable y en contratación administrativa de personal y estudios de consultoría.

Cuadro 8.3. Presupuesto para la gerencia técnica y administrativa

PERSONAL	US \$ / Mes	Hombre Mes	TOTAL
- Gerente Coordinador del Proyecto	3.500	10,5	36.750
- Ingeniero Asistente	1.000	21	21.000
- Supervisor Administrativo	700	21	14.700
- Secretariado y apoyo	300	21	6.300
Administrativo	35.000		35.000
- Apoyo Logístico (viajes, viaticos, computador)	7.000		7.000
- Capacitación Funcionarios Gubernamentales			
TOTAL			120.750

8.2. Términos de Referencia Subproyecto de Análisis de Riesgo.

8.2. Términos de Referencia Subproyecto de Análisis de Riesgo.

Introducción

Esta sección presenta los términos de referencia del proyecto de análisis de riesgo, correspondiente a la identificación de los efectos ambientales prioritario generados por la contaminación por fuentes móviles.

8.2.1. Inventario de Emisiones

Los investigadores que desarrollen este proyecto deben preparar un inventario del tipo y cantidades de contaminantes emitidos por las diferentes clases de vehículos utilizados en Colombia actualmente, o que se vayan a utilizar próximamente. El inventario será catalogado por regiones y áreas urbanas, basado en la información de los informes anexos.

La información preliminar obtenida durante el estudio preparatorio, permitió identificar áreas urbanas e industriales que actualmente tienen las mayores concentraciones de emisiones. Este análisis se profundizará en el desarrollo del proyecto. Primero, se estimarán las proyecciones sobre el tipo y número de vehículos que podrán ser importados en Colombia como consecuencia de la disminución de los controles de importación. Segundo, se verificarán y refinarán los cálculos sobre inventarios de vehículos, patrones de conducción, millas recorridas mensualmente, y las omisiones resultantes para cada región geográfica prioritaria. Finalmente, se estimarán las tendencias en los inventarios de vehículos, los patrones de uso y las emisiones esperadas en los próximos 10 años.

8.2.2. Análisis de Transporte y Destino

Como los patrones climatológicos a menudo permiten que los contaminantes sean transportados a sitios alejados de su origen, se requerirá un análisis adicional del transporte y destino para poder identificar los puntos de daño. Adicionalmente, los patrones climatológicos afectan la transformación química y la interacción de los contaminantes, por ejemplo, el ozono es

producto de una reacción fotoquímica entre los óxidos de nitrógeno emitidos y los compuestos orgánicos volátiles. Se requiere un análisis de patrones climatológicos como la intensidad solar y las inversiones térmicas para poder determinar la gravedad de la contaminación local de ozono. El dióxido sulfúrico se adhiere a las moléculas de agua del aire y pueden transportarse y precipitarse a la tierra o al agua en forma de compuestos ácidos. La precipitación ácida puede afectar áreas alejadas de la fuente del contaminante primario.

El análisis de transporte y destino de contaminantes primarios y secundarios incluirá una evaluación del aire, la tierra y el agua de las regiones receptoras. El análisis de transporte y destino que se llevará a cabo en regiones geográficas específicas tendrá en cuenta la topografía local y las condiciones climatológicas, al igual que la interacción con los contaminantes de fuentes industriales.

8.2.3. Evaluación del daño

El proyecto incluirá la identificación de puntos de destino donde los contaminantes afectan la salud humana o causan daños materiales o ecológicos. El principal objetivo será la identificación de grandes concentraciones poblacionales que están expuestos a la contaminación la cual tiene efectos adversos sobre la salud humana que son conocidos. La segunda preocupación será el daño ecológico producido. Por ejemplo, se sabe que la exposición al ozono retarda el crecimiento de muchas especies de plantas y la precipitación ácida puede alterar la composición química del agua y dañar ecosistemas acuáticos al igual que las plantas. Finalmente el análisis identificará los daños causados a cultivos, daños materiales tales como polvo debido a partículas y corrosión de materiales causado por precipitación ácida.

La evaluación del daño será presentada en términos del riesgo comparativo causado a varios puntos de destino en diferentes partes del sistema de transporte y de la estimación de la naturaleza y gravedad de los daños. El cuadro 8.1. ilustra la matriz de los puntos de destino, los daños y métodos de estimación que guiarán esta fase del análisis.

En casos en que sea posible, los estimativos de los daños se darán en términos monetarios para permitir la comparación e identificación de los problemas prioritarios.

8.2.4. Eventos de Corto Plazo

Ciertas condiciones atmosféricas pueden causar en el corto plazo daños de calidad de aire. En particular, las inversiones térmicas, pueden capturar las emisiones a bajas alturas sobre la superficie, creando concentraciones extremas de contaminación en pequeñas áreas geográficas. Si estas áreas son densamente pobladas, se pueden presentar graves efectos sobre la salud. Este es el caso de Ciudad de México. Esto ocurre con frecuencia en varias ciudades colombianas, aunque los niveles de contaminación generalmente no son tan graves como en Ciudad de México.

Un factor que complica las cosas, es la presencia de radiación solar intensa. La luz del sol causa reacciones fotoquímicas y produce ozono. Cuando la formación de ozono coincide con condiciones de inversión térmica, se pueden presentar efectos serios sobre la salud.

Este análisis del riesgo identificará regiones geográficas, especialmente las áreas urbanas y las condiciones climatológicas que pueden causar estos cortos períodos de contaminación. Este análisis será la base para aplicar regulaciones específicas adicionales al control de la contaminación, tal como se describe en la sección de planes de contingencia.

Cuadro 8.4. Esquema para Identificar Daños Potenciales que Pueden Evitarse Mediante el Control de la Contaminación

<u>Puntos de Destino</u>	Actuales	Planeados	Futuros (propuestos)
---------------------------------	-----------------	------------------	---------------------------------

de los Daños
Salud Humana

Aguda:	Síntomas, Días de Actividad Restringida
Crónica:	Síntomas, Días de Actividad Restringida
Muerte:	Reducción de la esperanza de vida
Métodos:	Costos médicos directos
	Pérdida de producción
	Valoración de las contingencias
	Gastos para evitar daños
	Análisis de Remuneración Hedonista (Prima de Riesgo)

Servicios Directos

Recursos Naturales:	Peces, cultivos, bosques, minas, suministro de agua.
Recreación:	Pesca, Natación, vela, montañismo, etc.
Estética:	Visibilidad, olores, ruido
Control de Inundaciones:	Daño a las propiedades, sedimentación de las vías acuáticas
Absorción de contaminación:	Evitar mayores daños
Métodos:	Costos directos
	Costos de Restauración/Sustitución
	Pérdidas de Producción
	Costos de viaje
	Valoración de las contingencias

Daños Ecológicos

Servicios del hábitat
Fijación Energética
Ciclos de los nutrientes
Producción de oxígeno
Control del clima
Biodiversidad/materiales genéticos

Métodos: Costos de Restauración o Sustitución
Valoración de las contingencias
Descripción no cuantitativa
Cambios en los Indicadores Ecológicos

8.2.5 Datos Requeridos

Emisiones: Región, contaminante, variación mensual, proyecciones anuales para 10 años

Clima: Patrones de clima locales para áreas urbanas, intensidad solar y su variación mensual, duración de las inversiones térmicas, patrón regional de los vientos

Población: Región (urbana y rural), distribución de edades

Ecológico: Localización de ecosistemas valiosos o escasos

Comercial: Localización y tipo de áreas agrícolas

8.2.6 Métodos

En general se utilizará la literatura existente sobre evaluación de riesgo y daño de la contaminación del aire. Varias referencias se incluyen abajo. Sin embargo, la meta es utilizar técnicas adecuadas acordes con la limitación de información, lo cual permitirá hacer una evaluación verosímil de los riesgos pertinentes, sin utilizar una gran parte del presupuesto. Por ejemplo, un informe reciente preparado en el Banco Mundial "Back of the Envelope Estimates of Environmental Damage Cost in Mexico" (1991), ilustra técnicas prácticas y relativamente poco costosas de aplicaciones similares al caso colombiano. Uno de los autores de esta propuesta, W.B. O'Neil, proporcionó para el estudio en mención métodos y técnicas de la Agencia para la Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos.

8.2.6.1. Proyecciones de las Emisiones

Estas proyecciones se harán sobre la base de datos de número de millas recorridas por tipo de vehículo en cada área geográfica estudiada. Para cada tipo de vehículo se han calculado los factores de emisión que permitan predecir las emisiones por millas recorridas. Estos factores se encuentran en la literatura de ingeniería general, de investigaciones de OECD y EPA. Análisis de los vehículos colombianos serán utilizados para ajustar estos factores y así tener en cuenta las variaciones producidas por las prácticas locales de mantenimiento de los motores y las características de producción.

Comenzando con el actual inventario de vehículos se estimará el número de vehículos de cada clase y región para los próximos 10 años; las millas recorridas también son una función del ingreso y el precio del combustible. Estimativos de los precios relevantes y las elasticidades ingreso serán tomados de análisis existentes de países con situaciones económicas similares.

8.2.6.2. Transporte y Destino

Existen sofisticados programas de computador para hacer modelos de dispersiones en el aire. En general, estos programas requieren grandes volúmenes de información y son muy costosos de operar. El presente análisis se basará en un primer esfuerzo para la predicción geográfica del transporte de los contaminantes del aire, que se apoye en descripciones generales sobre condiciones climatológicas urbanas, patrones conocidos de vientos regionales, información topográfica y de un análisis manual de mapas para predecir el movimiento y dispersión de contaminantes partiendo de su sitio de origen. El proyecto de modelación de la calidad del aire, permitirá sustentar los resultados del análisis de riesgo.

8.2.6.3. Puntos Receptores

Con la información sobre la localización de población humana en Colombia, y los estimativos descritos arriba sobre transporte y destino de contaminantes, se podrá identificar el número de personas afectadas en cada

área geográfica estudiada, por las diferentes concentraciones de contaminantes considerados. Se elaborarán perfiles de exposición para mostrar la intensidad y duración de la exposición en las poblaciones sensibles.

Ejercicios similares se harán para las áreas de conservación, regiones agrícolas y comerciales sensibles a este fenómeno.

8.2.6.4. Evaluación del Daño

En esta parte del análisis se estimarán las clases y cantidades de efectos nocivos sobre la salud atribuibles a la exposición del aire contaminado. También, se describirá la naturaleza y el grado del daño a ecosistemas y actividades comerciales causado por la contaminación del aire producido por el sector del transporte.

Respecto a los efectos sobre la salud humana y los daños a otros seres vivos existen muchas investigaciones disponibles sobre el tipo de efectos causados en diferentes niveles de exposición. La Organización Mundial de la Salud, OECD, y EPA tienen resúmenes sobre la literatura científica básica de esta área.

La estimación de funciones precisas del daño no está aún bien desarrollada. Una función del daño es una relación matemática que correlaciona la cantidad de exposición con cambios en las funciones fisiológicas, la mortalidad y la morbilidad. La razón principal por la cual no hay información al respecto es la dificultad de llevar a cabo experimentos controlados en laboratorio con seres humanos.

Por lo tanto, la mayoría de los análisis se basan en estudios estadísticos de efectos a la salud observados en grandes poblaciones y perfiles estimados de exposición. Se propone estimar la cantidad de efectos sobre la salud causados por la contaminación, utilizando los estimativos publicados de las funciones de daño. Pero se sabe que dichos estimativos no son precisos y sus resultados no ofrecen total seguridad.

Respecto a los daños ecológicos y comerciales, es posible que sólo se puede proporcionar descripciones cualitativas de los tipos y magnitudes de los

diferentes daños. Por ejemplo, bosques y cultivos comerciales pueden ser menos productivos bajo niveles altos de exposición al ozono. Sin embargo, se espera obtener un buen conocimiento de la magnitud de los diferentes daños causados por la contaminación del aire producida por las fuentes móviles para diferentes áreas geográficas estudiadas. Esta información se utilizará para desarrollar un sistema de prioridades que identifique los riesgos que más necesitan ser controlados.

8.2.7. Recursos Humanos

Para la ejecución del proyecto de análisis de riesgo se requiere de personal especializado en las áreas que se identifican a continuación.

- Analista de Transporte (Pronosticar emisiones), Ph.D en sistemas de transporte.
- Economista Ambiental (Pronosticar emisiones y evaluar daños), Ph.D en Economía Ambiental.
- Analista de Dispersión de la calidad del aire (Análisis de Transporte y Destino), Ph.D. en Ingeniería Ambiental
- Especialista en Efectos a la Salud (evaluación del daño), Médico o Epidemiólogo Especializado

8.2.8 Cronograma de Actividades

Esta fase del proyecto comenzará apenas se inicie el mismo. Esta parte proporcionará información básica necesaria en otras partes del proyecto.

Cronograma de Actividades

ACTIVIDAD	MES	1	2	3	4	5	6
I. Recolección de datos		=====					
II. Análisis preliminar			=====				
III. Informe preliminar					=====		
IV. Informe final						=====	

8.2.9 Presupuesto

PESONAL	US \$/ MES	H/M	TOTAL
Analista de Transporte	2.500	3,2	8.000
Economista	2.500	2	5.000
Ing. Calidad del Aire	2.500	2,4	6.000
Especialista Efectos a la Salud	2.000	3	6.000
TOTAL			25.000

**8.3. Términos de Referencia Subproyecto de
Modelación de Mecanismos
de Advección y Dispersión de Contaminantes
Atmosféricos**

8.3. Términos de Referencia Subproyecto de Modelación de Mecanismos de Advección y Dispersión de Contaminantes Atmosféricos

Introducción

Esta sección presenta el diseño de proyecto de modelación de transporte, dispersión y difusión de contaminantes atmosféricos en los principales centros urbanos del país tales como Bogotá, Cali, Medellín y Barranquilla.

Esta sección se divide en tres partes, la primera discute los fundamentos teóricos de los modelos de simulación que se utilizan para examinar los procesos de contaminación atmosférica; la segunda discute la aplicación que se ha hecho de modelos de contaminación atmosféricos en Bogotá, Medellín, Cartagena y Barrancabermeja; y la tercera sección presenta el alcance del proyecto que ejecuta el DNP para el control de los procesos de contaminación industrial en el país. Esta última sección presenta los términos de referencia, como gastos y presupuestos para la ejecución del proyecto de modelación atmosféricos generados por las fuentes móviles en el país¹.

8.3.1. Fundamentos Teóricos de los Modelos de Advección, Dispersión y Difusión de Contaminantes Atmosféricos.

Los modelos de calidad del aire se pueden clasificar en cuatro clases: gaussianos, numéricos, estadísticos y físicos. Los modelos gaussianos se consideran como una buena técnica para la estimación del impacto de contaminantes no reactivos, mientras que los modelos numéricos son más apropiados para estimar la contaminación por fuentes múltiples que emiten contaminantes reactivos, pero requieren más información y recursos de computador por lo cual son poco usados.

Por otro lado los modelos estadísticos se utilizan cuando no se tiene un conocimiento claro de los procesos físicos y químicos que haga poco confiable el uso de modelos gaussianos o numéricos.

La aplicación de modelos físicos requieren el uso de un tunel de vientos o de otras técnicas de modelación de fluidos y determinan el impacto en la calidad del aire de una fuente o grupo de fuentes en un área pequeña; es un proceso complejo que requiere de alta experiencia técnica.

8.3.1.1. Modelos que Relacionan las Emisiones a las Concentraciones

Los métodos de predicción de las emisiones que influyen en la calidad del aire del ambiente, están basados en modelos matemáticos.

El transporte de los contaminantes atmosféricos es un proceso complejo, especialmente cuando las emisiones corresponden a químicos.

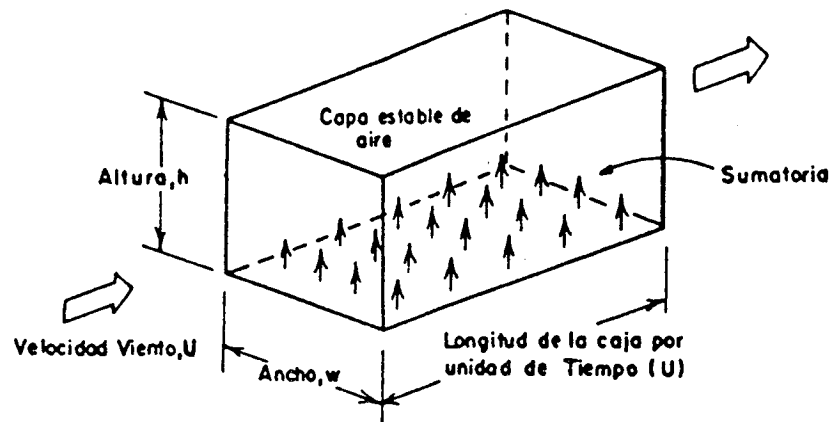
8.2.1.1.1 Modelo de Caja (BOX MODEL)

a. Características del Modelo

El modelo de caja supone una rata constante de emisión, P (masa por unidad de tiempo), de un volumen de aire al ambiente que se mueve con dirección y velocidad constante, U .

El aire en movimiento es confinado en una dirección por debajo de una capa de aire estable que se encuentra a una cierta altura h . El aire es también confinado en una dirección perpendicular a la velocidad del viento (ver figura 8.1).

Figura 8.1.
Diagrama Modelo de Caja



Volumen de aire / tiempo = $h(L).w(L).U(L/p)$

Masa residual / tiempo = $P(M/T)$

L Unidades de longitud

M..... Unidades de masa

T Unidades de tiempo

Fuente: Ortolano (1984)

b. Supuestos del modelo

El modelo asume como condiciones topográficas un valle en el cual el aire se mueve a través de una zona de ancho w , formada por dos filas de montañas. El aire contaminado es diluido y transportado desde el área por movimiento lateral en la dirección del viento, a través del valle. El modelo además supone:

- . Condiciones estables de emisión
- . Velocidad del viento
- . Características del aire disponible para dilución constantes en el tiempo.
- . Las descargas se mezclan completamente e instantáneamente con el aire disponible para dilución

. El material liberado es químicamente estable (no reacciona con el aire), y permanece en el aire.

Bajo condiciones constantes el volumen de aire que pasa por el área en una unidad de tiempo igual al producto de la velocidad del viento, U , y el área transversal hw . Las relaciones de volumen por unidad de tiempo se basa en el principio de conservación de masa aplicado al estudio de fluidos en movimiento.

La concentración de material descargado en el aire del ambiente es igual a la rata de descarga P , dividido sobre el volumen disponible para dilución, que pasa a través del área transversal de la caja en la unidad de tiempo Uhw .

c. Usos del modelo

El modelo de caja es empleado para determinar un promedio de la concentración de ciertos tipos de contaminantes para una pequeña región conformada por varias fuentes emisoras, distribuidas uniformemente.

Este modelo se utiliza fundamentalmente para simular el transporte de contaminantes no reactivos químicamente como las partículas en suspensión y monóxido de carbono.

d. Limitaciones del modelo

El modelo presenta alguna limitaciones, ya que las concentraciones en algunos lugares de la región analizada es diferente y no uniforme lo mismo que el ancho de la caja; adicionalmente el modelo no considera la dispersión atmosférica del material contaminante en dirección horizontal y vertical.

Este modelo también considera que la emisión es químicamente no reactiva durante períodos de tiempo usados en el análisis. Esta suposición es razonable para contaminantes como CO , SO_x , y partículas, pero es

inapropiada para contaminantes como hidrocarburos y óxidos de nitrógeno que forman "smog" fotoquímico.

8.3.1.1.2. MODELO ROLLBACK O DE ESCALA PROPORCIONAL

a. Características del modelo

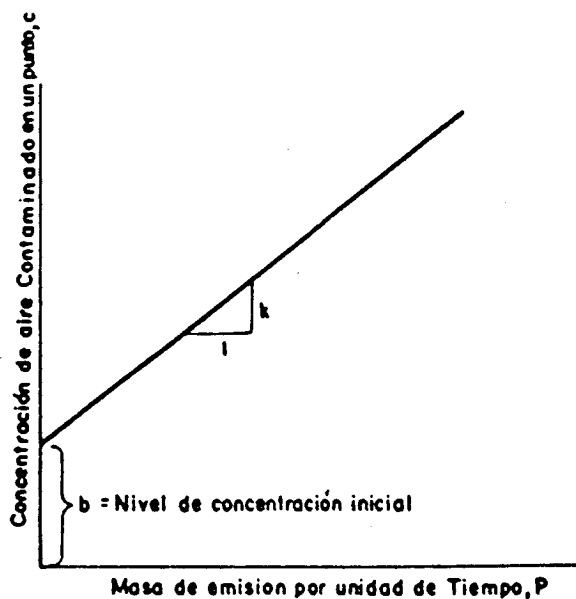
Este modelo supone una relación lineal entre la tasa de emisión **P** y la cantidad de sustancia descargada (concentración **C**) en la región durante un período determinado y en un punto específico. Matemáticamente esta suposición se expresa como :

$$C = kP + b$$

donde **b** es la concentración existente o inicial en el sitio o el valor de la concentración antes de iniciada la emisión que se está analizando; y **k** es una constante empírica determinada experimentalmente. Los parámetros **b** y **k** son para un lugar y un tipo de contaminante específico.

Figura 8.2.
Diagrama Lineal del Modelo

$$C = kP + b$$



Fuente : Ortolano (1984)

b. Usos del modelo

Este modelo se emplea para determinar la reducción necesaria de la descarga con el fin de alcanzar un valor estandar de concentración o un cierto nivel de calidad del aire en el ambiente C_s .

El porcentaje de reducción de la emisión R se calcula entre dos tiempos correspondientes a dos estados de concentración del contaminante:

$$R = 100 (C_o - C_s) / (C_o - b)$$

- b Concentración del contaminante en el aire antes de la emisión.
- $C_o - b$ Exceso de concentración aportada por la emisión.
- $C_o - C_s$ Exceso de concentración máxima para no sobrepasar el valor el valor estandar o propuesto.

La reducción de la emisión, ha sido usada para calcular las emisiones producidas por los motores de los vehículos o fuentes móviles.

c. Limitaciones del modelo

El modelo puede resultar inapropiado para predecir el incremento en la concentración de las partículas en un determinado punto de la región que se está analizando, porque la variación en las condiciones meteorológicas puede cambiar en k a través del tiempo. Adicionalmente k puede cambiar si la fuentes de emisión son móviles.

La suposición lineal que plantea el modelo es discutida, ya que no puede ser usada para reacciones fotoquímicas, de hidrocarburos y óxidos de Nitrógeno, en donde el valor de precisión puede disminuir apreciablemente.

Otra objeción que tiene el modelo es que debe ajustarse antes de ser usado, mediante el cálculo preciso de los parámetros k y b , estimados con valores promedios de un número estadísticamente representativo de muestras, en el punto en el cual se desea predecir las concentraciones del contaminante de interés.

A pesar de sus restricciones el modelo es ampliamente usado por su simplicidad y facilidad de manejo.

8.3.1.1.3. Modelos Estadísticos

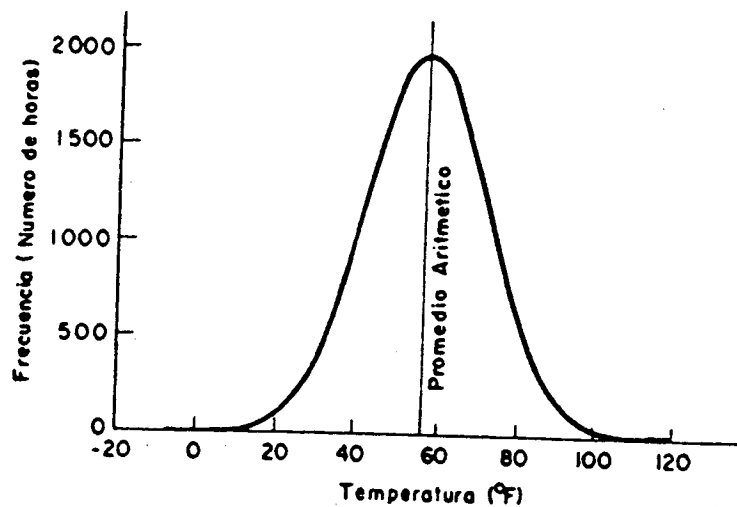
El modelo de ROLLBACK trata las concentraciones del contaminante, en un determinado punto, como un valor promedio, aunque este valor no tiene en cuenta una dispersión de los datos, por medio de un intervalo de confianza, que indica su grado de precisión.

Usando análisis estadístico el modelo ROLLBACK, puede extenderse teniendo en cuenta las variaciones de las concentraciones en el sitio de análisis.

a. Distribución LOG-NORMAL

El modelo emplea la distribución log-normal y considera la variación de la temperatura, para un cierto número de horas, en un sitio, presenta una variación normal.

Figura 8.3.
Diagrama de Distribución Normal de la temperatura



$$Y = \frac{n}{s \sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{t - m}{s} \right)^2 \right)$$

Y... frecuencia de ocurrencia

t... temperatura horaria

n... número total de temperaturas horarias leídas

m... promedio aritmético de las lecturas

s... desviación estandar de las lecturas

Fuente : Ortolano (1984)

De acuerdo a la figura 8.3 el eje horizontal representa la temperatura horaria y el eje vertical la frecuencia con que se presentan estas temperaturas. El intervalo de temperatura usados para hacer la gráfica suele ser pequeño, y esta curva es muy aproximada a la curva que se podría obtener cuando se realiza una medición de presiones en lugar de temperaturas.

La curva de la figura 8.3. tiene forma de campana y presenta un eje de simetría en el valor promedio de la temperatura observada durante un cierto período que puede ser de 7 años.

