

Universidad Internacional del Ecuador



Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz

Artículo Investigación para la obtención del Título de Ingeniería en Mecánica Automotriz

Estudio de emisiones de gases en gasolina extra y aditivo

Eduardo Montero

Pedro Sanmartín

Marcos Bazantes

Director

Msc. Ing. Miguel Granja

Quito, 14 de Agosto de 2017

CERTIFICADO

Nosotros, Eduardo Xavier Montero León, Pedro Andrés Sanmartín Romero y Marcos Paul Bazantes Vinueza declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

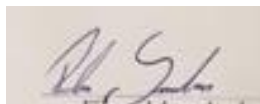
Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



Firma del graduado

Eduardo Xavier Montero León

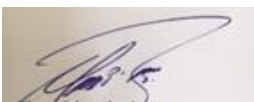
CI: 1722046271



Firma del graduado

Pedro Andrés Sanmartín Romero

CI: 0706336146

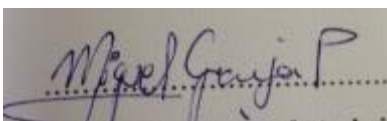


Firma del graduado

Marcos Paul Bazantes Vinueza

CI: 1714831961

Yo, Ing. Miguel Granja, certifico que, conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable tanto de su originalidad y autenticidad como de su contenido.



Firma del Director de trabajo de grado

Msc. Ing. Miguel Granja

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por permitirme llegar a este momento tan importante de mi vida, que es mi formación profesional.

Dedico a mi madre, por su apoyo incondicional y por haberme formado como un hombre lleno de principios y valores.

Dedico a mi padre, quien ha sido un hombre excepcional y ha sido parte de mi motivación para llegar a estas instancias de mi vida.

Gracias a mis padres que han hecho que sea realidad este momento tan importante de mi vida y que siempre me han llenado de amor.

Quiero dedicar a una persona en especial, que está en el cielo y sé que desde arriba está muy orgullosa de mí, cuidándome y guiándome para seguir siendo un hombre de bien.

Eduardo Montero

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres quienes fueron un gran apoyo emocional durante toda mi vida.

A mi hermano Mateo quien me apoyo y alentó para continuar, cuando parecía que me iba a rendir.

A mis maestros quienes nunca desistieron al enseñarme, aun sin importar que muchas veces no ponía atención en clase, a ellos que continuaron depositando su esperanza en mí.

A todos los que me apoyaron para escribir y concluir esta tesis.

Pedro Sanmartín

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado a Dios, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera, a mis abuelos, porque creyeron en mí y porque me apoyaron incondicionalmente, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ellos, hoy puedo alcanzar mi meta ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi vida, y por el orgullo que sienten por mí fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ellos, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí.

A mis padres por ser un pilar fundamental, quienes han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a creer en mí y saliendo adelante buscando siempre el mejor camino.

A mis hermanos Michael, Nicolás y Mía Anahí por su paciencia y apoyo incondicional y que son la razón por la cual estoy en este punto de mi vida, más que hermanos son mis mejores amigos.

Marcos Bazantes

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi tutor Miguel Granja, a mis lectores, Gorky Reyes, Santiago Orozco y Edgar Cajas, por su paciencia, dedicación, motivación y aliento, quienes supieron guiarme y ayudarme en toda mi carrera profesional dándome la mano en todo momento.

Agradezco a María Fernanda Tobar, quien fue el empuje que necesité cuando empezaba a caer en mi carrera profesional.

Agradezco a toda mi familia que incondicionalmente ha estado conmigo y ha sabido guiarme por buen camino.

Agradezco a todos aquellos que forman la UIDE, quienes me han recibido con los brazos abiertos y siempre con cortesía.

Agradezco a mis compañeros, con quienes he compartido estos cinco años de vida no como compañeros sino como amigos que han estado incondicionalmente conmigo.

Eduardo Montero

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis tutores, por su paciencia y dedicación, quienes supieron guiarme y ayudarme en mi carrera profesional en todo momento.

Agradezco a toda mi familia que ha puesto su esfuerzo en mi toda la vida para salir adelante.

Agradezco a todos mis compañeros, quienes han sido personas importantes en mis cinco años de estudio y me han enseñado a compartir momentos difíciles.

Agradezco a mis amigos que me motivaron para salir adelante y me alentaban cuando estaba cayendo.

Pedro Sanmartín

AGRADECIMIENTO

A mi Madre, por ser la amiga y compañera que me ha ayudado a crecer, gracias por estar siempre conmigo en todo momento. Gracias por la paciencia que has tenido para enseñarme, por el amor que me das, por tus cuidados en el tiempo que hemos pasado juntos, por los regaños que me merecía y que no entendía.

Gracias Mamá por estar pendiente durante toda esta etapa.

A mi Abuela, que con la sabiduría de Dios me has enseñado a ser quien soy hoy. Gracias por tu paciencia, por enseñarme el camino de la vida, gracias por tus consejos, por el amor que me has dado y por tu apoyo incondicional en mi vida. Gracias por llevarme en tus oraciones porque estoy seguro que siempre lo haces.

A mi Abuelo, por estar siempre en los momentos importantes de mi vida, por ser el ejemplo para salir adelante y por los consejos que han sido de gran ayuda para mi vida y crecimiento. Este proyecto es el resultado de lo que me has enseñado en la vida, ya que siempre has sido una persona honesta, entregado a tu trabajo, y un gran líder, pero más que todo eso, una gran persona que siempre ha podido salir adelante y ser triunfador. Gracias por confiar en mí y darme la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida.

A mi papá que cada día que llegaba me preguntaba cómo me había ido, me escuchaba mis locuras y de pequeño fue la inspiración para formarme profesionalmente.

A mi tío William quien me supo apoyar incondicionalmente y que hoy agradezco los valores de respeto que me ha inculcado.

A mi futura esposa, Valeria, gracias por su apoyo incondicional y por sus palabras de aliento para culminar mi carrera y por nuestro rayito de luz que hoy por hoy es mi motor de vida, mi hija hermosa les amo mucho.

A mis profesores, a quienes les debo gran parte de mis conocimientos , gracias por prepararnos para un futuro competitivo no solo como los mejores profesionales sino también como mejores personas.

A todos ustedes, ¡Gracias!

Marcos Bazantes

ÍNDICE DE CONTENIDO

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR.....	I
CERTIFICADO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	VII
RESUMEN.....	1
INTRODUCCION.....	2
MARCO TEORICO.....	2
Sistema de emisiones.....	2
Contaminación.....	3
Organización mundial de la salud.....	4
Normas euro.....	4
MATERIALES Y METODOS.....	5
Combustible.....	5
Aditivo.....	5
Equipo.....	5
Condición Geográfica.....	5
Vehículo de pruebas.....	6
Normativa.....	6
Porcentaje de mezclas del aditivo y combustible.....	6
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	6
CONCLUSIONES.....	8
REFERENCIAS.....	8

INTRODUCCION

Anexo 1 L. Giraldo, «Estimación del inventario de emisiones de fuente móviles para la ciudad de Bogotá e identificación de variables pertinentes».....10-13

Anexo 2 U. d. l. Andes, «Estimación de los factores de emisión de las fuentes móviles de la ciudad de Bogotá».....14-18

Anexo 3 Gutierrez, 2002. [En línea].....19-21

FUNDAMENTACION TEORICA

Anexo 4 E. Vega, «Comparación de perfiles de emsiones vehiculares en túnel y dinamómetro».....22-24

Anexo 5 J. Sigsby, 1987.....25-28

MATERIALES Y METODOS

Anexo 6 chevrolet , «automotriz.net,» [En línea]. Available:
<http://www.automotriz.net/cms/mercado/chevrolet-ganara-posiciones-como-marca-global/>.....29-30

Anexo 7 j. gomez, «el nuevo octanaje de la gasolina en el Ecuador,» [En línea]. Available:
<http://especiales.elcomercio.com/2012/04/gasolina>.....31-32

Anexo 8 l. villa, «plan de impementacion de produccion mas limpia,» 2015.....33-35

Anexo 9 marca ravaglioli, «servicio automotriz,» [En línea].....36

Anexo 10 INEN, «INEN 2203 Gestión Ambiental,» [En línea].....37-40

Anexo 11 «foro coches,» 2009. [En línea]. Available:
<https://www.forocoches.com/foro/showthread.php?t=4594211>.....41

Anexo 12 L. L. D. Guitierrez, «Estimacion de factores de emision para vehiculos automotores de gasolina,» 2002.....42-47

Anexo 13 M. M. Suarez, «El caso de la contaminacion atmosferica en Bogata,» 2008.....	48-53
Anexo 14 M. vallejo, «efectos de la contaminacion atmosferica en la salud y su importancia en la ciudad de mexico,» 2002.....	54-56
Anexo 15 NGK, «Normas Euro,» [En línea].....	57
Anexo 16 Z. M. d. V. d. México, «Inventario de emisiones,» 1998. [En línea].....	58-61
Anexo 17 V. Toro, « Emission inventory in Medellin,» 2001. [En línea].....	62-64
Anexo 18 E. Alba, «Desarrollo y validación de un método para determinación de factores de emisión vehicular mediante pruebas a bordo en la ciudad de Quito,» 2010.....	65-69
Anexo 19 A. Machado, «Metales en PM 10».....	70-74

RESULTADOS Y DISCUSION

Analisis de datos	75-76
Comparativa de resultados	75-76
Discusion	75-76
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFIA	78-79

ESTUDIO DE EMISIONES DE GASES EN GASOLINA EXTRA Y ADITIVO

Eduardo X. Montero L¹, Marcos P. Bazantes V. MSc.², Pedro A. San Martin R.³

¹ *Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, edumontero_@hotmail.com , Quito - Ecuador*

³ *Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, marcus07bz@hotmail.com , Quito - Ecuador*

⁴ *Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, pbrndes@hotmail.es , Quito - Ecuador*

RESUMEN

En el siguiente trabajo se presenta documentación acerca de la contaminación por emisión de gases. Las diferentes emisiones que generan los vehículos producen una contaminación especial dependiendo de la composición. El motor de combustión interna, por su forma de funcionar, no es capaz de quemar de forma total el combustible en los cilindros. Pero si esta combustión incompleta no es regulada, mayor será la cantidad de sustancias nocivas expulsadas en los gases de escape hacia la atmósfera. Dentro de los gases generados en la combustión, hay unos que son nocivos para la salud y otros no. El monóxido de carbono (CO) bloquea el transporte de oxígeno por parte de los glóbulos rojos. Es mortal, incluso en una baja concentración en el aire que respiramos. En una concentración normal en el aire ambiental se oxida al corto tiempo, formando dióxido de carbono CO₂. Realizando las pruebas, se evidencia de manera clara que el aditivo ayuda a bajar momentáneamente los niveles de emisiones de gases, pasando sin problema las revisiones vehiculares

Palabras clave: Combustible, Emisiones, Normativas, Contaminación.

ABSTRACT

The following paper presents documentation on pollution from gas emissions. The different emissions generated by the vehicles produce a special pollution depending on the composition. The internal combustion engine, because of its way of working, is not able to totally burn the fuel in the cylinders. But if this incomplete combustion is not regulated, the greater the amount of noxious substances expelled in the exhaust gases into the atmosphere. Within the gases generated in the combustion, there are some that are harmful to the health and others not. Carbon monoxide (CO) blocks the transport of oxygen by red blood cells. It is deadly, even in a low concentration in the air we breathe. In a normal concentration in the ambient air it oxidizes in the short time, forming carbon dioxide CO₂. Carrying out the tests, it is clearly evident that the additive helps to momentarily reduce the levels of gas emissions, passing without any problems the vehicular revisions

Keywords: Fuel, Emissions, Regulations, Contamination.

1. INTRODUCCIÓN.

En Latinoamérica, sobre todo en países como Colombia, poseen un gran nivel de contaminación ambiental que involucra, en mayor parte, a los vehículos. La presente investigación hace parte de este conjunto de proyectos, en donde además de actualizar y validar los inventarios existentes se pretendió ofrecer una metodología para la evaluación de estrategias encaminadas a la reducción de las emisiones de la flota vehicular de la ciudad. [1]

El objetivo de este estudio es conocer cuáles son los gases que representan una gran amenaza al planeta, los cuales son emitidos por vehículos. Una vez que fuentes sean identificadas, la autoridad ambiental podrá enfocar mejor los esfuerzos y empleará mejor los recursos disponibles. [2]

Debido a factores como: presión, densidad del aire, estructura de los edificios y de las aceras, los resultados del estudio sirven tan solo en los lugares donde se realizan los estudios. Existen métodos eficientes para poder realizar pruebas con la finalidad de obtener datos más reales de la emisión de gases provenientes de vehículos a gasolina. En los estudios en túneles se determina las emisiones provenientes de vehículos gasolina, en este caso la investigación de las emisiones fue sobre mayor cantidad de vehículos que dando incluidas las emisiones de escape y las de evaporaciones. [3]

Otro método muy efectivo es la utilización del analizador de gases, la cual ha sido eficiente a la hora de obtener datos más exactos. Las investigaciones en el analizador de gases se han llevado a cabo con el fin de determinar las emisiones de vehículos equipados con gran variedad de sistemas de control de contaminantes, así mismo, se ha utilizado para verificar que las emisiones no sobrepasen la norma y para establecer estrategias de control.[4]

Se encontró que los resultados de ambos estudios fueron complementarios ya que los dos presentaron ventajas y al compararlos se demostró que los compuestos más abundantes de los dos perfiles determinados fueron los relacionados con la combustión de vehículos y la composición de las gasolinas. [5]. Bajo este criterio y luego de un proceso de preparación técnica y de búsqueda de las decisiones políticas requeridas, se estableció un programa obligatorio de revisión mecánica y control de emisiones vehiculares para todos los automotores, particulares y de servicio público. [6]

2. SISTEMA DE EMISIONES.

Las políticas de calidad el aire y las normas que establecen las concentraciones máximas permisibles de contaminación están dirigidas generalmente a proteger en un sentido amplio y en forma prioritaria la salud humana, con un margen de seguridad adecuado. Las concentraciones en el ambiente de tales contaminantes se relacionan directamente con sus fuentes emisoras. [7]

El transporte es una de las principales causas de emisión de contaminantes ya que genera el 96.7 % de las emisiones de CO, el 77% del NOx y el 89.4% del HC. Por lo tanto, incluir medidas que permitan disminuir los niveles de las fuentes nocivas es fundamental, particularmente si se tiene en cuenta que el crecimiento de vehículos en los últimos años ha sido continuo. [8]

2.1. CONTAMINACION

Las diferentes emisiones que generan los vehículos producen una contaminación especial dependiendo de la composición. El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro, ligeramente más denso que el aire. Está compuesto por un átomo de carbono y uno de oxígeno, y es el resultado de la combustión incompleta de materiales de origen orgánico, fosilizado o no.

Los vehículos automotores son responsables de más del 90% de la emisión de monóxido de carbono a la atmosfera. Los principales efectos de inhalación de monóxido de carbono son: alteración de la percepción y de las funciones cerebrales, disminución de los reflejos osteomusculares, mareos, inconsciencia y muerte.

Bióxido de azufre se genera tanto en fuentes naturales como ignición de combustibles fósiles. Penetran al organismo por la vía aérea y se asocian a disminución de la función pulmonar. El aumento de su concentración en el ambiente se ha relacionado con un incremento en la mortalidad, exacerbación de enfermedades cardíacas y pulmonares, y el aumento de la incidencia de enfermedades respiratorias agudas. [9]

El bióxido de nitrógeno es emitido por fuentes artificiales como los motores de combustión interna, los sistemas de calefacción. Es un gas irritante que se absorbe en la mucosa de las vías respiratorias y en los alveolos.

Las concentraciones de los contaminantes en la calle se pueden relacionar con los fenómenos implicados en la dispersión y con la cantidad emitida de contaminantes (emisiones) por medio de la siguiente ecuación general:

$$Ch = Fh (\text{modelo}) Eh + Ch \text{ base}$$

En esta expresión, Ch corresponde a la concentración promedio de un contaminante cualquiera en el interior del SC para un periodo de tiempo o una hora h [M/L³]; Eh es la cantidad del contaminante emitido por

un vehículo promedio (Veh) que transitan por la calle en la hora h [M/L*veh.]; Ch base corresponde a la concentración de contaminantes presente dentro y fuera del SC en la hora h y que proviene de fuentes diferentes a los vehículos que circulan por el SC [M/L³]. Fh (modelo) es una función que describe el proceso de dispersión del contaminante emitido (Veh/L²). [10]

Si se consideran dos categorías de vehículos, livianos y pesados, para una hora específica, Eh se relaciona con el número de vehículos de cada categoría que circulan durante esa hora y con los factores de emisión de esa categoría de la siguiente manera:

$$Eh * Nh = NLh * FI + NPh * Fp$$

NLh y NPh corresponde al número de vehículos livianos y pesados que pasaron por el SC en la hora h, Nh es el número total de vehículos que pasaron por el SC en la hora h (NLh + NPh); FI y Fp corresponden a los factores de emisión de cada categoría. [11]

Si se habla de combustión, el cual es un factor muy indispensable para la emisión de gases, podemos decir que es un proceso químico de oxidación veloz que va acompañado de desprendimiento de energía en forma de calor y luz. La reacción de oxidación del combustible con el oxígeno origina sustancias gaseosas como: CO₂, H₂O, N₂, O₂. Existe una relación de la mezcla de combustible y aire necesario para la combustión completa de una determinada cantidad de combustible, representada en porcentaje en peso por medio de la siguiente ecuación:

$$A/C = Kg \text{ aire} / Kg \text{ combustible} [12]$$

2.2. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD

La tecnología ha avanzado y emite más contaminación. Las personas tendríamos que tomar conciencia que al emitir gases ya sea

de cualquier tipo estamos terminando con la vida útil del planeta en el que vivimos y con esto generamos más enfermedades. El objetivo de este estudio es reducir, limitar hasta un cierto punto donde un vehículo pueda emitir gases contaminantes y con la ayuda de una revisión técnica vehicular para lograr dicho planteamiento.

	Km/día	Emisiones (toneladas/día)			
		CO	VOC	NOX	PM ₁₀
Vehículos particulares	20.000.000	950	70	40	0.15
Motos	2.000.000	85	45		1
Taxi	12.000.000	270	25	20	0.3
Bus	4.000.000	690	40	60	3.5
Camion	1.500.000	490	30	30	2
Total	40.000.000	2500	200	150	6

Tabla 1. Emisiones de gases año 2003

Fuente: OMS.

El PM10 es el contaminante con mayor índice de excedencias de la norma de calidad del aire, seguido por el ozono. Las concentraciones de óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, hidrocarburos totales y monóxido de carbono presentan pocas excedencias de la norma.

Las concentraciones de PM10 no han mostrado una tendencia clara de reducción o aumento en los 10 años de operación de la red. Aunque existió una tendencia de reducción al introducir diésel de 1200 ppm de azufre en 2000, lamentablemente la concentración de PM10 volvió a aumentar a partir de 2003, probablemente debido al crecimiento industrial y a la utilización de carbón a cambio de gas natural. [13]

Contaminante	Unidad	Límite máximo permisible	Guía OMS, actualización 2005*	Tiempo de exposición
PST	µg/m ³	100	--	Anual
		300	--	24 horas
PM ₁₀	µg/m ³	70	20	Anual
		150	50	24 horas
SO ₂	ppm (µg/m ³)	0.031 (80)	(20)	Anual
		0.096 (250)	--	24 horas
		0.287 (750)	(500, media de 10 minutos)	3 horas
NO ₂	ppm (µg/m ³)	0.053 (100)	(40)	Anual
		0.08 (150)	--	24 horas
		0.106 (200)	(200)	1 hora
O ₃	ppm (µg/m ³)	0.041 (80)	(100)	8 horas
		0.061 (120)	(160)	1 hora
CO	ppm (mg/m ³)	8.8 (10)	--	8 horas
		35 (40)	--	1 hora

Tabla 2. Guía OMS de los tipos de contaminante año 2005

Fuente: OMS.

En su comparación con la actualización de 2005 de calidad del aire, cabe anotar la gran diferencia entre los valores de nivel máximo permisible para material articulado (PM10), dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂). Con la actualización de las guías de calidad del aire en 2005, la OMS ha dejado un gran reto a los países para reducir significativamente la contaminación del aire en sus centros urbanos.

2.3. NORMAS EURO

Las denominadas normas Euro fijan los valores límite de las emisiones contaminantes de los vehículos nuevos. En la fiscalidad de un vehículo, las emisiones de gases contaminantes tienen un papel muy importante porque el tipo impositivo depende también de la clasificación que establecen las diferentes normas Euro. El código indicado en el permiso de circulación ofrece información sobre el nivel de emisiones de contaminantes del vehículo. Las disposiciones legislativas son cada vez más exigentes: el Parlamento Europeo ha decidido fijar otra vez nuevos valores límite para la emisión de contaminantes de los turismos. [14]

Tabla 3. Limitaciones a las emisiones para vehículos con motor de gasolina

	válido a partir de	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	HC+NOx (g/km)	PM
Euro I	12/92	2,72	-	-	0,97	-
Euro II	01/97	2,20	-	-	0,5	-
Euro III	01/00	2,30	0,20	0,15	-	-
Euro IV	01/05	1,00	0,10	0,08	-	-
Euro V	09/09	1,00	0,10	0,06	-	0,005*
Euro VI	08/14	1,00	0,10	0,06	-	0,005*

* con inyección directa

Fuente: El Telégrafo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. COMBUSTIBLE

A partir de la investigación realizada para la realización de la práctica se concluyó que se va a utilizar el aditivo más comercial en el País y la capital, así mismo, un tipo de gasolina; que es la “Extra”. De igual manera que su común uso en ciertos casos, que es su mezcla entre las dos y las mismas con aditivo. El octanaje es considerado como la calidad y la capacidad de consumo en la gasolina, a mayor grado de octanos mejora la potencia y el rendimiento del motor, además disminuye el consumo de combustible. [6]

Tabla 4. Octanaje combustible

COMBUSTIBLE	OCTANAJE	PODER CALORIFICO	PPM AZUFRE
Extra	87	9,576	<650
Súper	92	9,232	<650

Fuente: Autores

3.2. ADITIVO

Un aditivo para combustible es una sustancia química agregada a un producto para mejorar sus propiedades, en caso de los combustibles dicha sustancia es utilizada en pequeñas cantidades para cambiar las características del mismo y para mejorar sus propiedades. Se va a utilizar por qué tiene un compuesto órgano metálico más notable que es el tetra etilo de plomo pb (c2h5)4, como se utilizó ampliamente como aditivo de gasolina para aumentar el índice del octano. El aditivo sirve para reducir las emisiones de gases en el vehículo. [7]



Figura 1. Aditivo R1
Fuente: Autores

3.3. EQUIPO

Cuando un analizador de gases, se usa en combinación con otros equipos de diagnóstico, se convierte en una de las herramientas mas importantes que se tiene para diagnosticar adecuadamente problemas relacionados con funcionamiento del motor en general

Un analizador de cuatro gases, está equipado con una bomba de vacío, que arrastra los gases de escape a través de una manguera de muestra insertada en el tubo de escape del automóvil y de ahí al analizador de gases, donde una muestra de gas de escape pasa al interior del analizador; una emisión de luz infrarroja es proyectada a través de la muestra de gas de escape. [7]



Figura 2. Analizador de gases
Fuente: Autores

3.4. CONDICION GEOGRAFICA

El proyecto se efectuará a 2760 metros sobre el nivel del mar, exactamente en la Universidad Internacional del Ecuador en la Facultad de Ingeniería Automotriz. Las pruebas se darán en Quito específica donde se encuentra el laboratorio de pruebas. Como se observa en la figura 1.



Figura 3. Lugar de pruebas

Fuente: Autores

3.5. VEHICULO DE PRUEBAS

El vehículo a utilizar es un SAIL, de la marca Chevrolet ya que es uno de los vehículos más vendidos a nivel nacional de la categoría M1, de tipo automóvil, y considerado como los más comerciales del año 2016, cabe recalcar que es considerado como el de los vehículos familiares más cotizados a nivel nacional



Figura 4. Vehículo de pruebas
Fuente: Autores

3.6. NORMATIVA

La normativa a utilizar en función de la emisión de gases contaminantes es la INNEN 2203 y 2204

3.7. PORCENTAJE DE MEZCLAS DEL ADITIVO Y COMBUSTIBLE

De las refinerías que suministran a todas las gasolineras sale el combustible que ha cumplido una serie de pruebas, homologaciones y niveles de calidad mínimas y luego éstos combustibles son aditivados por cada fabricante. La teoría de la diferencia de precio entre las gasolineras de marcas reconocidas y las de low cost, está en los servicios de la propia gasolinera (en las de low cost suelen tener menos empleados e incluso ninguno) además de la cantidad de aditivos que lleva el propio combustible.