Larsen analizó la calidad del aire para ocho ciudades de Estados Unidos, y estableció que la frecuencia de un contaminante en un determinado sitio, no tienen una distribución normal. En este estudio se estableció que contaminantes como SO_2 , NO_x , hidrocarburos y oxidantes fotoquímicos, presentan una distribución log-normal.

La gráfica de distribución log-normal, para un análisis de calidad del aire, se puede obtener tomando el eje vertical como el logaritmo de la concentración, y el eje horizontal, como el porcentaje de tiempo en el que se excede o se iguala una concentración particular.

Por ejemplo, se pueden realizar mediciones de concentraciones promedio para cada mes durante un año (el 100% del tiempo corresponde a 12 meses). Sobre el eje horizontal se colocará una escala de valores correspondiente al rango de concentraciones que se presentaron. En el eje vertical o de frecuencias, se colocará el número de meses en porcentaje, en los que se encontraron valores de concentración mayores o iguales a los valores tabulados en el eje horizontal. De esta forma se puede estimar la curva de la campana de GAUSS.

b. Combinación de ROLLBACK y Modelo Estadístico

- Características de Modelo

Esta combinación fué estudiada por la EPA en 1975, para oxidantes fotoquímicos, arrojados por los vehículos, de los cuales se tenían datos estadísticos de dos años.

El modelo Rollback supone que para un punto, las concentraciones de los contaminantes, en el ambiente, son proporcionales a la emisión total del contaminante. La EPA asumió que había correspondencia de uno a uno entre las concentraciones máximas promedio diarias de los oxidantes y los valores promedio de las emisiones de esos contaminantes, que en este caso se concentraba en hidrocarburos reactivos (RCH).

Con los datos disponibles se quería predecir las concentraciones que se iban a alcanzar en ciertos sitios, para 1990, cuando las emisiones se incrementarían junto con el aumento del tránsito vehicular.

- Usos del modelo

El modelo es muy útil cuando se va a predecir las concentraciones en el futuro, de un contaminante en un determinado punto, cuando se tienen datos estadísticos actuales, de emisiones y concentraciones ordenados en un diagrama de frecuencias.

En síntesis la predicción se realiza de la siguiente forma :

si:

- . C_{fx} proporcional a E_x , para el año x conocido
- . C_{fy} proporcional a E_y , para el año y futuro

donde : . C_{fx} es la concentración del contaminante, en el año x , y para un porcentaje de frecuencia f , el cual es conocido.

. C_{fy} es la concentración del contaminante, en el año y , y para un porcentaje de frecuencia f , que se desea conocer.

. E corresponde al valor de las emisiones (en toneladas por año por ejemplo), para el año indicado, y ambos valores son conocidos.

entonces: $C_{fy} \cdot E_x = C_{fx} \cdot E_y$ ó

$$C_{fy} = (C_{fx} \cdot E_y) / E_x$$

El valor E_y se puede calcular, para el caso de vehículos, basandose en la predicción del tránsito futuro, y en los índices de emisión unitarios para dichos vehículos.

De esta forma para los diferentes valores de frecuencia f se puede predecir los valores de la concentración del contaminante para un año futuro y, se estima una curva log-normal para un determinado año de interés.

La curva en forma de campana obtenida, ofrece información que puede ser usada en vías, para predecir, los valores de las concentraciones con el tiempo, y deducir para que año se alcanzará el valor estandar de concentración que especifican las normas, cuando se conservan las mismas condiciones de emisión. También se emplea para predecir el valor de las concentraciones cuando las condiciones de emisión (y por lo tanto la magnitud

de las mismas) se van a modificar mediante la incorporación de nueva tecnología.

8.3.1.2. Modelos de Dispersión Atmosféricos

Durante los años 20, el proceso de dispersión empezó a ser analizado sistemáticamente, desde un punto de vista teórico y apoyado por la experiencia.

Modelos matemáticos de turbulencia atmosférica fueron usados para predecir el movimiento de las partículas en una corriente de humo en el aire ambiente. Trabajos experimentales, indicaron que bajo ciertas condiciones, los materiales contaminantes que se dispersan en la dirección del viento, se distribuyen de acuerdo a la curva de forma de campana o normal. Como desarrollo de las primeras investigaciones, se desarrollaron "modelos de dispersión atmosférica", de origen puntual, de lineal, o de un área.

8.3.2.1 Modelo Puntual de Gauss

a. Generalidades del modelo

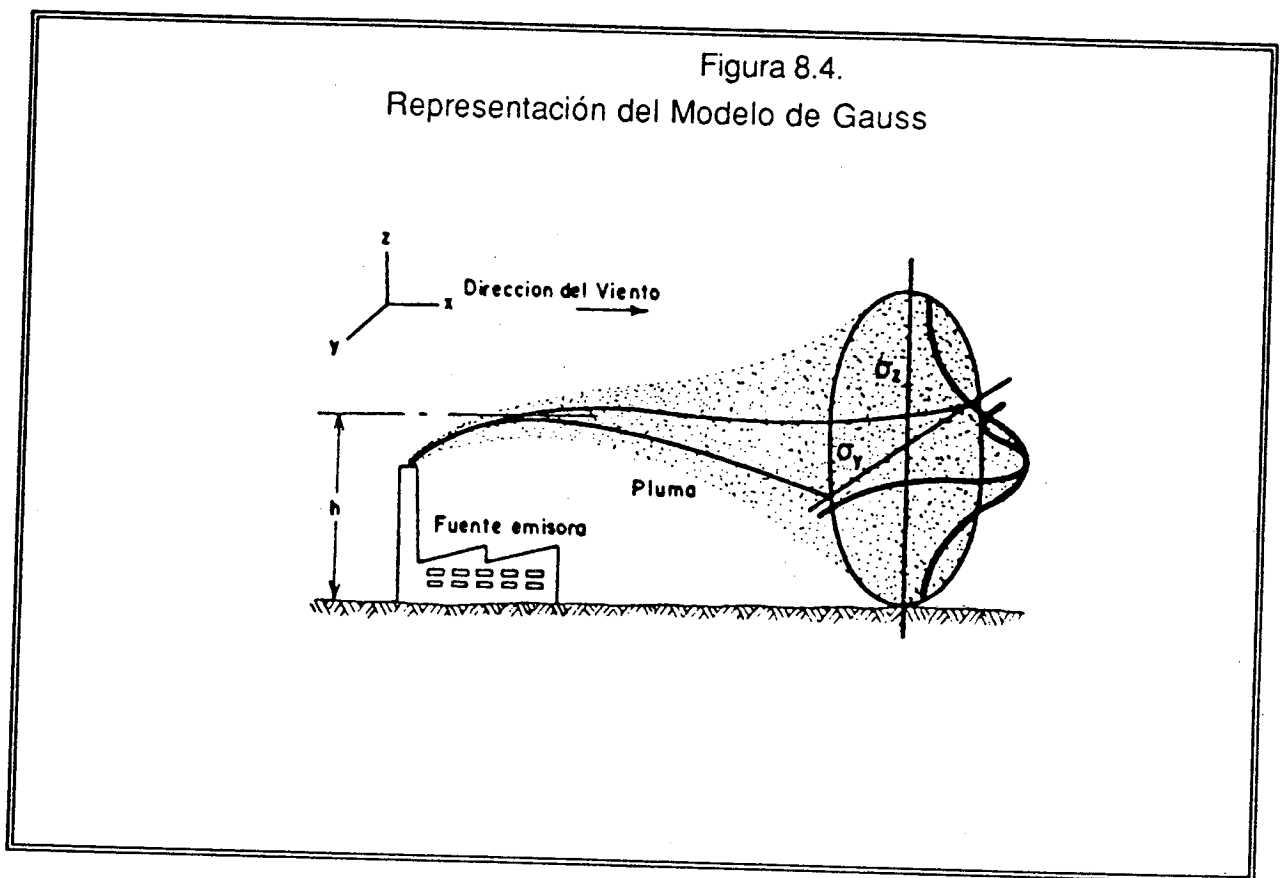
En contraste con el Modelo de Caja (Box Model) y el Rollback (o de Escala Proporcional), en los cuales se usan las concentraciones promedio, el modelo de GAUSS describe las concentraciones en numerosos puntos de un determinado espacio. Es típico incorporar las siguientes suposiciones :

- . Rata de emisión del contaminante constante
- . Velocidad y dirección del viento promedio y constantes
- . Las sustancias emitidas son químicamente estables, y no descienden por gravedad del aire del ambiente
- . El area que rodea el origen es plana y en campo abierto.

El movimiento de la sustancia contaminante en la dirección del viento es debida al movimiento promedio del viento que la transporta, en una forma de

transporte llamada advección. Fluctuaciones al azar de la masa que se transporta, ocasionan que el material sea distribuido en un plano perpendicular a la dirección del viento, por el fenómeno de difusión.

El modelo puntual de Gauss es derivado de las aplicaciones de la ley de conservación de la masa de la sustancia emitida bajo ciertas condiciones supuestas. El modelo se plantea a través de una ecuación diferencial que incluye los fenómenos de advección y difusión. Una solución es la ecuación de distribución normal de gauss empleada en estadística. El modelo de Gauss describe la concentración de la sustancia en la dirección del viento desde el origen por medio de una serie de curvas en forma de campana, como se muestra en la figura 8.4.



En esta figura se ha adoptado un sistema de coordenadas donde x es el eje horizontal que señala la dirección del viento, el eje y se encuentra en un plano perpendicular al eje x , y z es el eje vertical. La altura que alcanza la masa contaminante es superior a la altura de la fuente emisora, esto ocurre

porque la emisión de materiales gaseosos a partir de un punto de origen, experimenta una elevación extra, debida al efecto de momentum y a la poca resistencia que le presenta el aire atmosférico, en el momento de ser emitido.

b. Ecuación General

La forma general de la ecuación, para el modelo puntual de Gauss, predice la concentración en la dirección del viento, en un punto x,y,z, aunque comunmente se toma la simplificación de z=0 :

$$C(x,y) = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z U} \exp \left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{h^2}{2\sigma_z^2} \right)$$

Donde :

- Q..... Rata constante de emisión (ug/sg)
- U..... Velocidad constante del viento (m/sg)
- h..... Altura efectiva del penacho (m)
- σ_y Coeficiente de dispersión horizontal (m)
- σ_z Coeficiente de dispersión vertical (m)

Esta ecuación en dos dimensiones, en forma de campana es usada en estadística, y los términos σ_y y σ_z son análogos a la "desviación estandar" en la dirección y y z. La desviación estandar está relacionada con el carácter de la punta de la curva, por ejemplo cuando es bajo su valor la curva presentará un forma aguda. Los valores de los coeficientes de dispersión generalmente se incrementan con la distancia desde el origen de la emisión.

c. Procedimiento de Cálculo

Para predecir la concentración en un punto (x,y), es necesario determinar primero los coeficientes de dispersión σ_x , σ_y basados en las condiciones meteorológicas, para ser usados luego en la predicción de la solución. Uno de los procedimientos disponibles para estimar los coeficientes,

se basa en observaciones empíricas en conjunto con una apropiada "categoría de estabilidad". La categoría es determinada para la velocidad del viento a una cierta altura desde la superficie del piso, radiación solar que se presenta durante el día y la que se presenta a través de una cubierta de nubes durante la noche.

En la Cuadro 8.5. se presentan seis categorías (de la A a la F) definida por los factores mencionados. Una vez se ha establecido la categoría se entran a las gráficas empíricas 8.5 y 8.6 para estimar los coeficientes ∂_y y ∂_z , a una cierta distancia de interés, desde la fuente de emisión (en Kilómetros), en la dirección del viento.

Cuadro 8.5. Categoría de la Estabilidad

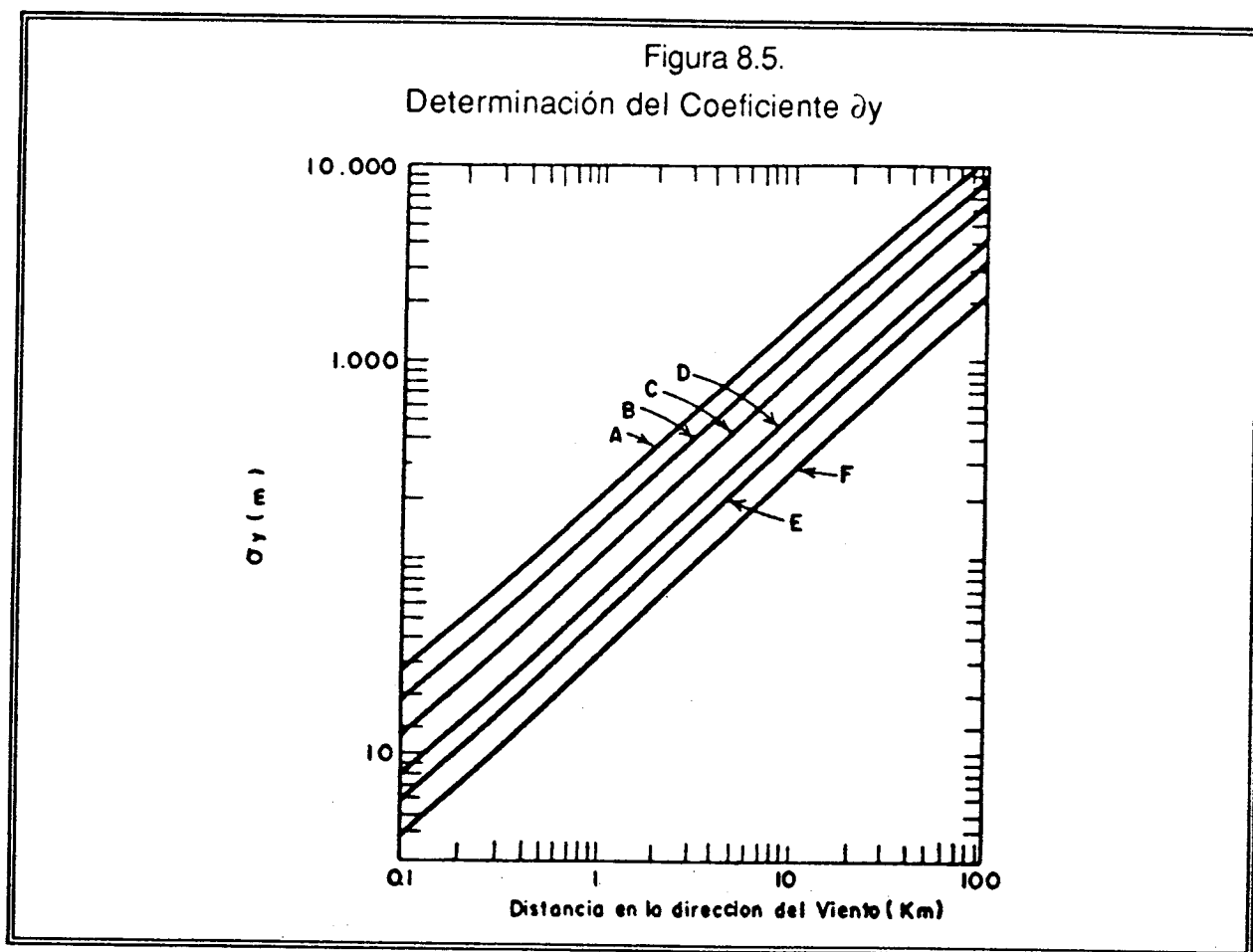
U	DIA			NOCHE	
	Radiación Solar que entra			Grado de Nubosidad ²	
	Fuerte	Moderada	Ligera	< 4/8	< 3/8
<2	A	A-B	B		
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Para unas condiciones conocidas de velocidad del viento U, tasa de emisión del contaminante Q (masa/tiempo), se puede averiguar su concentración a una distancia x. Conociendo las condiciones ambientales de nubosidad, y de acuerdo a la velocidad del viento, se halla la categoría en el cuadro 8.5.

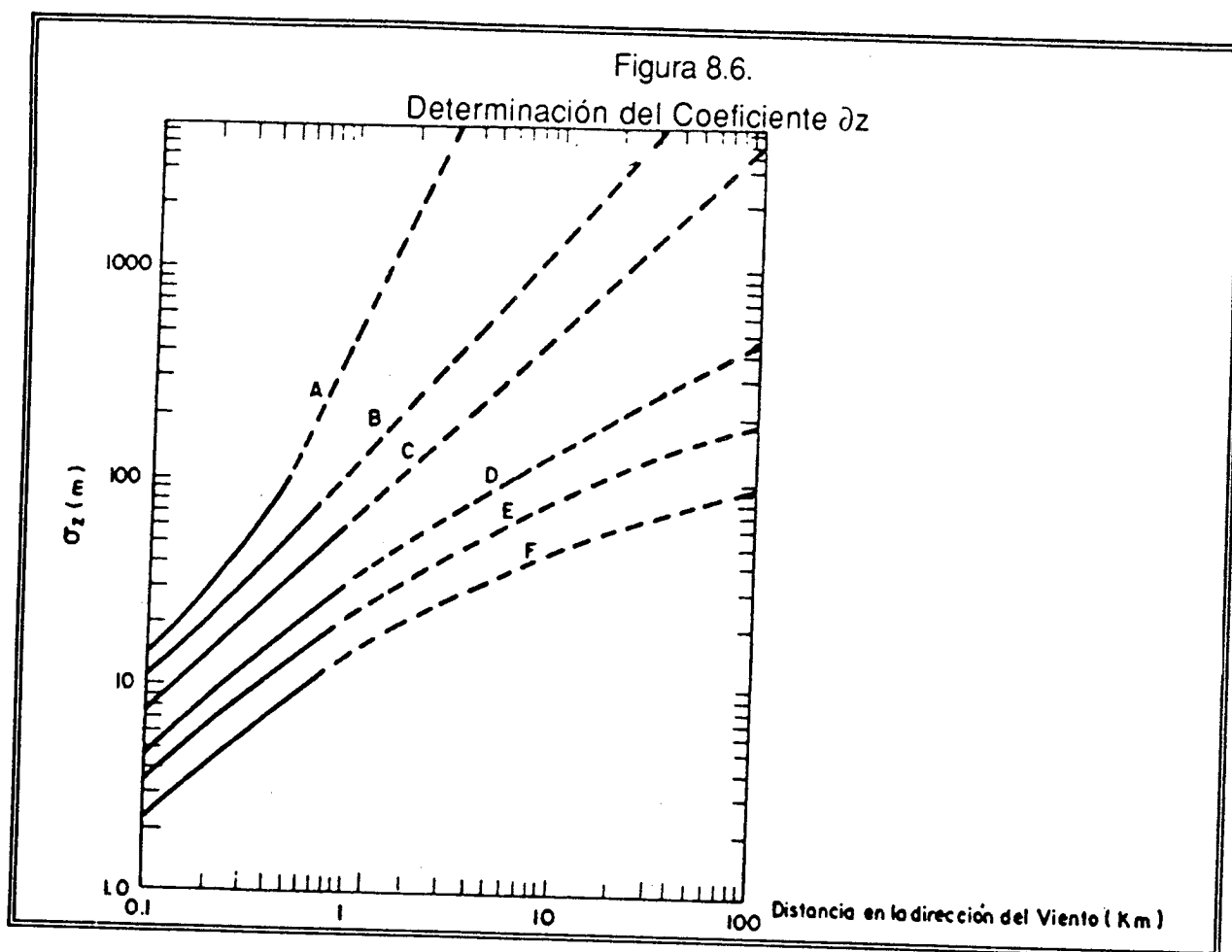
Con la categoría y la distancia desde la fuente de emisión x, se determinan los coeficientes de dispersión ∂_y y ∂_z , y se reemplaza en la

².El grado de nubosidad está definido por la fracción de cielo sobre el horizonte local que está cubierto de nubes.

ecuación los valores para calcular la concentración $C(x,y)$, para diferentes valores de y , obteniéndose así una curva de la distribución de la concentración del contaminante ($C(x,y)$ vs. y) a una distancia x definida.



Típicamente un estudio completo de la contaminación en un determinado sitio de interés, utilizando este tipo de modelo se empieza por determinar los parámetros del modelo σ_y y σ_z , con unos valores apropiados de Q , U y h , lo que constituye el ajuste del modelo. Los valores a predecir se hacen entonces con la ecuación, y los resultados son comparados con mediciones hechas en el sitio, con lo cual se establece un valor de precisión del modelo.



d. Usos y limitaciones

La precisión en la predicción del modelo puede llegar a ser muy baja, o los valores predichos pueden llegar a ser muy diferentes a los reales, en la medida en que los supuestos del modelo se consideran son diferentes a la realidad, como por ejemplo cuando se supone que la velocidad del viento es constante, y no se considera la reacción que ocurre entre los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos; también sería inapropiado emplearlo para predecir la concentración de oxidantes fotoquímicos.

Por experiencias se ha determinado que el modelo alcanza unos niveles de precisión apropiados y seguros cuando se emplea para contaminantes tales como CO, SO₂ y partículas.

8.3.1.2.2 Modelo Lineal de Gauss

Este modelo se desarrolló como una extensión del modelo Puntual de Gauss, y considera que las emisiones de sustancias químicamente estables se produce por una sucesión de puntos, lo que constituye una línea de origen de emisiones.

Este modelo puede ser empleado para una línea de emisiones de CO, conformada por una vía, en donde se considera la existencia de un número infinito de puntos de emisión, que corresponde a los exostos de los vehículos.

La ecuación para un origen puntual se convierte entonces en :

$$C(x) = \frac{q}{\sqrt{(2\pi)} \partial_y \partial_z U \sin f} \exp \left(- \frac{h^2}{2\partial_z^2} \right)$$

donde **C(x)** es la concentración a la distancia **x** en la dirección del viento, **q** corresponde a la rata de descarga del contaminante por unidad de longitud (mg/m-s), **f** corresponde al ángulo formado por la dirección del viento y el eje de la vía, y **U**, **∂_z** y **h** ya fueron definidos previamente.

8.3.1.3. Resumen de las Principales Características de los Modelos de Advección y Dispersión de Contaminación Atmosférica

8.3.1.3.1 Características Generales

En los siguientes cuadros se resumen los modelos más utilizados con sus característica y usos más apropiados. En el cuadro 8.3. se presenta la clasificación general en que pueden quedar agrupados todos los modelos de advección, difusión y dispersión de mayor uso.

Cuadro 8.6. Características de Modelos de Advección, Difusión y Dispersión

NOMBRE DEL MODELO	CARACTERÍSTICAS GENERALES
Gaussiano.	Usados para contaminantes no reactivos. Donde es requerido un mayor análisis y no existan significativas complejidades de terreno o meteorológicas
Numérico	Son más apropiados que los gaussianos para fuentes múltiples que involucran contaminantes reactivos sin embargo requieren una base de datos más extensa, y no son ampliamente utilizados
Estadístico o Empírico	Son empleados principalmente donde no existen un adecuado entendimiento científico del proceso físico y químico o cuando se carece de la base de datos y el uso de un modelos gaussiano o numérico se vuelve impráctico.
Físicos	Involucran un tunel de viento u otras facilidades para el modelaje de fluidos. Este modelaje resulta un proceso complejo en el que se requiere un alto nivel de conocimiento. Puede ser útil para un área de pocos kilómetros cuadrados.

Fuente: ECOPETROL. Contaminación por Fuentes Móviles. Modelo de Dispersión Calidad del Aire

8.3.1.3.2 Características Específicas

Como un desarrollo en la modelación se han creado modelos derivados de la clasificación general (mostrada en el cuadro 8.6.), y que se han desarrollado para estudiar el efecto de la contaminación bajo ciertas condiciones específicas. En los cuadros 8.7., se presentan estos modelos con sus principales características y usos:

Cuadro 8.7. Modelos para Estudiar el Efecto de la Contaminación.

NOMBRE DEL MODELO	TIPO DE MODELO	USOS MAS COMUNES Y CARACTERISTICAS
MODELOS PUNTUALES PARA DE AZUFRE PARTICULAS DIOXIDO Y		
CRSTER (Single Source Model)	Gausiano	Se recomienda para fuentes puntuales en áreas rurales, donde existe una chimenea o las emisiones de un grupo de ellas pueden ser asumidas como provenientes de una sola fuente
MPSTER (The Multiple Point Gaussian Algorithm with Terrain Adjustments)	Gausiano	Para fuentes puntuales ampliamente espaciadas o fuentes múltiples en una fuente rural
RAM (The Gaussian Plume Multiple Source Air Quality Algorithm)	Gausiano	Para fuentes puntuales localizadas en una zona urbana. Es recomendable para evaluar el impacto a corto plazo.
ISC (The Industrial Source Complex)	Gausiano	Fuentes con configuraciones complejas que no permitan simularlas como fuentes puntuales.
MODELOS PARA DIOXIDO DE NITROGENO		
CDM (Climatological Dispersion Model)	Gausiano	Supone que todos los NO _x son emitidos como NO ₂ y que el NO ₂ se comporta como un contaminante no reactivo. (usado en el Valle de Aburra 1984)
MODELOS PARA EMISIONES FUGITIVAS		
ISC		Empleado para partículas que arrastra el viento, el polvo de las vías, actividades agrícolas y de minería de superficie. Tiene en cuenta la sedimentación gravitacional y la deposición seca de las partículas.

Fuente: Ecopetrol. Contaminación por Fuentes Móviles. Modelo de Dispersión Calidad del Aire

Cuadro 8.7. Modelos para Estudiar el Efecto de la Contaminación (continuación)

NOMBRE DEL MODELO	TIPO DE MODELO	USOS MAS COMUNES Y CARACTERISTICAS
MODELOS PARA PUNTUALES EN TERRENO COMPLEJO FUENTES		
VALLEY	Estadístico	Determina las concentraciones promedio anual y promedio de 24 horas. Se debe usar bajo las siguientes condiciones: . Estabilidad tipo F, según Pasquill y Gifford . Velocidad del viento de 2.4 m/s . Seis horas de ocurrencia en un período de 24 horas
MODELOS PARA FUENTES URBANAS DE DIOXIDO DE AZUFRE Y MATERIAL MULTIPLES PARTICULADO		
ROLLBACK	Estadístico	Empleado para determinar la reducción necesaria de la descarga, con el fin de alcanzar un estandar de concentración o un cierto nivel de calidad del aire en el ambiente.
CMD (Climatological Dispersion Model)	Gausiano	Recomendable para evaluar el impacto a largo plazo y fuentes múltiples en una zona urbana. Está escrito en FORTRAN IV y concidera el SO ₂ y partículas como interes. (usado en el Valle de Aburra. 1984)
PTMTP	Gausiano	Estima las concentraciones a corto plazo de emisiones puntuales. Asume que las condiciones meteorológicas horarias son de estado estable y que las emisiones no sufren perturbaciones aerodinámicas; también que la capa de mezcla es uniforme.
MODELOS PARA MONOXIDO CARBONO DE		
HIWAY-2		Utilizado para obtener estimativos más detallados de impacto causados por las autopistas y las intercepciones de carreteras donde se supone hay altas concentraciones. Se emplea en una estabilidad tipo E(Pasquill-Gifford) en zona rural y D en zona urbana.

8.3.1.3.3. Modelos Disponibles en Paquetes para Computador (EPA)

Muchos Programas de computador han sido desarrollados para simulación meteorológica y calidad del aire. Algunos de ellos generalmente son simples, están bien documentados y son relativamente fáciles de usar. Sin embargo algunos de ellos requieren conocimientos técnicos y frecuentemente la supervisión de los que desarrollan los códigos.

La EPA ha promovido modelos para evaluar la calidad del aire. Estos modelos se presentan en el cuadro 8.8.

Cuadro 8.8. Modelos para evaluar la calidad del aire de la EPA

NOMBRE DEL MEDELO	REFERENCIA	CARACTERISTICAS Y USOS
BLP(Bouyant Line and Point Source Dispersion Model)	Shulman, L.L. and J.S. Scire (1980). Environmental Reseach and Tecnology, Inc., Concord, Massachusetts	Diseñado para dispersión de contaminantes provenientes de plumas de plantas, especialmente las plantas de reducción de aluminio y origen lineal estacionarias. Además se emplea para: . Areas rurales . Distancias de transporte menores a 50 kilometros . Para tiempos promedio de un año y una hora.
CALINE 3	Benson. P.E. (1979). Federal Higway and Administration, Washington, D.C	Recomendable para contaminantes no reactivos provenientes de autopistas y vías ferreas.
CDM 2.0 (Climatological Dispersion Model)	Irwin, J.S., T. Chino, and J. Catalano(1985). EPA. Reseach Triangle Park, Nort Carolina.	Recomendable para: . Origenes puntuales y áreas . Areas urbanas . Terrenos Planos

RAM	Turner, D.B. and J.H. Novak(1978). EPA Reseach Triangle Park, Nort Carolina.	.Para contaminantes relativamente estables para tiempos promedios de una hora o un día.
ISC(Industrial Source Complex Model)	EPA. 1986. Reseach Triangle Park, Nort Carolina.	<ul style="list-style-type: none"> . Tiene en cuenta la deposición de partículas . Origenes puntuales con una separación importante . Opera para largos o cortos periodos de tiempo. . Origenes puntuales complejos . Areas rurales y urbanas . Terrenos planas u onduladas
MPSTER(Multiple Point Gaussian Algorinthm Terrain Adjustment)	Prince, T.D., and D.B. Turner(1980). EPA. Reseach Triangle Park, Nort Carolina.	<p>Se emplea para contaminantes no reactivos, además para los siguientes casos:</p> <ul style="list-style-type: none"> . Origenes múltiples . Areas rurales y urbanos . Origen puntual . Terrenos planos y ondulados(no debe emplearse para terrenos que se encuentran a un nivel superior al de la altura efectiva de la chimenea)
CRSTER(Single Source Model)	EPA. 1977, Reseach Triangle Park, Nort Carolina.	<ul style="list-style-type: none"> . Areas rurales y urbanos . Origen puntuales simples . Terrenos planos y ondulados(no debe emplearse para terrenos que se encuentran a un nivel superior al de la altura efectiva de la chimenea)

UAM (Urban Airshed Model)	Ames, J., T.C. Myers, L.E.Reid, D.C. Whitney, S.H. Golding, S.R. Hayes, and S.D. Reynolds. 1985 EPA. Research Triangle Park, North Carolina.	<ul style="list-style-type: none"> . Modelo numérico de tres dimensiones . Se emplea especialmente para concentraciones de ozono(O₃) a corto plazo que resultan de emisiones de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles. . Areas urbanas simples donde la concentración de ozono es baja en ausencia de emisiones de transporte interurbano . Tiempos promediados de una hora
OCD (Offshore and Coastal Dispersion Model)	Hanna, S.R., L.L. Shulman, R.J. Paine and J.E. Pleim(1984). Environmental Research and Technology, Inc. Concord Massachusetts.	<ul style="list-style-type: none"> . Considera las emisiones lineales. . Se desarrolló para emisiones fuera de una costa. . Requiere de las condiciones meteorológicas cada hora de fuera y dentro de la costa. . Recomendado para plataforma continental externa . Aplicable para fuentes que se encuentran dentro de una costa y receptores que se localizan dentro de la plataforma continental.
fuente: Paolo Zanetti. Air on Modeling. 1990 Polluti		

8.3.2. Modelación en las Principales Ciudades del País

8.3.2.1 Valle de Aburra

8.3.2.1.1. Antecedentes

Un primer esfuerzo realizado en el Valle de Aburrá para diagnosticar el problema de calidad del aire se ejecutó en el estudio "Calidad de vida en el valle de Aburra", realizado por INCOPLAN (1977). Se utilizó el modelo de mezcla homogénea para estimar las concentraciones de SO_2 y de partículas. Para el año 1984 se proyectaron los siguientes valores:

. SO_2 . valor mínimo : $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 . valor máximo : $297 \mu\text{g}/\text{m}^3$

. PARTICULAS . valor mínimo : $312 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 . valor máximo : $297 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Estos valores sobreestimaron considerablemente la situación de contaminación en el Valle de Aburrá.

La Universidad Pontificia Bolivariana (UPB-1977) desarrolló un modelo de simulación con base en el modelo Gausiano de Dispersión. Para la ejecución de los cálculos se consideraron 33 fuentes puntuales para emisión de partículas y 22 fuentes para SO_2 . En este caso se obtuvieron los siguientes resultados:

. SO_2 . valor mínimo : $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 . valor máximo : $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$

. PARTICULAS . valor mínimo : $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 . valor máximo : $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Las mediciones que venían realizando la red PANAIRE reportaba para esa época (1977) siguientes valores :

. SO₂ . valor mínimo : 24 µg/m³

. valor máximo : 60 µg/m³

. PARTICULAS . valor mínimo : 44 µg/m³

. valor máximo : 100 µg/m³

Estas diferencias se deben principalmente a que la suposiciones del modelo tales como la topografía y dirección del viento, no se cumplan para la condiciones reales del Valle de Aburra. También se debe a que las emisiones de fuentes fijas menores, del transporte y de fuentes aéreas, no se tuvieron en cuenta.

El modelo de dispersión climatológica CMD fué empleado para anhídrido sulfuroso, presentandose una buena correlación entre los valores observados y los calculados. También fué empleado para material particulado, aunque en este caso la correlación fué menor debido a que no se consideraron fuentes contaminantes importantes como la vías destapadas y el tráfico automotor.

El modelo PTMPT también se empleó, pero sobreestimó las concentraciones de los contaminantes y no parece apropiado para modelar la dispersión en zonas urbanas.

8.3.2.1.2. Modelos Empleados en el Análisis de Contaminación por Fuentes Móviles

En 1980 se empleó un modelo teórico para calcular la concentración promedio anual de algunos contaminantes como los Hidrocarburos,

formaldehído, NOx, Ox y SOx. El modelo considera que las concentraciones del contaminante depende de factores tales como la densidad del tráfico, la velocidad del viento, y un factor que tiene en cuenta el efecto de la radiación sobre la concentración del contaminante. La ecuación base del modelo es:

$$C_m = C_a \frac{T_m \cdot U_a \cdot F_m}{T_a \cdot U_m \cdot F_a}$$

C... Concentración promedio anual

T... Densidad de tráfico en el área

U... Velocidad del viento

F... Factor que tiene en cuenta el efecto de la radiación sobre la concentración del contaminante

a... Para la ciudad de los Angeles

m... Para la ciudad de Medellín

Un segundo modelo se empleó para zona central de Medellín (ver cuadro 8.9.). Las concentraciones se calcularon para cada uno de los contaminantes empleado el modelo de Caja (BOX MODEL), en el cual las emisiones se reparten en un volumen de control, de acuerdo a la velocidad promedio del viento.

Cuadro 8.9. Aplicación del Modelo de Caja

TIPO DE VEHICULO	FORMALDEHID O	HIDROCARBURO S	OXIDOS DE NITROGENO	OXIDOS DE AZUFRE	TOTAL ton/año	%
Automóvil Particu.	90	4.900	1.590	308	6.960	32.6
Taxi	33	1.800	585	140	2.558	12.0
Buses: Diesel	16	108	560	140	824	3.9
Gasolina	56	5.340	911	216	6.523	30.6
Camiones: Diesel	9	68	301	76	454	2.1
Gasolina	23	2.980	440	116	3.559	16.7
Motos	1	450	4	4	459	2.1
ATOTAL:ton/año	228	15.646	4.391	1.072	21.337	
%	1	73.3	20.6	5	100	

Fuente: Jaime Alberto Pelaez. Estudio sobre Niveles de Hidrocarburos y Oxidantes Existentes en el Aire Ambiente del Valle de Aburra. 1982

En el cuadro 8.7. se muestran los resultados obtenidos en los dos modelos comparados con mediciones hechas en el centro de Medellín con un equipo para medición de oxidantes fotoquímicos y con un equipo de cinco gases. El cuadro 8.10. presenta una comparación de valores permisibles entre los datos obtenidos en Medellín con los estándares de Estados Unidos.

Cuadro 8.10. Comparación de datos medidos con los obtenidos del modelo

CONTAMINANTE	MODELO ANALITICO (ppm)	BOX MODEL Promedio anual	NIVEL MEDIO promedio 24 hr	LIMITE PERMISIBLE ppm		
				Total horas	anual	24
Hidrocarburos	1.24	2.69	-----	-----	-----	-----
Aldehidos	0.021	0.016	0.026	0.023	-----	-----
				0.010		
Oxidantes	0.021	-----	0.017	0.018	-----	-----
NOx	0.041	0.184	0.091	0.081		0.05
				0.100		
SOx	0.008	0.008	0.014	0.013		0.028
				0.140		

Fuente: Jaime Alberto Pelaez. Estudio sobre Niveles de Hidrocarburos y Oxidantes Existentes en el Aire Ambiente del Valle de Aburra. 1982

Se observa que en el centro de Medellín los aldehidos supera el límite permisible debido principalmente a la gran concentración de tráfico en esta zona de la ciudad. Los Oxidantes presentan niveles por debajo del límite Permisible (0.08 ppm). El nivel de NO₂ es superior en un 82% al valor anual permisible. En el caso de SO₂ los niveles medidos realmente están bajos comparados con el límite permisible diario (0.14 ppm).

En el estudio se recomendó implementar medidas de control en relación con los aldehidos y óxidos de nitrógeno, por encontrarse en concentraciones superiores a los permisibles en otros países. Este control de las emisiones en

los vehículos, se recomendó hacerlo mediante revisiones periódicas que garanticen un buen mantenimiento y un estricto control de las variables que intervienen en el proceso de combustión. Adicionalmente se recomendó estudiar la posibilidad de integrar equipos de control en los automotores, fijar niveles máximos de emisión para los diferentes contaminantes en los futuros modelos de vehículos y establecer normas tendientes a alcanzar el máximo rendimiento en la combustión de los automotores.

Posteriormente en 1983 se estudió la contaminación por tráfico automotor en el centro de Medellín, utilizando el modelo de mezcla Homogenea para calcular la concentración de CO, hidrocarburos y óxidos de Nitrógeno en un área de 155 hectáreas. Los resultados fueron los siguientes:

Cuadro 8.11. Aplicación del Modelo de mezcla homogénea

CONTAMINANT E	VALOR MINIMO $\mu\text{g}/\text{m}^3$	VALOR MAXIMO $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PROMEDIO $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ESTANDAR $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Monóxido de Carbono	2146	9223	2183	15000
Hidrocarburos	205	918	230	160
Oxidos de Nitrógeno	43	170	170	100

Fuente: Julián Bedoya V. Modelo de Dispersión Climatológica para Estudiar la Calidad del Aire en el Valle de Aburra. 1986

8.3.2.2. Santafé de Bogotá

En Santafé de Bogotá se han adelantado varios estudios de diagnóstico de la contaminación atmosférica de la ciudad, siendo los más recientes los siguientes:

. En 1990 el estudio de modelación de monóxido del carbono en las principales vías, como fueron la avenida Caracas y la carrera décima, entre otras. De este estudio se obtuvo un modelo matemático para calcular la concentración de monóxido a lo largo de las vías estudiadas de acuerdo a las emisiones producidas por los diferentes tipos de vehículos. El modelo fue ajustando de acuerdo a mediciones hechas en ciertos puntos y estableciendo un nivel de precisión. También se elaboró un perfil de **CO** y se comparó con los valores permisibles para nuestro medio encontrándose que los puntos críticos se encuentran sobre la Caracas, en la calle 34 y sobre la décima en la calle 18, en donde los valores obtenidos se encuentran próximos a la norma (35 ppm).

. En el período noviembre de 1990 y junio de 1991, se realizó un estudio con la cooperación del gobierno del Japón (JICA), para fuentes de emisión fijas (Industrias), móviles (automóviles) y aviones, basados en el modelo de Dispersión de Gauss. A continuación se describe con más detalle este modelo :

8.3.2.2.1. Esquema de Simulación para el Modelo de Dispersión

El modelo de simulación fue empleado con base en información de las condiciones de emisión, obtenidas por análisis de las fuentes contaminantes, y para condiciones de dispersión del aire obtenidas de un análisis de las condiciones meteorológicas y ambientales.

El modelo de dispersión cubre los siguientes aspectos:

a. Contaminantes en estudio:

- . Dióxido de Sulfuro SO_2
- . Oxidos de Nitrógeno NO_x
- . Dióxido de Nitrógeno NO_2
- . Monóxido de Carbono CO

b. Período de concentración y emisión promedio

Tomando en consideración el nivel de precisión de los datos de las fuentes de emisión y los datos meteorológicos, la predicción de la calidad del ambiente se realizó tomando la concentración promedio y la tasas de emisión promedio de las diferentes fuentes, para 6 meses.

c. Orígenes tenidos en cuenta en el estudio

Los orígenes considerados en el estudio de modelación fueron básicamente Fabricas y Plantas, Automóviles, Aviones (en el aeropuerto el Dorado). El origen con un importante aporte de contaminación fué modelado individualmente. Orígenes con una gran cantidad de contaminación fueron analizados en conjunto.

En el cuadro 8.12. se muestran los tipos, la cantidad y forma de los orígenes tenidos en cuenta.

Cuadro 8.12. Tipos, cantidad y forma de los orígenes para el estudio de modelación en

Santafé de Bogotá..

TIPO DE ORIGEN		FORMA DE LA FUENTE	NUMERO DE ORIGENES
Fabricas		punto	361
Automóviles	Vía Importante	Línea	422
	Vías en zonas secundarias	Area	425
Aeroplanos	En pista	Area	6
	En vuelo	Punto	474

Para el cálculo de la altura efectiva de la pluma de contaminación de la chimenea de cada planta y chimenea, se empleó dos tipos de ecuaciones: La ecuación COMCAWE cuando el viento se consideraba como fuerte y la ecuación BRIGGS cuando las condiciones de viento dominantes en el área eran de calma.

Para fuentes móviles se tomó como altura efectiva de pluma de contaminación, entre 5 y 7 metros para automóviles y de 10 a 15 metros para aviones. En los aviones el incremento de la altura de emisión se tomó para pista y despegue los puntos de origen tomados a lo largo de la ruta y su altura fué usada la altura de emisión.

Ecuación de COMCAVE

$$DH : 0.175 Qh^{0.5} \cdot u^{-0.75}$$

Ecuación BRIGGS

$$DH : 1.4 Qh^{0.5} \cdot (d\theta/dz)^{-3/8}$$

DH.... Incremento de altura de la pluma sobre la chimea

Qh.... Emisión de calor debidos a los gases de la chimenea (cal/s)

$$= D.Q.Cp. DT$$

D.... Densidad de los gases emitidos a 0°C ($\approx 1.293 \times 10^3 \text{ g/m}^3$)

Q.... Rata de emisión del efluente gaseoso (Nm^3/s)

Cp... Calor específico a presión constante ($\approx 0.24 \text{ cal/}^\circ\text{k.g}$)

DT... Diferencia de temperatura entre els gas emitido y la temperatura atmosférica.

u.... Velocidad del viento en la corona de la chimenea

dθ/dz Gradiente de Temperatura potencial vertical de la atmosfera (°C/m) (varía generalmente de 0.003 en el día y 0.010 en la noche)

d. Puntos de calibración y evaluación del modelo
mediante estaciones de monitoreo

e. Período de estudio
Noviembre 23,1990 - Junio 10, 1991

f. Condiciones Meteorológicas

El espacio de Bogotá tenido en cuenta en el estudio comprende aproximadamente 25 km de este a oeste y 35 km de Norte a sur y las condiciones meteorológicas son diferentes de una zona a otra, por lo cual el area se dividió en cinco regiones o bloques, donde se tomó para cada uno un punto como representativo de las condiciones de viento.

Cuadro 8.13. División por regiones del espacio de Bogotá

NUMERO DE BLOQUE	PUNTO ANALIZADO	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
I	Servicio de Saliud	1.8
II	Laboratorio	2.0
III	Puente Aranda	2.1
IV	El Tunal	2.5
V	San Juan de Dios	1.8

Las observaciones meteorológica fueron clasificadas de acuerdo a la dirección del viento, velocidad del viento, y estabilidad del aire (se consideraron 11 categorias de estabilidad donde A corresponde a inestable, G neutral y G estable)

8.3.2.2.2 Ecuación de Dispersión

El modelo de dispersión empleó la ecuación del modelo de Gauss, para predecir la concentración en la dirección del viento, en un punto x,y,z haciendo algunas simplificaciones de acuerdo a las condiciones meteorológicas y a la forma de origen.

La forma general de la ecuación es:

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z U} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

- C**..... Concentración del contaminante en ppm
x..... Distancia desde el origen en la dirección del viento
y..... Distancia perpendicular en la dirección del viento
z..... Altura del punto desde el piso donde la concentración que va a ser calculada
Q..... Rata constante de emisión (µg/sg)
U..... Velocidad del viento (m/sg)
H_e..... Altura efectiva de la chimenea(DH+h)(m)
σ_y..... Coeficiente de dispersión horizontal (m)
σ_z..... Coeficiente de dispersión vertical (m)

Para convertir la concentración de los óxidos de nitrógeno NO_x a dióxido de Nitrógeno NO₂ fué hecho un modelo estadístico basado en la relaciones de valores de mediciones promedio realizadas en cada estación (Servicio de Salud, Laboratorio, Puente Aranda, El Tunal y San Juan de Dios), en noviembre de 1990 a unio de 1991.

La ecuación obtenida del análisis es de forma exponencial y tiene la siguiente expresión:

$$(NO_2) = 3.41 (NO_x)^{0.527}$$

8.3.2.2.3 Resultados del Modelo de Dispersión

En el cuadro 8.14. se muestran los promedios de los valores medidos en cada estación para el mismo período en el cual las concentraciones fueron calculadas, así como las contribuciones de contaminación por origen.

Cuadro 8.14. Valores Promedio de contaminantes en las regiones del espacio de

Bogotá

CONTAMINANTE	RECEPTOR	FABRICAS	AUTOMOVILES (zonas en vías principales)	AUTOMOVILES (zonas en vías secundarias)	AVIONES	TOTAL
SO2 (ppb)	A. Servicio de Salud	4.8	6.2	0.4	0	10.9
	B. Laboratorio	8.1	3.9	0.4	0	12.4
	C. Puente Aranda	14.2	3.8	0.5	0	18.5
	D. El Tunal	5.6	0.9	0.3	0	6.7
	E. San Juan de Dios	5.9	9.5	0.5	0	15.8
Nox (ppb)	A. Servicio de Salud	1.2	60.1	4	0	65.3
	B. Laboratorio	23	39.4	4	0.1	45.7
	C. Puente Aranda	3.6	38.1	4.1	0.1	46
	D. El Tunal	2.4	8.7	2.6	0	13.7
	E. San Juan de Dios	1.9	89.1	4.3	0	95.3
NO2 (ppb)	A. Servicio de Salud	---	---	---		32.2
	B. Laboratorio	---	---	---		27.2
	C. Puente Aranda	---	---	---		27.2
	D. El Tunal	---	---	---		14
	E. San Juan de Dios	---	---	---		38.1
CO (ppb)	A. Servicio de Salud	---	3.38	0.2		3.89
	B. Laboratorio	---	2.05	0.21		2.49
	C. Puente Aranda	---	1.72	0.19		2.09
	D. El Tunal	---	0.40	0.12		0.57
	E. San Juan de Dios	---	4.41	0.22		4.99

En el cuadro 8.15. se muestran los valores de mediciones y cálculos, los cuales se resumen para los siguientes casos:

Caso 1 : Evaluación hecha en los cinco puntos de medida

Caso 2 : Evaluación hecha para para cuatro puntos excluyendo el de San Juan de Dios en el cual fué situado a lo largo de una vía principal y la ecuación de la pluma fué difícil de emplear debido a que las condiciones meteorológicas locales fueron afectadas por la topografía y las edificaciones.

Cuadro 8.15. Valores de Mediciones y Calculados

CONTAMINANTE	CASO	REGRESION LINEAL	NUMERO DE ESTACIONES EVALUADAS	COEFICIENTE DE CORRELACION	COEFICIENTE DE VARIACION	ANTECEDENTES
SO ₂ (ppb)	1	$Y=1.451X - 3.42$	5	0.826	0.373	2.39 ppb
	2	$Y=1.130X - 1.06$	4	0.883	0.289	0.51 ppb
NO _x (ppb)	1	$Y=1.060X - 1.38$	5	0.921	0.284	1.84 ppb
	2	$Y=0.617X + 14.6$	4	0.806	0.379	- 1.71 ppb
NO ₂ (ppb)	1	$Y= 9.988X - 0.68$	5	0.946	0.119	- 1.02 ppb
	2	$Y= 0.722X + 5.46$	4	0.925	0.140	- 1.69 ppb
CO (ppb)	1	$Y= 1.721X - 0.73$	5	0.947	0.445	1.29 ppb
	2	$Y= 1.184X + 0.21$	4	0.949	0.252	0.63 ppb

8.3.2.2.4 Contribución en la Contaminación de las Fuentes Estudiadas

Usando el modelos de dispersión descrito, se estimaron los resultados de concentración de cada uno de los contaminantes en cada estación de monitoreo y la concentración máxima en el área. Estos valores se muestra en cuadro 8.13.

Cuadro 8.16. Estimación de contaminates según modelos de dispersión

ESTACION	SO ₂ (ppb)	NO _x (ppb)	NO ₂ (ppb)	CO (ppb)
A. Servicio de Salud	13.8	67.1	32.2	5.18
B. Laboratorio	14.8	47.6	27.2	3.78
C. Puente Aranda	20.8	47.8	27.2	3.38
D. El Tunal	9.1	15.5	16.2	1.86
E. San Juan de Dios	18.2	97.1	38.8	6.28
Concentración Máxima	32.3	108.8	40.4	6.96

Comparando los resultados de los valores promedio para seis meses desde noviembre de 1990 a junio de 1991, con los valores de las concentraciones que exige las especificaciones se tienen lo siguiente:

- . SO₂ : El valor estimado en cualquier punto fué inferior al especificado (38.2 ppb)
- . NO₂ : El valor de la concentración estimado en cualquier punto fué menor del especificado (53.2 ppb)
- . CO : La concentración excluyendo los puntos de Puente Aranda y El Tunal fué mayor que la especificación (3.6 ppm)

Los rangos de participación en la contaminación para las cinco estaciones fueron los siguientes:

. Dioxido de azufre SO₂

Fabricas 22 - 64 %

Automoviles..... 5 - 50 %

. Dióxido de Nitrógeno NO₂

Automóviles..... 71 - 96 %

. Monóxido de Carbono CO

El Monóxido de Carbono en todas las estaciones fué aportado básicamente por los vehículos.

8.3.2.2.5. Análisis de Resultados

Los datos obtenidos en el estudio de modelación fueron llevados a mapas de Bogotá en los cuales se dibujaron líneas promedio de igual concentración de contaminante (NO_x, CO, SO₂ y NO₂).

Estimaciones de la contribución de fuentes en la concentración de material particular suspendida (MPS) de acuerdo con el método CMB puede no ser racional en ciertos casos, debido a que los cálculos numéricos son hechos de acuerdo al método de los mínimos cuadrados bajo ciertos prerequisites.