Figura 5. Mezcla porcentaje Aditivo
Fuente: Autores

La diferencia de aditivos también está en las propias gasolineras, en las que nos ofrecen diésel normal y diésel premium, y en el caso de la gasolina, gasolina de 95 octanos y 98 octanos. [9]

4. RESULTADOS Y DISCUSION

Las pruebas denotadas en el laboratorio se evidencian en las pruebas realizadas, palo que inicialmente tomamos muestras como dedigna el manual con tanque lleno, pero en muchas ocasiones cuando se va a pasar la revisión vehicular recomiendan con medio tanque para que supuestamente baje de mejor forma y trabaje adecuadamente las emisiones vehiculares, procediendo a realizar con las 2 muestras.



Figura 6. Aditivo y equipo de pruebas
Fuente: Autores

Se realizaron pruebas individuales y para obtener una muestra más aceptable se procedió a 5 pruebas iniciando con el combustible extra, y luego con los

porcentajes de combustibles, utilizando la norma INEN 2203 y 2204

Según normativa INEN, 2203 y 2204 la emisión de gases contaminantes se las mide en ralentí a 800 RPM y a 2500 RPM, luego de un lapso de 30 segundos por lo que se obtuvo las muestras de las pruebas con los porcentajes de aditivos según el eje transversal denominado tiempo.

El nivel de CO, según la CORPAIRE no debe superar el valor de 0,5%, para que el vehículo apruebe la revisión técnica vehicular.

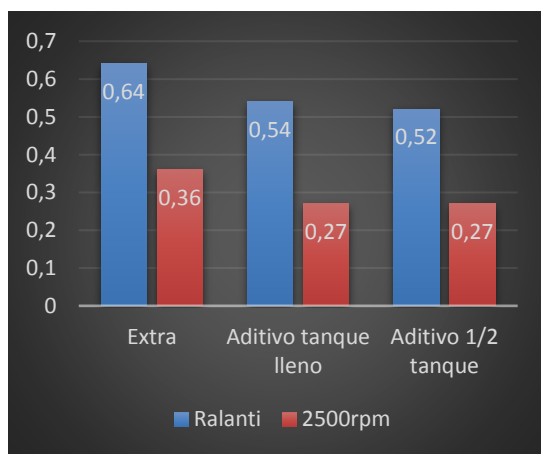


Figura 7. Porcentaje emisiones CO
Fuente: Autores

Mientras tanto al momento de realizar las pruebas de HC, se tomaron muestras a 2500 y luego de los 30 segundos se tomó la muestra a ralentí hasta que el auto se estabilice y nos muestre los valores de emisiones.

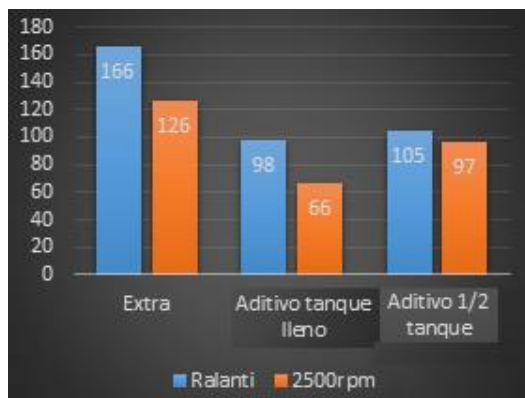


Figura 8. Porcentaje emisiones HC
Fuente: Autores

Las pruebas realizadas luego se las comparo con la norma INEN cuyos valores determina que en vehículos con una cilindrada de 1400cc no debe superar el valor de CO de 1,0 y los valores de HC no serán superiores a 200, lo que se observa en las pruebas que nunca sobrepasan estos valores permitidos por la INEN.

En las pruebas con gasolina extra la emisión de gases de CO inicialmente de 0,64, y luego de utilizar el aditivo con la prueba en Ralentí con tanque lleno baja a 0,54, con una reducción del 15,62%, y con medio tanque colocado el aditivo la reducción es del 18,75%. Mientras que las pruebas a 2500 RPM inicialmente se tiene una muestra de 0,36 y luego baja a 0,27, teniendo una reducción del 25%

El las muestras de HC, se generan datos similares y favorables a la reducción de emisiones de gases contaminantes, por lo que inicialmente en Ralentí y con la gasolina extra determina un valor de 166, y no sobrepasa lo que determina la INNEN 2203 que es de 200ppm, y al colocar el aditivo en tanque lleno reduce 59% y con medio tanque reduce un 63,25%, mientras que a 2500 RPM iniciando con un valor de 126 reduce con tanque lleno 47,61% y con medio tanque una reducción del 23%.

CONCLUSIONES

El automóvil se comporta de diferente manera, con tanque lleno y medio tanque de combustible (Extra) así mismo con los múltiples aditivos que podemos encontrar

El porcentaje de contaminación sin aditivo es mayor al porcentaje de contaminación con el aditivo. Así mismo incrementa la potencia del motor y su torque con un bajo consumo de gasolina

El tiempo de vida del motor se puede alargar con los aditivos que permiten que existan menos fricción y menos desgaste en el motor.

REFERENCIAS

- [1] L. Giraldo, «Estimación del inventario de emisiones de fuente móviles para la ciudad de Bogotá e identificación de variables pertinentes».
- [2] U. d. I. Andes, «Estimación de los factores de emisión de las fuentes móviles de la ciudad de Bogotá».
- [3] E. Vega, «Comparación de perfiles de emsiones vehiculares en túnel y dinamómetro».
- [4] J. Sigsby, 1987.
- [5] chevrolet , «automotriz.net,» [En línea]. Available: <http://www.automotriz.net/cms/mercado/chevrolet-ganara-posiciones-como-marca-global/>.
- [6] j. gomez, «el nuevo octanaje de la gasolina en el Ecuador,» [En línea]. Available: <http://especiales.elcomercio.com/2012/04/gasolina>.
- [7] l. villa, «plan de impementacion de produccion mas limpia,» 2015.
- [8] marca ravaglioli, «servicio automotriz,» [En línea].
- [9] INEN, «INEN 2203 Gestión Ambiental,» [En línea].
- [10] «foro coches,» 2009. [En línea]. Available: <https://www.forocoches.com/foro/showthread.php?t=4594211>.
- [11] L. L. D. Guitierrez, «Estimacion de factores de emisionpara vehiculos automotores de gasolina,» 2002.
- [12] M. M. Suarez, «El caso de la contaminacion atmosferica en Bogata,» 2008.
- [13] M. vallejo, «efectos de la contaminacion atmosferica en la salud y su importancia en la cuidad de mexico,» 2002.
- [14] Vallejo, 2002. [En línea].
- [15] NGK, «Normas Euro,» [En línea].
- [16] Z. M. d. V. d. México, «Inventario de emisiones,» 1998. [En línea].
- [17] V. Toro, « Emission inventory in Medellin,» 2001. [En línea].
- [18] E. Alba, «Desarrollo y validación de un método para determinación de factores de emisión vehicular mediante pruebas a bordo en la ciudad de Quito,» 2010.
- [19] A. Machado, «Metales en PM 10».

ANEXO 1
INTRODUCCION

Estimación del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá e identificación de variables pertinentes.

L.A. Giraldo & E. Behrentz
Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia

RESUMEN: Se realizó el inventario de emisiones de fuentes móviles de la ciudad de Bogotá utilizando el modelo internacional de emisiones –IVE– como herramienta de cálculo. Se estimaron los aportes de cada categoría vehicular a las emisiones totales y se evaluaron diferentes estrategias que podrían disminuir los niveles de emisiones en la ciudad. Se determinó que los buses representan la categoría vehicular más importante, en términos de emisiones de contaminantes, a pesar de representar menos del 5% del total de vehículos en la ciudad. Los buses generan 50% de las emisiones de PM₁₀, cerca del 30% de las emisiones de CO y 40% de las emisiones de NO_x. Se determinó que el mejoramiento de la calidad de los combustibles diesel es la mejor estrategia para la reducción de las emisiones de PM₁₀ en Bogotá.

ABSTRACT: We estimated Bogotá's mobile source emissions inventory using the international vehicle emission model. The contributions of each vehicle category to total emissions were calculated. Different alternatives to reduce emissions in the city were evaluated. Buses represent the most important vehicle category generating 50% of the PM₁₀ emissions, around 30% of the CO emissions and 40% of the NO_x emissions. Improving diesel fuels quality was identified as the single most efficient measure to reduce PM₁₀ mobile source emissions in Bogotá.

1 INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica en las grandes ciudades es hoy en día uno de los temas que genera mayor interés público. Estudios recientes (Schifter et al., 2003; Ghose et al., 2004) han demostrado que las fuentes móviles son las principales generadoras de contaminantes atmosféricos en centros urbanos. Bogotá en su calidad de mega-ciudad no es la excepción y por esta razón es importante estudiar las distintas fuentes de emisión, así como realizar inventarios que nos permitan cuantificar la severidad del problema.

A través de los años se han desarrollado diferentes metodologías para la estimación de inventarios de emisiones de fuentes móviles, las cuales se pueden clasificar en metodologías de estimación directa y metodologías de estimación indirecta. Las metodologías de estimación directa son aquellas que reali-

zan mediciones de emisiones directamente en la fuente. Algunos ejemplos de estas metodologías son el monitoreo a bordo, las mediciones con sensores remotos y las pruebas dinámicas. Estas metodologías son precisas pero involucran una inversión de capital considerable. Las metodologías de estimación indirecta, no realizan mediciones de emisiones en la fuente directamente. En vez de esto, utilizan correlaciones entre las emisiones y diversos parámetros que las afectan.

La gran mayoría de metodologías para la estimación de emisiones se fundamentan en la Ecuación 1.

$$E = F_e \cdot A \cdot N_f \quad (1)$$

donde: E = emisión, F_e = factor de emisión y N_f = número de fuentes; A = factor de actividad.

Existen modelos computacionales diseñados para estimar las emisiones provenientes de distintas fuentes. Estos modelos son generados a partir de resultados empíricos basados en mediciones directas

que a su vez son correlacionadas con diversos parámetros. Estas correlaciones son aplicadas en otros lugares y a partir de estas se estiman las emisiones. Los modelos de estimación de emisiones vehiculares más utilizados alrededor del mundo son el MOBILE y el COPERT, los cuales fueron desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) y por la Agencia Ambiental Europea (EEA), respectivamente.

El principal inconveniente de utilizar modelos de estimación de emisiones desarrollados para ciudades distintas, tiene que ver con la influencia que las condiciones y características propias de cada lugar tienen en los factores de emisión vehiculares. Por esta razón, la USEPA financió en el 2003, la elaboración del Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE), con el objetivo de suplir las necesidades de países en vía de desarrollo en la realización de inventarios de emisiones de fuentes móviles. Este trabajo ha sido llevado a cabo por investigadores de la Universidad de California y el Centro Internacional de Investigación de Sistemas Sostenibles (ISSRC).

El modelo IVE fue creado en el marco del proyecto que lleva su nombre, con el objetivo de realizar un estudio internacional de emisiones por fuentes móviles en países en vía de desarrollo. El protocolo involucrado en tal estudio, incluye no solo la herramienta computacional sino el desarrollo de una metodología que permite recolectar, de manera efectiva y económica, la información necesaria para estimar las emisiones provenientes del parque automotor.

En Bogotá se han realizado diversos estudios en los cuales se han estimado las emisiones provenientes de fuentes móviles para contaminantes criterio (CO, NO_x, SO_x, PM y COV) así como para gases causantes del efecto invernadero (CO₂, N₂O, CH₄). Sin embargo, a pesar de la importancia de los estudios existentes, el desarrollo del presente proyecto permite comparar y actualizar los resultados obtenidos además de ofrecer una alternativa económica y fácil de utilizar. Adicionalmente, la herramienta utilizada en este proyecto permite el análisis de escenarios y de sensibilidad para determinar e identificar los factores que tienen una mayor influencia en las emisiones de la flota vehicular de la ciudad.

2 METODOLOGÍA

La metodología utilizada en la estimación del inventario de emisiones por fuentes móviles fue la establecida por los creadores del modelo IVE, la cual ha sido aplicada de manera estandarizada en 11 ciuda-

des del mundo. En esta sección se describe el funcionamiento del modelo y la metodología utilizada.

2.1 Descripción del Modelo IVE

Por medio del modelo IVE es posible estimar las emisiones de contaminantes criterio, gases efecto invernadero y otras sustancias tóxicas (NH₃, benceno, plomo, 1.3 butadieno y acetaldehidos) provenientes de vehículos de pasajeros (particulares y taxis), motocicletas, buses y camiones.

Para la estimación del inventario de emisiones, el modelo requiere información acerca de los siguientes componentes: la tasa de emisión de contaminantes de los vehículos (factores de emisión), el nivel de actividad de los vehículos y la distribución tecnológica de la flota (v.g., uso de aire acondicionado, tipo de combustible utilizado, sistemas de control de emisiones).

El modelo IVE cuenta con la opción de ingresar los factores de emisión propios de cada ciudad. Sin embargo, en caso de que esta información no esté disponible, el modelo utiliza factores de emisión desarrollados a partir del ciclo de conducción del Método de Prueba Federal (FTP) de Estados Unidos para ser luego ajustados a la realidad de las características observadas de la ciudad para la cual se está elaborando el análisis. El proceso de cálculo que realiza el modelo para la corrección de los factores de emisión se presenta en la Ecuación 2.

$$Q_{ij} = B_{ij} \cdot K_{t_{ij}} \cdot K_{h_{ij}} \cdot K_{m_{ij}} \cdot K_{i_{ij}} \cdot K_{c_{ij}} \cdot K_{a_{ij}} \quad (2)$$

donde Q_{ij} = factor de emisión ajustado para cada categoría; B_{ij} = factor de emisión base por tecnología (g/km); K_{t_{ij}} = factor de corrección por temperatura; K_{h_{ij}} = factor de corrección por humedad; K_{m_{ij}} = factor de corrección por mantenimiento y programas de inspección; K_{i_{ij}} = factor de corrección por la calidad del combustible; K_{s_{ij}} = factor de corrección por altura del lugar; K_{a_{ij}} = factor de corrección según los patrones de conducción de cada vehículo (también incluye otros efectos causados por el uso de aire acondicionado y las pendientes de las vías). Los factores de emisión y corrección están definidos en el modelo IVE y son asignados de acuerdo a las características de los vehículos, la meteorología y calidad de los combustibles de cada ciudad.

2.2 Descripción de la metodología utilizada

La metodología desarrollada por el proyecto IVE permite recolectar información relacionada con la distribución tecnológica de vehículos de pasajeros

(combustible y tipo de vehículos), la distribución de la flota activa en la ciudad, los patrones de conducción de las diferentes categorías vehiculares y los niveles de actividad vehicular.

Para la estimación de emisiones es necesario recolectar información adicional diferente a la recolectada en la campaña de medición incluyendo el número total de vehículos registrados en la ciudad, la temperatura y humedad relativa, el factor de actividad vehicular (kilómetros promedio recorridos al día por cada categoría de vehículos) y las características y calidad de los combustibles.

Una vez se contó con la información requerida por el modelo se procedió a correr el mismo para estimar el inventario de emisiones de Bogotá. Adicionalmente se corrieron diversos escenarios con el fin de identificar variables pertinentes en la estimación del inventario de emisiones y cuantificar de esta forma los beneficios que tendría la implementación de ciertas medidas enfocadas a la reducción de las emisiones en la ciudad.

A continuación se describe la manera como se llevó a cabo la campaña de medición en la ciudad de Bogotá y los diferentes escenarios evaluados.

2.2.1 Descripción de la campaña de medición

La campaña de medición se llevó a cabo en Bogotá del 17 al 28 de Enero del 2005 e involucró la participación de aproximadamente 30 personas durante dos semanas de mediciones. Durante este periodo se desarrollaron las siguientes actividades: 1) Encuestas en parqueaderos de la ciudad. 2) Recolección de información utilizando sistemas de posicionamiento global (GPS por sus siglas en inglés). 3) Aforos (conteos) vehiculares utilizando cámaras de video.

Las encuestas en parqueaderos se realizaron con el fin de obtener la distribución tecnológica de vehículos de pasajeros. En estas encuestas se recolectó información en quince parqueaderos de la ciudad para determinar el modelo, el tipo de combustible, el kilometraje, la presencia de equipos de control de emisiones (convertidor catalítico), entre otras variables.

Las mediciones de posición en tiempo real utilizando unidades GPS se realizaron en vehículos particulares (VP), taxis, motos, camiones y buses. A partir de esta información se determinaron los patrones de conducción para cada categoría de vehículos así como las pendientes en las vías por donde éstas circulan. Para efectuar las mediciones con GPS en VP se seleccionaron tres sectores de la ciudad cada uno representativo de un nivel socio-económico diferente. En cada uno de estos sectores se llevaron a cabo mediciones en tres tipos de vías: vías residen-

ciales, vías arteriales (vías de dos carriles en cada sentido, con semáforos que generalmente comunican las vías residenciales con las vías rápidas) y vías rápidas (vías con pocos o ningún semáforo y con cuatro o más carriles en cada sentido). Los sectores seleccionados fueron el barrio Santa Bibiana al norte de la ciudad, representativo de una zona de alto ingreso, el barrio Teusaquillo en la zona centro, representativo de una zona comercial y el barrio Marsella ubicado al sur de la ciudad representativo de una zona de medio-bajo ingreso. Las vías arteriales seleccionadas fueron: Avenida 19 al norte de la ciudad, Calle 19 en el centro de la ciudad y Avenida 1 de Mayo al sur de la ciudad. Las vías rápidas seleccionadas fueron: Autopista Norte al norte de la ciudad, Calle 26 en el centro de la ciudad y Avenida Boyacá en el sur de la ciudad. Cada uno de los tres VP dotado con un GPS, siguió un cronograma que consistía en recorrer durante seis días, tres en horas de la mañana (7:00-13:00) y tres en horas de la tarde (14:00-21:00), los sectores seleccionados.

Los aforos vehiculares obtenidos mediante el uso de cámaras de video se realizaron filmando el flujo vehicular de las vías recorridas por uno de los VP seleccionado para la actividad con GPS. Esta actividad generó información acerca del número y tipo de vehículos circulando por las calles.

Las mediciones realizadas en este proyecto permitieron recolectar información de la flota dinámica en la ciudad. Este concepto se refiere a la flota de vehículos que está siendo utilizada en la ciudad. Este tipo de mediciones son muy importantes y se diferencian de la información que se puede obtener de una base de datos estática, la cual se limita a la información de vehículos registrados en la ciudad sin tener en cuenta los factores de actividad de los mismos.

2.2.2 Descripción de los escenarios analizados

Durante esta parte del proyecto, se estudiaron diferentes escenarios con el fin de realizar un análisis de sensibilidad de las variables más importantes en la determinación del inventario de emisiones de fuentes móviles en Bogotá. Del mismo modo, el estudio de escenarios nos permitió evaluar la eficiencia de algunas medidas que afectarían las características de la flota vehicular de la ciudad.

Los escenarios fueron planteados con base en las necesidades que presenta actualmente la ciudad y en la posibilidad de encontrar estrategias que pueden llegar a ser medidas eficientes para la reducción de los niveles de emisiones vehiculares.

La Figura 1 es una representación esquemática que resume los 10 escenarios evaluados durante este trabajo. Estos escenarios evaluaron los efectos en

el inventario de emisiones debido al cambio en los combustibles utilizados por diferentes vehículos, a la modificación de las características de las categorías vehiculares y a la renovación de la flota vehicular entre otros.

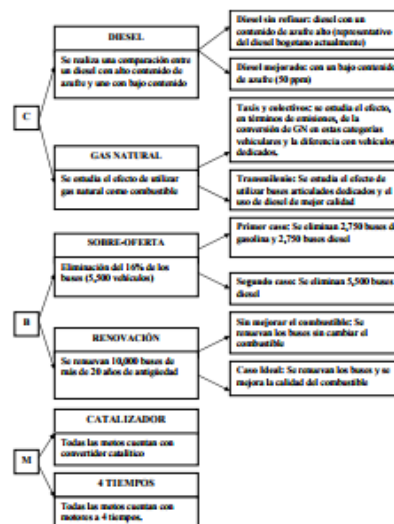


Figura 1. Resumen de los escenarios analizados.

C= escenarios involucrando la calidad de los combustibles; B= escenarios involucrando la categoría vehicular de los buses; M= escenarios involucrando la categoría vehicular de las motos.

3 RESULTADOS

3.1 Distribución tecnológica de vehículos de pasajeros

Durante la campaña de campo se recolectó información válida para 1,044 VP y 68 taxis. La Tabla 1 presenta un resumen de esta información. Dentro de los resultados obtenidos, a partir de la base de datos dinámica construida en este estudio, se encontró que alrededor del 53% de los VP en la ciudad cuentan con convertidor catalítico.

La Tabla 1 muestra que el combustible más utilizado en Bogotá sigue siendo la gasolina tanto para VP como para taxis, sin embargo para estos últimos se ve una tendencia reciente hacia la utilización de motores duales (convertidos) de gas natural y gasolina.

Dentro de la información recolectada se encuentra la presencia/ausencia de aire acondicionado. Aunque en términos de emisiones este es un parámetro relativamente importante, en Bogotá no es tan relevante debido a que típicamente no se presentan temperaturas altas que motiven el uso de estos sistemas.

Tabla 1. Distribución tecnológica de vehículos de pasajeros

Categoría	Tipo de combustible*	Sistema de aire acondicionado	Tipo de Transmisión	Convertidor Catalítico (CC)
Vehículos Particulares	98% Gasolina	44% con AAC	90% Mecánicos	47% sin CC
	1% Diesel	56% sin AAC	9% Automáticos	53% con CC
Taxis	81% Gasolina	19% con AAC	100% Mecánicos	28% sin CC
	15% Gas Natural**	80% sin AAC	0% Automáticos	72% con CC

* Vehículos de pasajeros: 0.3% gas natural y gasolina (motores duales). Taxis: 5.9% diesel. **Se refiere a vehículos con motores duales de gasolina y gas natural. Son vehículos que han sido fabricados para operar con gasolina y luego son convertidos a motores duales. Nota: resultados obtenidos a partir de una base de datos dinámica construida a partir de encuestas en diferentes parqueaderos de la ciudad.

Comparando los resultados obtenidos para Bogotá y otras ciudades, se presentó una similitud en la distribución tecnológica de los vehículos de pasajeros (particulares y taxis) entre Bogotá y Lima, en donde se presentan fracciones similares de vehículos sin catalizador y con catalizador de 3 vías como se muestra en la Tabla 2.

La edad media de los VP en Bogotá se estimó en 9 años. Este es un valor alto comparado con otras ciudades Latino-Americanas como Santiago de Chile, Sao Paulo y Ciudad de México donde se encuentra alrededor de los 6 años (Lents et al., 2004). De nuevo se presenta una similitud con la situación en Lima, donde la edad media de la flota vehicular es de 11 años.

En el caso de los taxis, la edad media estimada en Bogotá fue de 5 años. Este resultado coincide con un estudio realizado anteriormente en la ciudad en el cual se determinó que la edad de esta categoría vehicular pasó de 8 años en el 2002 a 6 años en el 2004 (Ibáñez, 2004).

Tabla 2. Comparación de la distribución tecnológica de vehículos de pasajeros en Bogotá con otras ciudades del mundo.

Ciudad	Control de Aire/Combustible		Catalizador		
	Carburador	Inyección Electrónica	Sin	2 vías	3 vías
Almaty, Kazakhtan	45%	51%	89%	0%	7%
Lima, Peru	44%	56%	53%	6%	40%
Los Angeles, USA	6%	94%	1%	3%	96%
Ciudad de México, México	18%	82%	20%	0%	80%
Nairobi, Kenya	60%	32%	100%	0%	0%
Pune, India	42%	32%	29%	35%	11%
Santiago, Chile	17%	80%	17%	3%	77%
Sao Paulo, Brasil	17%	83%	19%	0%	81%
Bogotá, Colombia	36%	64%	46%	3%	50%

Fuente: Lents, 2004. Estudio de la actividad vehicular en Sao Paulo.

* Este número se obtuvo al hacer una clasificación de los vehículos que estaban equipados con convertidor catalítico pero que no contaban con inyección electrónica.

3.2 Factor de actividad para los vehículos de pasajeros

A la fecha no hay información oficial acerca del kilometraje típico recorrido por los vehículos que hacen parte de la flota bogotana, información fundamental en el cálculo de emisiones (ver Ecuación 1).

Las encuestas realizadas en los diferentes parqueaderos permitieron recolectar información de kilometraje para 540 vehículos, según los cuales el kilometraje recorrido por un vehículo es de aproximadamente 17,000 km por año con una tasa de reducción anual de alrededor del 2%.

En algunos estudios de movilidad en la ciudad, la Secretaría de Tránsito de Bogotá (STT), utiliza valores entre 15,000 y 18,000 kilómetros al año para vehículos de pasajeros. Otros estudios realizados en la Universidad de Los Andes, reportan tasas de actividad de 18,000 km para el primer año con una tasa de reducción anual de 2.8% (Behrentz, 2004).

Los resultados obtenidos en otras ciudades donde se ha implementado el modelo IVE presentan tendencias similares a las obtenidos en Bogotá.

Para la categoría taxis se estimó un factor de actividad de 58,000 km por año con una tasa de reducción anual de 4.1%.

3.3 Aforos vehiculares utilizando cámaras de video

Se recolectó información para 800 minutos (13.3 horas) de filmación durante seis días hábiles en diferentes zonas de la ciudad. La información se analizó

para toda la ciudad, para los diferentes sectores socio-económicos estudiados (alto ingreso, medio-bajo ingreso y comercial) y adicionalmente se realizó una comparación de los resultados obtenidos en Bogotá con los resultados para otras ciudades.

3.3.1 Ocupación relativa de las vías en Bogotá

Los aforos vehiculares en las vías mencionadas anteriormente (sección 2.2.1), permitieron estimar la participación relativa de las diferentes categorías vehiculares en la ciudad. En las Figuras 2a y 2b, se presenta el comportamiento, en términos de ocupación relativa y número de vehículos en las vías, de las diferentes categorías vehiculares para cada hora entre las 6:00 y las 21:00 horas.

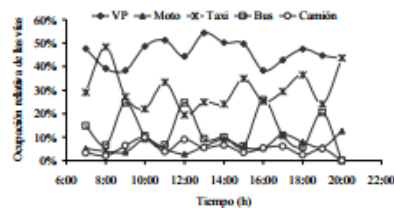


Figura 2a. Contribución de diferentes categorías al total de vehículos en las vías de Bogotá.

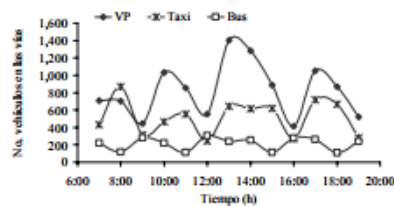


Figura 2b. Aforos de las principales categorías vehiculares durante el día en diferentes sectores de la ciudad.

Es claro que la categoría vehicular que se encuentra en un mayor porcentaje en la ciudad es la de VP lo cual concuerda con la información disponible en el registro oficial de vehículos de la ciudad, en donde esta categoría representa alrededor del 85% del total de vehículos.

Los taxis representan una participación importante de ocupación en las vías. Como se puede observar en la Figura 2a, estos vehículos representan desde un 20% hasta un 50% de los vehículos en las calles en las diferentes horas del día. Este es un resultado interesante si se tiene en cuenta que para esta categoría tan solo se encuentran registrados 50,000 vehículos, lo que corresponde a alrededor del 5% del total de la flota de la ciudad (el número total de vehículos en la ciudad es de aproximadamente 950,000 vehículos).

Las horas en las que se registró un mayor número de vehículos para la categoría de VP como se muestra en la Figura 2b, fueron las 8:00, las 10:00, entre las 13:00 y las 14:00, y las 17:00 horas. Son resultados coherentes con las actividades típicas de la población en un día laboral. El pico de las 10:00 horas se puede explicar debido al efecto de la medida de restricción vehicular en la ciudad que no permite la circulación de ciertos vehículos entre las 6:00 y las 9:00.

3.3.2 Ocupación relativa de las vías en Bogotá dependiendo del sector socio-económico

Otra variable importante para la determinación del inventario de emisiones, es el sector socio-económico. La Figura 3 resume los resultados obtenidos para los tres tipos de sectores analizados en horas de la mañana y en horas de la tarde.

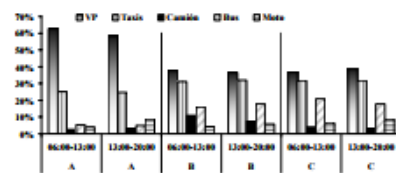


Figura 3. Distribución de la flota vehicular en diferentes sectores socio-económicos de la ciudad en horas de la mañana y de la tarde. A = Sector de alto ingreso; B = Sector de medio-bajo ingreso; C = Sector comercial

Los resultados obtenidos demuestran que los vehículos de mayor participación en los tres sectores socio-económicos analizados son los vehículos de pasajeros (particulares y taxis). Los buses y camiones presentan una mayor participación en sectores de medio-bajo ingreso y comercial, que en sectores de alto ingreso. Los resultados presentados en la Figura 3 también muestran que no se presentan diferencias

significativas entre las horas de la mañana y las de la tarde para todas las categorías analizadas a excepción de la categoría motos. En horas de la tarde en los tres sectores analizados, se presentan porcentajes mayores de motos. Este resultado puede ser debido a la tendencia que existe en diversas entidades a recolectar la correspondencia en horas de la tarde.

3.3.3 Comparación de los resultados bogotanos con otras ciudades

Se realizó una comparación de los resultados obtenidos en Bogotá con otras ciudades donde se ha realizado el proyecto IVE. La Tabla 3 presenta información correspondiente a 8 ciudades incluida Bogotá.

Tabla 3. Comparación del porcentaje de categorías vehiculares en diferentes ciudades del mundo.

Ciudad	VP	Moto	Taxi	Bus	Camión	No-Motorizado
Almaty, Kazakhtan	83%	0%	0%	12%	5%	1%
Lima, Peru	52%	1%	3%	18%	6%	0%
Los Angeles, USA	9%	0%	0%	1%	4%	0%
México City, México	74%	2%	15%	3%	5%	0%
Nairobi, Kenya	88%	2%	1%	4%	5%	1%
Pune, India	12%	55%	0%	1%	1%	17%
Santiago, Chile	79%	1%	8%	6%	6%	0%
Sao Paulo, Brasil	73%	10%	5%	5%	5%	0%
Bogotá, Colombia	46%	6%	29%	13%	6%	0%

Fuente: Lents, 2004. Estudio de la actividad vehicular en Sao Paulo

No-motorizados: medios de transporte que no cuentan con motor (vg., bicicletas, patinetas, caballos). VP = vehículo particular.

Dentro de las ciudades estudiadas por el proyecto IVE, Bogotá presenta el mayor número de taxis en las vías. En este punto es importante aclarar nuevamente que la información recolectada durante la campaña de medición se refiere a información dinámica, lo que está teniendo en cuenta no sólo el número de vehículos sino el factor de actividad. Por esta razón el valor registrado para el porcentaje de taxis en las vías está representando que esta categoría de vehículos tiene un factor de actividad bastante alto comparado con otras categorías.

El número de taxis observados en las vías de Bogotá es un valor muy superior al de las otras ciudades donde se ha realizado el estudio IVE. Sin embargo, es necesario considerar que no todas las ciudades cuentan con un sistema de transporte público individual tan organizado como en Bogotá, en

donde la identificación de los taxis es sencilla dado su color y letrero representativo. En otras ciudades el más difícil proceso de identificación puede haber causado errores durante los aforos de los vehículos.

Por otro lado, el elevado número de taxis en la ciudad, podría estar explicado por resultados de estudios previos (Ibáñez, 2004), en donde se determinó que en Bogotá existe una sobre-oferta de taxis (entre 45% y 55%). El valor recomendado a nivel mundial es de 3 taxis por cada 1,000 habitantes, mientras en Bogotá este número es de 5.2 taxis por cada 1,000 habitantes (Ibáñez, 2004).

3.4 Patrones de conducción

La información recolectada utilizando unidades GPS y siguiendo la metodología mencionada con anterioridad (sección 2.2.1) nos permitió recolectar información necesaria para la determinación de los patrones de conducción de cada categoría vehicular. A continuación se presentan los resultados obtenidos para la categoría de VP.

3.4.1 Patrones de conducción de vehículos particulares

La información recolectada para VP demuestra la importancia del tipo de vía en los patrones de conducción. En las figuras 4a y 4b se presenta un ejemplo del comportamiento de la velocidad en función del tiempo en tres tipos de vías diferentes en un sector socio-económico de nivel de ingreso alto. Estos datos corresponden a un recorrido de treinta minutos (7:00 am a 7:30 am) realizado durante tres días (cada día se recorrió un tipo de vía diferente a la misma hora del día anterior). Las velocidades promedio durante este periodo para los tres tipos de vía fueron: 44 kph, 20 kph y 22 kph, respectivamente para vía rápida, arterial y residencial.

Aunque las velocidades promedio en la vía arterial y la residencial son similares, en la Figura 4b se puede observar que el patrón de conducción es diferente. Mientras en la vía residencial no se presentan numerosos cambios dramáticos de velocidad ni numerosos momentos de detención, en la vía arterial estas situaciones son las más típicas. Estos cambios constantes de aceleración están relacionados con la presencia de cruces y semáforos en las vías de tipo arterial. Del mismo modo, dadas las condiciones de infraestructura, las vías arteriales permiten alcanzar mayores velocidades máximas. La Tabla 4 presenta

las velocidades promedio para diferentes segmentos horarios en cada una de las vías recorridas durante la campaña de medición.

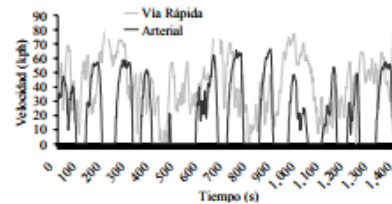


Figura 4a. Comparación de los patrones de conducción para dos tipos de vías en un sector de nivel socio-económico alto.

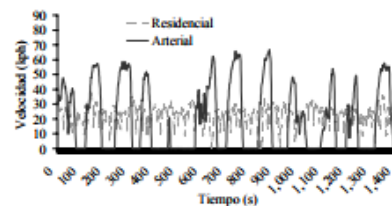


Figura 4b. Comparación de los patrones de conducción para dos tipos de vías en un sector de nivel socio-económico alto.

Tabla 4. Velocidades promedio durante el día para vehículos particulares en tres tipos de vías.

Hora	Vía rápida (kph)	Arterial (kph)	Residencial (kph)
5:30-7:30	41	26	19
7:30-9:30	41	26	19
9:30-11:30	34	25	18
11:30-13:30	34	16	22
13:30-15:30	37	22	23
15:30-17:30	32	23	22
17:30-19:30	37	21	19
19:30-21:00	30	19	20

Aunque conocer la velocidad promedio es un aspecto importante al momento de determinar el factor de emisión, este parámetro no es el mejor indicador de la demanda de potencia en el vehículo. Acelerar el vehículo consume energía considerablemente en un proceso en el que se pueden presentar niveles eleva-

dos de emisiones de distintas especies contaminantes. Los niveles de aceleración no se pueden determinar a partir de la velocidad promedio. Por esta razón, los cálculos en la metodología IVE están basados en una clasificación de la información en la que se presentan diversas categorías que representan diferentes condiciones de estrés y demanda de potencia del vehículo (Lents et al., 2004).

3.5 Resultados de emisiones de fuentes móviles para Bogotá según el modelo IVE

El inventario desarrollado durante este estudio contiene información sobre diferentes contaminantes y sobre el aporte de cada categoría vehicular (VP, Taxi, Moto, Bus y Camión) a las emisiones totales en la ciudad. La Tabla 5 resume los resultados obtenidos para los contaminantes considerados en este proyecto, y la Figura 5 presenta el aporte de las diferentes categorías vehiculares a las emisiones totales.

Tabla 5. Emisiones totales de diversos contaminantes provenientes de fuentes móviles en la ciudad de Bogotá.

	km d ⁻¹	CO	COV	NO _x	SO _x	PM ₁₀	B	A	F	CO ₂
VP	20,000,000	1,000	70	40	1	0.20	0.1	0.2	0	5,600
Motos	2,300,000	90	45	0	0	1	0.1	0.7	3	65
Taxi	13,000,000	270	25	20	1	0.3	0.05	0.1	0	3,500
Bus	4,000,000	700	35	60	3	3	0.1	0.3	1	3,200
Camión	1,400,000	500	30	30	1	1	0.1	0.2	1	1,650
Total	40,000,000	2,500	200	150	7	6	0.5	1.5	5	14,000

Las unidades utilizadas son Ton día⁻¹. VP= vehículos particulares; B = butadieno; A = acetaldehído; F = formaldehído. Nota: totales pueden no coincidir por causa de la reducción de cifras significativas.

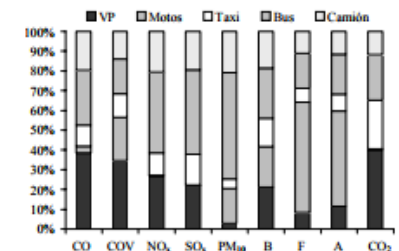


Figura 5. Aporte de las principales categorías vehiculares a las emisiones totales de diversos contaminantes atmosféricos en la ciudad de Bogotá. VP= vehículos particulares; B = butadieno; A = acetaldehído; F = formaldehído.

La categoría de VP tiene una participación importante en las emisiones de contaminantes tales como CO, CO₂, NO_x, SO_x y COV. El aporte de esta categoría al inventario total de emisiones de la flota vehicular bogotana fue de alrededor del 40% para CO, 40% para CO₂, 35% para COV, 30% para NO_x y 20% para SO_x. Estos resultados eran esperados al considerar que esta categoría representa alrededor del 85% de los vehículos en la ciudad y que el combustible de mayor uso para estos vehículos es la gasolina.

La categoría vehicular que presentó los resultados más críticos, con respecto a su aporte a las emisiones totales en la ciudad, fue la de los buses. Esta categoría es responsable de un alto porcentaje de la mayoría de contaminantes: alrededor de 30% de las emisiones de CO, 40% de las emisiones de NO_x, 40% de las emisiones de SO_x, 50% de las emisiones PM₁₀ y 20% de las emisiones de CO₂. Estos aportes son aún más importantes si se tiene en cuenta que los buses representan menos del 5% de la flota vehicular en la ciudad.

La gran participación de esta categoría en las emisiones de CO (30%) es el reflejo de la presencia de un número importante de buses que utilizan gasolina como combustible. Es común en muchos países que la mayoría de vehículos en esta categoría utilice diesel como combustible (Sawyer et al., 2000; Gertler, 2005).

Es de vital importancia reconocer la participación que los buses tienen en las emisiones totales de PM₁₀ en la ciudad, representando la mitad del total de emisiones. El PM₁₀ es ampliamente reconocido como uno de los contaminantes más importantes en términos de salud pública (Neuberger et al., 2004; Kan et al., 2004).

Sin embargo, es fundamental aclarar que el problema real está relacionado con la calidad de los combustibles diesel disponibles en la ciudad. El diesel bogotano cuenta con un contenido de azufre de 1500 ppm, que aún siendo el contenido de azufre más bajo del país (en el resto del territorio nacional es de 4500 ppm) es un contenido demasiado alto comparado con otras ciudades como Santiago de Chile, en donde el diesel contiene tan solo 50 ppm de azufre. Estudios reportados en la literatura científica (v.g Durbin et al., 2003; Saiyasitpanich et al., 2005) han encontrado una relación directa entre el contenido de azufre en el diesel y las emisiones de PM₁₀, lo que demuestra la importancia de mejorar la calidad del diesel en Bogotá y el resto del país.

Otro resultado interesante se presenta en el caso de la categoría de las motos, las cuales de acuerdo a

ANEXO 2
INTRODUCCION

ESTIMACIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN DE LAS FUENTES MÓVILES DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ

V. Manzi*; L.C. Belalcázar**; E. Giraldo***; E. ZARATE****; A. CLAPPIER*****

RESUMEN

Se seleccionó, adaptó y aplicó una metodología práctica y económica para determinar las emisiones del parque automotor de la ciudad de Bogotá. La metodología está basada en mediciones de calidad de aire, parámetros meteorológicos, conteos de vehículos y la aplicación inversa de un modelo de calidad de aire. Se presentan los resultados de un estudio de trazadores con el cual se validó la aplicación del modelo empleado. Se reportan los factores de emisión promedio de los contaminantes evaluados para vehículos livianos, pesados y para todos los vehículos. Las emisiones de los vehículos pesados son considerablemente mayores a las de los vehículos livianos.

ABSTRACT

An economical and practical methodology was selected, adapted and applied to determine emissions from the actual vehicular fleet of Bogotá city. The methodology is based on air quality and meteorological measurements, traffic counts and inverse application of an air quality model. Results from a tracer study are presented here, which were used to validate the application of air quality model. The emission factors from light duty, heavy duty and for all vehicles are presented here for all the pollutants evaluated. Emissions from heavy duty vehicles are higher than those from light duty vehicles.

Palabras clave: Contaminación del aire, emisión vehicular, modelación inversa, Bogotá

1. INTRODUCCIÓN

Al igual que la gran mayoría de las ciudades del mundo, la ciudad de Bogotá afronta problemas por la contaminación atmosférica. Debido a esto, y con el fin de implementar medidas que

permitan solucionar definitivamente este problema, a principios del año 2001 la Universidad de los Andes en convenio con el DAMA y la Escuela Politécnica Federal de Suiza (EPFL), iniciaron el desarrollo de un inventario de emisiones para la ciudad de Bogotá. Este inventa-

rio forma parte del proyecto *Modelo de Calidad del Aire para Bogotá*. El objetivo de este inventario de emisiones es identificar a las fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos. Una vez las fuentes sean identificadas, la autoridad ambiental podrá enfocar mejor los esfuerzos y empleará mejor los recursos disponibles.

Las metodologías disponibles para el desarrollo de los inventarios de emisiones se basan en factores de emisión que son válidos solamente para los países en donde fueron obtenidos. En la mayoría de los países en desarrollo (incluyendo a Colombia) aún no se han estimado los factores de emisión, esto se debe principalmente a que no se cuenta con los recursos técnicos y económicos que se requieren para tal fin. Algunas ciudades Latinoamericanas han desarrollado inventarios de emisiones adoptando los factores de emisión de otros países. A pesar de que estos inventarios son aproximados, los resultados indican que los vehículos automotores emiten cantidades significativas de contaminantes a la atmósfera [1], [2]. En la ciudad de Bogotá se realizaron inventarios preliminares de emisiones que arrojaron resultados similares [3], [4], [5].

Por todas estas razones se hace necesario estimar los factores de emisión de fuentes móviles (FE) empleando una metodología que se adapte a los recursos disponibles en las ciudades de países en desarrollo como Bogotá. Al evaluar las diferentes metodologías disponibles se encontró que aunque existen diferentes procedimientos experimentales para la estimación de los FE, la mayoría de dichos procedimientos son costosos y los resultados que se obtienen no son del todo satisfactorios. Sin embargo, recientemente se desarrolló una metodología que se conoce como *aplicación inversa de modelos de dispersión* y que permite estimar los FE de manera práctica y económica. La aplicación inversa de modelos de dispersión se ha usado en ciudades como Copenhague – Dinamarca [6], Córdoba – Argentina [7], San Petersburgo – Rusia [8], entre otras. Se llegó a la conclusión que la aplicación inversa de un

modelo de dispersión es una alternativa viable para la estimación de los FE en ciudades en donde no se dispone de los recursos para aplicar otras metodologías. En este artículo se presentan los resultados obtenidos empleando esta metodología para la estimación de los FE del parque vehicular de la ciudad de Bogotá.

2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

La aplicación inversa de modelos de dispersión puede hacerse para diferentes ambientes urbanos: en calles cerradas, cañones urbanos "Street Canyon SC" [6], [7], [8] o en calles abiertas y autopistas [9]. Para cada una de estas configuraciones se han desarrollado modelos que simulan el transporte y la dispersión de los contaminantes generados en la vía. En este estudio se utilizó la configuración de calle conocida como *cañón urbano* (*street canyon* o SC). Los SC's son calles conformadas por edificios a ambos lados, los cuales le otorgan una configuración de cañón. La dispersión de contaminantes en un SC depende de factores tales como: velocidad y dirección del viento predominante, aspectos geométricos como la orientación, la altura de los edificios, y el ancho de la calle, etc [10]. Esta configuración facilita la modelación por cuanto los edificios minimizan las interacciones del ambiente que se encuentra confinado dentro del cañón con sus alrededores.

Los modelos de calidad del aire inicialmente se desarrollaron para estimar las concentraciones de los contaminantes dentro de los SC, a partir de las variables relacionadas con su origen y dispersión (tráfico, meteorología, geometría de la calle). La estimación de las emisiones por medio de la modelación inversa se logra midiendo las concentraciones de los contaminantes en el interior del cañón urbano y alimentando el modelo con la información de las otras variables involucradas.

Si se tiene en cuenta que los contaminantes a esta escala espacial y temporal se consideran poco reactivos, las concentraciones de los con-

* Estudiante del Magíster, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. e-mail: v.manzi@uniandes.edu.co

** Ingeniero Investigador, CIA, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. e-mail: lbelaca@uniandes.edu.co

*** Profesor Investigador, CIA, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

**** PhD candidate, Escuela Politécnica Federal de Lausana (EPFL, Suiza), e-mail: erika.zarate@epfl.ch

***** Profesor Investigador, Escuela Politécnica Federal de Lausana (EPFL, Suiza), e-mail: alain.clappier@epfl.ch

taminantes en la calle se pueden relacionar con los fenómenos implicados en la dispersión y con la cantidad emitida de contaminantes (emisores) por medio de la siguiente ecuación general:

$$C_h = F_{h(\text{modelo})} E_h + C_{h \text{ base}} \quad (1)$$

En esta expresión, C_h corresponde a la concentración promedio de un contaminante cualquiera en el interior del SC para un periodo de tiempo o una hora h [M/L³]; E_h es la cantidad del contaminante emitido por un vehículo promedio (Veh) que transitan por la calle en la hora h [M/L³*veh.]; $C_{h \text{ base}}$ corresponde a la concentración de contaminantes presente dentro y fuera del SC en la hora h y que proviene de fuentes diferentes a los vehículos que circulan por el SC [M/L³]; $F_{h(\text{modelo})}$ es una función que describe el proceso de dispersión del contaminante emitido [Veh/L²]. Este parámetro se estima alimentando el modelo con la información de las variables involucradas (geometría de la calle, tráfico, meteorología). Por lo tanto, si se miden las concentraciones de contaminantes en el interior del SC (C_h) en una hora h durante varios días, y si al mismo tiempo se registran todas las variables que se requieren para calcular $F_{h(\text{modelo})}$, al graficar C_h Vs $F_{h(\text{modelo})}$ la pendiente de la recta que mejor represente a los datos corresponderá a la emisión (E_h) y el intercepto a la concentración base $C_{h \text{ base}}$ (figura 1)

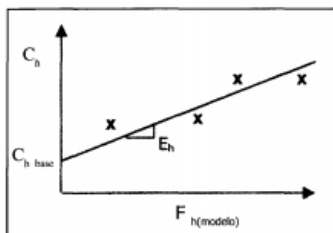


Figura 1. Cálculo de la emisión horaria empleando la metodología inversa. E_h es la emisión generada por un vehículo de

una categoría promedio. El factor de emisión para una categoría específica se estima a partir de E_h y de conteos detallados de vehículos. Si se consideran dos categorías de vehículos, livianos y pesados, para una hora específica, E_h se relaciona con el número de vehículos de cada categoría que circulan durante esa hora y con los factores de emisión de esa categoría de la siguiente manera:

$$E_h * N_h = N_{lh} * F_l + N_{ph} * F_p \quad (2)$$

N_{lh} y N_{ph} corresponde al número de vehículos livianos y pesados que pasaron por el SC en la hora h , N_h es el número total de vehículos que pasaron por el SC en la hora h ($N_{lh} + N_{ph}$); F_l y F_p corresponden a los factores de emisión de cada categoría. Desarrollando la ecuación (2) para varios periodos de tiempo se tendrán tantas ecuaciones como periodos de tiempo, en este caso con al menos dos ecuaciones linealmente independientes se obtendrán los factores de emisión para las dos categorías de interés. La ecuación (2) podría plantearse para un número mayor de incógnitas, la condición para el éxito en la solución de las ecuaciones es que los vehículos de diferentes categorías tengan una variación diurna diferente en el flujo del tráfico para garantizar que las ecuaciones sean linealmente independientes. Como se explica más adelante, en esta investigación solamente fue posible obtener los FE para las dos categorías mencionadas.