En este estudio la combinación de elementos y la clase de fuente fueron revisados a través de prueba y error. En cuadro 8.14. muestra casos para los cuales se obtuvieron resultados aproximadamente razonables empleando el método CMB.

Cuadro 8.17. Aplicación del Modelo CMB en las regiones de Bogotá
(en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en %)

ESTACIONES	TOTAL	SUELO	CALDERA CARBON	CALDERA PETROLEO	AUTOMO.	INCINERAD	ACERO	DESCONO
A. Servicio de salud	44.1 100%	2 4.5%	1.2 2.7%	5.3 12%	5.4 12.2%	12.6 28.6%	---	17.6 39.9%
b. Laboratorio	56.9 100%	5.2 9.1%	0.9 1.6%	1.9 3.3%	5.2 9.1%	12.5 22%	----	31.3 55%
C. Puente Aranda	59.3 100%	4 6.7%	0.7 1.2%	2.4 4%	6 10.1%	16.3 27.5%	0.6 1%	29.4 49.6%
E. San Juan de Dios	52.5 100%	2.8 5.3%	3.5 6.7%	3.6 6.9%	10.1 19.2%	9.3 17.7%	---	23.2 44.2%

Acorde con los resultados obtenidos en el estudio, la contaminación por fuentes "desconocidas" que se mencionan en la tabla anterior, presentan un orden de participación del 40 al 50% en cada punto, seguido por la contribución de incineración de residuos en un 18 al 29% , siendo la contribución de automóviles 9 al 19%.

La contribución del suelo y calderas fué baja con un porcentaje del 5 al 9% y del 1 al 12% respectivamente cuando se comparó con fuentes anteriores.

Como se estimó, la incineración de basuras y emisiones de automóviles contribuyeron principalmente a la generación de material particular suspendido en Bogotá. Debido al alto porcentaje de fuentes desconocidas, la confiabilidad de estos resultados no es muy buena.

Una razón probable de la baja confiabilidad de los resultados, es la limitada disponibilidad de datos de metales pesados en el material particular suspendido en el medio ambiente atmosférico (por ejemplo los datos fueron reunidos solamente durante un período de siete meses de Noviembre de 1990 a mayo de 1991). Otra razón podría ser que los datos de elementos de metales pesados en el polvo de fuentes estado real, debido a que se extractó información de la literatura, de casos estudiados en otros países (Japón, USA), y con base en la información de materiales disponibles en Bogotá.

Será necesario para obtener resultados analizables con más confiabilidad, reunir y acumular datos de elementos con metales pesados en material particular suspendido en el medio ambiente atmosférico y datos de elementos de metales pesados en el polvo de varias fuentes contaminantes.

8.3.2.3. Barrancabermeja

En junio de 1988 una firma alemana (KTI) realizó un estudio preliminar sobre la influencia de las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena, en la calidad de aire del ambiental.

Una primera etapa del estudio consistió en la identificación de las principales fuentes que contribuyen a la contaminación, y grabar esta información en una base de datos. Empleando la base de datos en los cálculos de dispersión, se obtuvo una primera aproximación del nivel de la concentración de contaminantes presentes en Barrancabermeja y Cartagena. Los valores calculados de las concentraciones fueron comparados con los valores permisibles internacionales.

. El H₂S, el SO₂ y los hidrocarburos sobrepasaron los límites

- . Los óxidos de nitrógeno medidos, permanecieron dentro del rango de los límites
- . Las partículas y el monóxido de carbono aportado por las refinerías no representarán ningún problema para el ambiente.

8.3.2.3.1 Base de Datos de las Emisiones

La base de datos elaborada para el estudio estaba alimentada con la siguiente información :

- . Localización del las fuentes de emisión
- . Magnitud de las descargas emitidas (kg/h)
- . Tipo de contaminante emitido

La base de datos se constituyó como un factor básico en la planeación de actividades tendientes a cumplir los objetivos propuestos en el estudio.

Hay bases de datos para emisiones de plantas que operan individualmente así como base de datos para áreas constituidas por varios orígenes puntuales.

Para cada una de las plantas analizadas se siguió el siguiente formato para alimentar la base de datos:

ORIGEN No. :
DESCRIPCION DEL ORIGEN :
FLUJO DE LOS GASES EMITIDOS :
TEMPERATURA :

CONCENTRACION DE LOS COMPUESTOS

. SO₂..... :
. NO_x (calculado como NO₂ :
. CO :
. Partículas :
. Compuestos orgánicos :
. Otros compuestos :

ALTURA EFECTIVA DE LA CHIMENEA (m) . :
COORDENADAS DE LA CHIMENEA :

8.3.2.3.2 Modelo de Dispersión

El modelo de dispersión empleado se basa en el modelo estadístico de Gauss para el cálculo de la concentración de partículas y gases en un punto de coordenadas cartesianas x, y y z , con respecto a un punto de referencia.

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z U} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

Donde :

- C**..... Concentración del contaminante en ppm
- x**..... Distancia desde el origen en la dirección del viento
- y**..... Distancia perpendicular en la dirección del viento
- z**..... Altura del punto desde el piso donde la concentración que va a ser calculada
- Q**..... Rata constante de emisión (µg/sg)
- U**..... Velocidad del viento (m/sg)
- h**..... Altura efectiva de la chimenea
- σ_y Coeficiente de dispersión horizontal (m)
- σ_z Coeficiente de dispersión vertical (m)

Partiendo con la base de datos de emisiones a nivel de piso se calcularon las concentraciones empleando el modelo de dispersión. Para este caso el modelo de dispersión se utilizó para tener una idea del posible grado de concentración de los contaminantes producidos por las plantas.

Los cálculos empleando el modelo se hicieron para cada uno de los compuestos que se deseaban analizar.

Los datos del origen necesarios para correr el programa del modelo de dispersión fueron los siguientes:

- . Localización de la fuente de emisión
- . Altura efectiva del origen de emisión
- . Descarga emitida
- . Temperatura de los gases emitidos

Estos datos fueron tomados de la base de datos desarrollada en la primera etapa del estudio.

Los datos meteorológicos que se emplearon fueron:

- . Velocidad del viento
- . Dirección del viento
- . Tipo o categoría de dispersión

Los valores de velocidad y dirección del viento fueron tomados como valores promedio anual. Se tuvieron en cuenta cuatro categorías de dispersión, los cuales dependen del intervalo de velocidad del viento y de condiciones locales de nubosidad

Cuadro 8.18. Categorías de dispersión

VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	CUBRIMIENTO TOTAL EN OCTANOS				
	PARA HORAS NOCTURNAS			PARA HORAS DEL DIA	
	0/8-6/8 2 / 8	7/8-8/8	0/8-	3/8-5/8	5/8-8/8
<2	I	II	IV	IV	IV
3 - 4	I	II	IV	IV	III
5 - 6	II	III	IV	IV	III
7 - 8	III	III	IV	III	III
> 9	III	III	IV	III	III

Para el caso de un cubrimiento total con nubes y un posterior grado de nubosidad de nubes altas (o caso de cirros), se considera una reducción de 3/8 lo cual se puede tomar como base para la determinación de la categoría.

El tipo de dispersión para las horas nocturnas también se aplica para las horas del amanecer. Las categorías se consideran desde muy estable hasta muy inestable de la siguiente forma :

- I Muy estable
- II Estable
- III..... Neutral
- IV Inestable
- V Muy estable

Estas categorías fueron empleadas, para determinar los coeficientes de dispersión ∂_y y ∂_z a una determinada distancia x de interés, para luego se empleada en la ecuación del modelo.

El incremento altura de la pluma DH con respecto a la altura de la chimenea H para un origen determinado, se calculó con base en el flujo térmico emitido M (MW), y teniendo en cuenta la distancia del origen x y la velocidad del viento en la boca de la chimenea U . La fórmula empleada fué :

$$DH(X) = C \cdot M^a \cdot x^b \cdot U^{-1}$$

donde C , a y b dependen de la categoría de la dispersión y de magnitud del flujo térmico y del intervalo de altura de la chimenea considerado.

El flujo térmico emitido en MW es calculado con la siguiente fórmula:

$$M = 1.36 \cdot 10^3 \cdot R \cdot (T-273)$$

Donde : M ... en MW

R ... Volumen de gases emitidos por unidad de tiempo bajo condiciones normales. (m^3/s)

T ... Temperatura absoluta ($^{\circ}K$)

8.3.2.3.3. Resultados de la Modelación

. COMPUESTOS ORGANICOS : La concentración de hidrocarburos totales y de sustancias cancerígenas es crítica en el area estudiada, excepto en la parte sur de la refineria, debido a que los valores encontrados ($4.0 \mu g/m^3$ en la parte

sur de la refinería y $3.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el centro de Barracabermeja), son superiores a los de las normas internacionales. Para hidrocarburos las normas establecen un valor límite de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y para benceno de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ es considerado como crítico.

PARTICULAS : La emisión de partículas no es crítica aunque su emisión es considerado más un problema económico. Los valores encontrados son inferiores a $0.15 \text{ mg}/\text{m}^3$ y este valor se considera como límite permisible cuando las partículas no están compuestas de metales pesados o cualquier otro residuo peligroso.

MONOXIDO DE CARBONO : El límite permisible es de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentración medida (0.5 en el centro del área de estudio y $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la vecindad del sur), así como la esperada es considerada como no crítica. Las mayores concentraciones de CO es debida a las operaciones inapropiadas de los hornos que deben ser revisadas cuidadosamente.

SO₂ : Todos los valores medidos (0.1 a $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) están altamente excedidos más o menos en toda el área, las concentraciones están en un rango donde los problemas de corrosión se pueden presentar dentro y fuera de la refinería. La norma establece como valores permisibles $0.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

H₂S : Todos los límites usualmente a nivel de piso están altamente excedidos (0.1 a $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), más o menos en toda el área comparado con la norma cuyo valor máximo permisible es de 0.005 a $0.008 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

NO_x : El límite usual a nivel de piso de 0.1 solamente es excedido en algunas partes del área total. En general no hay problemas con los valores encontrados.

8.3.2.3.4. Prioridades

Basados en los valores calculados a nivel de piso se establecieron la siguientes prioridades de control :

Cuadro 8.19. Prioridades de control

CONTAMINANTE	PRIORIDADES
H ₂ S	Reducción urgentemente necesaria
Compuestos orgánicos SO ₂	Reducción necesaria
NO _x	Monitoreo necesario
Partículas CO	No requiere medición

8.3.2.4. Cartagena

El estudio más reciente en Cartagena del impacto sobre la calidad del aire, se realizó en mayo de 1989, incluido dentro de uno más completo llamado " Estudio Socio-económico y Ambiental de la Zona Industrial de Cartagena ", cuyo objetivo estaba orientado a hacer una evaluación histórica de la contribución que el sector industrial de Mamonal ha hecho al desarrollo de Cartagena.

El estudio del impacto sobre la calidad del medio atmosférico realizado, tiene siguientes características :

8.3.2.4.1. Naturaleza del Problema de la Contaminación

Los principales contaminantes atmosféricos en Mamonal son el material particulado y los gases provenientes de la utilización de combustibles tales como gas natural, Fuel oil, ACPM (diesel) y de los tipos de procesos más importantes en su consumo tales como productos químicos, refinerías y minerales no mentálicos. Estos contaminantes presentan la siguiente composición :

. GASES

- . Oxidos de Nitrógeno
- . Oxidos de Asufre
- . Hidrocarburos
- . Oxidos de Carbono

. MATERIAL PARTICULADO

- . Carbón
- . Fertilizantes en suspensión

- . Partículas de lavado con arena
- . Materiales empleados en la fabricación del cemento (caliza, arcilla, etc)
- . Carbonatos
- . Impurezas metálicas

8.3.2.4.2. Cálculo Emisiones Atmosféricas

Para cuantificar el valor de las emisiones de material particulado procedente del área industrial, se revisó el archivo de registro de fuentes de contaminación atmosférica del ministerio de Salud y además se recopiló la siguiente información :

- . Consumo de combustibles y producción industrial para las diferentes industrias del sector.
- . Factores de emisión de la EPA, de acuerdo con el tipo de combustibles utilizados y productos elaborados.

Cuadro 8.20. Emisiones atmosféricas calculadas sin controles

INDUSTRIA	EMISIONES CALCULADAS SIN CONTROLES		
	Por Quema (g/seg)	Combustibles (g/seg)	Por Proceso de Producción
Petroquímica Colombiana	0.0009	8.0E-4 SOx 1.2E-2 NOx	11.3 Cloruro de Vinilo
Abocol	0.18	2.28 SOx 0.61 NOx	0.85 Fluoruros NH4
Amocar	---	---	31.7 NO2, 316 NH4 140 hidrocarburos
Alcalis	0.56	0.03 SOx 7.68 NOx	20.3 NH4
Dow Química	0.0024	2.3E-3 SOx 3.4E-2 NOx	0.2 NO3 0.1 NH4
Ciba Geygy	0.00054	3.0E-3 SOx 4.5E-2 NOx	--
Frigopesca	0.0032	8.1 SOx 122 NOx	---
Cabot	0.0051	2.4E-4 SOx 0.070 NOx	103 SO2 26 NOx
Colclinker	---	---	
Curt. Matteuccicurt	---	---	
Electrobolivar	0.93	0.040 SOx 12.80 NOx	
Corelca	1.59	0.080 SOx 21.9 NOx	
Ecopetrol	0.99	0.050 SOx 13.7 NOx	

Fuente: Estudio Socio-Económico de Mamonal. 1989

Se estimó que la descarga atmosférica de material particulado en la zona industrial de Mamonal puede alcanzar las 1000 toneladas/día, si no existiera ningún equipo de control. De acuerdo con la información obtenida en el ministerio de salud, esta emisión teórica potencial se reduce a seis toneladas diarias debido al control que se tiene en cada una de las industrias.

De la misma manera se estima que la descarga de óxidos de azufre (SOx) podría alcanzar a la 40 toneladas día y la óxidos nitrosos (NOx) hasta 29 ton/día. Otros gases como el amoniaco (NH₄) alcanzaría a 5 ton/día. Para estos contaminates no se tienen valores de la descarga producida por las industrias de Mamonal.

8.3.2.4.3. Modelo de Dispersión

Se calcularon las emisiones de los contaminantes y la distribución de concentraciones en el área de influencia próxima a la zona industrial de Mamonal. Se empleó el modelo de dispersión atmosférica PTXXX elaborado por la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA). La información requerida para emplear el modelo fue:

- . Información básica sobre condiciones climatológicas del área como temperatura, velocidad y dirección del viento, y estabilidad.
- . Características físicas de las fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos.
- . Propiedades de los gases arrojados a la atmósfera.

Como fuentes de emisión principales se tomaron las chimeneas de las plantas industriales que aportan los mayores volúmenes de gases. Se seleccionaron 11 fuentes puntuales (chimeneas) que potencialmente presentan un mayor aporte de contaminantes. La altura efectiva de la chimenea para cada planta industrial se calculó como el promedio ponderado de las alturas de las chimeneas de acuerdo al volumen de gases emitido por cada una de las chimeneas de esa planta. Este procedimiento de cálculo lo establece el ministerio de salud.

8.3.2.4.4. Análisis de Resultados

De algunas mediciones de partículas suspendidas hechas por el servicio seccional de salud de Bolívar, en el cuadro 8.18. se tienen los valores como un promedio geométrico :

Cuadro 8.21. Mediciones de Partículas Suspendidas

MES	NUMERO DE MUESTRAS	CONCENTRACION DE PARTICULAS Microgramos/m ³ de aire
Junio de 1988	9	74.9
julio de 19889	9	79.2

Fuente : Estudio Socio Económico de Mamonal.1989

La norma establece como valor máximo permisible 100 microgramos de material particulado por cada metro cúbico de aire, expresadas como promedio geométrico de las concentraciones medidas en un año de muestreos. De acuerdo a eso se puede observar de el cuadro 8.21, que los valores actuales de contaminación por partículas en el área de Mamonal no ha alcanzado valores críticos, pero aún así estos valores son importantes para tenerlos en cuenta en un estudio de control de contaminación.

La contribución del sector industrial en la concentración de partículas en Mamonal, calculada mediante el modelo de dispersión, alcanza valores a 25 microgramos por metro cúbico, constituyendo más del 30% de la contaminación por partículas. Este valor tiende a disminuir progresivamente y se reduce al 10% en el sector sur donde la influencia de la zona industrial es menor.

Otra contribución importante del sector industrial, la constituye el aporte de óxidos de nitrógeno y de azufre alcanzando valores superiores al 50% del

valor máximo permitido para muestras de 24 horas, de acuerdo a los resultados obtenidos en el modelo de dispersión empleado. Esta contribución es menor en el sector sur, con valores cercanos al 5% de valor estipulado en la norma.

8.3.2.4.5. Contribución de las Refinerías

De acuerdo al estudio hecho por la empresa alemana KTI en 1988 para cartagena y Barrancabermeja, las refinerías en cartagena están relativamente alejadas de la ciudad y existen otras industrias con un emisión alta que se suman a la contaminación del sector. Se pudo establecer que la contaminación aportada por la refinería a la ciudad era insignificante y los valores estimados se encontraban muy por debajo de los límites internacionales permisibles.

Como la magnitud de las emisiones en Barrancabermeja eran más importantes, las recomendaciones sobre técnicas de control de la contaminación atmosférica allí formuladas se consideraron aplicables al complejo de cartagena.

Los resultados de las concentraciones obtenidas para una distancia de 12 kilómetros fueron:

Partículas	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
. CO	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
. SO ₂	6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
. NO _x	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
. Compuestos orgánicos	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Observando los resultados obtenidos en conjunto se tiene que los valores de SO₂ y compuestos orgánicos presentan un valor en la concentración importante aunque comparado con las normas internacionales (mencionadas para el caso de Barrancabermeja), estos valores resultan bajos.

8.3.3.1. Diseño Proyecto Modelación Procesos de Advección, Dispersión y Difusión de Contaminantes Atmosféricos

Análisis de Sensibilidad Técnica y Económica para Modificar las Políticas de Control de Contaminación Atmosférica por Fuentes Móviles en Colombia

Con el objeto de conocer la incidencia de los contaminantes atmosféricos que generan las fuentes móviles, se requiere complementar el inventario de emisiones desarrollado por ECOPETROL con información meteorológica existente relacionada con las clases de estabilidad atmosférica que se presentan en cada una de ellas y las condiciones de ventilación.

Con la información de emisiones y características de estabilidad atmosférica y ventilación se montarán programas de dispersión atmosférica para fuentes móviles, y evaluará la concentración promedia diaria y anual de los diferentes contaminantes en las zonas urbanas de las principales ciudades del país. Los resultados se confrontarán con la red de monitoreo de calidad del aire que opera el Servicio de Salud de Bogotá, el Servicio de Salud Metropolitano de Medellín, La Secretaría de Salud de Cali y la Secretaría de Salud del Atlántico.

Los modelos se simularán para varios escenarios futuros de crecimiento del parque automotor y para diferentes valores de normas de emisión.

La evaluación de funciones de costo de cada uno de las alternativas de control propuestas se realizará estimando los costos del montaje de los diferentes los equipos de control necesarios a instalar para cumplir las normas en las fuentes móviles.

El estudio tendrá un alcance general con el objeto de que permita tomar decisiones respecto a políticas del gobierno en cuanto a normas de emisión de contaminantes atmosféricos para fuentes móviles, con base en la información necesaria para comparar alternativas y evaluar costos. Se realizará básicamente con información primaria, recopilada en el proyecto de análisis de riesgo por ECOPETROL, existente en las principales ciudades del país relacionada con las fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos.

8.3.3.1.1. Metodología

El estudio se iniciará con la recopilación y análisis de la información existente en el país, en el área urbana de cada una de las cuatro ciudades.

El grupo consultor recopilará y analizará la información climática existente en el HIMAT, Corporaciones Regionales de Desarrollo y en estudios especializados previos de contaminación, como por ejemplo por JICA para Bogotá. De las estaciones climáticas representativas en cada una de las cuatro ciudades analizará los siguientes parámetros: dirección y velocidad del viento, temperaturas medias y extremas, nubosidad, horas de sol, regimen general de lluvias y humedad relativa. De existir información primaria se analizará además el regimen de inversión de temperatura para un período mínimo de tres años. En las demás ciudades en que este parámetro no es medido, se estimará indirectamente considerando condiciones topográficas, temperatura y nubosidad nocturna. Del análisis anterior se determinaran los porcentajes de las diferentes clases de estabilidad atmosférica promedio en cada ciudad.

8.3.3.1.2. Modelos de Dispersión a Utilizar

Se utilizará la revisión de los diferentes modelos de dispersión existentes a la fecha y de mayor utilización, para fuentes lineales y para fuentes de área. De esta revisión se seleccionará el modelo que tenga mayor aplicabilidad a las condiciones Colombianas, simplificándolo al máximo para poder aplicarlo con un número de parámetro relativamente reducido. Esto implica una revisión y adaptación del modelo y una calibración del mismo. En lo posible se utilizará los modelos que se utilizan actualmente en el país.

Una vez se haya calibrado el modelo se procederá a realizar diferentes corridas para los escenarios actuales y futuros considerando por lo menos tres rangos de normas de emisión, los cuales, unos más estrictos y unos más benignos y para siete escenarios, identificados en los proyectos de análisis de riesgos, plan de monitoreo y plan de contingencia. Estos resultados se compararán con las normas de calidad del aire actuales.

Para cada uno de los escenarios considerados se determinará el porcentaje de control necesario a implementar, en fuentes móviles, estimando una función de costos para cada porcentaje de control.

8.3.3.1.3. Duración y Costos de los Estudios.

Los estudios tendrán una duración de catorce meses tal como se indica en el cronograma. El costo de los mismos ascienden a un total de treinta millones trescientos mil pesos (\$30.300.000) M/cte, tal como se relacionan en los cuadros siguientes:

Cronograma de Actividades

ACTIVIDADES	M E S													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. Revisión y Evaluación de Información sobre Modelos de Climatología y Estabilidad Atmosférica.	**	**	**											
	**	**	**	**	**	**	**	**						
2. Corrida de Modelos					**	**	**	**	--	**				
3. Calibración de Modelos						**	**	**						
4. Análisis de Diferencia de Escenarios											***	***	***	***
5. Interpretación de Resultados e Informe Final													***	***

Presupuesto

1. PERSONAL TECNICO

	HORAS	COSTO HORARIO	TOTAL
Consultor Especialista	1000	\$18.000.00	\$18.000.000.00
Ingeniero de Sistemas	500	\$ 6.000.00	\$ 3.000.000.00
Auxiliares	700	\$ 6.000.00	\$ 4.200.000.00
Secretaria	700	\$ 3.000.00	\$ 2.100.000.00

Sub-Total	\$ 27'300.000.00
-----------	------------------

2. COSTOS DIRECTOS

Computadores	\$ 2.800.000.00
Informes	\$ 1.200.000.00

Sub-Total	\$	3'000.000.00
-----------	----	--------------

TOTAL	\$	30'300.000.00
-------	----	---------------

**8.4. Términos de Referencia de Análisis y
Formulación de Mecanismos
Técnicos para la Minimización de las
Emisiones Atmosféricas
Automotoras**

8.4. Términos de Referencia de Análisis y Formulación de Mecanismos Técnicos para la Minimización de las Emisiones Atmosféricas Automotoras

Introducción

Esta sección presenta los términos de referencia para el análisis y formulación del programa de minimización de emisiones atmosféricas provenientes del parque automotor nacional. El programa a diseñar esta constituido por cuatro componentes a saber: 1.- Programa de revisión periódica de emisiones de exosto; 2.- Uso de equipos de control de las emisiones atmosféricas automotores, particularmente convertidores catalíticos y canisters; 3.- Uso de motores más eficientes, a los actuales, en el consumo de combustibles y en las características de los combustibles y 4.- Reposición del parque automotor. Para cada uno de estos componentes los investigadores determinarán las funciones de costo para los diferentes niveles de reducción de las emisiones atmosféricas automotoras.

8.4.1. Programa de Revisión Periódica de Emisiones

La sincronización de los motores de los vehículos significa reducciones en las emisines automotrices de HC, CO, SO₂ y demás contaminantes atmosféricos hasta niveles superiores al 50%, el efecto de la sincronización reduce considerablemente las emisiones de hasta el 55% para hidrocarburos y del 45% para monóxido de carbono. Un ligero aumento de dióxido de carbono indica mejor combustión, lo cual se refleja en un ahorro significativo de combustible. El adecuado mantenimiento de los motores se puede promover mediante el montaje de un programa de revisiones periódicas de las emisiones de exosto de los automotores.

El análisis costo-efectividad de la factibilidad del montaje de un programa de revisiones periódicas de emisiones automotoras debe basarse en escenarios que aseguren la rapidez en la revisión de automotor, así como la

imposibilidad de crear oportunidades para el soborno de las autoridades de tránsito que se encargen de esta revisión.

Las emisiones de contaminantes automotores son mayores a 1.- mayor altitud de los centros urbanos sobre el nivel del mar; 2.- mayor edad de los vehículos y 3.- mayor desgaste del vehículo. El programa a diseñar debe minimizar los costos a la economía del país para un nivel óptimo de control del estado de los automotores, por ejemplo en ciudades como Barranquilla y Cali tienen emisiones promedio de 500 ppm, mientras que en Santafé de Bogotá el promedio se encuentra en 1100 ppm. Esto significa que la combustión es mejor a menor altura sobre el nivel del mar por la mayor presencia de oxígeno. en este sentido, la exigencia de un estandar de emisión a nivel nacional debe establecer una diferenciación de niveles de concentración en función de la temperatura.