Como se observa, es posible determinar los FE de fuentes móviles si se recolecta la información relacionada con las variables involucradas (meteorología, tráfico, concentración de contaminantes en el interior y fuera del SC, etc). Por lo tanto, para estimar los FE de las fuentes móviles de Bogotá se realizó una campaña de medición en el mes de diciembre del año 2002. En esta campaña se monitorearon las variables involucradas y adicionalmente se desarrolló un experimento de trazadores por medio del cual se seleccionó el modelo de dispersión que mejor representa los fenómenos que ocurren en el interior del SC seleccionado.

3. CAMPAÑA DE MEDICIÓN

El sitio en el cual se realizaron las mediciones es el SC ubicado en la carrera 7 entre calle 13 y avenida Jiménez. En este punto la carrera séptima es una vía constituida por tres carriles de un sólo sentido y de alto flujo vehicular, por donde pasa un parque automotor representativo de la ciudad.

Geometría de la calle: El SC seleccionado presenta las siguientes características (figura 2): ancho de la calle (W) de 23 m; altura promedio de los edificios (H) de 35 m; orientación de la calle con respecto al norte: 60°.

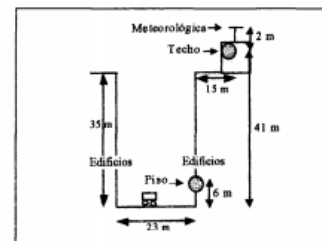


Figura 2. Características del SC y ubicación de las estaciones de medición piso y techo.

Meteorología: La variable meteorológica que más incide en la dispersión de contaminantes en un SC es el viento. Por esta razón, durante la campaña de medición se midió la dirección y velocidad de viento 2 m por encima de la estación techo. Estas mediciones se realizaron usando un anemómetro automático de copas de dos direcciones.

Tráfico: Con el fin de conocer las características del tráfico vehicular que circuló por el SC, durante toda la campaña en las horas de más alta intensidad vehicular (6:00 AM – 8:00 PM) se realizaron mediciones manuales de volumen, composición y velocidad de los vehículos. Los registros se clasificaron en dos categorías de acuerdo al combustible empleado por los vehí-

culos así: vehículos livianos o a gasolina (motocicletas, automóviles, taxis, colectivos, busetas, utilitarios); vehículos pesados o a diesel (buses y camiones).

Concentraciones de contaminantes: Para estimar los FE se realizaron mediciones de calidad del aire de 5 contaminantes: CO, SO₂, NOx, material particulado (PM10) y compuestos orgánicos volátiles (COV) (estaciones piso y techo, figura 2). CO, SO₂ y NOx se monitorearon durante toda la campaña empleando equipos analizadores automáticos. Por otro lado, debido al alto costo del monitoreo de COV y PM10, estos contaminantes se monitorearon durante periodos más cortos, se cuenta con concentraciones de COV promedio horarias para dos días, y concentraciones promedio de 6 horas para PM10 durante cuatro días.

Estudio de trazadores: Este estudio se desarrolló para seleccionar el modelo que mejor represente el transporte y la dispersión de los contaminantes emitidos en el SC y para calibrar el modelo seleccionado. El experimento consistió en emitir una tasa conocida de un gas trazador inerte (SF₆) y medir la concentración resultante de dicha emisión en el punto de medición piso, no fue necesario medir la concentración en el techo por cuanto en el aire ambiente no existe este compuesto [11].

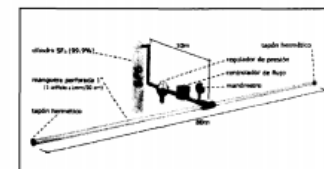


Figura 3. Sistema de emisión empleado en el estudio de trazadores

Para el estudio de trazadores se montó el sistema que aparece en la figura 3. Este montaje se diseñó para simular la emisión de contaminan-

tes generada por los vehículos en el SC. Este sistema tenía un cilindro que contenía almacenado el gas trazador; el cilindro se conectó a una tubería a la cual se le abrieron perforaciones de 1 mm de diámetro cada 50 cm. El sistema estaba provisto de un controlador de flujo con el cual se fijó la tasa de emisión deseada. El SF₆ se emitió durante dos horas continuas a una tasa de 1.217 x 10⁻³ gm⁻¹s⁻¹. En el punto de medición se recolectaron muestras de aire con bolsas tedlar cada hora. La concentración del trazador presente en la muestra se determinó por cromatografía de gases. Para fijar esta tasa de emisión, antes del experimento se alimentaron algunos modelos para SC con información meteorológica y de tráfico proveniente de estudios previos y con las concentraciones esperadas del trazador en el punto de muestreo, estas concentraciones se definieron con base en los límites de detección del cromatógrafo.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Meteorología: La dispersión de los contaminantes en el interior de un SC depende en gran medida de la velocidad y dirección del viento predominantes. Los registros meteorológicos revelaron que la velocidad del viento medida a nivel de techo fue menor que 1 m/s el 90% de las veces; la dirección del viento en la mayoría de los casos fue paralela al eje de SC. De acuerdo a esto se considera que predominaron los vientos en calma (< 1m/s), en esta condición es poco significativa la influencia de la dirección del viento en la dispersión de los contaminantes.

Tráfico: Uno de los aspectos más importantes en la estimación de los FE para fuentes móviles, es el tamaño de la muestra de vehículos y su representatividad del parque automotor de la ciudad. Los resultados de los conteos de vehículos mostraron que durante todo el período de medición se registró un volumen total de 359.000 vehículos, este volumen es bastante significativo si se compara con los tamaños de muestra empleados en estudios donde se utilizaron metodologías tradicionales, en dichos

estudios el tamaño de la muestra llega a ser 1 a 2 % del parque automotor [12]. Con las metodologías tradicionales es difícil evaluar un número mayor de vehículos por cuanto las pruebas experimentales son bastante costosas.

Por otro lado, en el periodo de medición se registraron velocidades de circulación menores a 60 Km/h con un promedio de 30 Km/h. Las metodologías tradicionales a pesar de que emplean tamaños de muestra menores, permiten estimar los factores de emisión para diferentes velocidades. En esta investigación se reportan los FE para un rango de velocidades (de 0 a 60 Km/h). Debido a esto, cuando se emplee la modelación inversa para estimar los FE se debe prestar especial atención a la selección del sitio de muestreo por cuanto éste debe representar adecuadamente las condiciones predominantes en la ciudad.

Estudio de trazadores y selección del modelo:

Aunque existe una gran variedad de modelos de dispersión para SC, en este estudio se probaron los tres modelos más reconocidos: Modelo de Caja [13], OSPM [14] y STREET [15]. Los modelos seleccionados se alimentaron con la información meteorológica y de tráfico presente en el SC durante el estudio de trazadores, y se estimaron las concentraciones de SF₆ en el punto de medición. Estos resultados se compararon con los valores obtenidos durante el estudio de trazadores (figura 4)

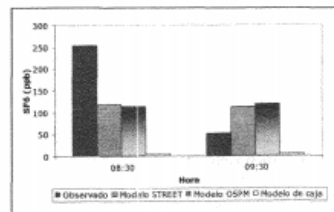


Figura 4. Comparación de las concentraciones de SF₆ estimadas con los modelos STREET, OSPM y de caja, con los resultados observados durante el estudio de trazadores.

En la figura 4 se observa que el modelo de caja no reproduce adecuadamente los fenómenos presentes en el SC y por eso fue descartado. Por otro lado, a pesar de que con el modelo OSPM se estiman concentraciones que están en el rango de los valores medidos, cuando se intentó estimar la emisión E_g empleando la metodología descrita anteriormente (figura 1), se encontró que las rectas que mejor se ajustaban a los datos presentaban bajos coeficientes de correlación (R), mientras que al emplear el modelo STREET los coeficientes de correlación eran significativamente mayores. Por lo tanto, el modelo seleccionado para la estimación de los FE de la manera propuesta en esta investigación fue el STREET. A pesar de que el modelo STREET fue desarrollado hace ya varios años y que es un modelo simplificado, aún está vigente y es ampliamente utilizado. En la referencia [15] se describe en detalle la deducción de este modelo.

Los resultados del estudio de trazadores también se utilizaron para calibrar este modelo. El proceso de calibración consistió en ajustar el coeficiente de dispersión que emplea el modelo STREET. La diferencia entre el coeficiente de dispersión estimado y el empleado por STREET fue de apenas un 9%. Esta pequeña diferencia indica que el modelo STREET re-

presenta bien la dispersión de contaminantes en cualquier cañón urbano.

Factores de emisión: Con base en la información recolectada se estimaron los factores de emisión según lo descrito en el apartado 2. Los coeficientes de correlación obtenidos al graficar C_g Vs F_{g (modelo)} para los diferentes contaminantes en general estuvieron entre 0.7 y 0.8. Sin embargo, para algunas horas del día estos coeficientes fueron inferiores a 0.7; al parecer en estas horas predomina la influencia de variables que no se incluyen en el modelo STREET y por eso las correlaciones son más bajas.

En este estudio se reportan los FE para dos categorías, vehículos livianos y vehículos pesados. No fue posible obtener FE para más categorías de vehículos debido a que cuando se plantearon ecuaciones como la (2) pero incluyendo más categorías, los sistemas de ecuaciones obtenidos no se pudieron resolver o al resolverlos se obtenían FE negativos. En la Tabla 1 se presentan los FE de las fuentes móviles vehiculares de la ciudad de Bogotá, obtenidos mediante la aplicación inversa del modelo STREET. Los FE se comparan con los obtenidos en otras investigaciones, se incluye también los resultados obtenidos mediante una metodología tradicional en Santiago de Chile (dinamómetro).

Tabla 1 FE estimados para la ciudad de Bogotá empleando la modelación inversa y comparación con otros estudios (g km⁻¹ veh⁻¹)

Ciudad	Categoría	CO	NO _x	SO ₂	COV	PM10	Método	Fuente
Bogotá (C)	Todos	15.47 ± 2.84	0.41 ± 0.09	0.10 ± 0.02	5.58	0.35 ± 0.08	Inverso	Esta investigación
	Livianos	8.27 ± 1.96	0.11 ± 0.02	0.06 ± 0.02	-	0.27		
	Pesados	385.2 ± 142.3	18.9 ± 0.37	2.82 ± 1.12	-	2.38		
Córdoba (A)	Todos	21.7 ± 0.3	0.94 ± 0.02	-	-	-	Inverso	[7]
	San Petersburgo (R)	-	-	-	-	-		
Copenhague (D)	Todos	11 ± 2	1.3 ± 0.2	-	-	-	Inverso	[9]
	Santiago de Chile	-	-	-	-	-		
Livianos*	3.5 ± 3.9	0.6 ± 0.8	-	-	-			
Livianos**	28.2 ± 15.5	3 ± 1.1	-	-	-			

* Vehículos con catalizador; ** Vehículos sin catalizador

Como se observa en la tabla 1, aunque las emisiones generadas por los vehículos pesados son mucho mayores que las generadas por los vehículos livianos, estas cantidades no influyen significativamente en el FE promedio de todos los vehículos, esto se debe a que el volumen de vehículos pesados registrado durante la campaña fue mucho menor que el de vehículos livianos. Aún así, las emisiones generadas por los vehículos pesados son muy significativas. Esto indica de manera preliminar hacia donde se deben enfocar los esfuerzos para mitigar la contaminación atmosférica de Bogotá. De todas maneras para obtener conclusiones definitivas es necesario estimar la emisión total generada en Bogotá por las diferentes fuentes, esto se logrará cuando se finalice el inventario de emisiones.

Los FE de los vehículos livianos de la ciudad de Bogotá son relativamente inferiores a los que se reportan en los otros estudios; por el contrario, los FE de vehículos pesados en el caso de los NOx son mucho mayores que los que se reportan en San Petersburgo. Se advierte que la ciudad de Bogotá presenta una mayor diferencia entre los FE de vehículos livianos y pesados que la que se reporta en otras ciudades del mundo.

Las desviaciones estándar de los resultados obtenidos mediante la aplicación inversa de modelos de dispersión son significativamente inferiores a las reportadas en el estudio de Santiago de Chile. Esta diferencia se debe al tamaño de la muestra que se emplea en las diferentes metodologías; mientras en esta investigación el tamaño de la muestra fue de casi 400 mil vehículos, en el estudio de Santiago solo se muestrearon 166 automóviles.

5. CONCLUSIONES

- Se logró seleccionar, aplicar y adaptar exitosamente una metodología práctica y económica para la estimación de los FE de la ciudad de Bogotá, involucrando de manera sencilla un tamaño de muestra altamente represen-

tativo para esta determinación, sobrepasando de esta manera una de las grandes limitaciones de las metodologías tradicionales.

- El experimento de trazadores demostró que la estimación de los FE mediante la modelación inversa puede lograrse utilizando un modelo simplificado como el modelo STREET.

- Los vehículos pesados o a diesel de la ciudad de Bogotá emiten cantidades significativas de contaminantes en comparación con los vehículos livianos o a gasolina. El impacto real de cada una de las diferentes fuentes se determinará una vez se finalice el inventario general de emisiones de la ciudad de Bogotá.

3. CAMPAÑA DE MEDICIÓN

El sitio en el cual se realizaron las mediciones es el SC ubicado en la carrera 7 entre calle 13 y avenida Jiménez. En este punto la carrera séptima es una vía constituida por tres carriles de un sólo sentido y de alto flujo vehicular, por donde pasa un parque automotor representativo de la ciudad.

Geometría de la calle: El SC seleccionado presenta las siguientes características (figura 2): ancho de la calle (W) de 23 m; altura promedio de los edificios (H) de 35 m; orientación de la calle con respecto al norte: 60°.

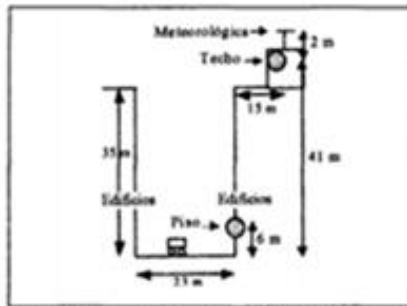


Figura 2. Características del SC y ubicación de las estaciones de medición piso y techo.

Meteorología: La variable meteorológica que más incide en la dispersión de contaminantes en un SC es el viento. Por esta razón, durante la campaña de medición se midió la dirección y velocidad de viento 2 m por encima de la estación techo. Estas mediciones se realizaron usando un anemómetro automático de copas de dos direcciones.

culos así: vehículos livianos o a gasolina (motocicletas, automóviles, taxis, colectivos, busetas, utilitarios); vehículos pesados o a diesel (buses y camiones).

Concentraciones de contaminantes: Para estimar los FE se realizaron mediciones de calidad del aire de 5 contaminantes: CO, SO₂, NO_x, material particulado (PM10) y compuestos orgánicos volátiles (COV) (estaciones piso y techo, figura 2). CO, SO₂ y NO_x se monitorearon durante toda la campaña empleando equipos analizadores automáticos. Por otro lado, debido al alto costo del monitoreo de COV y PM10, estos contaminantes se monitorearon durante periodos más cortos, se cuenta con concentraciones de COV promedio horarias para dos días, y concentraciones promedio de 6 horas para PM10 durante cuatro días.

Estudio de trazadores: Este estudio se desarrolló para seleccionar el modelo que mejor represente el transporte y la dispersión de los contaminantes emitidos en el SC y para calibrar el modelo seleccionado. El experimento consistió en emitir una tasa conocida de un gas trazador inerte (SF₆) y medir la concentración resultante de dicha emisión en el punto de medición piso, no fue necesario medir la concentración en el techo por cuanto en el aire ambiente no existe este compuesto [11].

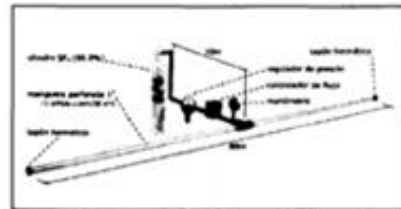


Figura 3. Sistema de emisión empleado en el estudio de trazadores

Para el estudio de trazadores se montó el sistema que aparece en la figura 3. Este montaje se diseñó para simular la emisión de contaminan-

tes generada por los vehículos en el SC. Este sistema tenía un cilindro que contenía almacenado el gas trazador; el cilindro se conectó a una tubería a la cual se le abrieron perforaciones de 1 mm de diámetro cada 50 cm. El sistema estaba provisto de un controlador de flujo con el cual se fijó la tasa de emisión deseada. El SF₆ se emitió durante dos horas continuas a una tasa de $1.217 \times 10^{-3} \text{ gm}^{-1}\text{s}^{-1}$. En el punto de medición se recolectaron muestras de aire con bolsas tedlar cada hora. La concentración del trazador presente en la muestra se determinó por cromatografía de gases. Para fijar esta tasa de emisión, antes del experimento se alimentaron algunos modelos para SC con información meteorológica y de tráfico proveniente de estudios previos y con las concentraciones esperadas del trazador en el punto de muestreo, estas concentraciones se definieron con base en los límites de detección del cromatógrafo.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Meteorología: La dispersión de los contaminantes en el interior de un SC depende en gran medida de la velocidad y dirección del viento predominantes. Los registros meteorológicos revelaron que la velocidad del viento medida a nivel de techo fue menor que 1 m/s el 90% de las veces; la dirección del viento en la mayoría de los casos fue paralela al eje de SC. De acuerdo a esto se considera que predominaron los vientos en calma (< 1m/s), en esta condición es poco significativa la influencia de la dirección del viento en la dispersión de los contaminantes.

estudios el tamaño de la muestra llega a ser 1 a 2 % del parque automotor [12]. Con las metodologías tradicionales es difícil evaluar un número mayor de vehículos por cuanto las pruebas experimentales son bastante costosas.

Por otro lado, en el periodo de medición se registraron velocidades de circulación menores a 60 Km/h con un promedio de 30 Km/h. Las metodologías tradicionales a pesar de que emplean tamaños de muestra menores, permiten estimar los factores de emisión para diferentes velocidades. En esta investigación se reportan los FE para un rango de velocidades (de 0 a 60 Km/h). Debido a esto, cuando se emplee la modelación inversa para estimar los FE se debe prestar especial atención a la selección del sitio de muestreo por cuanto éste debe representar adecuadamente las condiciones predominantes en la ciudad.

Estudio de trazadores y selección del modelo:

Aunque existe una gran variedad de modelos de dispersión para SC, en este estudio se probaron los tres modelos más reconocidos: Modelo de Caja [13], OSPM [14] y STREET [15]. Los modelos seleccionados se alimentaron con la información meteorológica y de tráfico presente en el SC durante el estudio de trazadores, y se estimaron las concentraciones de SF₆ en el punto de medición. Estos resultados se compararon con los valores obtenidos durante el estudio de trazadores (figura 4)

ANEXO 3
INTRODUCCION

ESTRATEGIAS DE INVESTIGACIÓN CUANDO LOS MARCOS TEÓRICOS EXISTENTES NO SON ÚTILES

ANGEL GUTIÉRREZ
Universidad de Valencia

RESUMEN

En este texto se reflexiona sobre la problemática que surge cuando, al planificar o realizar una investigación, nos damos cuenta de que los marcos teóricos pertinentes existentes no cubren nuestras necesidades. También se muestran dos ejemplos, que permiten observar este fenómeno, de investigaciones en las que sus autores tuvieron que elaborar un nuevo marco teórico porque los existentes eran, en un caso, inadecuados y, en el otro caso, incompletos.

ABSTRACT

This paper is a reflection on the problem raised when, while planning or elaborating a research, researchers realize that available theoretical frameworks don't fit their necessities. Two examples of research where such problem may be observed are presented. In both researches, authors had to elaborate a new theoretical framework because the available ones were either inappropriate or incomplete.

INTRODUCCIÓN

Es normal que un campo de investigación interesante atraiga la atención de diversos equipos, generalmente ubicados en países diferentes. Aunque los equipos se conozcan e intercambien información de vez en cuando, lo más habitual es que cada uno tenga su línea de investigación y sus objetivos, métodos de trabajo, etc., lo cual se traduce en resultados y propuestas diferentes. Esta situación, que por sí misma es enriquecedora, puede llevar a otros investigadores posteriores a tener que resolver algunos conflictos en el momento de determinar un marco de referencia para su propio trabajo:

En algunos casos conviven marcos teóricos diferentes que, al menos en cierta medida, son contradictorios o incompatibles. A los investigadores que empiezan a trabajar en este campo no les queda más remedio que adoptar un marco y rechazar el otro, o rechazar ambos y definir el suyo propio, diferente.

En otros casos, las propuestas publicadas previamente, aunque dentro del mismo marco teórico global, corresponden a diferentes aproximaciones al problema de investigación (por ejemplo, referidos a estudiantes de diferentes niveles educativos, o a distintas variables relevantes). Aquí los nuevos investigadores suelen empezar adoptando una de las líneas de trabajo pre-existentes, pero en ocasiones, una vez

que empiezan a analizar los datos que han recogido, se dan cuenta de que ni esa ni ninguna otra aproximación previa les permite obtener respuestas suficientemente satisfactorias para sus cuestiones de investigación.

Ante situaciones como las descritas en los párrafos anteriores, creo que la postura más razonable y productiva es coger el toro por los cuernos, abandonar el refugio cómodo de los trabajos previos y desarrollar nuestro propio marco creando los elementos necesarios para llevar la investigación adelante. En las siguientes páginas describiré dos ejemplos, un de cada tipo, sacados de mi propia actividad. Al primero me referiré brevemente, pues se trata de una investigación que tuvo lugar hace algunos años, es suficientemente conocida por los interesados en este tema, y mi mala memoria no me permite recordar con suficiente detalle algunos momentos clave del proceso. El segundo ejemplo puedo describirlo con más detalle, pues estoy trabajando en él actualmente y, por tanto, tengo todos los detalles a mi alcance.

FRENTE A MARCOS TEÓRICOS INADECUADOS, UN MARCO TEÓRICO DIFERENTE

El "descubrimiento" del modelo de razonamiento matemático de Van Hiele por los investigadores de los países occidentales tuvo lugar tras la publicación de "Mathematics as an educational task" (Freudenthal, 1973) y de una conferencia de I. Wirszup (1976). Durante la década siguiente, vieron la luz resultados de diversas investigaciones dirigidas a estudiar varias componentes de los niveles de Van Hiele y a observar su aplicación a la enseñanza. Las investigaciones más influyentes de esa época (Usiskin, 1982; Fuys, Geddes y Tischler, 1988; Burger y Shaughnessy, 1986) utilizan criterios de evaluación del razonamiento de los estudiantes muy diferentes, basados en tests escritos de elección múltiple en el primer caso o en entrevistas clínicas en los otros.

A pesar de las claras diferencias metodológicas entre las tres investigaciones, comparten el mismo marco teórico, que tiene dos características destacables: i) El resultado de la evaluación del razonamiento de un estudiante es su asignación a uno de los niveles de Van Hiele. ii) Hay dificultades para asignar algunos estudiantes a un nivel de razonamiento porque éstos muestran claramente en sus respuestas la presencia de *dos* niveles de razonamiento consecutivos. En las tres investigaciones, los autores justifican estos casos, atípicos pero en cantidad significativa, aludiendo a la posibilidad de que los estudiantes estuvieran en la transición de un nivel al siguiente, pero no van más allá de esta rápida conjetura y no desarrollan el concepto de transición. Por tanto, a pesar de sus diferencias, las tres investigaciones se sitúan en un marco teórico que interpreta los niveles de razonamiento de Van Hiele como una sucesión discreta en la que sólo cuando se ha desarrollado por completo un nivel es posible que comience a desarrollarse el siguiente y en la que, por tanto, la transición de un nivel al siguiente es muy rápida.

Las demás investigaciones sobre el modelo de Van Hiele publicadas en los 80 y principios de los 90 que conozco utilizan de forma más o menos directa la metodología de alguna de las tres publicaciones mencionadas antes, y todas asignan sus estudiantes a un determinado nivel de Van Hiele.

Alrededor de 1988, J.M. Fortuny inició una investigación sobre los niveles de razonamiento de Van Hiele en geometría espacial a la que nos unimos poco después A. Jaime y yo. Aplicar los métodos conocidos de asignación de niveles de Van Hiele no nos resultaba satisfactorio, pues notábamos que debíamos poner "en el mismo cajón" respuestas demasiado diferentes. Además, algunos de los problemas planteados en nuestros experimentos planteaban varias preguntas encadenadas, encontrando casos de estudiantes que mostraban niveles de razonamiento diferentes en las sucesivas respuestas al mismo problema,

por lo que no nos parecía razonable asignar estos estudiantes a un nivel de razonamiento despreciando parte de sus respuestas.