El diseño del programa deberá incluir el período óptimo que transcurrirá entre revisiones de emisiones, los equipos de medición de emisiones, los mecanismos de control a los centros de diagnóstico que medirán las emisiones y los costos asociados con alternativas más o menos restrictivas

8.4.2. Uso de Equipos de Control de Emisiones Automotoras

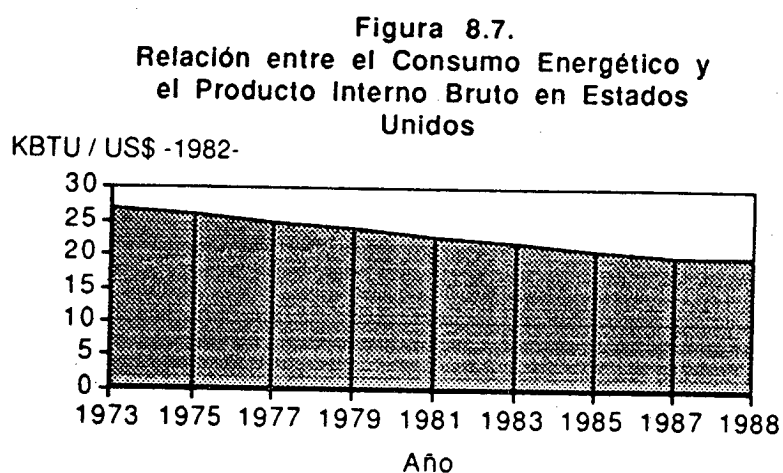
El uso de convertidores catalíticos y de canisters reduce significativamente las emisiones contaminantes que generan los automotores. Los convertidores catalíticos de tres vías reducen las emisiones de monóxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno. El uso de canisters disminuye las emisiones evaporativas.

Sin embargo el costo de los equipos de control es muy alto y puede no ser del todo efectivo. El costo de un convertidor catalítico puede estar entre los US\$ 700 y US\$ 1400. Ahora bien, con las altas concentraciones de azufre en la gasolina nacional el convertidor catalítico puede ser totalmente inefectivo.

El estudio ha desarrollar determinará los costos de adquisición e instalación, al detal, de convertidores catalíticos para los automotores de los diferentes tipos y edades que componen el parque automotor nacional.

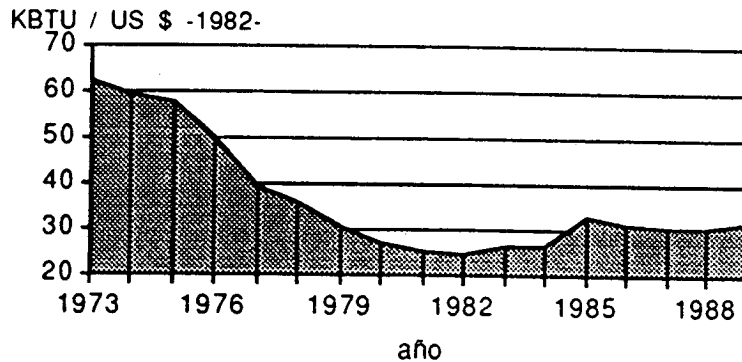
8.4.3. Mejoras en Eficiencia Energética

En los Estados Unidos las mejoras en eficiencia energética entre 1973 y 1988, alcanzaron reducciones cercanas al 30% en la relación de BTU (Unidad Térmica Británica) a dolar del producto interno bruto (ver figura 8.7). Un gran porcentaje de esta reducción se debe a las mejoras en la eficiencia de los motores, los cuales han reducido el consumo de combustibles de una manera notoria.



En Colombia la eficiencia energética presenta mejoras entre 1973 y 1980 pero posterior a 1980 no muestra mejoras en los últimos años, probablemente en razón a la falta de políticas y estrategias nacionales en este sentido. Para subsanar esta situación, los investigadores analizarán y formularán una estrategia para mejorar la eficiencia energética automotriz de tal manera que los vehículos que se utilicen en el país consuman la menor cantidad de combustibles y presenten motores con características óptimas de combustión. (ver figura 8.8.)

Figura 8.8.
Relación entre el Consumo Energético y
el Producto Interno Bruto en Colombia



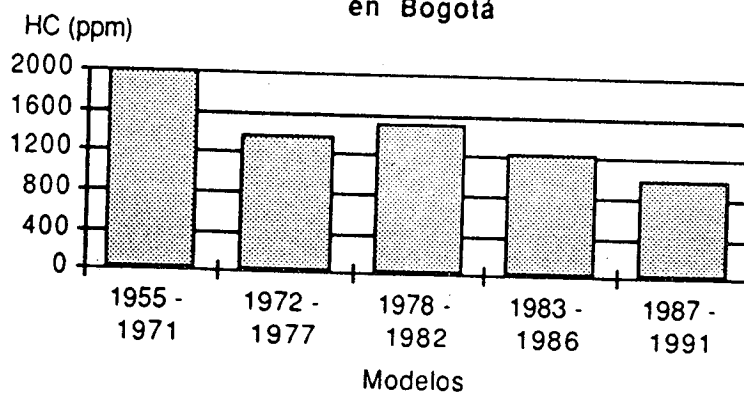
/cálculos: Ernesto Sanchez Triana y Gabriel Medina

8.4.4. Reposición del Parque Automotor

La concentración de contaminantes en los gases de combustión depende de la tecnología del motor. Los modelos más recientes emiten menos que los modelos antiguos. Este comportamiento es resultado del uso en los vehículos nuevos, de motores más pequeños, diseños que permiten mayor eficiencia en la cámara de combustión, sistemas de recuperación de vapor y carburadores que permiten mezclas óptimas aire combustible.

La figura 8.9, muestra la disminución de las emisiones de hidrocarburos (HC) en automotores que circulan en la ciudad de Santafé de Bogotá en función del modelo de los vehículos. Es importante aclarar que la diferencia de 2000 ppm a 1000 ppm que existe entre modelos cuya edad supera los 20 años a aquellos que tienen menos de 5 años de uso.

Figura 8.9.
Modelos vs. Concentración de HC (ppm)
en Bogotá



8.4.5. Diseño del Programa

La formulación de el programa de minimización de emisiones atmosféricas contaminantes provenientes del parque automotor nacional, presisa la integración de un grupo de expertos que trabajen durante un período de once meses. La división Técnica de Ecopetrol ha conformado un grupo de expertos de alto nivel que estan desarrollando este trabajo, que tiene una duración adicional de 11 meses.

**8.5. Términos de Referencia Subproyeccto de
Optimización de Sistemas
de Transporte para la disminución de la
Contaminación**

8.5. Términos de Referencia Subproyecto de Optimización de Sistemas de Transporte para la disminución de la Contaminación

Introducción

Esta sección presenta los términos de referencia para el estudio de optimización de sistemas de transporte para el control de la contaminación por fuentes móviles. Esta sección tiene tres componentes que deberán examinar los investigadores que desarrollen el estudio objeto de estos términos de referencia, i. Mejoras en el tráfico automotor; ii. Sistemas alternativos de transporte público; y iii. Uso del suelo y normas de planificación urbana.

El transporte urbano comprende el tránsito comercial, público, privado, y ciclístico; el transporte de mercancías, así como el movimiento de vehículos de emergencia, sanitarios y policiales. En Colombia, el transporte urbano motorizado se realiza en los siguientes medios :

- buses y busetas privados

- automóviles particulares

- Taxis

- Transporte ferroviario (en algunos pocos casos de emergencia)

El aumento en las unidades del parque automotor nacional cuyo mayor porcentaje se dirige a automóviles particulares no beneficia directamente a la población que se moviliza diariamente. 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 transporta. 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 10 Km/hora y en algunos casos (Av. Caracas-calle 80) de 3 Km/hora.

El uso de sistemas alternativos de transporte está relacionado con los niveles de contaminación atmosférica. Dentro de las políticas que se han propuesto e implementado en otros países para el ahorro de combustibles y

consecuentemente la disminución de la contaminación que los automotores generan se encuentran diferentes relacionadas con la optimización de sistemas de transporte, mejoras en el tráfico vehicular y ordenamiento urbano entre otras las siguientes:

1. Mejoras al tráfico vehicular y aumento de la velocidad promedio vehicular.
 - Vías Preferenciales.
 - Licitación de vías principales a empresas de transporte público.
 - Flexibilización en el horario de entrada y salida de empresas.
particularmente las localizadas en el centro de las principales ciudades.
2. Restricción al tránsito vehicular
 - Restricción al uso de vehículos con placas predeterminadas.
 - Restricción a la entrada a centros de ciudades principales a automotores con placas de otras localidades.
 - Restricción a la circulación de vehículos en zonas centrales de ciudades principales.
3. Promoción de sistemas alternativos de transporte.
 - Liberación de precios de estacionamiento en centros urbanos.
4. Uso del Suelo y Normas de Planificación Urbanas.

A continuación se discriminan cada uno de los mecanismos relacionados.

8.5.1 Mejoras en el Tráfico Automotor y Aumento de la Velocidad Promedio en Vías Vehiculares.

Es claro que a velocidades bajas las emisiones atmosféricas son más altas. Existen numerosos mecanismos que permiten aumentar la velocidad promedio en las vías de las principales ciudades colombianas entre las que se encuentran: 1. mejoras en el mantenimiento y la infraestructura de las redes viales en centros urbanos, 2. vías preferenciales, 3. restricción al uso de vehículos, 4. licitaciones de vías y 5. flexibilidad en los horarios de trabajo.

8.5.1.1. Mejoras de Mantenimiento y la Infraestructura de las Redes Viales de las Ciudades.

Ciudades como la Capital de la República tienen una red vial en condiciones precarias, un gran porcentaje de las vías no están pavimentadas y aquellas que están pavimentadas, por deficiencias en sus especificaciones originales y en su mantenimiento presentan un notorio número de desniveles, huecos, y fracturas que contribuyen a la disminución de la velocidad promedio. Ahora bien, es indispensable que las operaciones de mantenimiento de las vías se hagan a horas y con las precauciones y señalización tales que minimicen las congestiones de tráfico y no reduzcan en mayor grado la velocidad promedio de los vehículos en las ciudades del país. Dentro de estos sistemas se encuentra el uso de técnicas de construcción y mantenimiento (debidamente señalizados), tales como el uso de prefabricados para la construcción de puentes o la ejecución de obras de reparcheo de huecos en horas de la noche (10 p.m. a 5 a.m.) o en días festivos. Adicionalmente, es fundamental el montaje de paraderos de buses y la flexibilidad de las normas de tránsito como libertad de cruce a la derecha en semáforo en rojo.

8.5.1.2. Vías Preferenciales.

Vehículos que transporten más de 2 personas deberán tener prelación en las vías urbanas. Para el efecto se deberán establecer canales rápidos de tal manera que se establezcan incentivos para que haya una ocupación alta de los vehículos.

8.5.1.3. Restricción al Uso de Vehículos con Placas Predeterminadas. Restricción a la entrada a centros de ciudades principales, en horas pico, a automotores con placas de otras localidades.

Con el objeto de disminuir el consumo de combustibles en muchas ciudades de otros países, se han establecido restricciones al uso de vehículos con placas pares o impares dependiendo del día de la semana o de la hora del día (ver discusión del capítulo cinco, caso de ciudad de México). Sin embargo, esta medida es altamente inequitativa pues perjudica particularmente a las clases que tienen recursos para adquirir un auto único. Las clases que poseen un mayor número de automotores por familia se benefician al encontrar

reducido el tráfico. Una medida que puede ser mas equitativa es la de restringir el tráfico automotor en las zonas centrales de la ciudad a automotores con placas de esa ciudad. De esta manera se asegura que los impuestos de rodamiento y vehiculares ingresan a las ciudades en donde circulan los automotores gravados.

8.5.1.3. Licitación de Vías Principales a Empresas de Transporte Público.

En la ciudad de Santiago de Chile, las autoridades gubernamentales han iniciado un programa para maximizar el número de pasajeros por vehículo (particularmente en horas no-pico). Para el efecto se ha iniciado un proceso de licitación de vías principales que se asignarán a unos pocos transportadores evitando así el gran número de empresas y de vehículos que circulan en vías principales (en horas no-pico) con un número bajo de pasajeros

8.5.1.4. Flexibilización en el Horario de Entrada y Salida de Empresas. Particularmente las Localizadas en el Centro de las Principales Ciudades.

El cambio de horarios de entrada y salida, particularmente en entidades publicas, las cuales en su mayoría se localizan en las zonas centrales de las ciudades del país contribuye a atenuar los picos en el número de vehículos por unidad de tiempo. Igualmente la posibilidad de localizar oficinas de servicio gubernamentales (dirección de impuestos, empresas de servicios públicos, bancos, etc) en cercanías de las zonas residenciales con horarios nocturnos 5 p.m a 12 p.m. o en los fines de semana y días festivos, permite evitar las aglomeraciones y minimiza las distancias que se debe transportar gran parte de la población para acceder a estos entes públicos de la población.

Ultimamente y gracias al desarrollo de las telecomunicaciones (modems, faxes, correo electrónico, etc.) en ciudades muy grandes, las empresas han desarrollado mecanismos que promueven la ejecución de ciertos trabajos desde los hogares de los trabajadores; de esta manera se evita su desplazamiento y por tanto se disminuye el tráfico. Se debería estudiar

incentivos para las empresas que utilicen estos mecanismos o mecanismos que flexibilicen el horario de los trabajadores.

8.5.2. Promoción de Sistemas Alternativos de Transporte Público

El cuadro 8.22. presenta las emisiones contaminantes por Kmt/pasajero transportado para diferentes sistemas de transporte: Transporte automotor liviano y pesado en vías sin señalización ni control, transporte público en vías preferenciales solobus (p.e. troncal Caracas), transporte automotor en vías expresas (Cra 30 en Bogotá), trolleys, metro, sistema ferroviario, ciclovía, vía peatonal.

Cuadro 8.22. Cargas de Contaminación del Aire Provenientes de Fuentes de Combustión Móviles.

SISTEMA DE TRANSPORTE	UNIDAD 10 ³ KM	PARTICULAS kg/unidad	SO ₂ kg/unidad	OXID. DE N. kg/unidad	HIDROCARB UROS kg/unidad	CO kg/unidad
Promedio transporte carretero de vehículos	10 ³ KM	0.36	0.12	3.3	7.2	48.8
Vehículo Liviano a gasolina (US)	10 ³ KM	0.33	0.08	3.2	6.0	40.0
Vehículo liviano diésel (US)	10 ³ KM		0.039	0.99	0.3	1.1.
Trabajo con motor pesado de gasolina (US)	10 ³ KM	0.52	0.16	5.7	9.9	81.0
Trabajo pesado con motor de diésel (US)	10 ³ KM	0.75	1.5	21.0	2.1	12.7
A y C diésel (EU)	Ton. combust. consumido	1.89	1.9	52.0	5.2	32.0
A y C gasolina (EU)	Ton. combust. consumido	2.0	0.54	10.3	14.5	377
Motocicletas*	10 ³ KM	2.4	19.0	11.0	2.6	43.5
		0.21	0.02	0.07	9.9	17.0

A.... Vehículos livianos o automóviles
C.... Vehículos pesados o Camiones

Los cuadros 8.23. y 8.24. presentan los costos para algunos de los sistemas de transporte alternativos y el cuadro 8.25. algunos indicadores de rendimiento de buses a nivel internacional.

Los ferrocarriles de superficie y subterráneos son preferibles para grandes volúmenes de tráfico y se prestan bien para los corredores de altas densidad, como las grandes ciudades de más de 2 millones de habitantes, con altos niveles de empleo y actividad comercial que determinan una alta demanda del transporte. Sin embargo sus altos costos de construcción y explotación los hacen antieconómicos para las ciudades pequeñas y medianas o cuando el volumen de tráfico que se desea movilizar es relativamente pequeño con respecto al monto de la inversión.

Los sistemas de transporte ferroviario liviano (TFL) están formados por vehículos ferroviarios separados, dobles o triples articulados, cada uno de los cuales tiene una capacidad de 200 y 300 pasajeros. Por lo general circulan sobre rieles pero también lo pueden hacer sobre calzadas separadas. En las condiciones más favorables de tráfico los trenes de TFL de 5 o 6 vagones pueden transportar hasta 20.000 pasajeros por hora

Los vehículos en una ciudad a una velocidad media de circulación de 16 km/hora emiten:

- . 6.36 gramos de HC
- . 96.8 gramos de CO

A una velocidad de 39 km/hora :

- . 3.6 gramos de HC
- . 47.0 gramos de CO

Para la ciudad de Santafé de Bogotá se tiene que en la avenida Caracas los niveles más altos de contaminación se presentan en la calle 34 con 25 ppm de CO, y sobre la carrera décima presenta el nivel más alto a la altura de la calle 16 con un índice de 31 ppm cercano al 35 ppm considerado como el valor crítico crítico nocivo para la salud.

El automóvil es sin duda el mayor consumidor de gasolina por pasajero/km. Sobre la base del nivel de ocupación y la distancia media

viajada, el consumidor de energía por pasajero/km de automóvil particular es 3 veces superior a la de los autobuses urbanos, 4 veces superior a la de los trenes subterráneos, 12 veces superior a la de las motocicletas.

En los países industrializados como Canadá, Alemania, Japón y Estados Unidos, el consumo de energía representa más de 75% del total consumido. En los países no industrializados y no productores de petróleo, el consumo de gasolina por automóviles representa más del 50% del consumo total de petróleo. Para el caso de Colombia el consumo de hidrocarburos en miles de barriles para 1989 fue el siguiente:

	miles de barriles 1989
. Petróleo	4,612.0
. Gasolina Motor	40,883.8
. Diesel oil	12,113.6
. Kerosene	5,103.7
. Fuel oil	485.8
TOTAL	63,198.9

fuentes: Estadísticas Minero Energéticas. MIN.MINAS. 1990

Las vías en las zonas urbanas están diseñadas para soportar el tráfico de autobuses, automóviles particulares, taxis, vehículos de emergencia y en general vehículos de poco peso lo cual hace que los requerimientos de diseño sean menores, contribuyendo a disminuir los costos unitarios por kilómetro de construcción, y solo en algunas vías como autopistas y vías perimetrales en donde se permite el paso de transporte más pesados, los costos son mayores.

En general los costos de construcción por kilómetro varía de 1 a 7 millones de dólares. Los costos de mantenimiento de las vías urbanas no son insignificantes, pero por lo general son muy bajos en comparación de los costos del capital. Estos comprenden :

- . gastos de control del tráfico
- . preparación de caminos
- . iluminación
- . y limpieza.

Un automóvil particular es relativamente caro en cuanto al costo del vehículo por pasajero y la espacio vial utilizado. Un típico automóvil, con un uso medio de dos pasajeros por viaje, cuesta entre 5.000 y 10.000 dólares.

Los costos de funcionamiento de un automóvil en los países en desarrollo, suelen ser más altos que en los países industrializados, pues las vías y los vehículos son inferiores. Son de aproximadamente de 20 centavos por kilómetro en condiciones relativamente congestionadas y con velocidades medias de 15 km/hora. Además de los gastos administrativos y de capital y el salario del conductor, esos gastos comprenden la gasolina, el aceite, y los gastos de mantenimiento y servicios generados por el movimiento del vehículo y varían con la velocidad de éste.

El costo real del uso de los caminos puede variar de entre 2 y 5 centavos por vehículo-kilómetros. Los autobuses Urbanos pueden operar en cualquier camino público, así como en carriles exclusivos separados. El autobús utiliza un espacio vial equivalente a 3 automóviles pudiendo transportar hasta 120 pasajeros o entre 10.000 y 15.000 personas por hora a una velocidad entre 8 y 10 km/hora.

Los gastos de funcionamiento, incluidos los gastos de capital, mano de obra, mantenimiento y administración, varían ampliamente de un país a otro, desde 25 centavos hasta 1 centavo por pasajero-km.

En nuestro medio se tiene los siguientes costos financieros de operación para los diferentes tipos de vehículos de acuerdo a las características de la vía.

Cuadro 8.23. Costos Financieros de los Sistemas de Transporte en Colombia

COSTO DE OPERACION (\$/km)
Sin costo de tiempo de pasajeros

TIPO DE VEHICULO/ TIPO DE TERRENO	AUTO PEQUEÑO	TAXI	AUTO GRANDE	PICK UP	BUS PEQUEÑO	BUS GRANDE
Pavimentado, Plano en regular estado	69.97	73.413	136.810	104.6	157.7	204.7
Pavimentado, Montañoso en regular estado	75.4	82.9	151.7	118.4	264.2	350.4
No pavimentado, plano	91.4	101.3	183.5	148.1	189.3	243.6
No pavimentado, montañoso	96.4	109.2	195.1	158.7	294.7	388.1

Cuadro 8.24. Costos Financieros de los Sistemas de Transporte en Colombia

COSTO DE OPERACION (\$/km)
Con costo de tiempo de pasajeros

.TIPO DE VEHICULO/ TIPO DE TERRENO	AUTO PEQUEÑO	TAXI	AUTO GRANDE	PICK UP	BUS PEQUEÑO	BUS GRANDE
Pavimentado, Plano en regular estado	111.4	115.6	221.1	158.1	364.7	409.9
Pavimentado, Montañoso en regular estado	131.9	139.5	264.9	191.2	570.0	655.4
No pavimentado, plano	152.1	162.1	304.9	224.7	485.3	538.9
No pavimentado, montañoso	168.5	180.8	338.5	248.7	664.2	756.9

Como se desprende el sistema de transporte que mas contribuye con emisiones atmosféricas es el tráfico de vehículos de transporte público (basados en muchos casos en motores diesel) junto a automotores

particulares. Soluciones como de transporte másivo como el metro son significativamente mejores desde el punto de vista ambiental pero representan erogaciones financieras, que los gobiernos municipales en el país, tendrían dificultad en sufragar. El sistema de trolleys que operó en la ciudad capital durante muchos años fue un ejemplo en cuanto a organización y minimización de la contaminación ambiental. La licitación de la infraestructura de trolleys existentes podría poner en funcionamiento un sistema que produce menos contaminación ambiental que los sistemas actuales. Los investigadores a contratar deberán analizar y evaluar desde los puntos de vista económico y ambiental los sistemas alternativos de transporte que se puedan implementar en los principales centros urbanos del país.

8.5.3. Uso del Suelo y Normas de Planificación Urbanas.

La promoción de sistemas de ordenamiento urbano que minimicen el tiempo de viaje de trabajadores y decentralice los servicios, significa mejoras notorias en los niveles de calidad ambiental en las principales ciudades.

Medidas como la restricción en el uso del suelo al área o número de sitios de estacionamiento en los centros urbanos significaría una disminución en la oferta de lugares de parqueo en las zonas centrales de las ciudades. Esta medida unida a la liberación de precios de estacionamiento en esos centros urbanos, significa aumentos notorios en los precios de estacionamiento en los centros urbanos y por tanto un control en la demanda por este servicio.

La exigencia de los planes de ordenamiento urbano a exigir sitios de estacionamiento de los diferentes sistemas de transporte público, sitios para el estacionamiento en zonas comerciales, áreas especiales para andenes y vías peatonales (de tal manera que no se obligue a los peatones a caminar por las vías vehiculares) y zonas especiales para el cargue y descargue de mercancías que no perturben el tráfico son medidas que se deben adoptar y cuya cumplimiento debería ser vigilado de una manera estricta. Por ejemplo, la organización en procesos de cargue y descargue de mercancías permite mayor fluidez en el tráfico y por ende menor contaminación ambiental. Las operaciones de cargue y descargue de mercancías deben reglamentarse, así como, zonificarse el suelo especificando los sitios de estacionamiento para

estos fines. Es importante que se organicen estas operaciones de cargue y descargue de mercancías de tal suerte que las actividades respectivas se hagan en las horas y con las precauciones y señalización tales que minimicen las congestiones de tráfico y no traumatizan el tráfico automotor en las ciudades del país.

La señalización de cada una de las reglas de tráfico, de las emergencias, obras en reparación o mantenimiento, y de las direcciones de la ciudad contribuye a garantizar un flujo automotor normal. Particularmente, la señalización de obras en construcción o en mantenimiento es una medida que se puede tomar con costos pocos significativos en relación a las inversiones que se ejecutan y adicionalmente a reducir las congestiones y evitar perturbaciones en el tráfico vehicular contribuyen a disminuir la accidentalidad. Dentro de la señalización merece especial atención la semaforización, la cual, con base en los tiempos preferenciales programados puede evitar que el flujo de vehículos contribuya a la contaminación ambiental.

8.5.3.1. Perspectivas.

Existen una serie de aspectos que los investigadores a contratar deben dilucidar con el objeto de proponer sistemas de transporte y desarrollo urbano que minimicen la contaminación ambiental. Entre los temas que se deben desarrollar con mayor precisión están, 1.- Cual es el costo de adopción de sistemas alternos de transporte, particularmente en los centros urbanos principales. 2.- Que clase de políticas de optimización de sistemas de transporte, de indole nacional, son efectivas, eficientes y equitativas para minimizar la contaminación ambiental. 3.- Que clase de políticas de optimización de sistemas de transporte, de indole nacional, son efectivas, eficientes y equitativas para minimizar la accidentalidad vial. Igualmente el estudio de optimización de sistemas de transporte para la reducción de la contaminación ambiental debe examinar como mínimo las alternativas de mejora de tráfico automotor, zonificación del uso del suelo y promoción del uso de sistemas alternos de transporte menos contaminantes que se describieron en los números anteriores.

Cuadro 8.25. Indicadores de Rendimiento de Buses a Nivel Internacional

INDICADOR	PARAMETRO NORMAL
Pasajeros/bus/día	1000 - 1200
Kilómetros/bus/día	230 - 260
Accidentes por 100.000 km	1.5 - 3.0
Disponibilidad de Buses	80 - 90

8.5.4. Recursos Humanos

Con el objeto de formular el plan para la optimización de sistemas de transporte y desarrollo urbano se requiere un grupo interdisciplinario de expertos que trabajen durante un período de nueve meses en coordinación estrecha con los expertos que ejecutarán los componentes de análisis de los planes de contingencia de incidentes de contaminación.

Para la formulación del programa de optimización de sistemas de transporte para el control de la contaminación por fuentes móviles, se requiere conformar un grupo interdisciplinario que incluya entre otros los siguientes especialistas en las siguientes áreas:

- Ingeniero Civil Ph.D. Ingeniería de Transporte
- Ingeniero Civil Ph.D. Optimización de sistemas urbanos y transporte
- Economista Ph.D. Economía Recursos Energéticos
- Ingeniero Ambiental Ph.D. Control Contaminación Atmosférica
- Economista con experiencia en evaluación social de sistemas de transporte masivo.

8.5.5. Presupuesto

Se estima que el costo del estudio de formulación del plan alcanza la cifra de 72 millones de pesos de 1992.

Costos Directos

Salarios	
Especialistas (20 hombre-mes)	\$ 20.0 millones
Asistentes (40 hombre mes)	\$ 8.8 millones
Transporte y Viaticos	\$ 4.0 millones
<u>Equipos y Computadores</u>	<u>\$ 3.2 millones</u>
Subtotal	\$ 36 millones
<u>Overhead 100%</u>	<u>36 millones</u>
Total	\$72 millones

8.5.6. Cronograma de Actividades

Con el objeto de coordinar las acciones correspondientes con los componentes de análisis de riesgo, diseño juridico e institucional, modelación de la calidad del aire, plan de contingencia y sistema de monitoreo se estima que la duración mínima de este componente debería ser de 9 meses, tal como se desagrega en el cronograma de actividades adjunto.

Cuadro 8.26. Cronograma de Actividades

ACTIVIDAD	MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I. Diagnóstico sistemas de transporte										
Bogota										
Cali										
Medellín										
II. Análisis de sensibilidad										
III. Evaluación alternativas de Transporte Masivo										
IV. Evaluación alternativas mejora de tráfico vehicular										
V. Informe Final										

**8.6. Términos de Referencia Subproyecto de
diseño de Mecanismos
Económicos para el Control de la
Contaminación por Fuentes
Móviles.**

8.6. Términos de Referencia Subproyecto de diseño de Mecanismos Económicos para el Control de la Contaminación por Fuentes Móviles.

Introducción

Los instrumentos económicos son estrategias reguladoras indirectas, que presionan positiva o negativamente a las fuentes de contaminación para que reduzcan el daño ambiental ocasionado por ellas mismas, o que involucren o fomentan la creación de mercados que a su vez, ejercen presiones sobre las fuentes.

8.6.1. Tipos de Instrumentos Económicos

8.6.1.1. Tasas e Impuestos

- Tasas sobre emisiones y descargas

Las autoridades gubernamentales pueden fijar tarifas a las fuentes de contaminación basadas en la cantidad y calidad de los contaminantes emitidos al aire, al agua o la tierra. La justificación legal de estas tarifas es que son un cobro por el privilegio de poder utilizar un medio (aire o agua) público como lugar para disponer los residuos, o una compensación al público perjudicado por dichas emisiones.

Desde esta perspectiva, cobrar por la utilización del medio ambiente es reconocer que es un recurso escaso y valioso con muchas utilidades potenciales. Si la tarifa se fija adecuadamente, se asegura que la capacidad del medio ambiente para asimilar estos desechos del medio ambiente se utiliza de la mejor forma.

Se puede diseñar un plan de tarifas para alcanzar objetivos específicos de residuos de contaminación, objetivos de calidad ambiental, objetivos de renta pública y objetivos basados en los daños causados por la contaminación. Por la dificultad para medir el daño ambiental, las tarifas usualmente se diseñan para lograr objetivos de emisiones agregadas o de calidad ambiental.

En algunos casos, la utilización de un sistema de tarifas le permite al contaminador escoger entre pagar la tarifa o reducir sus emisiones. Cada

contaminador reducirá las emisiones hasta el punto en que el costo marginal de la reducción de dichas emisiones sea igual a la tarifa. De esta forma se minimiza el costo agregado del control de la contaminación.

Las tarifas pueden variar según las zonas geográficas y el tiempo de emisión, dependiendo de la gravedad de los daños locales causados por la contaminación o según la capacidad de asimilación del medio ambiente en cuestión. Este aspecto puede presentar un problema relacionado con el cumplimiento de las disposiciones, si diferentes fuentes fijas de contaminación causan diferentes tipos de daños, razón por la cual una tarifa uniforme por unidad de contaminante no será eficiente. En general, se deben diseñar unas tarifas para que a cada contaminador se le cobre una cuantía representativa de su contribución marginal al daño comunitario.

En el caso de las fuentes móviles, los daños más graves usualmente ocurren en las zonas urbanas. Por lo tanto, sería más adecuado cobrar las tarifas en las zonas urbanas y no en las rurales. Esto se podría lograr mediante un sistema de tarifas diferenciales según el lugar de registro del vehículo. Sin embargo, el cumplimiento de este sistema es más complicado por la necesidad de monitorear la transferencia de vehículos entre localidades.

Adicionalmente, la medición de las emisiones que son causadas por los vehículos no es posible con la tecnología actual. Una alternativa sería cobrar tarifas según las características del vehículo relacionadas con las emisiones tales como peso, caballos de fuerza, clase de combustible y presencia de tecnología de control en el vehículo.

8.6.1.2. Tarifas al Usuario

Las tarifas son pagos directos para reembolsar al gobierno por los costos de recolección, tratamiento y disposición de residuos y de otros servicios tales como ensayos de laboratorio, monitoreo y expedición de licencias.

En el caso de los vehículos de transporte se pueden cobrar tarifas por la utilización de vías y zonas de estacionamiento por servicios de inspección y monitoreo y por registro de vehículos. Además de generar ingresos, estas tarifas pueden fijarse de forma tal que desinsentiven el tener vehículo propio,

reduzcan las millas recorridas, eviten el uso de vías congestionadas del centro de la ciudad, aumenten la utilización del transporte público, y aumenten los viajes compartidos.

8.6.1.3. Tarifas a los Productos

Estas tarifas se fijan para los productos de consumo que causan contaminación en su fabricación o con su utilización. Son una forma indirecta de ponerle precio al daño ocasionado por la contaminación. En situaciones óptimas, las tarifas deben estar asignadas directamente al producto que se está racionando. Pero como no es posible monitorear las emisiones verdaderas de un vehículo, probablemente es más eficiente cobrar una tarifa en el momento de compra del automóvil. Los efectos pueden ser similares a los de las tarifas de registro explicadas anteriormente, pero el manejo de una tarifa de venta puede ser más sencillo.

La utilización más común de una tarifa de producto para controlar emisiones de fuentes móviles es el impuesto a la gasolina. La mayoría de los países tienen impuestos a la gasolina y estos contribuyen a disminuir las millas recorridas, estimulan la compra y mantenimiento de vehículos eficientes en consumo de gasolina, e indirectamente reducen la contaminación del aire. Europa tiene unos impuestos a la gasolina relativamente altos, en cambio los países latinoamericanos tienen impuestos bastante bajos en comparación con los de Estados Unidos. Una discusión más detallada de los impuestos a los combustibles en Colombia se presenta más adelante en esta sección.

Si el producto es de aquellos que puede ser mantenido por el usuario durante la vida útil y luego ser llevado a un sitio adecuado de almacenamiento, una combinación de tarifa de producto y reembolso contra devolución puede ser lo adecuado para este caso. Este sistema se llama estrategia de "depósitos reembolsables" y se analiza posteriormente.

8.6.1.4. Tarifas a los Insumos

Se pueden imponer tarifas a los insumos de producción que produzcan residuos dañinos ya sea durante el proceso de manufactura, en el consumo del

producto o en el desecho final de éste. Por ejemplo, tarifas sobre componentes tóxicos de la gasolina, asbesto utilizado en los frenos, plomo para las baterías y azufre del combustible diesel son aplicaciones de este tipo.

8.5.1.5. Impuestos Diferenciales

A los productos se les pueden aplicar diferentes tasas de impuestos según las diferentes cantidades de daño ambiental que produzcan. Lógicamente esta estrategia es igual que la de tarifas al producto y a los insumos descritos arriba. Sin embargo, debe ser analizada pues involucran ajustes de las políticas fiscales y tributarias existentes para otros propósitos diferentes a los de control de la contaminación.

Específicamente, vale la pena examinar los impuestos y subsidios existentes para determinar si se están produciendo efectos ambientales no deseados. Por ejemplo, subsidios a la producción de energía puede involuntariamente fomentar la generación de contaminación del aire. Una posibilidad es fijar niveles diferentes de impuestos o subsidios para diferentes formas de energía según su potencial como contaminante.

El análisis de políticas gubernamentales respecto a la producción de las diferentes combustibles puede revelar la existencia de oportunidades para reducir la contaminación sin necesidad de nuevas estructuras administrativas o programas de control.

- Los sistemas de "Depósitos Reembolsables"

Estos sistemas son útiles cuando el problema radica en la existencia de muchas y dispersas fuentes individuales de contaminación, involucrando productos de consumo individual o compuestos tóxicos comunes. Este sistema también es el apropiado cuando el contaminante es persistente y tóxico y no se desea que sea emitido al medio ambiente. Finalmente, es útil cuando resulta difícil prevenir el incorrecto manejo de residuos. En estos casos puede resultar una buena estrategia la creación de incentivos para que quienes tengan los contaminantes los lleven y desechen en sitios adecuados.

En estas circunstancias, la aplicación de estándares de disposición, tarifas de emisión o permisos negociables no son factibles por los altos costos de transacción, monitoreo y aplicación.

Como resolver estas dificultades:

En lugar de tratar de penalizar el inadecuado manejo de los residuos, esta estrategia "incentiva a que los desechos contaminadores se lleven a sitios centrales de recolección donde pueden ser manejados. Los consumidores pagan un depósito en el momento de hacer la compra y reciben un reembolso cuando entregan el artículo a un reciclador autorizado o a un centro de disposición.

Ejemplos comunes son:

Envases de bebidas (cerveza y gaseosas).

Depósitos de US\$.05 a US\$.10 por envase han logrado tasas de retorno de los mismos entre 80% y 90% en los Estados Unidos, Suecia y Finlandia.

Llantas de carro,, aceite para motor y baterías.

Algunos estados de los Estados Unidos cobran US\$5 de depósito para baterías de carros y el 90% de estas baterías con ácido de plomo son devueltas para ser desechadas correctamente.

Automóviles

Envases de pesticidas

Los beneficios de esta estrategia son:

- Una Administración más fácil y menos costosa.
- La creación de un mercado en el cual los basureros recolectan los artículos no devueltos y se ganan el depósito.
- La generación de ingresos para el gobierno por los depósitos no reclamados, ingresos que utiliza para el manejo de los residuos.

-Apoyo para el reciclaje y conservación de los recursos.

8.6.1.6. Permisos Negociables

Bajo este sistema, la autoridad gubernamental determina un nivel aceptable de las emisiones totales de un contaminante, usualmente para una región geográfica específica, basado en el objetivo de calidad del ambiente.

Las autoridades crean y distribuyen cierto número de permisos de descarga que suman lo mismo que el objetivo total de emisiones. Los permisos pueden ser distribuidos gratuitamente o subastados. El sistema puede utilizarse para generar ingresos o como un programa neutral de ingresos.

Una vez distribuidos, los permisos pueden ser negociados (vendidos o comprados) entre los descargadores en el mercado libre. La demanda y el precio de mercado de éstos depende del costo marginal del descuento entre los diferentes descargadores, pues cada descargador le hará tratamiento a los residuos mientras el costo marginal de este tratamiento no sea mayor que el costo de comprar un permiso.

La eficiencia del costo y el incentivo para innovar son los mismos que para las tarifas por contaminación. El precio de equilibrio del mercado para permisos actúa como una señal de precio para los contaminadores potenciales al igual que una tarifa de emisión. Cualquiera de las dos estrategias puede lograr una solución eficiente en costo que permitan alcanzar los objetivos de calidad del ambiente o para las metas sobre emisiones agregadas.

Los permisos negociables se diferencian de las tarifas en cuanto a que la cantidad de emisiones son fijadas de antemano por la autoridad gubernamental y por lo tanto el grado de protección del medio ambiente es más predecible. Además, el gobierno logra alcanzar sus metas de control sin tener que recolectar información sobre la función de costo del control. Esto puede representar una gran disminución en el costo de la información para el gobierno. Las diferencias entre tarifas y permisos negociables se analizan con más detalle en la siguiente sección.

Al igual que las tarifas de emisión, los permisos no se pueden definir para las emisiones actuales de fuentes móviles por cuanto no es viable el monitoreo. Sin embargo, se podrían crear permisos negociables para la operación de diferentes clases de vehículos. Los Mercados de permisos podrían establecerse en cada área urbana para cantidades determinadas según las condiciones locales.

Adicionalmente, se puede elaborar un plan que especifique cuantos permisos son necesarios para cada tipo de vehículo dependiendo del uso que se le vaya a dar, sus características físicas y su potencial de contaminación. En esta forma, los permisos podrían ser intercambiado entre operadores de diferentes tipos de vehículos, asegurando la existencia de un gran mercado competitivo de permisos.

8.6.1.7. Normas sobre Responsabilidad

Con normas estrictas de responsabilidad, el que contamina es responsable por los daños causados por la contaminación aunque no tenga la intención de hacerlo ni sea negligente. Con normas menos estrictas es necesario demostrar negligencia o culpabilidad para que el que contamina sea responsable por los daños.

Los requerimientos sobre responsabilidad son útiles cuando los propietarios pueden prevenir el daño ambiental; pero si éste se produce es difícil de observar y al menos pasa un poco de tiempo antes de observarse. Por ejemplo, las instalaciones industriales pueden depositar residuos tóxicos en sus predios y después de un largo período de tiempo la lixiviación puede contaminar el agua subterránea. El daño causado puede ser grande al igual que el costo de remediarlo aunque la prevención no sea muy difícil.

En este caso, si la empresa sabe que será responsable por los daños en el futuro cuando sean descubiertos, estará motivada para manejar apropiadamente los desechos en sus predios y evitar la contaminación. Por lo tanto las reglas sobre responsabilidad pueden utilizarse para reforzar la máxima de que "Una onza de prevención vale igual que una libra de curación".

La utilización de requerimientos de responsabilidad es más común en el control de grandes instalaciones industriales, aunque también se puede utilizar para el sector del transporte.

Los propietarios serían responsables por los daños por contaminación si no le hacen mantenimiento a sus vehículos, o si intencionalmente le quitan o dañan los dispositivos de control de contaminación. Este tipo de sanciones son especialmente efectivas para controlar a los grandes propietarios de flotillas de vehículos tales como líneas de buses y empresas de camiones.

8.6.2. Las ventajas Generales de los Instrumentos Económicos

8.6.2.1. Eficiencia Estática

Los instrumentos económicos permiten y promueven técnicas eficientes de costo para la reducción y control de la contaminación. Para cualquier meta de calidad ambiental o emisiones agregadas, la utilización de presiones económicas hace que se adopten técnicas de control efectivas entre los contaminadores vigilados.

Primero, al darle un precio a la contaminación permitida y no una restricción directa de las actividades, al contaminador se le da la flexibilidad para escoger la combinación más eficiente de cambios en su proceso de producción, cambios de insumos y utilización de tecnologías de control de contaminación.

Segundo, la señal de precio da una idea a los contaminadores sobre qué tanto control deben lograr cada uno para distribuir en forma más eficiente los esfuerzos de control de varias fuentes de contaminación. Fuentes con bajos costos de control son persuadidas para controlar más, y se evitan esfuerzos por parte de fuentes con más altos costos de control. Si son eficientes, cada contaminador controlará las emisiones o contribuirá a la calidad ambiental hasta el momento en que los costos marginales sean iguales. Esta es la señal para "producción" eficiente de calidad ambiental por parte de un grupo de contaminadores.

8.6.2.2. Eficiencia Dinámica

Al establecer un precio al derecho de descargar los residuos al medio ambiente, las empresas comienzan a considerar al medio ambiente como un recurso valioso y escaso. Al igual que con otros insumos costosos, hay un incentivo para conservar el recurso y reducir su participación en los costos totales de producción. En esta forma, los instrumentos económicos estimulan la investigación y el desarrollo de tecnología innovadora para el control de la contaminación. Es muy importante involucrar al sector privado en este esfuerzo pues es allí donde está la experiencia en el área de producción de tecnología y el capital disponible para financiar actividades de investigación y desarrollo.

Aún más, cuando la descarga de residuos se considera como un servicio por el cual hay que pagar, este costo ingresa a la contabilidad del negocio como un costo de funcionamiento y por lo tanto se refleja en los precios que el consumidor paga por los bienes y servicios. Así también el consumidor se ve incentivado a cambiar patrones de consumo para reducir la contaminación.

Una de las formas más importantes de cómo los instrumentos económicos estimulan la eficiencia dinámica, es que inducen a las empresas a examinar sus productos y procesos para encontrar nuevas técnicas de control (que no sean los controles "end of the pipe").

La *Auditoría Ambiental* es la búsqueda formal de estas innovaciones. Es necesario fomentar la auditoría ambiental por las siguientes razones: 1. Los ingenieros de producción de las entidades privadas han sido entrenados para concentrarse en la calidad del producto y en la eficiencia del costo de producción. 2. Usualmente el objetivo de la empresa es la maximización de ganancias a corto y mediano plazo. 3. Los especialistas en mercadeo o tratan de descubrir los deseos de los consumidores o de influenciar los gustos y preferencias de consumo. 4. Los analistas ambientales del gobierno usualmente se concentran en la cantidad y grado de toxicidad de los residuos a medida que son emitidos por las firmas industriales.

Como resultado, estos expertos rara vez comprenden los problemas y metas de los demás y por lo tanto se pierden buenas oportunidades de

cooperación. Una auditoría ambiental es un examen sistemático por parte de ingenieros de producción y analistas ambientales de todas las interacciones en cualquier operación del negocio y su entorno.

La auditoría puede incluir un análisis de todo el proceso de producción, los diagramas de tubería y flujos, la inspección visual de las instalaciones y el análisis del balance de los insumos de materiales de los utilizados en la elaboración de los productos en los diferentes procesos.

El equipo de auditoría examina:

- Procedimientos de monitoreo y cumplimiento
- Técnicas de producción
- Selección de insumos
- Diseño de producto

Los objetivos son:

Reducción de la cantidad y grado de toxicidad de residuos, y reducción o aumentos mínimos en los costos de producción manteniendo un producto de calidad aceptable.

8.6.2.3. Viabilidad Administrativa

La utilización de instrumentos económicos reduce en la forma considerable la necesidad del Estado de recolectar información detallada respecto a tecnologías de control, viabilidad y costos. La clase de información requerida varía según los diferentes instrumentos que se utilicen. Estas diferencias deberán ser analizadas en la ejecución del proyecto.

8.6.2.4. Fuentes de Ingreso

Algunos instrumentos generan ingresos para ser utilizados por el gobierno. Las tarifas por servicios prestados por el gobierno se utilizan para cubrir el costo de prestar estos mismos. Por ejemplo, son: tarifas por utilizar las vías y parques públicos, tarifas de registro de vehículos de inspección, monitoreo y control de tráfico. Otros instrumentos son diseñados antetodo para

influir sobre el comportamiento y características de operación de los contaminadores, pero éstos a su vez también pueden generar ingresos. Estos ingresos a menudo se utilizan para financiar otros programas ambientales o actividades de recuperación del medio ambiente.

8.6.2.5. Desventajas - Eficiencia Estática

Los instrumentos económicos no eliminan toda necesidad de información. Como la mayoría de los servicios proporcionados por un "ambiente limpio" son una forma de bienestar para la comunidad, ni los mercados reales ni los artificiales pueden determinar el valor real de éste. Por consiguiente estas estrategias no pueden usarse para determinar qué tan limpio debe ser el ambiente con base exclusivamente en un criterio de eficiencia económica. La determinación del nivel óptimo de contaminación y calidad ambiental sigue siendo el aspecto más complicado.

En consecuencia, el gobierno sigue siendo responsable por la fijación de metas de contaminación y calidad del aire. Esto significa que debe calcular la función del costo de control de la contaminación agregada, calculando los daños evitados (los beneficios) mediante el control de la contaminación, y escogiendo un objetivo general de calidad, basado en el equilibrio de costo-beneficio. El Cuadro I proporciona un esquema del tipo de daños evitados por el control de contaminación y muestra la dificultad de evaluar estos daños monetariamente.

Adicionalmente, el gobierno debe responsabilizarse por el monitoreo de las emisiones y hacer cumplir las estrategias de control.

Los instrumentos económicos tienen resultados poco previsibles. Como estas estrategias dependen de la presión económica o de incentivos, la eficiencia del control no es fácil de predecir como sucede con otras estrategias tradicionales.

Los subsidios hacen que el control de la contaminación sea más económico, pero la respuesta de los conductores y empresas también depende de presiones competitivas y expectativas para el futuro. Las tarifas de emisión hacen que los contaminadores reduzcan la contaminación hasta el punto en que la tarifa sea igual al costo marginal de control. Pero si el que regula no

conoce como es la función de costo de control no podrá predecir con exactitud qué tanto control se llevará a cabo.

El mismo problema de incertidumbre se presenta con los permisos negociables. El que regula emite un número fijo de permisos y éstos luego son comprados y vendidos por contaminadores potenciales. El precio de equilibrio del mercado refleja el costo marginal de control para el nivel de contaminación agregada determinada según el número de permisos expedidos. Pero, si el que regula no conoce con anterioridad la función de costo de control agregado, no podrá predecir adecuadamente el precio de equilibrio.

Este punto es muy importante para escoger entre permisos negociables y tarifas de emisión. En un mundo lleno de información sobre costos de control, cualquiera de los 2 instrumentos será una solución con costos efectivos para una determinada meta de contaminación. Pero usualmente, ni el gobierno ni la industria conocen la función del costo de control. Por lo tanto las tarifas sobre emisiones permiten que quien regula conozca los costos de control pero no podrá saber cuál es la reducción en la contaminación. En cambio, los permisos negociables le permitirán conocer cuál es la cantidad de contaminación pero no sabrá el costo de lograr esto.

Para escoger entre estas 2 clases de instrumentos, es necesario conocer algo respecto a la función del daño. Por ejemplo, se puede creer que después de cierto nivel de contaminación, la función del daño se torna bastante pendiente. Este es el caso de sistemas ecológicos con una capacidad limitada para resistir perturbaciones, y pasado dicho límite éstos sufren un colapso. En estos casos, quien regula debe estar muy seguro que el límite no será alcanzado y por lo tanto escoge una estrategia de permisos y no una de tarifas.

Cierta clase de controles indirectos requieren instituciones reguladoras muy sofisticadas de control para monitorear y hacer cumplir las disposiciones Por ejemplo, los permisos negociables definidos en términos de emisiones actuales al igual que las tarifas de emisión requieren monitoreo de las emisiones para determinar su cumplimiento por parte de fuentes individuales. En situaciones en que los controles institucionales no

están bien desarrollados puede ser necesario diseñar una segunda estrategia que aunque no sea la mejor sea más fácil de administrar.

Por ejemplo, los impuestos a los combustibles y a otros insumos de producción pueden estar funcionando y proporcionan una forma más viable de influir sobre las actividades contaminantes, que las tarifas a las emisiones actuales.

La utilización de instrumentos económicos puede verse limitada por los altos costos de transacción o por una estructura inapropiada de la industria bajo control. Los requerimientos de monitoreo pueden limitar la utilización de incentivos económicos para cuando las fuentes son fácilmente identificables.

La organización de las fuentes de contaminación también influye en la aplicación de ciertos tipos de instrumentos. Los permisos negociables sólo tendrán un buen resultado si hay suficientes interesados para que el mercado resulte competitivo. La distribución geográfica también es importante. Los contaminadores sujetos a instrumentos económicos deben producir un tipo similar de contaminación en la misma región para que sus daños sean equivalentes. A medida que aumenta la diversidad de fuentes se vuelve más complejo el diseño del instrumento de control.

8.6.3. Recursos Humanos

Para diseñar los mecanismos económicos para el control de la contaminación por fuentes móviles se requiere el siguiente personal especializado.

- Economista Ph.D en ingeniería Ambiental
- planificador Ambiental Ph.D
- Aúxiliar Economista
- Apoyo Logístico

8.6.4. Cronograma de Actividades

La ejecución del proyecto de diseño de mecanismos económicos requiere un mínimo de 9 meses discriminados así:

ACTIVIDAD	MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I. Recolección de información	=====									
II. Evaluación de Mecanismos económicos	=====									
III. Diseño de tasas y mecanismos económicos	=====									
IV. Informe final										=====

8.6.5. Presupuesto

PESONAL	US \$/ MES	H/M	TOTAL
Economista	3.000	5	15.000
Planificador Ambiental	2.500	5	12.500
Ingeniero Ambiental	2.500	3	7.500
Aúiliar de Economista	1.000	6	6.000
Apoyo Logístico			11.000
TOTAL			56.000

**8.7. Términos de Referencia Subproyecto de
Diseño de la Estructura
Jurídica para el Control de la
Contaminación por Fuentes Móviles.**

8.7. Términos de Referencia Subproyecto de Diseño de la Estructura Jurídica para el Control de la Contaminación por Fuentes Móviles.