Así pues, nos encontramos con la falta de un marco teórico previo adecuado. Como consecuencia de nuestro esfuerzo para avanzar en la investigación, surgió un marco teórico basado en una interpretación de los niveles de Van Hiele con dos características clave que lo diferencian del anterior: i) Reconocer que la transición de un nivel al siguiente puede ser lenta, larga en el tiempo y, por tanto, observable y evaluable. ii) Asumir la estructura jerárquica de los niveles de Van Hiele, pero reconocer la realidad escolar, en la cual es posible que comience a desarrollarse un nivel de razonamiento antes de que el nivel anterior esté completamente desarrollado.

La aplicación de este nuevo marco teórico dio lugar al concepto de los "grados de adquisición" de los niveles de Van Hiele y a una metodología de asignación de estudiantes a los niveles completamente diferente de la usada hasta ese momento. No explicaré aquí en qué consiste esta metodología ni mostraré un ejemplo de aplicación, pues no es mi objetivo en este texto. Ver Gutiérrez, Jaime y Fortuny (1991) y Jaime (1993).

A pesar del avance que supuso la definición de este marco teórico, todavía no estaba justificada la posibilidad de que los estudiantes inicien la adquisición antes de un nivel de razonamiento antes de haber completado la adquisición del anterior. Esto se logró en investigaciones posteriores (Jaime y Gutiérrez 1994; Gutiérrez y Jaime 1995), en las que consideramos cada nivel de razonamiento como integrado por varias habilidades (describir, clasificar, definir, demostrar) que los estudiantes deben desarrollar para adquirir plenamente dicho nivel. Ocurre con frecuencia que la enseñanza escolar potencia unas habilidades más que las otras, por lo que los estudiantes progresan más en el desarrollo de las primeras y, antes de completar la adquisición de un nivel, inician la adquisición del nivel siguiente.

FRENTE A MARCOS TEÓRICOS INCOMPLETOS, UN MARCO TEÓRICO QUE LOS INCLUYA

Un tema por el que la comunidad de investigadores en didáctica de las matemáticas mantiene un interés sostenido desde hace muchos años es el de la adquisición de la capacidad de razonamiento formal y el aprendizaje de los métodos de demostración formal en matemáticas. Rastreado en las bases de datos, se pueden encontrar numerosas publicaciones relacionadas con este tema, si bien sólo unas pocas incluyen aportaciones realmente útiles para entender a los estudiantes de Secundaria y Universidad. Centrándonos en los últimos 25 años, y sin ánimo de ser exhaustivos, podemos considerar el trabajo de Alan Bell como el primero que va más allá de la consideración estricta de las demostraciones formales como único modo admisible de demostración.

Bell (1976 b) plantea que la demostración (formal o no¹) puede tener diversos objetivos en matemáticas: "Verificación", cuando intenta asegurar la veracidad de una afirmación. "Iluminación", cuando, además de asegurar su veracidad, permite entender por qué es cierta una afirmación. "Sistematización",

¹ Las publicaciones internacionales sobre este tema usan de manera unánime el término "demostración" para referirse a las demostraciones matemáticas formales, pero hay un pequeño caos en el uso de la terminología al referirse a las maneras no formales de convicción: Términos como "explicación", "verificación", "justificación" o "demostración" se usan unas veces para referirse al mismo concepto y otras veces para referirse a conceptos diferentes. En la literatura en español la cosa se complica más porque aparece también "prueba". Mi opción personal es, cuando tengo que elegir uno de los términos anteriores, quedarme con "justificación", aunque creo que deberíamos hablar de "demostraciones formales", "demostraciones no formales" y "demostraciones" (para aludir a ambos tipos a la vez), pues es necesario transmitir al mundo de la enseñanza la idea de que no hablamos de dos cosas diferentes sino de dos aspectos de una misma cosa, la demostración en matemáticas, y ayudar de esta forma a desmitificarla y a que estudiantes y profesores le pierdan el miedo.

cuando permite organizar el enunciado demostrado en un sistema de axiomas, definiciones y otros teoremas. Michael de Villiers desarrolla posteriormente esta línea de investigación describiendo nuevos objetivos para la realización de una demostración (De Villiers, 1993): "Descubrimiento", cuando la demostración conduce al descubrimiento o invención de nuevos conceptos o teoremas. "Comunicación", cuando la demostración tiene como objetivo transmitir conocimientos matemáticos a otras personas. No obstante, con frecuencia los estudiantes no se sienten identificados con ninguno de los objetivos anteriores de las demostraciones. Un elemento clave para entender por qué un estudiante resuelve los problemas de demostrar como lo hace es conocer sus creencias al respecto, es decir qué tipos de argumentos considera convincentes y cuáles no (De Villiers, 1991). En este sentido, un objetivo de la enseñanza de las matemáticas es inducir un cambio en las concepciones de demostración de los estudiantes. Esta línea de investigación queda fuera de mis trabajos, por lo que no me referiré más a ella.

Desde una perspectiva complementaria a la anterior, Bell (1976 a, 1976 b) hace una descripción de diversos tipos de demostraciones no formales producidas por los estudiantes, las cuales representan puntos en el camino hacia el razonamiento y la demostración formales. Identifica dos categorías de demostraciones, las "empíricas", caracterizadas por el uso de ejemplos como elemento de convicción, y las "deductivas", caracterizadas por el uso de elementos deductivos abstractos para conectar los datos (o hipótesis) y la conclusión. En las demostraciones empíricas Bell describe diferentes tipos, que van desde aquellas que usan ejemplos sin relación directa con el enunciado planteado hasta las que consisten en la verificación sistemática del enunciado en todos los ejemplos posibles (conjunto finito). En cuanto a las demostraciones deductivas, su tipología se basa en diferentes grados de completitud al construir las cadenas de argumentos, desde las fallidas, en las que realmente no existe tal cadena, hasta las completas, cuando se produce una deducción matemáticamente correcta. En la base del estudio de Bell está la concepción de que cada enunciado matemático lleva asociado un conjunto de ejemplos (finito o no) y que para demostrar la veracidad del enunciado hay que verificar todos sus ejemplos. Por este motivo, su tipología analiza la completitud de los conjuntos de ejemplos usados por los estudiantes.

Otra de las referencias obligadas en la investigación sobre los procesos de aprender a demostrar es el trabajo de Nicolas Balacheff. En su tesis doctoral (Balacheff, 1988), este autor da un paso adelante sobre los resultados de Bell introduciendo una clasificación más amplia de tipos de demostración, en la cual el énfasis no está sólo en la relación entre los ejemplos usados y el enunciado que se quiere demostrar, sino en el motivo por el que los estudiantes usan los ejemplos. Esta investigación se basa en un experimento cuyo fin es analizar las respuestas de un grupo de estudiantes a varios problemas de demostrar. Balacheff identifica dos categorías de demostraciones, las "pragmáticas", basadas en manipulaciones o en ejemplos concretos, y las "conceptuales", basadas en la formulación abstracta de propiedades matemáticas y de relaciones deductivas entre ellas. En la categoría de demostraciones pragmáticas describe los tipos de "empirismo naïf", basado en la verificación del enunciado que hay que demostrar en unos pocos ejemplos, normalmente elegidos de manera aleatoria, "experimento crucial", basado en la selección cuidadosa de un ejemplo con el convencimiento de que si la conjetura es cierta en este ejemplo, lo será siempre, y "ejemplo genérico", basado en la selección y manipulación de un ejemplo que actúa como representante de su clase, por lo que la demostración, aunque sea particular, pretende ser abstracta y tener validez para toda la clase representada. Entre las demostraciones conceptuales, Balacheff distingue el "experimento mental", cuando los estudiantes interiorizan las acciones realizadas previamente (generalmente observación de ejemplos), las disocian de esas acciones concretas y las convierten en argumentos abstractos deductivos, y el "cálculo simbólico", cuando la demostración se basa en la transformación de expresiones simbólicas formales.

Probablemente porque los resultados proceden de experimentos con estudiantes de secundaria, no suficientemente avanzados, la tipología de Balacheff no analiza en profundidad las demostraciones formales.

Más recientemente, Harel y Sowder (1998) han propuesto varios "esquemas de demostración", tipos de justificaciones que convencen a los estudiantes y que ellos usan para convencer a otros estudiantes y al profesor. Estos autores identifican tres categorías de esquemas de demostración: Los de "convicción externa", aquellos en los que se alude a una autoridad externa al propio problema, los "empíricos", cuando la justificación está formada por ejemplos, y los "analíticos", cuando la justificación se basa en argumentos abstractos y deducciones lógicas. En los esquemas de convicción externa, estos autores distinguen entre los "autoritarios", basados en la autoridad de un profesor, libro de texto, etc., los "rituales", basados en la forma como está presentada la demostración, y los "simbólicos", basados en la manipulación algorítmica de símbolos y expresiones. En los esquemas empíricos distinguen los "perceptivos", basados en la observación de ejemplos concretos de tipo gráfico, y los "inductivos", cuando la demostración consiste en comprobar la validez del enunciado en uno o varios ejemplos concretos. Finalmente, en los esquemas analíticos distinguen los "transformativos", basados en operaciones sobre objetos y anticipación de su resultado, que luego son convertidos en argumentos deductivos, y los "axiomáticos", formados por cadenas deductivas basadas en elementos de un sistema axiomático.

A modo de resumen global, podemos observar que las tres clasificaciones de demostraciones descritas son coherentes entre sí, útiles para analizar las respuestas de los estudiantes, pero parciales: Bell plantea sólo dos tipos válidos de demostración, verificación más o menos exhaustiva de ejemplos y demostración formal, en una propuesta que ignora la importante componente cognitiva del significado que tienen las demostraciones para los estudiantes. Balacheff analiza detalladamente las demostraciones pragmáticas (empíricas), observando cómo y por qué se seleccionan los ejemplos, pero no hace lo mismo con las conceptuales (deductivas), pues no presta atención a las formas de usar los ejemplos para organizar argumentaciones deductivas ni a las formas de construir demostraciones formales. Por último, Harel y Sowder analizan detalladamente los esquemas analíticos (deductivos), observando diferentes operaciones mentales que dan lugar a estas demostraciones, pero no hacen lo mismo con los esquemas empíricos, en los que sólo distinguen si se utilizan ejemplos visualmente o matemáticamente.

La tendencia actual de la didáctica de las matemáticas a prestar atención destacada a los aspectos psicológicos y cognitivos del aprendizaje indica que los modelos de Balacheff y Harel y Sowder son los que resultan más útiles como marco para el aprendizaje de los procesos de demostración. Por tanto, es razonable intentar integrar estos modelos en uno sólo, si bien esta integración no puede hacerse simplemente superponiendo un modelo a otro. En un proyecto de investigación desarrollado en la Universidad de Valencia, hemos analizado la actuación de estudiantes de ESO al resolver problemas de demostrar en un entorno Cabri. Al iniciar las primeras etapas de dicho análisis, nos dimos cuenta de que ninguno de los modelos que acabo de describir nos resultaba útil, por lo que decidimos definir una nueva clasificación de demostraciones que contuviera las anteriores pero que las desarrollara, teniendo en cuenta también las lagunas que habíamos detectado en ellas.

1) En primer lugar, igual que los investigadores citados, nosotros consideramos dos grandes categorías de demostraciones:

a) *Demostraciones empíricas*: Demostraciones en las que el elemento de convicción es la verificación de la propiedad en ejemplos.

b) *Demostraciones deductivas*: Demostraciones en las que el elemento de convicción son argumentos descontextualizados de ejemplos concretos y basados en propiedades generales, operaciones mentales abstractas y deducciones lógicas.

2a) Distinguíamos tres familias de demostraciones empíricas, dependiendo de la *forma de selección de los ejemplos*, cada una de las cuales, a su vez, incluye varios tipos correspondientes a diferentes *formas de uso de los ejemplos* seleccionados en la demostración:

- *Empirismo naïf*: Los estudiantes seleccionan varios ejemplos sin ningún criterio específico. En unas ocasiones la verificación de la propiedad se hace táctil o visualmente (tipo "perceptivo") y en otras se hace observando propiedades o elementos matemáticos del ejemplo (tipo "inductivo").

- *Experimento crucial*: Los estudiantes son conscientes de la necesidad de generalización y la resuelven mediante la selección cuidadosa de un ejemplo "lo menos particular posible" (Balacheff, 1987), convencidos de que si el enunciado es válido en este ejemplo, lo es siempre (Balacheff, 1988), si bien éste no deja de tener carácter de ejemplo específico. Los experimentos cruciales pueden ser "ejemplificación", cuando la demostración consiste sólo en mostrar la existencia del ejemplo crucial, "constructivo", cuando la demostración incide en la forma de obtención del ejemplo, "analítico", cuando la demostración se basa en propiedades matemáticas observadas empíricamente, e "intelectual", cuando la demostración intenta separarse de las observaciones empíricas y se basa en propiedades matemáticas aceptadas y relaciones deductivas entre elementos del ejemplo.

- *Ejemplo genérico*: Los estudiantes, conscientes de la necesidad de generalización, seleccionan un ejemplo al que dan el carácter de representante de su clase. La demostración está formada por razonamientos abstractos referidos a propiedades y elementos generales de la clase pero obtenidos a partir de operaciones o transformaciones hechas con el ejemplo. En los ejemplos genéricos distinguimos los mismos tipos que en los experimentos cruciales (ejemplificación, constructivo, analítico e intelectual), si bien en este caso las demostraciones no se limitan a reflejar la actividad empírica, sino que la transforman en referencias a propiedades abstractas de la clase del ejemplo y a razonamientos deductivos que las ligan.

2b) Distinguíamos dos familias de demostraciones deductivas, dependiendo de la forma de construir las:

- *Experimento mental*: La demostración, aun siendo deductiva y abstracta, está organizada con la ayuda de un ejemplo, lo cual se nota a veces en que la demostración tiene un desarrollo temporal. Distinguíamos dos tipos de experimentos mentales, los "transformativos", cuando la demostración se basa en una transformación del enunciado o conjetura inicial en otro equivalente, y los "axiomáticos", cuando la demostración es una cadena de implicaciones lógicas basada en definiciones, axiomas o propiedades aceptadas. El ejemplo ayuda, respectivamente, a prever las transformaciones más convenientes y a organizar la cadena de implicaciones.

- *Demostración formal*: Es el tipo de demostración, formada por cadenas de deducciones lógicas formales y sin soporte de ejemplos, usual en los trabajos de los matemáticos profesionales. También ahora es posible encontrar los dos tipos anteriores de demostración (transformativo y estructural), con la diferencia de que en las demostraciones formales no se usa ningún ejemplo como ayuda.

El siguiente diagrama resume la clasificación que acabo de describir. Como indicaba más arriba, se trata de una clasificación que contiene y desarrolla las clasificaciones de Balacheff y Harel y Sowder, pues intenta ser completa y englobar todo tipo de demostraciones. Al mismo tiempo, es suficientemente detallada como para permitir hacer distinciones finas entre unas demostraciones y otras y ser útil a inves-

ANEXO 4
FUNDAMENTACION TEORICA

COMPARACIÓN DE PERFILES DE EMISIONES VEHICULARES EN TÚNEL Y EN DINAMÓMETRO

Elizabeth VEGAR,¹ Violeta MUGICA A.², Luis DÍAZ G.¹ y Felipe RAMOS L.¹

¹ Instituto Mexicano del Petróleo, Eje Central Lázaro Cárdenas Núm. 152, Col. San Bartolo Atepehuacan, Delegación Gustavo A. Madero 07730, México, D.F., tel.: (52) 5333-6867, fax: (52) 5587-7988, correo electrónico: evega@www.imp.mx

² Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Azcapotzalco, 02200 México, D.F.

(Recibido junio 1998, aceptado febrero 2000)

Palabras clave: compuestos orgánicos volátiles, perfiles de emisión, fuentes vehiculares, dinamómetro, túnel

RESUMEN

En el inventario de emisiones de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México se adjudica a la flota vehicular la fuente principal de emisión de compuestos orgánicos volátiles y de óxidos de nitrógeno que son precursores en la formación de ozono. En 1996 se llevaron a cabo diversas pruebas en dinamómetro para caracterizar las emisiones de vehículos de diferentes marcas y modelos. Asimismo, se realizó una campaña de muestreo en un túnel de la Ciudad de México con el objeto de determinar el perfil de emisiones de una flota vehicular representativa de las condiciones reales de manejo. Se encontró que los resultados de ambos estudios fueron complementarios ya que los dos presentaron ventajas y al compararlos se demostró que los compuestos más abundantes en los dos perfiles determinados fueron los relacionados con la combustión de vehículos y la composición de las gasolinas.

Key words: volatile organic compounds, source profiles, vehicular sources, dynamometer, tunnel

ABSTRACT

The Mexico City Metropolitan Zone emission inventory reports that the vehicular fleet is the major source of volatile organic compounds as well as nitrogen oxides, which are the ozone precursors. In 1996 several dynamometer tests were carried out to characterize the vehicular emissions of different distributors and models. In the same way, a sampling campaign was carried out to determine a representative vehicular fleet under real driving conditions. It was found that the results from both studies were complementary as both of them had advantages and when comparing them in the two profiles it was found that the most abundant compounds were those related to vehicular combustion and to the gasoline composition.

INTRODUCCIÓN

El ozono (O₃) es, en la actualidad, el principal problema de contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), ya que se ha informado que la norma de 0.11 ppm (1 hora) se excede en más del 90% de los días del año (DDF 1996). El ozono

no proviene de complejas y numerosas reacciones entre compuestos orgánicos volátiles (COV) y óxidos de nitrógeno (NOx) en presencia de la luz solar, que se conocen como fotoquímicas. El ozono a diferencia de los contaminantes primarios no se emite directamente.

En los últimos años se ha observado que las fuentes móviles son las que más contribuyen a la formación de

ozono, ya que el inventario de emisiones del DDF (1996) reportó que de 128,646 toneladas de NOx y de 1,025,759 toneladas de COV emitidas en el año, el 69.8% y el 54.1 %, respectivamente, fueron debidas a emisiones vehiculares.

Las estrategias para abatir las altas concentraciones de ozono se han enfocado principalmente a la reducción de NOx, mientras que para el caso de los hidrocarburos han sido muy pocos los estudios ya que no existe norma de calidad de aire para los mismos.

El impacto de los COV, procedentes del escape y de los sistemas de combustión de los vehículos en la formación del ozono, depende de la reactividad de las diferentes especies en la atmósfera, que se define como el potencial de producción de compuestos oxidantes y se relaciona con la velocidad de interacción de los distintos hidrocarburos frente a los radicales libres de tipo hidroxilo.

Estudios realizados en la ZMCM indican que las concentraciones máximas de COV alcanzan valores de hasta 7 partes por millón de carbono (ppmC) (Ruiz et al. 1993). Sin embargo, en México no existen informes de la composición química de las emisiones vehiculares en el tránsito cotidiano o normal.

Para determinar la composición de COV provenientes de vehículos automotores, se han realizado en México pruebas de laboratorio en dinamómetro de chasis (Castillo et al. 1996, Díaz et al. 1996) y trabajos en túneles (Vega et al. 1997, Mugica et al. 1998).

En los estudios en túneles se determinaron las emisiones provenientes de vehículos a gasolina y a diesel, en estos casos la integración de las emisiones fue sobre mayor cantidad de vehículos quedando incluidas las emisiones de escape y las evaporadas. Sin embargo, en este tipo de

de escape y las evaporadas. Sin embargo, en este tipo de pruebas no se consideran todas las condiciones de manejo, principalmente el encendido en frío, la desaceleración, la aceleración, la detención y el arranque (Conner et al. 1995).

En otros países, las investigaciones en dinamómetro se han llevado a cabo con el fin de determinar las emisiones de vehículos equipados con gran variedad de sistemas de control de contaminantes (Sygsby et al. 1987), asimismo, se han utilizado para verificar que las emisiones no sobrepasen la norma y para establecer estrategias de control.

Con los resultados en túnel y en dinamómetro pueden obtenerse los perfiles de emisión del escape de vehículos, es decir la fracción de cada especie con respecto al total de especies determinadas. Cada uno de estos perfiles se utiliza para representar las emisiones vehiculares y para su aplicación en los modelos de receptor, por lo que es importante conocer las condiciones en que se realizaron las pruebas con el fin de detectar la representatividad de los perfiles.

En este trabajo se presenta la comparación de los resultados de dos estudios independientes realizados en

la ZMCM durante 1996, para determinar los perfiles de emisión, es decir, la composición química en porcentaje de las emisiones vehiculares. El primero de ellos se hizo en un túnel (Vega et al. 1997, Mugica et al. 1998) y el segundo en un dinamómetro de chasis (Castillo et al. 1996). Esta comparación es útil para reconocer las ventajas y las limitaciones de cada perfil.

METODOLOGÍA

Pruebas en dinamómetro

En 1996, se llevó a cabo en el laboratorio de Emisiones Vehiculares del Instituto Mexicano del Petróleo, un estudio siguiendo el procedimiento federal de pruebas para determinar las emisiones reguladas (CO, HC totales, NOx) provenientes del escape de 39 vehículos que utilizaron gasolina Magna Sin, así como la caracterización de los hidrocarburos individuales.

Procedimiento de prueba FTP-75 (NMX-AA-II-1993)

El procedimiento de prueba utilizado por el Instituto Mexicano del Petróleo para medir las emisiones de escape de automóviles de pasajeros y de camiones ligeros fue el Procedimiento Federal de Prueba (FTP) de 1987, que se actualizó en 1993.

La prueba se realizó en un ambiente controlado, ya que el vehículo se condujo en un dinamómetro de chasis con un programa de manejo de paro y marcha a velocidad promedio de 34.7 km/h. Mediante el uso de volantes de inercia y un freno de agua, se reprodujo lo que el vehículo experimentaría en el camino. Los gases del escape se diluyeron y colectaron a volumen constante con

el aire filtrado circundante, almacenando la muestra en bolsas especiales de Tedlar para posteriormente analizar su concentración.

Las emisiones de escape que se midieron durante el FTP-75 cubrieron tres regímenes de operación del motor. Las emisiones de escape en frío ocurrieron durante los primeros 505 segundos de la prueba. Después de este lapso, se consideró que el vehículo se hubo calentado completamente y las emisiones estabilizadas se determinaron en los siguientes 869 segundos. El periodo final de la prueba constituyó los efectos del arranque en caliente. Las emisiones de cada una de las etapas se colocaron en bolsas por separado, para después analizar cuantitativamente su composición.

En este trabajo solo se consideró la etapa estabilizada cuando el vehículo se encontró en circulación ya que las emisiones fueron similares a aquellas provenientes del túnel.

Flota vehicular

La flota de vehículos estuvo constituida de la siguiente manera: 22% de Volkswagen, 32% de Chrysler, 24%

de Ford, 12% de Nissan y 10% de General Motors. Los años de los modelos de estos vehículos variaron de 1991 a 1996.

Técnicas analíticas

Los análisis se realizaron en tres cromatógrafos marca Varian equipados con válvulas de muestreo automático y detectores de ionización de flama (DIF). En la colección de datos y en el reporte de resultados se utilizaron interfases inteligentes PE Nelson y un programa diseñado por el laboratorio de Motoquímica del IMP que ha sido revisado y aceptado por el Southwest Research Institute. El sistema de análisis contó con un banco de datos para la identificación de 140 compuestos.

El análisis de los hidrocarburos se efectuó tomando una muestra de cada una de las bolsas Tedlar donde se almacenaron los gases de escape diluidos del CVS y se procedió a inyectar al cromatógrafo correspondiente dependiendo de la fase de la prueba FTP. La determinación se realizó en una sola corrida cromatográfica en la que se obtuvieron compuestos de 2 a 12 átomos de carbono (C2 - C12) por un método que involucró siete fases de separación por elevación de temperatura desde -50 hasta 150°C con un tiempo aproximado de 130 minutos.