Introducción

Esta sección presenta los términos de referencia para el diseño de la estructura jurídica para el control de la contaminación por fuentes móviles en Colombia.

La eficiencia económica basada en un análisis costo beneficio es sólo una parte del criterio para tomar la decisión final acerca del sistema óptimo de instrumentos para el control de la contaminación producida por fuentes móviles. También es importante considerar las ventajas o desventajas que representan las diferentes estrategias para el gobierno, la comunidad de negocios y los conductores individuales que se ven involucrados en las mismas (viabilidad institucional y política), así como realizar un análisis cualitativo de las dificultades legales, administrativas o de cumplimiento de las diferentes estrategias posibles. En lo posible las propuestas deberán ser diseñadas de acuerdo con las leyes en vigencia y para que sean de fácil manejo y cumplimiento.

La implementación en el país de los diversos mecanismos propuestos y utilizados en otros países para el control de la contaminación ambiental implican importantes ajustes en materia legal. Son muchas las áreas que se ven afectadas, entre otras: la creación de nuevas instituciones o la transformación de las existentes para el control y monitoreo de la contaminación producida y el cobro de posibles impuestos, tarifas o tasas; el ajuste de las políticas fiscales y tributarias existentes para otros propósitos diferentes a los del control de la contaminación; adecuación de las normas existentes o creación de nuevas normas de responsabilidad, tanto en el campo civil como penal, para prevenir y resarcir los daños producidos por la contaminación ambiental; desarrollo de los derechos, obligaciones e instituciones recientemente consagrados en la Constitución (derecho a un

ambiente sano, saneamiento ambiental, acciones populares, estado de emergencia ecológica, etc.); y educación y promoción para la protección del medio ambiente.

8.7.1. Viabilidad Legal de los Instrumentos Económicos Propuestos

El estudio de la viabilidad jurídica de los instrumentos propuestos involucra diversas áreas del derecho que han de ser tenidas en cuenta. Desde la Constitución Nacional hasta las resoluciones administrativas expedidas por autoridades locales tienen que ver con este tema, así como las diferentes ramas generales del derecho: penal, administrativo, comercial, tributario y civil.

La Constitución Política de Colombia de 1991 en sus artículos 48 y 49 introduce por primera vez la noción de saneamiento ambiental como un derecho social. Los artículos 79 y 80 de la misma desarrollan el concepto de derecho a un ambiente sano, estableciendo la obligación del Estado de proteger y conservar el medio ambiente, otorgándole la facultad de planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales. Es deber del Estado prevenir y controlar los factores que deterioren el medio ambiente y para ello la nueva Carta Constitucional conservó el régimen de intervención estatal extendiéndolo a la protección del medio ambiente. Se faculta al Estado para la imposición de sanciones legales y reparaciones de los daños que se causen. Además, el artículo 215 consagró dos nuevos niveles o clasificaciones del estado de emergencia: la emergencia social y la emergencia ecológica.

Simultáneamente y en concordancia con el principio legal de que todo derecho implica una obligación, la Constitución estableció el deber de todas las personas de proteger los recursos naturales y velar por la conservación del ambiente (Art. 95, num. 8), y el concepto de función ecológica de la propiedad (Art. 58).

Una vez establecidos los derechos y deberes, tanto del Estado como de los particulares, en lo relativo al medio ambiente, la Constitución define la

acción legal apropiada para la defensa de estos derechos a través de lo que el artículo 88 denomina acciones populares para defensa de los derechos colectivos, entre los cuales se incluye el derecho a un medio ambiente sano.

En cuanto a la legislación de transporte y medio ambiente, las disposiciones hoy vigentes están distribuidas entre múltiples autoridades. Esto ocasiona varios problemas relacionados con conflictos de competencia, duplicidad de funciones y controles y necesidad de la intervención de diferentes instituciones de diversa naturaleza y jerarquía. Se hace necesario entonces, una revisión de toda la legislación vigente sobre el tema, con el fin de identificar los casos en que ésta no cuente con un soporte de validez desde el punto de vista jurídico, se estén duplicando las normas, o se estén dejando por fuera casos sin reglamentar. De otra parte y con base en el artículo 80 de la Constitución, se diseñarán los mecanismos de prevención y control de los factores de deterioro y el régimen de sanciones para exigir la reparación de los daños causados, determinando las autoridades competentes para legislar y para reglamentar las leyes.

En realidad son muy pocas las normas específicas sobre el tema. A excepción del tipo penal consagrado en el artículo 247 del código penal, referente al delito de contaminación ambiental, algunas normas consagradas en los códigos de recursos naturales renovables y no renovables (Decretos 2811 de 1984 y 2655 de 1988) y algunas otras normas de carácter administrativo, no existe un desarrollo legal sobre el tema. En el caso concreto de la contaminación por fuentes móviles, no existen leyes en Colombia que exijan que los vehículos, tanto privados y públicos, que tengan sistemas que colaboren en la disminución de la emisión de gases tóxicos y demás elementos contaminantes, tal como ocurre en Tokio y Washington, donde es obligatorio instalar convertidores catalíticos en los carros nuevos.

Con normas estrictas de responsabilidad civil, el que contamina es responsable por los daños causados por la contaminación aunque no tenga la intención de hacerlo ni sea negligente (responsabilidad objetiva). Con normas menos estrictas es necesario demostrar negligencia o culpabilidad para que el que contamina sea responsable por los daños (responsabilidad subjetiva).

La responsabilidad subjetiva es el principio general del derecho colombiano (responsabilidad de derecho común, artículo 2341 código civil), constituyendo la responsabilidad objetiva un principio distinto. Por lo tanto, no se podrá alegar responsabilidad objetiva sino cuando el legislador lo ha expresamente previsto para determinados casos: la responsabilidad del poseedor de un animal fiero (artículo 2354 código civil); la responsabilidad del dueño de una aeronave que causa daños a terceros en la superficie (artículo 1827 código comercio); la responsabilidad del banco ante el depositante por el pago de un cheque falso (artículo 732 código de comercio).

En el caso concreto de la contaminación por fuentes móviles no es clara la responsabilidad del contaminante, ya que todavía no existe la conciencia, tanto a nivel jurisprudencial y legislativo, de que se está causando un daño. Además, no es fácil individualizar al perjudicado, siendo mucho más expedito la utilización del mecanismo de las acciones populares.

Los requerimientos sobre responsabilidad son útiles cuando los propietarios pueden prevenir el daño ambiental; pero si éste se produce es difícil de observar y al menos pasa un poco de tiempo antes de observarse. Por ejemplo, las instalaciones industriales pueden depositar residuos tóxicos en sus predios y después de un largo período de tiempo la lixiviación puede contaminar el agua subterránea. El daño causado puede ser grande al igual que el costo de remediarlo aunque la prevención no sea muy difícil.

En este caso, si la empresa sabe que será responsable por los daños en el futuro cuando sean descubiertos, estará motivada para manejar apropiadamente los desechos en sus predios y evitar la contaminación. Por lo tanto, las reglas sobre responsabilidad pueden utilizarse para reforzar la máxima de que "Una onza de prevención vale igual que una libra de curación".

La utilización de requerimientos de responsabilidad es más común en el control de grandes instalaciones industriales, aunque también se puede utilizar para el sector del transporte.

Los propietarios serían responsables por los daños por contaminación si no le hacen mantenimiento a sus vehículos, o si intencionalmente le quitan o

dañan los dispositivos de control de contaminación. Este tipo de sanciones son especialmente efectivas para controlar a los grandes propietarios de flotillas de vehículos tales como líneas de buses y empresas de camiones.

Al considerar el aspecto legal hay que enfatizar que en lugar de tratar de penalizar y controlar a través de reglamentaciones engorrosas la contaminación ambiental producidas por fuentes móviles, el grueso de los instrumentos a implementar deben buscar incentivar el buen manejo de los insumos y productos contaminantes, la sustitución de tecnologías contaminadoras y la internalización del costo de contaminar para lograr un control eficiente de la contaminación. Sin embargo, estos dos tipos de estrategias no son excluyentes y la implementación de un sistema eficiente requerirá de una mezcla óptima de ambas.

Para cada una de las estrategias propuestas en el estudio se deberá determinar su viabilidad jurídica, identificar el orden jerárquico que debe tener la norma y establecer las relaciones de jerarquía entre las diferentes competencias de las instituciones, para evitar conflictos de competencia y obtener una reglamentación coherente y armónica. Para cada uno de los instrumentos deberá quedar clara su justificación legal, dejando claro que el cobro de tarifas e impuestos son el pago por el privilegio de poder utilizar un medio público (aire o agua) como lugar para disponer de residuos, o una compensación al público perjudicado por dichas emisiones.

De la misma manera como se hará en la sección referente a eficiencia económica, como mínimo se deben analizar la viabilidad jurídica de las siguientes estrategias para determinar si se pueden emplear en Colombia.

- Impuesto de Registro del Vehículo/Impuesto a las ventas:

- por peso

- por caballos de fuerza

- por sitio de registro

- por grado de control de las emisiones

- Permisos de Operación Vehicular (no transferibles)

- por localización

- por hora del día o de semana

- Permisos de Operación Vehicular Transferibles
Basados en una lista que especifique el número de unidades de permisos requeridos para cada tipo y utilización de vehículo. Podría administrarse como parte del programa de registro y concesión de licencias.
- Programa para desestimular la utilización de vehículos
Tarifas de parqueo: Varían según su localización

Tarifas de acceso a centros urbanos: Administrado mediante un sistema de placas o estampillas codificadas.
- Subsidios a Sistemas Públicos de Transporte
- Programas de Reembolso por Reciclaje: De aceites, baterías, llantas, vehículos, etc.
- Impuestos sobre Insumos: aceites, plomo, compuestos tóxicos de los combustibles (como bencenos, azufre).
- Impuestos diferenciales.
- Impuestos conjuntos al de rodamiento: al momento de hacer las inspecciones anuales, según tipo de vehículo y edad.
- Controles sobre productores e importadores para que sólo se puedan producir o vender vehículos con ciertos estándares.
- Impuestos a los combustibles.
- Multas por estropear dispositivos de control
- Normas de responsabilidad civil y penal por contaminar.

8.7.2. Recursos Humanos

El proyecto deberá contar con el siguiente grupo de trabajo:

Especialidad	Perfil
Abogado	Especialista en legislación ambiental y en legislación de transporte.
Planificador Ambiental	PhD. Especialista en control de contaminación.
Asistente	Ing. M.Sc. Ambiental

Este especialista en legislación debe estar familiarizado con el sistema existente en Colombia de leyes de transporte y del medio ambiente. Debe ser un experto en el campo del interés público y la ley ambiental. El planificador ambiental debe tener experiencia en el análisis de la política pública, el diseño y el manejo de programas de regulación con énfasis en transporte.

El analista legal deberá, evaluar la viabilidad legal de las estrategias propuestas y diseñar recomendaciones para las estructuras institucionales.

8.7.3. Cronograma de Actividades

Esta parte del estudio será el último en completarse por cuanto utiliza información desarrollada en las otras secciones del proyecto.

ACTIVIDAD	MES	1	2	3	4	5	6
I. Recolección de información		=====					
II. Evaluación de Mecanismos jurídicos			=====				
III. Diseño de reglamentos					=====		
IV. Informe final						=====	

8.7.4. Presupuesto

PERSONAL	US \$ / Mes	Hombre Mes	TOTAL
- Abogado	2.500	2	5.000
- Planificador Ambiental	2.500	1,5	3.750
- Asistente	1.000	5	5.000
- Secretariado y apoyo Administrativo	300		2.000
TOTAL			15.750

**8.8. Términos de Referencia Subproyecto de
Diseño de la Estructura
Organizacional para el Control de la
Contaminación por Fuentes
Móviles**

8.8. Términos de Referencia Subproyecto de Diseño de la Estructura Organizacional para el Control de la Contaminación por Fuentes Móviles.

Introducción

Esta sección presenta los términos de referencia para el diseño de la estructura organizacional para el control de la contaminación por fuentes móviles en el país. En la actualidad, la estructura estatal para el control de la contaminación por fuentes móviles es precaria, a nivel nacional el Ministerio de Salud o el Ministerio de Obras y Transporte no cuentan con unidades especializadas para este tipo de control. El Instituto de Tránsito y Transporte (INTRA) y los Servicios Seccionales de Salud, exceptuando los de Bogotá, Cali y Medellín, no poseen la infraestructura mínima de orden técnico, administrativo o financiero para el control de la contaminación generada por fuentes móviles.

8.8.1. Análisis de Alternativas Institucionales para el Control de la Contaminación por Fuentes Móviles

Para que cualquier tipo de regulación sea efectiva, se requiere asignar responsabilidades administrativas y de control al nivel apropiado de gobierno. En el análisis de las alternativas institucionales se evaluará la viabilidad de implementar la estrategia de control a nivel nacional, regional y local.

En este análisis se tienen en cuenta varias consideraciones. En primer lugar, la contaminación debe ser controlada por las regiones que se encuentran más afectadas.

Esto es simplemente un ensayo de relacionar, en lo posible, la demanda por calidad ambiental con los métodos de control. Si el contaminante se limita a una zona específica, y prácticamente no causa efectos en otras regiones, este puede tratarse como un problema local de bienestar público. El suministro de agua potable es un buen ejemplo de un problema local. Al darle el control a las autoridades locales la población afectada puede determinar hasta donde

va su deseo de pagar por agua "limpia", comparar los costos de diferentes niveles de calidad en el agua y escoger una solución eficiente.

Si el contaminante es emitido al aire y el daño es producido en un espacio geográfico mayor, se deberá escoger una región más amplia para el grupo que tome las decisiones.

Segundo, hay economías de escala en cuanto a ciertos aspectos del control de la contaminación. La investigación y desarrollo de tecnología de control no debe hacerse en cada sitio o región del país. Así mismo, la evaluación sobre efectos a la salud e investigaciones sobre otros daños causados por la contaminación se realizan de forma más eficiente a nivel de gobierno nacional, para luego ser distribuidos a los gobiernos locales.

Tercero, existe la preocupación respecto al comercio y el mantenimiento del libre comercio en todo el país. Ciertos productos son fabricados en grandes instalaciones centrales y vendidos en todas las regiones del país. Los productos importados son fabricados en el extranjero según normas uniformes y vendidos en todas las regiones del país. El comercio de estos productos se vería restringido si cada zona pudiera fijar requerimientos diferentes respecto a la manufactura o características de los productos. Por ejemplo, sería muy costoso que cada departamento colombiano fijara sus normas sobre diseño vehicular para su región. Como hay grandes economías de escala en la manufactura de vehículos, no es razonable tener diferentes requerimientos de diseño para vehículos en las diferentes regiones del país.

Además, los diferentes niveles de gobierno poseen diferentes capacidades financieras y administrativas. Por ejemplo, los gobiernos municipales son los más adecuados para monitorear el flujo de tráfico, hacer cumplir regulaciones de tráfico, y diseñar y construir las vías apropiadas para el tráfico vehicular local.

Por otro lado, el gobierno nacional es el indicado para determinar aranceles de importación diseñados para promover la importación de carros "limpios" fabricados en el exterior.

El último punto se refiere a la coordinación de varias estrategias en diferentes partes del país y en diferentes entidades. Una entidad a nivel nacional probablemente deberá tener la autoridad para determinar los objetivos de calidad ambiental, el diseño general de las regulaciones de control de contaminación y su cumplimiento, y la coordinación de los esfuerzos complementarios con otras entidades y niveles de gobierno. Esta entidad deberá tener un consejo coordinador compuesto por representantes de otras entidades cuyas políticas afecten el medio ambiente, tales como las de Salud, Transporte y Energía.

En este aspecto será muy importante tener en cuenta las iniciativas existentes para crear un organismo nacional de rango ministerial que coordine, dirija y controle la política ambiental. A pesar de que muy poco se ha avanzado en el tema, existen iniciativas legislativas, aun en borrador, que deberán ser estudiadas.

Las corporaciones regionales podrán ser la autoridad adecuada para el manejo de autopistas interurbanas, transporte masivo intermunicipal y tal vez de programas de inspección y mantenimiento vehicular. Las autoridades urbanas serían las adecuadas para el manejo de sistemas urbanos de transporte público, el diseño y manejo de las vías urbanas y el control del tráfico y ciertas actividades para hacer cumplir las regulaciones. Esto se mirará en más detalle en el diseño de propuestas para el control de contaminación.

La intervención estatal en el sector transporte en Colombia ha sido duramente criticada. En la actualidad existe un gran número de regulaciones y entidades encargadas del manejo del sector (INTRA, Secretarías de Tránsito y Transporte a nivel municipal, ministerios de Desarrollo, Trabajo y Obras, entre otros), llevando a una gran falta de coordinación de políticas. Normas como la adoptada en mayo de 1991, en el caso de Bogotá, para unificar el manejo del tránsito en la Secretaría de Tránsito y Transporte o la de dar una mayor autonomía a las alcaldías municipales para realizar algunas de las funciones que antes desempeñaba el INTRA, con los objetivos de centralizar las funciones de este último organismo en el control del transporte a nivel nacional para lograr una homogenización de las normas de tránsito y de servir de

central de información del sistema, son ampliamente bienvenidas y ayudarían considerablemente en la implantación de los instrumentos propuestos.

En síntesis el análisis institucional de deberá tener en cuenta los siguientes puntos:

- 1.- Estudio de la estructura institucional vigente que tiene alguna relación con el diseño de políticas y control de la contaminación producida por fuentes móviles.
- 2.- Diseño de recomendaciones para la organización institucional del control de la contaminación producida por fuentes móviles teniendo en cuenta los principios de descentralización y eficiencia en la asignación de las responsabilidades administrativas.
- 3.- Diseño de la estructura interna de las instituciones nacionales, regionales y locales que tendrán a su cargo el control de la contaminación por fuentes móviles.
- 4.- Diseño del manual de funciones de las instituciones que manejarán el control de la contaminación por fuentes móviles.
- 5.- Diseño del sistema de financiación del sistema organizacional para el control de la contaminación por fuentes móviles.
- 6.- Selección e identificación de los perfiles profesionales de los especialistas en control de la contaminación por fuentes móviles.
- 7.- Diseño del sistema de evaluación de la eficiencia y efectividad organizacional del sistema institucional para el control de la contaminación por fuentes móviles.

8.8.2. Recursos Humanos

El proyecto deberá contar con el siguiente grupo de trabajo:

Especialidad	Perfil
Ingeniero Industrial	PhD. en Teoría Organizacional
Auxiliar	Ingeniero o Economista

8.8.3. Presupuesto

PERSONAL	US \$ / Mes	Hombre Mes	TOTAL
- Ingeniero Industrial	3.000	2	6.000
- Auxiliar	1.000	3.5	3.500
- Secretariado y apoyo Administrativo	1.000		1.000
TOTAL			10.500

8.8.4. Cronograma de Actividades

ACTIVIDAD	MES	1	2	3	4	5
I. Recolección de información		=====				
II. Evaluación de Alternativas de sistemas organizativos para el control de la contaminación por fuentes móviles			=====			
III. Diseño de estructura organizacional nacional para el control de la contaminación por fuentes móviles				=====		
IV. Diseño de las estructuras regionales y locales para el control de la contaminación por fuentes móviles					=====	
V. Informe final						=====

**8.9. Términos de Referencia para el Montaje de
la Red de Vigilancia de la
Calidad del Aire en Colombia**

8.9. Términos de Referencia para el Montaje de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire en Colombia

Introducción

Este documento presenta la propuesta de una red de vigilancia de calidad de aire en zonas urbano industriales en Colombia. El documento consta de cuatro secciones. La primera sección presenta los antecedentes de la red de monitoreo del aire-ambiente que se han desarrollado desde la década de los sesentas, en el país, mediante iniciativa de la Organización Panamericana de la Salud. La segunda sección presenta los objetivos de la red de vigilancia de aire que se propone. La tercera sección presenta un predimensionamiento de la red de monitoreo. Esta sección identifica las zonas en donde se localizarían las estaciones de monitoreo, los parámetros a medir, los equipos a instalar y las necesidades de recursos humanos y económicos requeridos para instalar la red de vigilancia de la calidad del aire en Colombia. La cuarta sección desagrega los términos de referencia del diseño detallado de la red de monitoreo.

8.9.1. Antecedentes

8.9.1.1 Red Panaire

La red Panaire fue un programa general establecido por la Organización Panamericana de la Salud -OPS, que tuvo como objetivo impulsar en el continente, los programas de Monitoría de la calidad del aire mediante la utilización de técnicas normalizadas y además, propiciar el intercambio de experiencias e información entre los países miembros de la OPS.

La organización de la red definió los parámetros a medir, las técnicas de análisis y los niveles de referencia, estandarizados en los Países del Continente (para mayor información ver "Red Panamericana de Muestreo de la Contaminación del Aire Red Panaire"- Informe 1967-1974, Organización Panamericana de la Salud, 1976).

La red Panaire estaba conformada por 93 estaciones de muestreo localizadas en las principales ciudades latinoamericanas (México, Sao Paulo,

Caracas, Buenos Aires, entre otras). Bogotá fue la primera ciudad colombiana vinculada a la red, en 1.967, año en que se instaló una estación de monitoreo; posteriormente el programa se extendió a otras cinco ciudades. El número de estaciones ascendió a 19 a nivel nacional.

La Red de Muestreo Normalizado de la Calidad del Aire terminó sus operaciones en 1.980. El Cuadro 8.27. describe las características de la red Panair de vigilancia de la calidad del aire

Cuadro 8.27. Características de la red Panair de vigilancia de la calidad del aire.

Ciudad	Número de Estaciones	Parámetros de Medición	Técnica de Muestreo
Bogotá	6		
Medellín	4	Partículas Sedimentables	Peso/Unidad de área
Cali	4	Partículas Suspensas	Reflectométrico
Barranquilla	3	Dióxido de Azufre	Peróxido de Hidrógeno
Bucaramanga	1	Índice de Corrosividad	Exposición de Disco
Cartagena	1		

Fuente: Organización Panamericana de la Salud (OPS)

Tres razones llevaron a desmontar la red Panair. La primera, fué la insuficiencia de recursos financieros. Las asignaciones presupuestales asignadas a la medición de la calidad del aire-ambiente resultaron insuficientes para desarrollar de una manera efectiva las actividades de recolección y procesamiento de información, así como para efectuar una operación y mantenimiento adecuados de los equipos en las diferentes estaciones.

La segunda razón para el desmonte de la red fué la obsolescencia de los equipos y las técnicas de medición que estas utilizaban, particularmente para la medición de partículas en suspensión; la tercera, tuvo que ver con problemas de coordinación institucional entre las organizaciones que operaban las estaciones.

En efecto, algunas Corporaciones Regionales de Desarrollo y las agencias regionales del Ministerio de Salud, no fueron exitosas en el establecimiento de un sistema de coordinación interinstitucional adecuada.

Esta última razón se debió a las diferentes prioridades y funciones de los operadores de la Red. Mientras el Ministerio de Salud y sus seccionales daban prioridad a las acciones de equipamiento y operación de centros de salud y hospitales, las Corporaciones Regionales de Desarrollo asignaban sus recursos presupuestales y financieros a la construcción de obras de infraestructura de riego, vial, energética, y de telecomunicaciones.

8.9.1.2. Red Nacional de Vigilancia de la Calidad del Aire

En el país desde 1.979 está vigente la Ley 09 o Código Sanitario Nacional. Con el Decreto 02 de 1.982 reglamentario de la Ley Sanitaria, referido a Emisiones Atmosféricas, se establecen entre otras normas, los relativos a la calidad del aire y los métodos de medición y análisis de los contaminantes. Este marco legal sirvió de base para replantear la red de Monitoreo establecida por la OPS. En este sentido, el país adopta sus propios valores de referencia para evaluar la calidad del aire, así como los métodos de análisis.

La Red Nacional de Vigilancia de la Calidad del Aire se conformó, entre 1983 y 1985, con cincuenta y ocho estaciones de muestreo.

Cuadro 8.28. Zonas de Control de la Red Nacional de Vigilancia de la Calidad del Aire

Ciudad	Parámetros de Medición	Método de Análisis
Bogotá-Soacha Medellín-Valle de Aburra Cali-Yumbo Valle de Sogamoso Manizales Barranquilla Bucaramanga	Partículas Suspendidas Dióxido de Azufre	Gravimétrico HI-VOL Colorimétrico utilizando la Pararosalina

Fuente: Ministerio de Salud.

Actualmente operan aproximadamente el 80% de las estaciones de esta red. El presupuesto asignado anualmente para la operación, mantenimiento y reposición de equipos alcanza un promedio de \$ 58 millones (pesos de 1992), equivalentes a cerca de US\$90,000.00/año.

Esta asignación, de acuerdo al concepto de los empleados gubernamentales encargados de la operación del sistema resulta insuficiente. Adicionalmente, la medición de parámetros como los óxidos de nitrógeno, los químicos precursores del "smog" fotoquímico, los hidrocarburos y diferentes compuestos orgánicos volátiles, indicadores básicos de la calidad del aire, no se hace sistemáticamente por carencia de equipos. Tampoco se efectúan, mediciones de los gradientes de temperatura en la atmósfera para detectar condiciones de inversión térmica o inestabilidad.

La falta de capacidad financiera, técnica y operativa y la poca coordinación entre las entidades encargadas del control de la contaminación hídrica y los servicios de salud, ha llevado a que la aplicación de las leyes y normas de control de la contaminación ambiental sea inefectiva.