Túnel

El estudio se realizó durante el periodo del 29 al 31 de mayo de 1996 en el que se colectaron diez muestras en total dentro del túnel localizado en Avenida Chapultepec, entre las calles de Dinamarca y Florencia de la Ciudad de México. La metodología de muestreo y análisis se basó en el método TO-14. La muestra se introdujo a contenedores de acero inoxidable previamente calibrados a una hora de muestreo integrado a

Flota vehicular

El total de los vehículos considerados durante los días de muestreo fue de 9,128, de los cuales el 87% correspondió a los vehículos ligeros a gasolina, el 9.5% a camionetas y el 2.4% a motocicletas. La contribución de los vehículos a diesel fue de 1.1%. De los vehículos ligeros a gasolina, el 58.3% contaron con convertidor catalítico. El porcentaje de camionetas con y sin convertidor fue de 51.4% y sin el 48.6%. La flota vehicular se determinó por conteo directo y se instaló una cámara de video para clasificarla posteriormente.

Técnicas analíticas

La metodología empleada para la determinación de COV dentro del túnel se basó en el Protocolo TO-14 de la Agencia de Protección Ambiental (Winberry *et al.* 1988) de los Estados Unidos de América. A diferencia de las muestras obtenidas en el dinamómetro, el método TO-14 incluyó la preconcentración de la muestra antes de introducirla al cromatógrafo.

Para el análisis de las muestras se utilizó un cromatógrafo de gases (Hewlett-Packard modelo 5890 Serie II) provisto de un detector de ionización de flama (DIF). Se usó helio como gas acarreador a través de una línea que constó de una trampa criogénica en forma de "U" rellena de esferas de vidrio. Los compuestos contenidos en la muestra se condensaron en la trampa enfriada con oxígeno líquido. La inyección de la muestra concentrada fue a la temperatura de ebullición del agua y la separación de la mezcla gaseosa se llevó a cabo en una columna capilar de gel de sílice fundido de 60 m de longitud con fase líquida DB-1 de 1 µm de espesor (J&W Scientific). La temperatura inicial fue de -50°C y después de dos minutos se incrementó a una velocidad de 8°C/min hasta alcanzar la temperatura final de 200°C. Las señales electrónicas del detector de ionización de

través de un dispositivo de orificio crítico hasta que se igualó la presión del contenedor con la atmosférica.

Características del túnel

El túnel tiene 365 m de longitud, 7.77 m de ancho y 4.30 m de altura, cuenta con dos carriles en dirección noreste-suroeste, además de dos respiraderos en la parte superior, uno a 60 m de la entrada y otro a 67 m de la salida.

A 50 m de la entrada está un semáforo y otro a 50 m de la salida, así los vehículos entran al túnel a una velocidad de 40 a 50 km/h y continúan con una velocidad promedio de 50 a 70 km/h hasta la salida, si el semáforo está en verde; de no ser así, los vehículos disminuyen su velocidad a 10 km/h e incluso llegan a detenerse totalmente. Las líneas de teflón para el muestreo se instalaron dentro del túnel en el respiradero que está a 67 m a la salida del mismo a una distancia de 6 m de los contenedores de acero.

flama se procesaron en una computadora para obtener un informe que incluyó las concentraciones, en partes por billón de carbono (ppbC), de COV totales de 2 a 12 átomos de carbono. Previo al análisis de las muestras, el cromatógrafo de gases se calibró con propano de alta pureza y con un patrón que contenía 38 compuestos entre los que se encontraron etano, etileno, acetileno, butano, isopreno, benceno, tolueno, xilenos y n-octano, entre otros.

En total se llevaron a cabo cinco muestreos distribuidos en tres días, los horarios para el primero y el segundo fueron de 8:00 a 9:00 a.m. y de 12:00 a 13:00 p.m., el tercero fue de 10:00 a 11:00 a.m.

Combustibles

Durante el periodo en el que se llevaron a cabo estos estudios en la ZMCM se distribuyeron dos tipos de gasolinas, la Nova y la Magna Sin. La primera con un contenido de plomo de 0.056 g/litro, para vehículos no

TABLA I. RESULTADOS POR GRUPO EN %ppbC DE COV EN LOS ESTUDIOS EN TÚNEL Y EN DINAMÓMETRO

	Aromáticos	Parafinas	Olefinas	Halogenados
Marca 1	25.77	61.89	9.94	2.40
Marca 2	32.54	42.18	22.27	3.01
Marca 3	21.98	67.99	10.03	ND
Marca 4	29.31	55.68	15.01	ND
Marca 5	40.96	38.50	19.15	1.39
Promedio	30.11	53.25	15.28	1.36
Túnel	22.90	48.90	23.82	1.38

ND, no detectado

equipados con convertidor catalítico y la segunda, con un contenido máximo de plomo de 0.026 g/litro para vehículos con convertidor catalítico. La Magna Sin es igual en octanaje que la gasolina Regular de los Estados Unidos de América aunque contiene una proporción mayor de olefinas y compuestos aromáticos que la CARB '96 (DDF 1996). Cabe destacar que el consumo de la gasolina Magna Sin a partir de 1990 se incrementó paulatinamente hasta alcanzar el 50% en 1996 (DDF 1996). Actualmente la gasolina con plomo ya no se comercializa en la ZMCM.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la **Tabla I** se presentan los resultados por grupo de COV determinados en los estudios en túnel y en dinamómetro de las diferentes marcas vehiculares. Éstas no se especifican ya que la cantidad de autos de cada marca no fue equivalente, ni tampoco la comparación de emisiones por marca fue el objetivo de este trabajo. Se mencionan las marcas sólo para mostrar que el tipo de motor y equipo anticontaminante influyen en la variación de las emisiones. Al comparar el valor promedio por grupo de COV del estudio en dinamómetro con el obtenido en el túnel, se observó que el contenido de compuestos

halogenados fue muy similar, mientras que el de parafinas y aromáticos fue mayor para las pruebas en dinamómetro y el de olefinas fue más alto en el estudio de túnel. Esto se pudo deber a que existen grandes diferencias entre las dos flotillas analizadas como se observa en la **figura 1**. También es importante mencionar que si la flotilla estudiada en dinamómetro hubiese sido mayor, tal vez los resultados fueran más parecidos a los obtenidos en el túnel.

Los resultados logrados de las pruebas en el dinamómetro para las diversas marcas vehiculares variaron entre sí (**tabla I**), mostrando que las emisiones dependen del tipo de vehículo, del modelo y del mantenimiento.

En la **Tabla II** se presentan algunas de las especies químicas que conforman los perfiles de emisión encontrados en el túnel y en el dinamómetro. Se observó que las desviaciones estándar para la flotilla del dinamómetro fueron altas para todas las especies tanto en el promedio total como para cada una de las marcas. Esto pudo deberse a las distintas condiciones de mantenimiento y operación, al estado de los convertidores catalíticos y a la eficiencia de los mismos entre las diversas marcas y modelos. En el promedio obtenido en el túnel las desviaciones estándar fueron más pequeñas, ya que las variaciones fueron causadas por diferencias en cada muestreo y no por la comparación de diferentes vehículos. Por otra

parte, debido a que la flota vehicular en el túnel fue mayor, se compensaron las altas emisiones de unidades viejas y en mal estado con las bajas emisiones de los vehículos nuevos.

Los compuestos más abundantes para los perfiles de túnel y de dinamómetro fueron los relacionados con los productos de combustión entre ellos etano, etileno y acetileno, descritos en la **Tabla II** como la suma de C₂, isopentano, tolueno, xilenos y n-pentano, que se relacionan con la composición de las gasolinas.

Al comparar los perfiles, se observó que la mayor variación fue por la diferencia entre marcas y modelos. Sin embargo, el perfil del promedio los 39 vehículos del

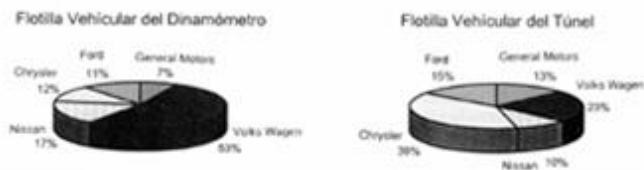
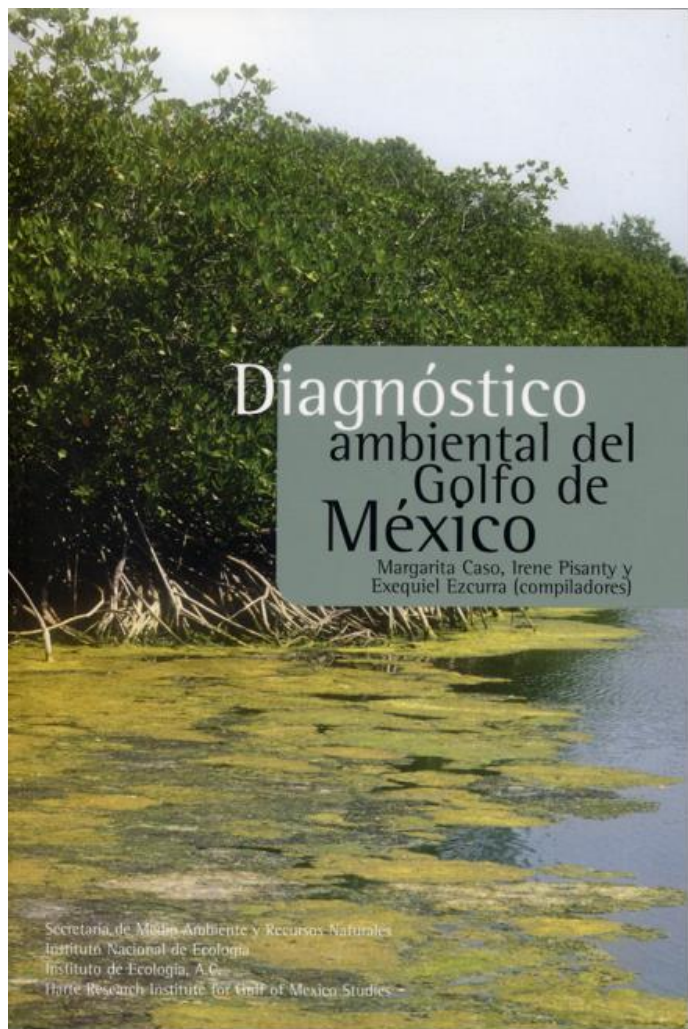


Fig. 1. Flotilla vehicular del estudio en dinamómetro y en túnel

ANEXO 5
FUNDAMENTACION TEORICA



PRESENTACIÓN

*Margarita Caso, Irene Pisanty
y Exequiel Ezcurra*

La naturaleza es un sistema complejo cuyas interacciones son multidimensionales. Dado que el manejo y la gestión son formas de intervenir en la naturaleza, hacerlo de modo responsable y efectivo supone conocer estos mecanismos de interacción. Dentro de esta óptica, la misión fundamental del Instituto Nacional de Ecología es la generación de información científica y técnica sobre problemas ambientales, para informar a la sociedad, apoyar la toma de decisiones, impulsar la protección ambiental y promover el uso sustentable de los recursos naturales.

En la compleja problemática que involucra el uso y la protección de los recursos naturales, los que derivan del mar tienen características particulares. La amplitud e interconexión de los ecosistemas costeros y marinos, así como su inaccesibilidad, contribuyen a la dificultad para estudiarlos.

El Golfo de México es prácticamente un mar interior, parcialmente conectado con el Océano Atlántico a través del estrecho de Florida y con el Mar Caribe a través del canal de Yucatán. La masa de agua está bordeada al oeste, sur y sureste por 6 estados de México, al norte y noroeste por 5 de Estados Unidos y al Oeste por la isla de Cuba.

La zona recibe un importante aporte de agua dulce, ya que desembocan las descargas de los principales ríos de Norteamérica: la sección mexicana recibe el 60% de la descarga nacional de los ríos y tiene el 75% de la superficie de ambientes estuarinos (Botello et al. 1998); por parte de Estados Unidos, el Río Mississippi descarga un promedio de 580 km³ de agua dulce por año en el norte del Golfo de México y es responsable de cerca del 90 por ciento del influjo de agua dulce hacia el Golfo de México (Day et al. 2004, Rabalais 2004).

En la zona costera del Golfo de México se encuentra una gran diversidad de hábitats costeros de alta productividad que son sistemas interconectados, como bahías, deltas, lagunas costeras y estuarios, humedales, pastos marinos, y arrecifes de coral.

Los ambientes costeros son fuertemente afectados por el desarrollo de un gran número de actividades que con frecuencia son incompatibles entre sí. En la actualidad las actividades humanas son directa o indirectamente la principal causa de las modificaciones de la biodiversidad marina y cuyos efectos son, contrariamente a muchas de las perturbaciones naturales que han existido continuamente en el océano, casi siempre irreversibles (National Research Council 1995). La mayoría de las amenazas actuales y potenciales de la biodiversidad marina ocurren en la zona costera y son resultado directo de las tendencias demográficas de la población humana: se estima que casi el 70% de la población global vive en la costa, o a no más allá de 60 km de distancia de ésta, y el porcentaje sigue aumentando, por lo que el total de la población puede llegar a duplicarse en menos de 30 años (Norse 1994).

En respuesta a la compleja problemática de este ecosistema compartido por tres países, se requiere un tratamiento conjunto, transfronterizo e interdisciplinario que contribuya a prevenir, reducir y controlar la degradación del medio marino y costero, con el objeto de mantener e incluso mejorar sus capacidades productivas. Ante esta situación, surge la necesidad de realizar un diagnóstico ambiental del Golfo de México, que permita identificar problemas transfronterizos, áreas de atención prioritaria de manera integrada, revisar el conocimiento existente e identificar las amenazas que existen en el Golfo de México.

Mediante la realización del taller "Diagnóstico Ambiental del Golfo de México" realizado en la ciudad de Veracruz en agosto de 2003, hemos querido propiciar un encuentro entre varios expertos en diversos temas ambientales del Golfo de México fortaleciendo el intercambio académico entre investigadores de diferentes disciplinas e instituciones con amplio conocimiento de la zona y autoridades ambientales del gobierno Federal. El carácter internacional del evento permitió estrechar los lazos de colaboración entre tres países que comparten los recursos de tan importante región ecológica. La publicación de este libro es la culminación de dicho esfuerzo. Consideramos que este será un primer paso para establecer un plan de acción a mediano y largo plazo para estrechar los mecanismos de cooperación regional y avanzar hacia un desarrollo sostenible integrado del Golfo de México.

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DEL GOLFO DE MÉXICO. RESUMEN EJECUTIVO*

*John W. Day, Antonio Díaz de León, Gaspar González Sansón,
Patricia Moreno-Casasola
Alejandro Yáñez-Arancibia (coordinador)*

RESUMEN

Esta síntesis ejecutiva resume los aportes de los 38 capítulos resultantes de la participación de 96 autores provenientes de 55 instituciones (federales o estatales, instituciones paraestatales del sector industrial, universidades y centros de investigación federales, estatales o privadas y organizaciones ambientalistas no gubernamentales), tanto de México como de Estados Unidos. En algunos capítulos participan profesionales de Cuba, España, Francia y Venezuela. La información se ha obtenido de los propios resúmenes de cada capítulo, o de la información complementaria que los autores de capítulos enviaron posteriormente. Para la presentación de la información, se ha seguido la metodología que utiliza la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO en sus informes o conclusiones de reuniones técnicas, enumerando correlativamente párrafos secuenciales, lo

* Este resumen ejecutivo es parte de los resultados del Taller internacional desarrollado en el Puerto de Veracruz, los días 20 a 22 de agosto de 2003, organizado por el Instituto Nacional de Ecología (INE-SMAMAR) y el Instituto de Ecología, A. C. (INECOL-CONACYT). El grupo de trabajo que elaboró este resumen fue designado por el Instituto Nacional de Ecología.

cual evita información recurrente y otorga un sentido natural al enfoque de ecosistema. Ninguno de los párrafos tiene interpretación por parte del grupo de trabajo y se respetó el punto de vista y perspectivas que surge de todos y cada uno de los capítulos. En cada párrafo se ha omitido citar como referencia algún capítulo en específico, tanto porque en la mayoría de cada uno de ellos hay referencias cruzadas, como para otorgar a cada uno el aval de todos los capítulos y de todos los participantes en el libro.

La información se ha reunido en cuatro secciones: 1) escenario ambiental, 2) escenario socio económico, 3) normatividad y perspectivas de gestión y manejo y 4) identificación de problemas y áreas de atención prioritaria. Esto refleja los temas desarrollados en el taller de Veracruz, que fueron: a) físico química del Golfo, b) la biota del Golfo, c) los ecosistemas del Golfo, d) impactos y manejo de la zona costera, y e) aspectos socioeconómicos. Esos temas ofrecieron la información para cumplir con los objetivos del taller, que fueron: 1) realizar un diagnóstico ambiental transfronterizo, 2) generar la información interdisciplinaria útil en la toma de decisiones para prevenir, reducir y controlar la degradación del medio marino y costero, como forma de mantener y mejorar las condiciones y capacidades productivas, 3) identificar problemas y áreas en los que hace falta investigación científica y tecnológica, y 4) promover el manejo integrado y el desarrollo sostenible de las áreas costeras y el ambiente marino del Golfo de México. El grupo de trabajo agradece la distinción de la responsabilidad otorgada por el Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), así como el respaldo de los 80 autores involucrados en esta obra.

I. EL ESCENARIO AMBIENTAL

1. La superficie del Golfo de México, incluyendo el cuerpo de agua y los humedales costeros, de México y Estados Unidos, es ca. 1,942,500 km². Sólo el cuerpo de agua tiene una superficie aproximada de 1,507,639 km². La profundidad promedio del Golfo es ca. 1,615 m, y el volumen de agua es aproximadamente 2,434,000 km³.
2. La cuenca de drenaje total del Golfo de México es ca. 5,180,000 km², descargando más del 80% del agua dulce de los Estados Unidos a través de más del 60% de su geografía continental, y más del 62% del total nacional de México a través de más del 40% de su geografía continental. Los meses de abril-mayo constituyen el período de mayor descarga fluvial en las costas de Estados Unidos (después de los deshielos y lluvias

- continentales). Septiembre-octubre es la época de mayor descarga fluvial en las costas de México (después de las lluvias continentales).
3. En la costa mexicana del Golfo, la estacionalidad climática meteorológica se caracteriza por un periodo de secas de febrero a mayo, uno de lluvias de verano de junio a octubre con presencia de depresiones tropicales, y uno de frentes fríos anticiclónicos (nortes) de octubre a febrero. Estos tres periodos son constantes pero se traslapan de manera relativa, y su intensidad está variando por efectos del cambio climático global.
 4. La circulación oceánica en el Golfo de México se debe principalmente al viento y al transporte de masas a través del Canal de Yucatán y del Estrecho de la Florida. El agua cálida y salina que llega por el Canal de Yucatán es llevada hacia el estrecho de la Florida siguiendo una trayectoria de lazo. A mesoescala, las principales características son la Corriente de Lazo, un gran giro anticiclónico frente a la costa de Tamaulipas, la corriente de frontera oeste, y la circulación ciclónica sobre la plataforma de Texas-Louisiana, de Florida, de la Bahía de Campeche y en la periferia de la Corriente de Lazo.
 5. En el Canal de Yucatán confluyen diferentes masas de agua; el Agua Subtropical Subsuperficial del Caribe (ASSC), el Agua Intermedia Antártica y el Agua Profunda Noratlántica. Dentro del Golfo el ASSC puede transformarse debido a la mezcla convectiva y dar origen a dos masas de agua de menor salinidad; el Agua Subtropical Subsuperficial del Golfo de México y el Agua Común del Golfo.
 6. El flujo de masas a través del Canal de Yucatán varía estacionalmente, aunque en promedio en la capa superior a los 500 m se presenta un transporte de 14×10^6 m³/seg, con máximos en primavera y verano. La fricción de fondo que experimenta esta corriente al chocar contra el talud continental, se ha propuesto como el mecanismo que da origen a la surgencia noreste de Yucatán.
 7. El análisis de la temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes, en las masas de agua y su comportamiento, permite fundamentar la importancia de los giros en la distribución de esos parámetros, destacando los ciclónicos por el enriquecimiento que propician en aguas superficiales y subsuperficiales (según la intensidad del giro), y el encajecimiento de nutrientes en los anticiclónicos.
 8. La productividad natural del Golfo de México depende de las interacciones de procesos terrestres y marinos que convergen en la zona costera, condicionado por los procesos climático meteorológicos e hidrológicos.

9. La distribución de la clorofila-*a* en aguas oceánicas sugiere que el Golfo de México es considerado como oligotrófico (en la capa superficial), no sólo por su concentración de nutrientes, sino por el contenido de este pigmento, aún en el área de surgencia; pero se registran valores más altos en las aguas costeras y en la nutriclina.
10. En Cuba, la información existente sobre los ecosistemas costero-marinos de la región noroccidental, es muy general y enfocada en buena medida a determinar variaciones espaciales en escala, principalmente de decenas de kilómetros. Las variaciones temporales han sido investigadas en forma limitada, considerando las variaciones estacionales. Particularmente notoria es la ausencia de investigaciones que analicen las variaciones interanuales en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas costero-marinos.
11. En Cuba predomina la idea que los arrecifes de coral, los manglares y las praderas de pastos marinos tienen un buen estado de conservación; aunque existe una explotación excesiva de los peces con importancia comercial. Esta perspectiva se basa en el hecho de que la zona costera, en su mayor parte, está muy poco poblada; la actividad agrícola no es muy intensa y no hay un desarrollo industrial o turístico. Complementariamente, existe el criterio de que las aguas de la plataforma continental (por orientación, longitud y amplitud), se renuevan con gran eficiencia a partir de su interacción con el océano.
12. La zona costera del Golfo, tanto de México como de los Estados Unidos, contiene más de 200 sistemas lagunares-estuarinos. Más del 75 % del total nacional de humedales costeros, de ambas naciones se localiza en el Golfo de México.
13. Las lagunas costeras, estuarios y hábitats asociados en el Golfo de México sirven como protección, reproducción y áreas para la crianza de recursos pesqueros estuarino-dependientes. En Estados Unidos, estas pesquerías proveen aproximadamente el 72% de la pesquería de camarón, 66% de producción de ostiones, y 18% de capturas comerciales de peces. En México, corresponde al 45% de la pesquería de camarón, 90% de producción de ostiones y 40% de captura comercial de peces. Actualmente todo el Golfo de México aporta capturas pesqueras de más de 1×10^6 ton/año, sin considerar el descarte de la pesca incidental o acompañante del camarón.
14. El complejo deltáico Usumacinta-Grijalva marca claramente la frontera de sedimentos terrígenos costeros hacia el sur de Campeche, Tabasco y

- Veracruz, y carbonatados (kársticos) hacia el norte de Campeche y Yucatán. Esta característica se refleja no sólo en la granulometría de las playas, sino también en ambientes sedimentarios de la plataforma continental nerítica. Se reconoce al sistema de Laguna de Términos como el centro de esta frontera sedimentaria.
15. La dinámica de las interacciones ecológicas estuario-mar en el Golfo de México depende de la fisiografía e hidrodinámica costera, condicionada por la geomorfología y los pulsos climático-meteorológicos.
 16. La estructura funcional de los ecosistemas lagunares-estuarinos a lo largo del gradiente latitudinal desde el delta del río Bravo hasta la costa Caribe de México, sugiere tres regiones: a) una región distintiva desde la Laguna Madre de Texas/Tamaulipas hasta la Laguna de Tamiahua Veracruz, pudiéndose prolongar hasta el centro-norte del estado de Veracruz, b) otra región desde la Laguna de Alvarado y delta del Papa-loapan en Veracruz hasta la Laguna de Términos y los Pantanos de Centla delta Usumacinta/Grijalva en Tabasco y Campeche y c) la costa norte y oriental de la Península de Yucatán. Los niveles de productividad primaria acuática, presupuesto climático de agua, gradientes físico químicos y estructura trófica, se correlacionan con estas regiones.
 17. Por el perfil de ecosistemas contrastante pero representativos de la zona costera del Golfo de México, se sugieren cuatro categorías: a) sistemas lagunares-estuarinos semiáridos (Laguna Madre de Texas/Tamaulipas, y Laguna Celestún en Yucatán), dominados por procesos marinos y limitado drenaje fluvial, b) sistemas intermedios no dominados por ríos (Laguna de Tamiahua en Veracruz), c) sistemas dominados por ríos (Laguna de Alvarado delta del Papaloapan en Veracruz, Pantanos de Centla delta Grijalva/Usumacinta en Tabasco, Laguna de Términos delta Usumacinta en Campeche), dominados por procesos costeros y gran aporte fluvial, expresando un delta progradante y amplia pluma estuarina sobre la plataforma continental y d) sistemas kársticos del litoral Caribe (Laguna arrecifal Puerto Morelos y Sistema lagunar de Sian Ka'an en Quintana Roo), dominados por procesos marinos y con aporte freático de agua dulce.
 18. El presupuesto climático del agua, la descarga de ríos, el tiempo de residencia de la zona de mezcla, la concentración de nutrientes y fertilizantes y la eficiencia del entrampamiento de sedimentos, sugiere que los sistemas lagunares-estuarinos estudiados en la zona costera del Golfo

ANEXO 6
MATERIALES Y METODOS

Chevrolet ganará posiciones como marca global



Una nueva filosofía de marca dirigida a colocar a Chevrolet entre las 10 primeras en la industria automotriz global, está desarrollando General Motors en todo el mundo. La estrategia incluye un proceso de transiciones durante las cuales se producirán nuevos lineamientos gráficos en el desempeño y ejecución de las acciones que involucran a la marca.

“En los últimos 10 años la industria ha venido cambiando. Hay otras marcas y otros mercados incidiendo en el comportamiento del mercado, y en esos cambios también está involucrada la marca Chevrolet”, indica Luis Alberto Pérez, Gerente de Mercadeo de General Motors Venezolana, al tiempo que explica como la Corporación se alineó de otra manera en torno a la marca Chevrolet, que de comercializarse en 71 países en 2002 pasó a tener presencia en 140 países con un 63% de las ventas fuera de Estados Unidos, y cuenta con productos globales como el Cruze y el Orlando.



“El objetivo es colocar a Chevrolet entre las primeras 10 marcas en todo el mundo en los próximos 10 años. Bajo el concepto de “El poder del ingenio” hemos desarrollado una identificación que nos permite construir una marca global”, agrega Pérez mencionando la asociación de la marca Chevrolet con productos aspiracionales para el consumidor. “El Poder del ingenio”, procura comunicar la tecnología y las innovaciones que ofrecen los productos Chevrolet.

La idea es que el consumidor desee tener un vehículo de la marca Chevrolet, una marca centenaria que ha hecho aportes importantes para el automóvil. En este punto, Pérez indica que Chevrolet fue el creador del primer radio, la primera caja automática y en el caso de Venezuela es la única marca que tiene un servicio Infotainment como ChevyStar. “De lo que se trata es de que el cliente sienta y vea el valor agregado que hay en los productos Chevrolet, como por ejemplo el ChevyStar que le permite incluso controlar el carro desde el celular o abrir las puertas si las llaves se le quedan dentro. Esa es una experiencia positiva para los clientes”, enfatiza.



En este punto el Gerente de Mercadeo de GMV destaca que Chevrolet tiene productos globales con diseño y tecnología con altos estándares y un elevado índice de clientes satisfechos. “En Venezuela, Chevrolet tiene el portafolios más completo del país, que va desde el Spark hasta la camioneta

Tahoe, cubriendo todos los segmentos. Chevrolet es la marca más fuerte en Venezuela y en la región con importantes ventajas competitivas. No discriminamos status. Chevrolet es una marca masiva y el trato es igual para todos los clientes. Con el portafolio amplio lo que queremos es darle la mayor cantidad posible de opciones y beneficios a los consumidores. En Venezuela, por ejemplo un cliente que compra un Spark recibe un vehículo con todos los beneficios de la marca, como por ejemplo el ChevyStar. La idea es que quien maneja un Chevrolet, desde un Spark hasta una Tahoe tenga una experiencia positiva con la marca”, asegura Pérez, quien indica que tanto el Cruze como el Orlando son vehículos de nueva generación pensados como productos muy globales que representan la filosofía de esta nueva estrategia, y destaca que también hay cambios en los lineamientos gráficos con un nuevo corbatín, que sigue siendo el mismo pero tiene otra proyección. “Cruze y Orlando traducen ese espíritu de la marca que queremos comunicar”.

“Este paso que se está dando es una gran inspiración para desafiarnos, buscar soluciones creativas, innovaciones y mejoras en todo lo que hacemos, bien sea en las actividades del día a día o en nuestros productos y servicios, para ser cada vez más competitivos y fuertes en el mercado, manteniéndonos así como la principal opción de los clientes”. En Venezuela, Chevrolet ha sido la número uno del mercado nacional por 33 años



ininterrumpidos, lo que ha convertido a la marca del corbatín en un ícono de liderazgo. Esta evolución también se enfoca en seguir colocando a disposición de los clientes el más amplio portafolio de productos Chevrolet y en ofrecer la mejor atención en la red de concesionarios más grande del país, para así hacer que los clientes vivan una experiencia inolvidable con la marca. La actualización gráfica y visual ya está presente pero se podrá observar más intensamente a partir de julio en toda la red de concesionarios y en la publicidad expuesta a través de los diversos medios de comunicación.

ANEXO 7
MATERIALES Y METODOS

Cómo actuar ante la baja de octanaje de la gasolina



Alberto Araujo. Redactor

La elección de gasolina súper, la mejora de hábitos de conducción y la disciplina en el mantenimiento previenen daños del motor.

El **cambio de octanaje** en las gasolinas anunciado por **Petroecuador**, debido a la paralización de la **Refinería de Esmeraldas**, genera preocupación entre los usuarios por posibles **efectos negativos en los autos**.

La empresa estatal informó hace dos semanas que la Agencia de Regulación de Hidrocarburos (Arch) autorizó la **variación en dos octanos** de las **gasolinas** que se comercializan en el Ecuador: extra y súper.

Funcionarios del Régimen indicaron que **no habrá efectos negativos** en los vehículos porque las gasolinas mantendrán bajos niveles de azufre y también de emisiones de gases. Actualmente, la gasolina extra tiene 87 octanos mientras que la gasolina **súper tiene 92**.

Sin embargo, catedráticos y expertos en mecánica automotriz advierten que una reducción en el octanaje de la gasolina **aumenta el riesgo de detonaciones** prematuras, conocidas también como el 'cascabeleo' del motor.

Por ello, recomiendan el uso de la gasolina de mayor octanaje y **mayor rigurosidad** y disciplina en cuanto mantenimiento del automotor.

El **octanaje es la capacidad antidetonante** de la gasolina cuando se comprime dentro del cilindro del motor. Mientras la relación de compresión de un motor es mayor también es mayor su eficiencia y potencia (ver infografía).

Pero esto también incrementa el **peligro de que se produzca el 'cascabeleo'** y se **reduzca la potencia** y eficiencia del motor. Ahí el octanaje controla el problema. El mayor octanaje de las gasolinas se refleja en un aumento de la eficiencia, sobre todo en motores de inyección.

El técnico del Laboratorio de Motores de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Espe, Alberto Naranjo, explica que el primer paso es **escuchar con atención el motor** una vez que se implemente la variación del octanaje en la gasolina. Advierte que en caso de que el usuario escuche que su motor comienza a "cascabelear", debe entonces tomar medidas.

Según Naranjo, en caso de registrarse ese problema, se debe elegir siempre la gasolina súper en lugar de la extra y **cambiar sus hábitos de conducción** (ver puntuales).

Lo anterior puede generar un cambio en la demanda de **combustibles** en el país. Según representantes de la Cámara Nacional de Distribuidores de Derivados de Petróleo, entre el 2012 y el 2013 el **consumo de la gasolina extra subió un 6,1%** mientras que el consumo de la gasolina súper bajó 5,1%. Esto se explica por el aumento del octanaje en la gasolina extra.

Naranjo también indica que **se pueden usar aditivos** para mejorar el octanaje. Sin embargo, advierte que este uso no debe ser habitual sino más bien esporádico, porque los **aditivos** están compuestos de químicos que pueden generar reacciones negativas en los componentes del motor.

El consultor automotriz Édison Yáñez opina que hay aditivos que limpian el motor y los potencializan adecuadamente. Pero advierte que desde enero pasado estos productos han tenido problemas en ingresar al país a causa de la **restricción de las importaciones**. Añade que una variación negativa del octanaje de la gasolina también producirá **más residuos en el motor** por lo que los mantenimientos pueden volverse más seguidos.

El experto en mecánica automotriz Alexis Ortiz, insiste en que los **usuarios deben volverse más estrictos** y disciplinados en realizar los mantenimientos de los vehículos.

La razón: al bajar la calidad de las gasolinas, sumado a factores como la altura y los cambios de temperatura bruscos en la Sierra, pueden provocar que el motor sea más sensible.

Consejos

Escuche el motor de su vehículo para identificar si este registra detonaciones prematuras conocidas como 'cascabeleo'. Este puede provocar deterioro en los pistones y las válvulas del motor y en el largo plazo reducir su vida útil.

Elija la gasolina súper en caso de que el motor de su vehículo comience a "cascabelear". Esta gasolina es la que tiene mayor octanaje en el país y su uso puede corregir problemas de detonaciones prematuras.

Mejore su forma de conducir para evitar y corregir el cascabeleo de su motor. Cuando acelera de manera brusca la reacción del motor es más lenta y se produce el cascabeleo. Si el motor cascabelea, baje la marcha.

Adelante los cambios de aceite. Mientras dure la variación de octanaje, cambie el aceite con más frecuencia. Si la etiqueta indica 5 000 kilómetros, cámbielo a los 4 000. Y si dice 3 000 cámbielo a los 2 500.

No alargue los cambios de componentes del motor como las bujías. Estas deben cambiarse en los motores cada 10 000 kilómetros. No se pase de este límite porque puede provocar daños en el motor.

Los filtros de aceite y de combustibles deben ser cambiados a los 10 000 kilómetros. No alargue este cambio. De lo contrario el motor puede sufrir daños porque estará más sensible debido a la variación del octanaje de gasolina.

En contexto En el 2012, el Gobierno incrementó el octanaje de las gasolinas en el país. La gasolina extra subió de 81 a 87 octanos y la gasolina súper de 90 a 92 octanos. Adicionalmente, se redujeron las partículas de azufre en el combustible que contamina el ambiente.

ANEXO 8
MATERIALES Y METODOS

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

9

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
AGROINDUSTRIA

PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN
LA EMPRESA MUEPRAMODUL CIA. LTDA.

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

BAYRON ESTUARDO RUIZ PASQUEL
bayronruizpasquel@gmail.com

DIRECTOR: ING. FRANCISCO QUIROZ CHÁVEZ
francisco.quiroz@epn.edu.ec

Quito, Marzo 2011

CAPÍTULO 2

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. ESTADO DEL ARTE DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA EMPRESA

Existe una combinación de variables y factores que condicionan un proceso y que pueden ser agrupados en lo que se conoce como las 5M's⁽¹⁾:

MANO DE OBRA: Respecto de este factor, Muepramodul dispone de personal con mucha experiencia en su trabajo y que ha recibido entrenamiento en diversos temas, lo que representa una fortaleza de la organización; sin embargo, también se ha podido apreciar en algunos casos resistencia a la aplicación de nuevos conceptos por parte del personal más antiguo y en algunos casos existen paradigmas de la industria que son difíciles de romper, como es por ejemplo el estar convencidos que la empresa está funcionando óptimamente y que ya no es posible disminuir el desperdicio.

MATERIALES: La empresa trabaja con buenos proveedores locales de sus materias primas, garantizando calidad de sus productos a sus clientes. Los proveedores de MDF, que es la materia prima más importante de la empresa, disponen de sistemas de gestión que garantizan la calidad de los productos y el cumplimiento con estándares⁽²⁾; los productos de estas empresas están muy bien posicionados en cuanto a calidad, en el mercado local, inclusive en el internacional.

MÉTODO: Los procedimientos que maneja la empresa, son los comunes para industrias que fabrican muebles de cocina, closets y baños; sin embargo, desde el punto de vista de prácticas operacionales y de Producción más Limpia, existen

oportunidades que permitirían disminuir el impacto ambiental de sus actividades y los costos de producción, elevando la productividad de la empresa.

Al momento existen muchas metodologías cuya aplicación permite mejorar los resultados de productividad, ambientales, de seguridad, etc. y que podrían ser consideradas por la empresa, como son: Six Sigma, Lean Manufacturing, Hoshin, ISO 14000, OHSAS 18000, etc.

MEDIO AMBIENTE: Se puede apreciar que el proceso productivo de la empresa se realiza bajo condiciones ambientales controladas que incluyen la extracción adecuada de polvo y aserrín, cortina de agua para el proceso de lacado, entre otros. En general, las condiciones ambientales son buenas para garantizar la calidad de sus productos; existirían oportunidades en las áreas de lijado y lacado, pero más bien corresponderían a cambios tecnológicos.

La empresa ha dotado de los equipos de protección personal a sus colaboradores, de acuerdo con los riesgos relacionados con sus actividades; entre el equipo de protección se pueden citar: mascarillas, cinturones antilumbago, taponos de oídos, orejeras y botas de seguridad.

MAQUINARIA: Muepramodul dispone de máquinas industriales relativamente nuevas en algunos de sus procesos y que corresponden a tecnologías de años posteriores al 2003, como es el caso de la máquina escuadradora horizontal. Al momento sin embargo, existen tecnologías más avanzadas que mejoran la productividad, como es el caso de la escuadradora vertical de la figura 1, en relación a la correspondiente de Muepramodul.

El avance tecnológico hace que la maquinaria vaya quedando obsoleta, aunque en algunos casos, los cambios son más bien de software que maneja la máquina y que permite un funcionamiento más óptimo.

Para el caso de Muepramodul, se está utilizando el software de la máquina que permite un mejor aprovechamiento de los tableros, pero de una manera parcial;

la dificultad radica en el costo que involucra integrar nuevos módulos que optimicen el funcionamiento de la misma. Además, existe una curva de aprendizaje del operario, cuando se integra una máquina nueva.

A continuación se pueden apreciar algunas máquinas modernas relacionadas con la industria:



Figura No. 2: Máquina Escuadradora Vertical

La escuadradora es una máquina que permite hacer cortes de tableros de acuerdo con medidas establecidas. Existen escuadradoras verticales y horizontales; cada una de ellas tiene sus beneficios y limitaciones.

En el caso de las escuadradoras verticales, existe mayor facilidad para el trabajador, pero no se pueden cortar demasiados tableros al mismo tiempo. En el caso de la escuadradora horizontal, se pueden hacer cortes de varios tableros al tiempo y la tecnología actual requiere de menor participación del empleado, ya que la máquina hace el trabajo.

Muepramodul cuenta con una escuadradora vertical antigua y una escuadradora horizontal moderna.



Figura No.3: Sierra Circular – Escuadradora



Figura No. 4: Máquina Pegadora de Cantos Rectos y Curvos

La pegadora de cantos es una máquina que permite pegar los bordes de caucho en los filos de los tableros, mejorando su apariencia cuando ya están instalados. Esta labor anteriormente era manual, con todos los problemas que ello representaba, pero actualmente se logra un excelente terminado y una productividad elevada con este tipo de máquinas.

Concluyendo, sobre el estado de arte en Muepramodul, se evidencia que es una empresa que está aplicando varias herramientas orientadas al mejoramiento de sus procesos, para el efecto, dispone de personal entrenado y con experiencia, tecnología nueva en la mayoría de sus procesos, métodos y procedimientos aprobados, utiliza materias primas de calidad y dispone de infraestructura y medio ambiente adecuados. Existen debilidades en la utilización más óptima de su tecnología, mejorar la competencia de su personal y mantener prácticas de mejoramiento continuo de sus procesos.

2.2. RELACION CON EL ESTADO ACTUAL DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA EMPRESA Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Como fue explicado anteriormente el proceso productivo está influenciado por 5 factores principales que corresponden a las 5 M's: mano de obra, materiales, método, maquinaria, medio ambiente.

En lo que se refiere a la mano de obra, Muepramodul dispone de personal con conocimiento y experiencia. La debilidad más visible es la edad de varios de los colaboradores que genera resistencia a las nuevas ideas y un poco de lentitud en el aprendizaje y aplicación de conocimientos nuevos. Vale indicar que la predisposición y apoyo de los mismos durante el desarrollo del programa ha sido destacable.

En lo que respecta a los materiales la empresa en general se preocupa por cuidar la calidad de la materia prima que utiliza; sin embargo, en algunas ocasiones y de acuerdo con la opinión de varios colaboradores, han tenido que trabajar con materia prima de menor calidad; esto es eventual y ha obedecido a dificultades en la consecución de materias primas.

En lo que se refiere al método, la empresa sigue un lay out de planta muy apegado a su proceso productivo actual, sin embargo, es recomendable realizar

ANEXO 9
MATERIALES Y METODOS

¿CÓMO TE BENEFICIARÁ LA ASISTENCIA TÉCNICA PARA LOS EQUIPOS DE DIAGNÓSTICO AUTOMOTRIZ ?

Una excelente asistencia técnica contribuirá notablemente en la rentabilidad de tu negocio.

Si perteneces al **Sector Automotriz** y de Transporte (especialmente para los Vehículos de **Tanques de Diesel**) y estas dispuesto a mejorar el funcionamiento de los equipos con los que prestas servicio; entonces simplemente mi deseo es **AYUDARTE**.

El objetivo de este sitio web es muy sencillo: **AYUDAR** al empresario del sector automotor para que sus **Equipos de Diagnóstico Automotriz** funcionen en óptimas condiciones y al empresario del sector transporte, ayudarle a mantener en excelentes condiciones el **Sistema de Combustión Diesel** en sus vehículos, una buena limpieza en el **Tanque de Diesel** permitirá mejor combustión en el motor

Mi nombre es Juan Carlos González E, soy Ingeniero de Instrumentación y Control, especializado en **Equipos para Diagnóstico Automotriz**. Tengo 20 años de experiencia en este sector, a través de todo este tiempo me he especializado en la programación, reparación y calibración de equipos para diagnóstico automotriz, marca Bear, Rav, Sice, Sensors, Andros, Sirio, Sicam, Coats, Hunter, Arex, Reparación de Tarjetas Electrónicas, Instalación y Mantenimiento de líneas de inspección; instalación de software en Equipos Analizadores de Gases, equipos Alineadores de Dirección y analizador de motores marca Bear.



Presto servicio de capacitación en el manejo de Equipos para Diagnóstico Automotriz. Para optimizar la productividad de los operarios, es necesario que sean capacitados para que dominen correctamente los equipos que están produciendo, le puedo ayudar a capacitar su gente en el manejo de equipos, como Alineadores de Dirección, Balanceadoras, Analizador de Motores, Analizadores de Gases, chequeador del sistema eléctrico en un vehículo, entre otras.

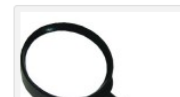
Si usted mantiene sus equipos bien calibrados garantiza y optimiza la productividad de su funcionamiento, ya que sus máquinas se encontrarán en excelentes condiciones técnicas de trabajo, minimizando futuras garantías en su servicio y que el equipo salga de servicio por fallas, ó daños ocasionados por suciedad, manipulación ó daños imprevistos.

Para que mantenga sus **Equipos de Diagnostico Automotriz** en óptimas condiciones, es necesario que usted traslade TODAS las preocupaciones de mantenimiento de sus equipos y capacitación de operarios a manos EXPERTAS, que le ayuden a generar soluciones técnicas viables.

Puede planear para sus equipos actividades de mantenimiento preventivo, que le incluya revisiones y verificaciones periódicas, rutinas de cambio de consumibles, lubricación de partes, calibración de rangos y otras tareas específicas de cada equipo.

Si aún no ha implementado un sistema de mantenimiento preventivo, puede iniciar con un servicio correctivo, donde se revisará cada equipo y se le realizará un diagnóstico individual para detectar y analizar fallas específicas, y poder realizar los ajustes necesarios para que el equipo continúe su funcionamiento adecuadamente.

Si eres empresario del Sector Automotriz ó de Transporte y quieres saber cómo hacer para que tus equipos funcionen mejor y que debes tener en cuenta para purificar el combustible de los vehículos con tanque diesel, suscríbete a mis boletines **GRATUITOS**, te estará enviando mensualmente información importante...,solo coloca tu nombre y correo.



ANEXO 10
MATERIALES Y METODOS

BLANK PAGE



PROTECTED BY COPYRIGHT

INEN

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2 203:2000

GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS
AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA
CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE EN
CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O "RALENTI".
PRUEBA ESTÁTICA.

Primera Edición

ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. AIR. MOTOR VEHICLES. DETERMINATION OF CONCENTRATION OF EXHAUST
EMISSIONS IN MINIMUM SPEED CONDITIONS OR RALENTI STATIC TEST.

First Edition

DESCRIPTORES: Emisión de gases, protección del medio ambiente, calidad de aire, método de ensayo.
MC 06.00.302
CCLC 952.75
CIEJ 7516
ICS 13.040.50

CDU: 662.75
ICE: 13.040.60



CIU: 3530
MC 08.06.362

Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria	GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE, VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE, EN CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O "RALENTI". PRUEBA ESTÁTICA.	NTE INEN 2 203:2000 2000-07
1. OBJETO		
1.1 Esta norma establece el método de ensayo para determinar la concentración de las emisiones provenientes del sistema de escape de vehículos equipados con motor de encendido por chispa, en condiciones de marcha mínima o "ralenti".		
2. ALCANCE		
2.1 Esta norma se aplica a los vehículos automotores cuyo combustible es gasolina.		
3. DEFINICIONES		
3.1 Para los efectos de esta norma se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 2204, y las que a continuación se detallan:		
3.1.1 Aislamiento electromagnético. Características del equipo de medición que impide la alteración en sus lecturas por cause de radiaciones electromagnéticas externas.		
3.1.2 Calibración de un equipo de medición. Operación destinada a llevar un instrumento de medida al estado de funcionamiento especificado por el fabricante para su utilización.		
3.1.3 Motor de encendido por chispa. Es aquel en el cual la reacción de la mezcla aire-combustible se produce a partir de un punto caliente, generalmente una chispa eléctrica.		
3.1.4 Gas patrón. Gas o mezcla de gases de concentración conocida, certificada por el fabricante del mismo, y que se emplea para la calibración de equipos de medición de emisiones de escape.		
3.1.5 Autocalibración. Es la rutina en la cual el equipo verifica el funcionamiento óptimo de todos sus componentes instrumentales y realiza una comparación con los patrones internos incorporados por el fabricante del mismo.		
3.1.6 Exactitud. Grado de concordancia (la mayor o menor cercanía) entre el resultado de una medición y un valor verdadero del mensurando.		
3.1.7 Repetibilidad. Grado de concordancia de resultados de sucesivas mediciones de la misma variable, realizadas en iguales condiciones de medida.		
3.1.8 Tiempo de calentamiento del equipo de ensayo. Es el periodo en segundos entre el momento en que el equipo es energizado o encendido y el momento en que cumple con los requerimientos de estabilidad, para realizar la lectura de la variable.		
3.1.9 Tiempo de respuesta del equipo de medición. Es el periodo en segundos que el equipo requiere para medir y entregar los resultados de los ensayos realizados.		
3.1.10 Sonda de prueba. Tubo o manguera que se introduce a la salida del sistema de escape del vehículo automotor para tomar una muestra de las emisiones.		
(Continúa)		
DESCRPTORES: Emisión de gases, Protección del medio ambiente, Calidad del aire, Método de ensayo		

NTE INEN 2 203

2000-07

	4. DISPOSICIONES GENERALES
4.1 Los importadores y distribuidores de equipos de medición de emisiones deben obtener una certificación de cumplimiento, expedida por la casa fabricante o propietaria del diseño del equipo o de un laboratorio autorizado por ella y avalada por la autoridad competente del país de origen. El procedimiento de evaluación base para certificar los equipos de medición a ser utilizados debe cumplir con la International Recommendation DINL R 99.	
4.2 Los importadores y distribuidores están obligados a suministrar copia de la certificación establecida en el numeral 4.1, a quienes adquieran los equipos.	
4.3 La autoridad competente, podrá en cualquier momento verificar la legalidad de las certificaciones presentadas por los importadores y distribuidores, sobre el cumplimiento de los requisitos establecidos en esta norma, así como las características de funcionamiento de los equipos y procedimientos utilizados para determinar la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o "ralenti", prueba estática.	
5. MÉTODO DE ENSAYO	
5.1 Fundamento.	
5.1.1 El principio de operación se basa en la absorción de luz infrarroja no dispersa de gases para la determinación de hidrocarburos, monóxido y dióxido de carbono.	
5.1.1.1 El oxígeno se mide utilizando una celda de combustible (fuel cell). Esto no excluye el uso de equipos con otro principio de operación, siempre y cuando sean homologados.	
5.2 Equipos	
5.2.1 Ver numeral 4, Disposiciones Generales.	
5.2.2 Capacidad de autocalibración. Los equipos de medición deben tener incorporada la función propia de autocalibración, la cual se debe realizar automáticamente cada vez que el equipo es encendido, o manualmente cada vez que el usuario lo requiera.	
5.2.3 Los equipos de medición deben contar con un dispositivo de impresión directa de los resultados y de la identificación del vehículo automotor medido.	
5.2.4 Los equipos deben contar con un tacómetro para la medición de las revoluciones del motor.	
5.2.5 El equipo debe disponer de características de seguridad que garanticen la protección del operador.	
5.3 Calibración	
5.3.1 La calibración del equipo se debe realizar siguiendo estrictamente las especificaciones de frecuencia del fabricante del equipo. En caso que éstas no estén disponibles, la calibración se debe realizar, como máximo, cada tres meses.	
5.3.2 El equipo se debe calibrar luego de cada mantenimiento correctivo.	
5.3.3 La calibración anterior es independiente de la autocalibración automática que realiza el equipo cada vez que es encendido.	
5.3.4 El gas de calibración debe cumplir con los requisitos establecidos en la norma ISO 6145. Este gas debe contar con una certificación emitida por el fabricante, de acuerdo con lo establecido en la norma anteriormente indicada.	
(Continúa)	

5.4 Procedimiento de medición

5.4.1 Antes de la prueba, realizar las verificaciones siguientes:

5.4.1.1 Someter al equipo a un periodo de calentamiento y estabilización, según las especificaciones del fabricante.

5.4.1.2 Retirar todo material en forma de partículas y eliminar toda sustancia extraña o agua, que se hayan acumulado en la sonda de prueba y que puedan alterar las lecturas de la muestra.