Recientemente, mediante un programa de cooperación técnica del gobierno del Japón al Distrito Capital, se ejecutó un estudio para establecer los índices de contaminación atmosférica en la ciudad de Bogotá. El proyecto, ejecutado por la agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA), invirtió 3 millones de dólares en asesoría técnica, instalación de equipos y capacitación de funcionarios de la Secretaría de Salud de la ciudad capital. La inversión en equipos se dedicó a la instalación de 5 estaciones de medición de la calidad del aire-ambiente dotadas con equipos fijos automáticos, 50 estaciones rotativas y equipos para medición directa en chimeneas y exhostos de automotores. En el presente, este sistema está siendo operado por la Secretaría de Salud de la ciudad de Santafé de Bogotá.

La actual administración gubernamental, es la primera en la historia del país, en formular una política ambiental nacional fundamentada en la conformación de un Sistema Nacional Ambiental operado por un aparato organizacional, estructurado sobre la base de un Ministerio del Ambiente.

Dentro de este Sistema Nacional Ambiental, la vigilancia de la calidad del aire-ambiente en el país se integra al Sistema Nacional de Información Ambiental. La red de vigilancia de calidad del aire en zonas urbano-industriales que se propone en este documento, complementa el sistema existente. La responsabilidad del manejo de la red está en las Corporaciones Regionales y en los entes ejecutores de las políticas y normas que formule el Ministerio del Ambiente.

8.9.2. Objetivos de la Red de Calidad del Aire

Los criterios que se utilizaron para sugerir la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire, propuesta a continuación, incluyen la densidad de la población, el grado de industrialización de las ciudades, el tamaño y estado del parque automotor, el régimen de vientos y las inversiones atmosféricas.

Los objetivos propuestos para diseñar la red son los siguientes:

- a. Detectar las variaciones que sufren las concentraciones de contaminantes en diferentes períodos o escenarios estacionales, influenciados por efectos climáticos y las actividades industriales o urbanas.
- b. Permitir a las entidades gubernamentales la vigilancia y control de cumplimiento de las normas de calidad del aire, definidas en la legislación nacional, teniendo en cuenta los métodos y las frecuencias de muestreo.
- c. Evaluar los riesgos epidemiológicos ocasionados por el deterioro de la calidad del aire.
- d. Desarrollar, calibrar y validar modelos de dispersión que sirvan para predecir niveles de contaminación atmosférica bajo condiciones cambiantes tales como la velocidad y la dirección del viento, estabilidad atmosférica y localizaciones diferentes en el área de estudio.

- e. Determinar las tendencias de la calidad del aire partiendo de la cuantificación y extrapolación de niveles de contaminación futuros.

8.9.3. Predimensionamiento de la Red

En esta sección se identifican, de manera preliminar, los sitios en donde se localizarían las estaciones de medición de la calidad del aire, los parámetros a medir, los equipos requeridos, los recursos humanos necesarios para operar y mantener la red, y los presupuestos necesarios para montar la red en el futuro mediano.

8.9.3.1. Centros Urbano - Industriales Participantes

Los Centros Urbano-Industriales que de acuerdo con su nivel de industrialización actual y potencial, tamaño poblacional y del parque automotriz, deben conformar la "Red de Calidad del Aire", son los siguientes:

- Bogotá - Soacha
- Cali - Yumbo
- Cartagena - Mamonal
- Barranquilla - Zona Industrial Vía 40
- Medellín - Valle Rionegro
- Pereira - Dos Quebradas
- Valle de Sogamoso (Nobsa, Paipa, Duitama, Sogamoso)
- Barrancabermeja.

8.9.3.2. Selección de Contaminantes a Medir

Los contaminantes de mayor interés en los centros urbano- industriales mencionados, corresponden al material particulado y a los contaminantes en estado gaseoso asociados al transporte automotor, como son, óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre. Otros contaminantes como hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles y oxidantes fotoquímicos, se deberían medir en los sitios en que se presentan problemas de inversión

térmica y altas emisiones de contaminantes atmosféricos, esto en, las ciudades de Santafé de Bogotá y Medellín.

8.9.3.3. Número de Estaciones Recomendadas

Para obtener los objetivos fijados, un predimensionamiento de la red, utilizando los criterios definidos anteriormente, identifica un mínimo de 31 estaciones adicionales a las existentes que estarían localizadas en las diferentes regiones seleccionadas.

En el cuadro 8.29. se presenta una cuantificación del número mínimo de estaciones que de acuerdo con los criterios de la OPS, deben ser instalados en los centros urbano-industriales para la evaluación de la calidad del aire, a largo plazo.

Cuadro 8.29. Red de Vigilancia de la Calidad del Aire, Número de Estaciones Recomendadas.

Población Urbana (Millones)	Centro Urbano Urbano-Industrial	PST (2)	SOX (3)	NOx (4)	CO (5)	Oxidantes	Meteorología
4 - 8	Bogotá -Soacha	8(7)	8	4	4	3	2
1 - 4	Cali - Yumbo	5	5	2	2	2	2
	Medellín - Río Negro	5(8)	5	2	2	2	2
	Barranquilla	5	5	2	2	2	2
1	Cartagena-	2	2	1	1	1	1
	Mamonal						
	Pereira-Dos quebradas	2	2	1	1	1	1
	B/bermeja	2	2	1	1	1	1
	Valle de	2	2	1	1	1	1
	Sogamoso						
	TOTALES	31	31	14	14	13	12

NOTAS:

- (1) Este es el número de estaciones recomendadas por la Organización Panamericana de la Salud y la Organización Mundial de la Salud para un programa a largo plazo de vigilancia de la calidad del aire
- (2) PTS: Partículas Totales en suspensión
- (3) SOX: Oxidos de Azufre

- (4) NOX: Oxidos de Nitrógeno
- (5) CO: Monóxido de Carbono
- (6) Meteorología: Incluye medición de vientos. Velocidad y dirección registros continuos
- (7) Estaciones adicionales a las existentes en el Distrito
- (8) Estaciones adicionales a las existentes en Medellín

Fuente: PNUD-DNP (1992) "PROYECTO DIAGNOSTICO Y CONTROL DE LA CONTAMINACION INDUSTRIAL". Informe Parcial de Avance. Componente Aire. Marzo 1992. Bogotá

8.9.3.4. Equipos Requeridos y Costos

Para la instalación de una red efectiva de vigilancia de la calidad del aire-ambiente, se requiere de equipos de medición especializados, de medición meteorológica, de obras civiles para localización de las estaciones y presupuesto para la instalación, operación y mantenimiento de los equipos, así como para la capacitación de los funcionarios encargados de la operación y mantenimiento de la red en el mediano y largo plazo.

Los equipos y los costos se han estimado con base en la infraestructura de medición de la calidad de aire que se ha montado en el país, particularmente en Bogotá en los últimos años. Así por ejemplo, los presupuestos de las obras civiles por estación se han estimado en US\$ 14.000, monto correspondiente a los costos reales de inversión en obras civiles de estaciones de medición de la calidad de aire recientemente instaladas en la capital. En el cuadro 8.30, se indican las cifras aproximadas de los costos de equipos requeridos para el montaje de la Red de Calidad del Aire.

Cuadro 8.30. Red de vigilancia de la calidad del aire, equipos y costos

I. EQUIPOS REQUERIDOS Y COSTOS	
31 Estaciones de PTS	US\$ 405.000
31 Estaciones de SOx	US\$ 171.000
14 Estaciones de NOx	US\$ 113.000
14 Estaciones de CO	US\$ 83.000
13 Estaciones de Oxidantes.....	US\$ 48.000
7 Estaciones de Hidrocarburos.....	US\$ 42.000
12 Estaciones Meteorológicas y de vientos.....	<u>US\$ 120.000</u>
Subtotal.....	US\$ 982.000
Los equipos para dotación de el laboratorio Nacional de Referencia de calidad de aire y tres laboratorios regionales de calidad de aire (Bogotá, Cali, Medellín)	
10 Equipos para calibración de medidores de gases de exosto	
31 Equipos para medición de chimeneas	
10 Camionetas para transportar equipos de medición de emisiones de exosto	
	US\$ 2.500.000
Mantenimiento.....	US\$ 200.000
Repuestos y accesorios.....	US\$ 500.000
Sondas manuales para las ocho ciudades.....	<u>US\$ 1.200.000</u>
VALOR TOTAL DE EQUIPOS.....	US\$ 5.382.000
II. OBRAS CIVILES	
Obras para establecer 31 estaciones de monitoreo.....	US\$ 420.000
III. PERSONAL	
Salarios instalación, O&M.....	US\$ 440.000
Capacitación(primer año).....	<u>US\$ 420.000</u>
VALOR TOTAL PERSONAL.....	US\$ 860.000
IV. SISTEMA DE TELEMETRIA	
Equipos de transmisión de datos (Bogotá, Medellín, Sogamoso).....	US\$ 2.000.000
VALOR TOTAL RED NACIONAL.....	US\$ 8.000.000

8.9.3.5. Especificaciones de los Equipos

En el cuadro 8.31. se muestra el tipo de equipos que se implementarán. La propuesta asume que el mayor porcentaje de los equipos de medición de gases de exosto, de chimenea y emisiones puntuales, es adquirido y operado

por tecnicentros y talleres privados que requerirían certificado de calificación para prestar sus servicios a los automotores.

Cuadro 8.31. Equipos a implementar

Tipo de Equipo	Tipo de Procesamiento	Vida Util	Tipo de Mantenimiento
Ambiental de CO	Automático	8-10 años	Anual/Preventivo/cambio de piezas cada dos años.
Ambiental de SOx	Electroquímico		
Ambiental de SOx	Seco	8-10 años	Anual/Preventivo/cambio de piezas cada dos años.
Ambiental de O3	Automático	8-10 años	Anual/Preventivo/cambio de piezas cada dos años.
Ambiental de NO4	Electroquímico		
Ambiental de NO4	Seco	8-10 años	Anual/Preventivo/cambio de piezas cada dos años.
Ambiental de Partículas	Automático	8-10 años	Anual/Preventivo/cambio de piezas cada dos años.
Ambiental de Partículas	Electroquímico		
Ambiental de Partículas	Seco	8-10 años	Anual/Preventivo/cambio de piezas cada dos años.
Ambiental de Partículas	Automático	8-10 años	Anual/Preventivo/cambio de piezas cada dos años.
Ambiental de Partículas	Electroquímico		
Ambiental de Partículas	Seco	8-10 años	Anual/Preventivo/cambio de piezas cada dos años.

8.9.3.6. Estaciones Meteorológicas

Para la medición de las condiciones meteorológicas en los centros urbanos seleccionados, se requiere equipo especializado, particularmente el correspondiente a las mediciones del gradiente de temperatura en los primeros kilómetros localizados encima de dichos centros urbanos. En el cuadro 8.32. se muestra el tipo de párametros a medir así como los métodos de procesamiento, en el cuadro 8.33. se describe el tipo de sondas necesarias para la evaluación metereológica.

Cuadro 8.32. Tipo de procesamiento propuesto para los parámetros considerados

Tipo de Parámetros	Tipo de Procesamiento
Dirección y velocidad del viento	Continuo y automatizado
Humedad absoluta y relativa	Continuo y automatizado
Temperatura	Continuo y automatizado
Radiación Solar	Continuo y automatizado

El número de equipos para mediciones meteorológicas es el mínimo adicional para complementar la red hidrometeorológica del HIMAT y las corporaciones regionales.

Cuadro 8.33. Tipos de Radiosondas Necesarias para la Evaluación Meteorológica.

Frecuencia	Periodicidad	Radio de acción	Altura máxima	Tipo de Observaciones
3 veces al día 7H, 13H, 18H	por lo menos la tercera parte del año	50 kms ²	50 kms	sinópticas

8.9.3.7. Recursos Humanos

La operación de las estaciones y la red de vigilancia requieren de personal especializado. En principio, se ha seleccionado un grupo mínimo que instalaría los equipos e iniciaría su operación y mantenimiento. Para cada una de las ocho zona, se plantea la conformación de personal de la siguiente forma:

- 1 Director Regional
- 1 Ingeniero ambiental experto en contaminación atmosférica
- 1 Ingeniero mecánico experto en combustión
- 1 Experto en computación y modelación.
- 2 Operadores

8.9.4. Diseño del Programa de Monitoreo

Actualmente, el Ministerio de Salud adelanta un estudio de consultoría para recolectar y procesar las mediciones de calidad del aire de la red en operación. Este estudio permitirá conformar una base de datos sólida particularmente en variables tales como partículas en suspensión y dióxido de azufre. De manera concomitante, el Departamento Nacional de Planeación ejecuta con recursos de cooperación técnica del PNUD y la colaboración de Ecopetrol, un programa para el diagnóstico y control de la contaminación por fuentes móviles. Uno de los componentes de este programa es el diseño detallado de la red de monitoreo de calidad de aire en las zonas seleccionadas. El estudio tendrá como objetivo lograr decidir qué clases de estaciones fijas son necesarias y en donde deben ser ubicadas así como la selección del equipo necesario de estas y de las estaciones móviles.

El estudio tendrá una duración de siete meses tal como lo indica el cronograma de la figura 8.10. El costo del mismo asciende a \$30.000.000.00 de pesos(US\$ 41.000), como se relaciona en el cuadro 8.34.

Especificaciones Preliminares para una Red de Vigilancia de Calidad del Aire

ACTIVIDADES	MESES						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Localización de cada una de las estaciones de monitoreo.	*****						
2. Selección de los equipos por estación	*****						
3. Diseño de las obras civiles de cada una de las estaciones.	*****						
4. Definición de un programa de operación y mantenimiento por estación							*****

Recursos Humanos y Costos del Estudio			
PERSONAL TECNICO	TIEMPO	COSTO MES	TOTAL
Ing. Ambiental especializado	4 mes/h	\$ 1.500.000	\$ 6.000.000
Ing. Especializado en meteorología	3 mes/h	\$ 1.500.000	\$ 4.500.000
Ing. civil	4 mes/h	\$ 900.000	\$ 3.600.000
Estadístico	3 mes/h	\$ 750.000	\$ 2.250.000
Auxiliares (3)	6 mes/h	\$ 1.200.000	\$ 7.200.000
Secretaria	7 mes/h	\$ 300.000	\$ 2.100.000
COSTOS DIRECTOS			
Alquiler de computadores (2)		\$ 3.600.000	\$ 3.600.000
Papelería		\$ 1.000.000	\$ 1.000.000
TOTAL			\$ 30.000.000

A corto plazo, se diseñará en detalle la red de monitoreo a nivel regional y local estableciendo:

- 1.- La localización de todas y cada una de las estaciones de monitoreo
- 2.- El diseño de las obras civiles requeridas para cada estación
- 3.- La selección de los equipos por estación
- 4.- La definición del programa de operación y mantenimiento por estación.

Los criterios que se utilizarán para el diseño detallado de la red de muestreo dan prioridad a la representatividad y confiabilidad de la información a recolectar. El cuadro 8.34. resume los criterios generales para la ubicación de estaciones para la medición de la calidad del aire. El cuadro 8.35. presenta los parámetros y criterios de evaluación para la ubicación de las estaciones meteorológicas.

Cuadro 8.34. Criterios Generales para la Ubicación de Estaciones de Medición

<ul style="list-style-type: none"> - Las zonas prioritarias son las de mayor concentración de contaminantes. Una o más estaciones deben ser localizadas en el área. - Localizar estaciones en donde se encuentre alta la densidad de población - Ubicar algunas estaciones en zonas perimetrales a los cascos urbanos para mejorar la información de las características de calidad del aire regional - Localizar estaciones en zonas de crecimiento proyectado para determinar efectos de desarrollos futuros en la calidad del aire. - Localizar las estaciones en sitios en que se facilite la recolección de información. 	<ul style="list-style-type: none"> - Uniformidad de niveles o alturas de construcción - Evitar ubicarlas en donde se presuma la ocurrencia de fuerzas convectivas, tales como encañonamientos en vías estrechas o ceradas, taponamiento por obstáculos de gran altura, edificios o puentes. - Área de influencia libre de obstáculos, chimeneas u otra clase de focos de emisión. - Elevación de 4 a 10 mts. Ubicación en zonas residenciales - Ubicación en sitios representativos que midan la calidad del aire de un alto porcentaje de la población y no en lugares con problemas específicos. - No restringir el flujo de aire en tres de las cuatro direcciones cardinales del viento - Distancias mayores de 20 mts. de arboledas. - Distancia del muestreador al obstáculo: dos veces la altura del obstáculo.
--	--

Cuadro 8.35. Parámetros y Criterios de Evaluación para la Ubicación de Estaciones de Observación Meteorológica.

TIPO	EVALUACION DE:
<ul style="list-style-type: none"> - Dirección y velocidad del viento y sus desviaciones con anemovelocímetro 	<ul style="list-style-type: none"> - Patrones de viento superficial para diferentes épocas del año.
<ul style="list-style-type: none"> - Distribución vertical de direcciones, velocidades del viento y temperaturas hasta 1500 mts. de altitud, mediante sonda de bajo nivel. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cuando, cómo y por qué se presentan bajos velocidades de viento que promueven la ocurrencia de condiciones atmosféricas estables.
<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura y humedad en superficie 	<ul style="list-style-type: none"> - Condiciones meteorológicas que sirven para lavar altas concentraciones de contaminantes.
<ul style="list-style-type: none"> - Presión atmosférica en superficie, con barómetro aneroide 	<ul style="list-style-type: none"> - Efectos a gran escala, de las características de terreno, sobre la circulación del aire.
<ul style="list-style-type: none"> - Radiación solar con pirheliómetro y radiómetro para determinar estabilidad atmosférica y radiactividad fotoquímica de los oxidantes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lugares adicionales donde debe establecerse estaciones meteorológicas.

**8.10. Términos de referencia para el Control de
Contingencias debidas a
la Contaminación Generada por fuentes
Móviles.**

8.10. Términos de referencia para el Control de Contingencias debidas a la Contaminación Generada por fuentes Móviles.

Introducción

Esta sección tienen por objetivo dar términos de referencia para la formulación del plan de contingencia de control de emergencias de contaminación atmosférica generadas por las fuentes móviles. Esta sección consta de cinco partes. La primera parte describe en términos generales los aspectos que debería incluir el plan de contingencia. La segunda parte explica que tipo de grupos humanos son el grupo objetivo a proteger con el plan de contingencia. La tercera parte, discute las metodologías que se pueden identificar para evaluar alternativas de control de emergencias. La cuarta parte describe los diferentes aspectos que se incluirían en el plan, y los cuales se deben dimensionar y diseñar. La quinta parte identifica los recursos humanos, presupuestos y el cronograma de actividades requerido para formular el plan de contingencias.

8.10.1. Antecedentes.

El más importante de los efectos contaminantes generados por las fuentes móviles es la contaminación del aire-ambiente. Las emisiones del transporte urbano, particularmente, bajo condiciones de inversión térmica, pueden generar incidentes de contaminación críticos para las comunidades localizadas en el area de influencia en que se encuentran las diferentes fuentes móviles, particularmente .

En los casos en que se excedan las concentraciones permisibles de contaminantes atmosféricos en el aire-ambiente se requiere tomar medidas para evitar desmedro en las condiciones de salud de los pobladores de zonas circunvecinas, particularmente de poblaciones suceptibles a enfermedades respiratorias o cardiovasculares.

El control de estas emergencia se puede hacer mediante el uso de sistemas que desvien el trafico automotor de zonas altamente contaminadas,

restringan la circulación de los grupos de población mas susceptibles (niños de escuelas primaria), uso de mascararas, y la señalización e indicación de los niveles de contaminación.

La formulación del plan de control de contingencias de incidentes de contaminación atmosférica generada por las fuentes móviles debe incluir por los menos tres componentes. El primer componente del plan es la identificación de comunidades susceptibles a la contaminación crítica, así como de ecosistemas vulnerables. El segundo componente corresponde a la valoración económica de diferentes alternativas de acción para el control de emergencias por contaminación. El tercer componente corresponde al diseño de la coordinación de la infraestructura de recursos humanos, presupuestales y técnicos requeridos para el control de las emergencias de contaminación ambiental.

8.10.2 . Identificación de Comunidades y Ecosistemas vulnerables

Existen una serie de grupos humanos que son muy susceptibles a la exposición a niveles altos de contaminantes atmosféricos en especial las personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, los niños particularmente los recién nacidos, y los ancianos. Con base en el análisis de riesgos que se ejecutara para definir prioridades de acción, el plan de contingencia, ha de identificar los grupos objetivos ha proteger. La salud humana de los habitantes en zonas de influencia de ambientes contaminados por fuentes móviles tiene la mayor prioridad.

De manera complementaria se identificarán sistemas naturales que puedan verse afectados por la contaminación por fuentes móviles. La contaminación hídrica de corrientes superficiales aledaños a centros urbanos a los que caen desechos de metales pesados (anteriormente plomo) diluido en la escorrentía ilustra una estrategia para identificar ecosistemas vulnerables a la contaminación generada por fuentes móviles.

La medición e identificación de períodos en que la contaminación ambiental es crítica se debe operacionalizar construyendo un indicador homogéneo a nivel de regiones en que la contaminación atmosférica es muy

alta. En este sentido, dentro de las actividades a desarrollar en la formulación del plan de contingencias, se encuentra el diseño de un indicador de la contaminación atmosférica que permita conocer los periodos en que las condiciones atmosféricas y la calidad del aire-ambiente son críticas para el ambiente humano, biofísico y socioeconómico.

8.10.3. Análisis de Sensibilidad y Funciones de Costo.

Existen una serie de alternativas que se han utilizado para el control de incidentes críticos de contaminación ambiental tales como : (1) la prohibición del transito de automóviles particulares en las zonas en donde los niveles de contaminantes exceden los permisibles; (2) cancelación de clases educativas en los niveles primarios y secundarios en zonas con altas concentraciones de contaminantes; (3) Uso de mascarar para flitlar el material particulado; (4) cierre temporal de sistemas de generación de energía con base en combustibles fósiles (plantas eléctricas a base de gasolina o petróleo); (5) traslado de personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares a zonas u hospitales en donde la calidad del aire sea mejor. Cada uno de las alternativas de control de emergencias tiene un costo específico, así como, unos beneficios esperados. Los análisis de sensibilidad que se jecutarán se basarán en los modelos de transporte y dispersión de contaminantes atmosféricos, posteriormente a que estos modelos esten calibrados y validados. Del análisis costo-efectividad de las diferentes alternativas de control de escojera un portafolio de opciones que maximicen el bienestar social.

8.10.4. Plan de Control de Emergencias

Para la operación expedita del plan de contingencia se requiere la coordinación de acciones mediante una organizacion especializada, que tenga capacidad de respuesta y los recursos presupuestales y físicos necesarios para llevar a cabo un plan de respuesta efectivo.

Dentro de los aspectos que debe definir el plan de control de emergencias se incluyen:

- 1.- El diseño de la estructura organizacional que debe liderar la coordinación de las actividades de control.
- 2.- La definición del grupo de apoyo logístico a la unidad coordinadora.
- 3.- El diseño del sistema de capacitación a la unidad coordinadora y a la población afectada por los altos índices de contaminación.
- 4.- El diseño del programa de difusión y disseminación de información en las comunidades en relación a los riesgos ambientales generados por la contaminación y la manera como se deben enfrentar. Para este fin se debe establecer una campaña publicitaria en los diferentes medios de comunicación que debería estar acompañada de simulacros y zafarranchos que permitan adiestrar a la población más expuesta a los efectos de los incidentes de contaminación.
- 5.- La selección del equipo y la infraestructura física requerida para el control de los incidentes de la contaminación.

8.10.5. Diseño del Plan de Contingencia

Con el objeto de formular el plan de contingencia de control de incidentes de contaminación atmosférica generados por las fuentes móviles se requiere un grupo interdisciplinario de expertos que trabajen durante un período de siete meses en coordinación estrecha con los expertos que ejecutarán los componentes de análisis de riesgos, optimización de sistemas de transporte, y modelación matemática de procesos de transporte, y dispersión de contaminantes atmosféricos.

8.10.5.1. Recursos Humanos

Para la formulación del plan de contingencia se requiere conformar un grupo interdisciplinario que incluya entre otros los siguientes especialistas en las siguientes áreas:

- Análisis de Riesgos.
- Ingeniería Ambiental especializada en la formulación de Planes de Contingencia de Control de Incidentes de Contaminación.
- Ingeniería Ambiental especializada en calidad del aire.
- Ingeniería de transporte

8.10.5.2. Presupuesto

Se estima que el costo del estudio de formulación del plan alcanza la cifra de 28 millones de pesos de 1992.

Costos Directos	
Salarios	
Especialistas (9 hombre-mes)	9.0 millones
Asistentes (10 hombre mes)	2.2 millones
Transporte y Viaticos	1.6 millones
Equipos y Computadores	1.2 millones
Subtotal	14 millones
Overhead 100%	14 millones
Total	\$28 millones

8.10.5.3. Cronograma de Actividades

Con el objeto de coordinar las acciones correspondientes con los componentes de análisis de riesgo, diseño juridico e institucional, modelación de la calidad del aire, y sistema de monitoreo se estima que la duración mínima de este componente debería ser de 7 meses, tal como se desagrega en el cronograma de actividades adjunto.

Cronograma de Actividades

ACTIVIDAD	MES	1	2	3	4	5	6	7
I. Identificación de Poblaciones Suceptibles								
Bogota			=====					
Cali			=====					
Medellín			=====					
Sogamoso			=====					
B/bermeja			=====					
II. Análisis de sensibilidad				=====				
III. Evaluación alternativas de Control					=====			
IV. Diseño estructura Organizacional						=====		
V. Diseño estructura financiera							=====	
VI. Diseño programa de difusión y capacitación								=====
VII. Diseño portafolio de acciones de control								=====



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.