5.4.1.3 Revisar que la transmisión del vehículo esté en neutro (transmisión manual) o parqueo (transmisión automática).

5.4.1.4 Revisar que el control manual del chogador (choque), no se encuentre en operación, y que los accesorios del vehículo (luces, aire acondicionado, etc.), estén apagados.

5.4.1.5 Revisar en el vehículo que el sistema de escape se encuentre en perfectas condiciones de funcionamiento y sin ninguna salida adicional a las del diseño que provoque dilución de los gases de escape o fugas de los mismos. Las salidas adicionales a las contempladas en el diseño original no deben ser aceptadas, aunque estas se encuentren bloqueadas al momento de la prueba.

5.4.1.6 Si el vehículo no cumple con las condiciones establecidas en el numeral 5.4.1.5, la prueba no se debe realizar hasta que se corrijan aquellas.

5.4.1.7 Revisar que el nivel de aceite en el cárter esté entre el mínimo y máximo recomendado por el fabricante, con el motor apagado y el vehículo en posición horizontal.

5.4.1.8 Encender el motor del vehículo y verificar que se encuentre a la temperatura normal de operación.

5.4.2 Medición

5.4.2.1 Conectar el tacómetro del equipo de medición al sistema de encendido del motor y verificar las condiciones de marcha mínima o "talent".

5.4.2.2 Con el motor a temperatura normal de operación y en condición de marcha mínima o "talent", introducir la sonda de prueba en el punto de salida del sistema de escape del vehículo. Tener la seguridad de que la sonda permanezca fija dentro del sistema de escape mientras dure la prueba.

5.4.2.3 Esperar el tiempo de respuesta del equipo de medición dado por cada fabricante.

5.4.2.4 Imprimir las lecturas estabilizadas de las emisiones medidas.

5.4.2.5 Si, por diseño, el vehículo tiene doble sistema de escape, medir por separado cada salida. El valor del resultado final será la mayor lectura registrada.

5.5 Informe de resultados

5.5.1 El resultado final será la mayor lectura registrada de los valores de las lecturas obtenidas en el numeral 5.4.2.4.

5.5.2 La instrucción que realiza la prueba debe emitir un informe técnico con los resultados de la misma, adjuntado el documento de impresión directa del equipo de medición.

(Continúa)

APÉNDICE Z**Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR**

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2204:1998	Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina.
Norma ISO 6145-1:86	Gas Analysis Preparation of Calibration Gas Mixtures. Dynamic Volumetric Methods - Part 1 - Methods of Calibration.
International Recommendation OIML R 99.	Instruments for measuring vehicle exhaust emissions. International Organization of Legal Metrology.

Z.2 BASES DE ESTUDIO

Norma técnica colombiana (CONTEC 4230. Gestión ambiental. Aire. Determinación de la concentración de emisiones de escape, en condiciones de marcha mínima o "talent". Instituto Colombiano de Normas Técnicas, Bogotá, 1997.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN 2 203	TÍTULO: GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE ESCAPE EN CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O "RALENTI". PRUEBA ESTÁTICA.	Código: MC 06.06-302
ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio: 1998-02-17	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior por Consejo Directivo Oficialización con el Carácter de por Acuerdo No. de publicado en el Registro Oficial No. de Fecha de iniciación del estudio:	
Fecha de consulta pública: de _____ a _____		
Comité Interno del INEN: GESTIÓN AMBIENTAL. Fecha de iniciación: 1998-06-12 Fecha de aprobación: 1998-06-17 Integrantes del Comité Interno del INEN:		
NOMBRES:	INSTITUCIÓN REPRESENTADA:	
Dr. Ramiro Gallegos (Presidente) Ing. Enrique Troja Sr. Guido Reyes Sr. Arturo Arévalo Ing. Marco Navas Ing. Fernando Hidalgo (Secretario Técnico)	SUBDIRECTOR TÉCNICO DIRECTOR DE PROTECCIÓN AL CONSUMIDOR DIRECTOR DE DESARROLLO Y CERTIFICACIÓN DE CALIDAD DIRECTOR DE ASEGURAMIENTO METROLÓGICO DIRECCIÓN DE VERIFICACIÓN FÍSICA DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN	
Subcomité Técnico: GESTIÓN AMBIENTAL. Fecha de iniciación: 1998-09-24 Fecha de aprobación: 1999-02-25 Integrantes del Subcomité Técnico:		
NOMBRES:	INSTITUCIÓN REPRESENTADA:	
Ing. Jorge Jurado (Presidente) Ing. Pablo Urbán Ing. Jorge Medina Ing. Julio Salazar C. Ing. Eduardo Espín Ing. Jorge Montilla Ing. Ritha Burbano Tigo. Mauricio Barros B. Ing. Kléver Chávez Ing. Jorge Álvarez Myr. Henry Aalesto C. Myr. Carlos Naveda Ing. Marco Oleas Ing. Lucía Montenegro Ing. Marco González Sr. Suk-Jin Yun Kim Ing. Pablo Durango Ing. Edwin Tamayo Ing. Fernando Hidalgo (Secretario Técnico)	MUNICIPIO METROPOLITANO DE QUITO CINAE - AEADI CONLEP/ING. QUÍMICA (U.C.) PETROINDUSTRIAL MIDUVUSA CNNT DIRECCIÓN NACIONAL DE HIDROCARBUROS UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA (CUENCA) MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE MUNICIPIO METROPOLITANO DE QUITO COMISIÓN DE TRANSITO DEL GUAYAS COMISIÓN DE TRANSITO DEL GUAYAS GENERAL MOTORS - OMNIBUS BB FACULTAD DE ING. QUÍMICA (E.P.N) DIRECCIÓN NACIONAL DE HIDROCARBUROS AUTOMOTORES HINO COLEGIO DE INGENIEROS QUÍMICOS DE PICHINCHA COLEGIO DE INGENIEROS MECÁNICOS DE PICHINCHA INEN	
Otras materias: * Este norma sin ningún cambio en su contenido fue DESREGULARIZADA , pasando de OBLIGATORIA a VOLUNTARIA , según Resolución de Consejo Directivo de 1998-01-08 y oficializada mediante Acuerdo Ministerial No. 03 612 de 2003-12-22, publicado en el Registro Oficial No. 248 del 2004-01-09		
El Consejo Directivo del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2000-03-23		
Oficializada como: Obligatoria Por Acuerdo Ministerial No. 2000373 de 2000-07-03 Registro Oficial No. 115 de 2000-07-07		

Instituto Ecuatoriano de Normalización. INEN - Baquerizo Moreno ES-29 y Av. 6 de Diciembre
Cajón 17-01-3299 - Telfs: (593 2) 2 50 835 al 2 50 1801 - Fax: (593 2) 2 50 7815
Dirección General: E-Mail: general@inen.gov.ec
Área Técnica de Normalización: E-Mail: normalizacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Certificación: E-Mail: certificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Verificación: E-Mail: verificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail: servicios@inen.gov.ec
Regional Guayas: E-Mail: guayas@inen.gov.ec
Regional Azuay: E-Mail: azuaya@inen.gov.ec
Regional Cotacachi: E-Mail: cotacachi@inen.gov.ec
URL: www.inen.gov.ec

ANEXO 11
MATERIALES Y METODOS

¿ Que porcentaje de aditivos llevan los combustibles ?

Hola foreros, hay siempre en alza un gran debate sobre los combustibles suministrados por gasolineras de marcas conocidas como Repsol, BP, Campsa, etc... y las llamadas Low Cost.

De las refinarias que suministran a TODAS las gasolineras sale el combustible que ha cumplido una serie de pruebas, homologaciones y niveles de calidad minimas y luego éstos combustibles son aditivados por por cada fabricante.

La teoria de la diferencia de precio entre las gasolineras de marcas reconocidas y las de low cost, está en los servicios de la propia gasolinera (en las de low cost suelen tener menos empleados e incluso ninguno) ademas de la cantidad de aditivos que lleva el propio combustible.

La diferencia de aditivos también está en las propias gasolineras, en las que nos ofrecen diesel normal y diesel premium, y en el caso de la gasolina, gasolina de 95 octanos y 98 octanos.

¿ Se sabe el porcentaje aproximado de aditivos que se usan en los combustibles diesel normal y diesel premium ?

¿ El porcentaje de aditivos de una gasolinera de marca conocida y una lowcost ?

¿5%?

¿10%?

¿20%?

ANEXO 12
MATERIALES Y METODOS

Capítulo 1

Contaminación del aire y emisiones de automotores

1.1 Problemática de la contaminación del aire.

Uno de los fenómenos más importantes que experimentó México en el siglo XX fue la creciente urbanización de su población, pasando de ser una sociedad rural a una predominantemente urbana. En general se sabe que la población urbana en México es cercana al 75%. Actualmente el patrón de asentamientos humanos del país se caracteriza por una fuerte concentración de la población en unos cuantos centros urbanos, con muchas similitudes en apariencia física, y que son asediados por los mismos problemas de empleo, alojamiento, transporte y calidad del medio ambiente, (INEGI, 2001).

En este esquema, la movilidad a todos los niveles es la base de la estructura urbana. El transporte de bienes y personas en vehículos equipados con motores de combustión interna garantizan, sobre máximos niveles de tránsito y tiempo requeridos, la integración entre las distintas actividades y zonas de la metrópoli, permitiendo cada vez más la expansión urbana hacia los sectores externos que albergan zonas industriales y residenciales. Lo que en principio parece ser el eje que mueve a las ciudades para el desarrollo de sus moradores, trae problemas de deterioro medioambiental y humano que cuestionan y minimizan la calidad de vida buscada, (Carrasco y Alavedra, 2000).

Debido al elevado número de personas que habitan en las grandes ciudades, la contaminación atmosférica es el mayor problema de riesgo a la salud y daño ambiental que enfrenta la sociedad actualmente. Este problema se agrava, entre otras causas, por el rápido aumento en el parque vehicular, la actividad fabril y la prestación de servicios que demandan en conjunto grandes cantidades de energía, proveniente en su mayoría de los combustibles fósiles, que generan en consecuencia un volumen importante de emisiones contaminantes y otros subproductos que se forman en la atmósfera, (OECD, 1996).

Los altos niveles de contaminación del aire urbano, son responsables de efectos adversos a la salud, cuya seriedad puede oscilar desde malestares respiratorios hasta carcinogénesis. Los efectos de las emisiones totales de los automotores contribuyen significativamente en el deterioro a la salud, como resultado de la exposición al ozono troposférico, el monóxido de carbono, las partículas y compuestos tóxicos en el ambiente. El ozono urbano ha sido uno de los contaminantes persistentes de mayor preocupación, (NRC, 2000).

En los años recientes se han logrado avances en la reducción y control de algunos de los contaminantes primarios emitidos por los automotores, entendiendo mejor los fenómenos asociados a su generación, evaluando la efectividad de las medidas y estableciendo controles, que se reflejan en menores niveles de concentración en el aire; sin embargo, la contaminación atmosférica continúa recibiendo una gran atención, debido a que los esfuerzos globales para lograr los estándares de calidad del aire han fallado en algunos casos y persisten los problemas tradicionales de la niebla fotoquímica, (OECD, 1996).

1.2 Calidad del aire

Las políticas de calidad del aire y las normas que establecen las concentraciones máximas permisibles de contaminantes están dirigidas generalmente a proteger en un sentido amplio y en forma prioritaria la salud humana, con un margen de seguridad adecuado. Los contaminantes de interés para la calidad del aire se dividen en primarios y secundarios. Los contaminantes primarios son aquellos que se emiten directamente a la atmósfera e incluyen al monóxido de carbono, el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno, el plomo y los hidrocarburos. Las concentraciones en el ambiente de tales contaminantes se relacionan directamente con sus fuentes emisoras. Los contaminantes secundarios son aquellos que se forman en procesos atmosféricos, incluyendo las reacciones químicas y fotoquímicas, y las de condensación, (Manahan, 1994).

El ozono en particular es un contaminante secundario que se forma por acción de la luz solar y las reacciones fotoquímicas que involucran a los compuestos orgánicos volátiles (compuestos orgánicos que contienen carbón combinado con otros elementos,

comúnmente hidrógeno, oxígeno y nitrógeno) y los óxidos de nitrógeno, provenientes en un alto porcentaje de los automotores, (Manahan, 1994).

La presencia de contaminantes en la atmósfera puede en algunos casos percibirse con facilidad, particularmente por la reducción de la visibilidad en las grandes ciudades. Sin embargo, más allá de la percepción cualitativa, es necesario conocer cuantitativamente las concentraciones de los contaminantes denominados "criterio" (ozono, monóxido de carbono (CO), bióxido de nitrógeno (NO₂), plomo, bióxido de azufre (SO₂) y partículas), como una medida de la "calidad del aire" que se tiene en determinada región, (Manahan, 1994).

El monitoreo sistemático de la calidad del aire en el Valle de México, por medio de la red automática de monitoreo atmosférico, se inició de manera formal a mediados de la década de los ochenta, como resultado de los primeros episodios de contaminación atmosférica. Años más tarde se extendió a las ciudades de Guadalajara, Monterrey, Toluca, Ciudad Juárez, Tijuana y Mexicali. (INE, 2000).

El análisis de las tendencias de la calidad del aire en el tiempo permite inferir si existe un problema de deterioro creciente o una mejoría paulatina para cada uno de los contaminantes estudiados, así como la efectividad de las medidas enfocadas a su control. Adicionalmente al estudio de la evolución histórica que tiene la presencia de contaminantes en el aire, también es importante establecer los periodos que las personas están sujetas a concentraciones que ponen en riesgo su salud. En el Cuadro 1.1 se ilustra en forma resumida la tendencia observada en el año de 1999, como resultado de la comparación entre los niveles de los contaminantes denominados criterio y las normas correspondientes para las ciudades mencionadas, (INE, 2000).

El análisis de este tipo de información, en espacio y tiempo, para obtener un diagnóstico de la calidad del aire, así como la identificación de las fuentes que producen su deterioro, entre otros datos, han permitido elaborar programas integrales para cada una de las ciudades mexicanas antes señaladas, los cuales constituyen hoy en día un esfuerzo importante para establecer un programa formal de control de la calidad del aire, específico para la ciudad donde se aplica, en virtud de que los niveles de contaminación son diferentes en cada una de ellas, (INE, 2000)

Cuadro 1.1. Frecuencia de días por año que rebasan los límites de la norma de calidad de aire, 1999 (Por ciento)

Zona Metropolitana	Ozono	PM ₁₀	NO ₂	SO ₂	CO
Valle de México	82.2	5.8	5.2	0.0	0.5
Guadalajara	16.2	30.5	3.6	0.0	2.2
Monterrey	3.6	25.0	0.0	0.0	0.5
Valle de Toluca	9.6	16.3	0.0	0.0	0.0
Ciudad Juárez	2.8	16.4	-	0.0	3.1
Tijuana	0.3	6.0	0.3	0.0	0.0
Mexicali	8.0	27.0	0.8	0.0	21.0

■ Problema reconocido
 ■ Problema potencial

Fuente: Instituto Nacional de Ecología, 2000

Las actividades que continuamente se realizan en las grandes ciudades, inherentes a su crecimiento urbano y demográfico, propician un incremento en el número de consumidores de energía. En este contexto, otro indicador particular de la posible evolución en la calidad del aire lo constituye el consumo de energéticos empleados en los sectores productivos, de transporte y doméstico, ya que en gran medida los contaminantes emitidos a la atmósfera son el resultado de la combustión de diferentes tipos de combustibles fósiles, principalmente derivados del petróleo.

El balance del consumo de combustibles proporciona información, no solamente de la actividad económica de la zona, sino también sobre la forma en que puede modificarse la calidad del aire. En términos generales, existe una relación entre el consumo de combustibles, el volumen de emisión de contaminantes y la calidad del aire en determinada región (INE, 2000)

En este contexto se sabe que en el Valle de México se consumieron en promedio 18.3 millones de litros de gasolina al día durante el año 2000 y circularon más de tres millones de vehículos, en tanto que el volumen total de energéticos para todos los sectores se aproximó a los 52.5 millones de litros equivalentes de gasolina, los cuales significaron aproximadamente el 15% de la energía consumida por el país en ese mismo año. (CAM, 2002)

1.3 Inventarios de emisiones

Otro instrumento importante en la gestión de la calidad del aire lo constituye el inventario de emisiones. La identificación de las fuentes que emiten contaminantes a la atmósfera se vuelve una actividad importante y a la vez compleja, que demanda la instrumentación y aplicación de métodos bien definidos que permitan estimar el tipo y la cantidad de contaminantes que se incorporan a la atmósfera. El inventario de emisiones a la atmósfera está formado por las estimaciones de todos los contaminantes provenientes de las industrias, los comercios y servicios, los hogares, los vehículos automotores, las aeronaves, los suelos y la vegetación, entre otros, (CAM, 1997).

Para estimar la masa total de contaminantes que se genera en una determinada región se emplean los factores de emisión de cada una de las actividades a inventariar, es decir, los kilogramos o gramos promedio de contaminante que se emiten por unidad de actividad o estrato vehicular. Por ejemplo, para obtener las emisiones de monóxido de carbono provenientes de los automóviles particulares, se multiplica el número de esos automóviles con el promedio diario de kilómetros recorridos, que a su vez se multiplica por los gramos de CO que emiten en promedio por cada kilómetro que recorren, (CAM, 1997).

Los factores de emisión son vitales para quienes toman decisiones al momento de diseñar las estrategias para reducir las emisiones en fuentes. Son precisamente los factores de emisión los que se modifican numéricamente y que en consecuencia impactan sobre los inventarios cuando se dan los cambios en las normas de emisión, se imponen especificaciones a los combustibles, se instalan sistemas de control de emisiones, se sustituyen combustibles o se dan cambios en los patrones de consumo de energéticos.

En la estimación de los inventarios de emisiones, las diversas fuentes de emisión se agrupan con base en la cantidad de información disponible. Los inventarios realizados para las ciudades mexicanas, consideran básicamente cuatro fuentes:

- Fuentes puntuales: sector industrial;

- Fuentes móviles: sector transporte;
- Fuentes de área: sector doméstico, comercial y de servicio;
- Fuentes naturales: suelos y vegetación, (CAM 1997).

Debido a que cada una de las fuentes señaladas considera un número importante de subsectores y a su vez cada uno de ellos está constituido por numerosos procesos, operaciones y tipos de transporte, en los años recientes el Instituto Nacional de Ecología, con el apoyo de la USEPA, desarrolló en México una metodología para elaborar inventarios de emisiones, considerando las condiciones particulares del país, lo que permite uniformar los criterios y métodos de estimación de las emisiones, para que los inventarios sean comparables en el tiempo y entre lugares diferentes, (INE, 2000).

En México las fuentes móviles agrupan a todos aquellos vehículos automotores que transitan por vías de circulación como calles, carreteras, caminos y avenidas. Como ejemplos se pueden mencionar a los automóviles, camionetas, camiones de carga, autobuses, tractocamiones y motocicletas, (CAM, 1997). Estos mismos se clasifican también por su capacidad de ocupantes y carga útil, así como por la tecnología utilizada para controlar sus emisiones, ya que el tipo y cantidad de los contaminantes depende del uso a que se destina el vehículo. Sin embargo, no está bien definida su agrupación y difiere del resto del mundo. En términos generales los motores a gasolina en México tienen una mayor aplicación en automóviles y vehículos de carga ligeros y medianos. Los motores a diesel se utilizan principalmente en autobuses y camiones de carga pesados, (AMIA, 2001).

1.4 Los automotores en la problemática de la contaminación atmosférica.

Debido al crecimiento del parque vehicular y las altas tasas de movilidad, los problemas serios de contaminación del aire han crecido como un fenómeno común de la vida moderna. Al finalizar el siglo XX la población vehicular en el mundo superó los 700 millones y muchos vehículos se concentraron inicialmente en las naciones altamente industrializadas, pero con el crecimiento de las áreas urbanas en los países en desarrollo, también éstas se encontraron rápidamente congestionadas por los automotores, (UNEP-OCDE, 1999).

Capítulo 2

Emisiones vehiculares y metodologías para la estimación de factores de emisión

2.1 Comportamiento de las emisiones en condiciones reales

El término *emisiones en condiciones reales* se utiliza para diferenciar entre las condiciones ambientales cuidadosamente controladas y limitadas de las pruebas de laboratorio, y las emisiones que se suceden en la calle bajo múltiples condiciones (temperatura ambiente, humedad, patrones de manejo variables, uso de accesorios y aire acondicionado del automóvil, características del combustible, ascenso y descenso por pendientes, condiciones del camino, etc.). (Wenzel *et al*, 2000).

El parque vehicular en condiciones reales está compuesto por una flotilla con amplias diferencias en la tecnología, el historial de su mantenimiento, así como eficiencia en los sistemas de control de emisiones que indudablemente genera una alta dispersión y variabilidad en las emisiones de los estratos que lo componen. Las emisiones se ven también afectadas por factores locales, tales como las condiciones meteorológicas, patrones de tránsito y frecuencia de uso. El desarrollo de predicciones futuras en las emisiones requiere de proyecciones de todas estas variables, (Faiz *et al*, 1997).

Por lo tanto, el análisis de la efectividad de las estrategias ambientales debería sustentarse en lo posible en la estimación de la reducción de emisiones en condiciones reales. De la misma forma, los inventarios de emisiones que son utilizados para la gestión de la calidad del aire deberían también representar las condiciones reales de las flotillas y sus característica, (Wenzel *et al*, 2000).

Los niveles de emisión de los vehículos en circulación son difíciles de predecir debido a que varían instantáneamente y en forma significativa, como resultado de los cambios súbitos en los modos de operación y carga a que se someten, el control errático por fallas, las temperaturas del motor y del catalizador, así como la calidad del combustible, (Sawyer *et al*, 2000).

Por otra parte, cuando los vehículos son nuevos, las emisiones expresadas en gramos por kilómetro son iguales o menores a las requeridas por las normas vigentes; sin embargo, conforme los automotores acumulan años y kilómetros, los sistemas de combustible y de control de emisiones se deterioran y los rangos de emisión puede ser muy amplios. (Bishop *et al*, 1996).

Muchos de los vehículos con altas emisores presentan frecuentemente daños en sus sistemas pero pueden retomar nuevamente a sus emisiones normales una vez que son reparados. Bajo estas circunstancias, se sabe que las emisiones de escape y evaporativas entre los vehículos en circulación presentan un alto sesgo o dispersión, de tal forma que un porcentaje reducido de vehículos podría contribuir con más de la mitad del total de las emisiones, (Bishop *et al*, 1996).

La complejidad para predecir las emisiones en los diversos estratos que componen el parque vehicular con una precisión razonable estriba en la alta variabilidad de las emisiones. La variabilidad en las emisiones vehiculares es una consecuencia de la forma en que se generan las emisiones y cómo son controladas. Por ejemplo, dos vehículos de la misma marca, año-modelo, tecnología y kilometraje acumulado pueden tener emisiones completamente diferentes al medirse con la misma prueba y patrón de manejo, (Bishop *et al*, 1993).

En estudios con datos provenientes de los programas de verificación vehicular en los EUA se ha observado que algunos modelos específicos de autos muestran en promedio bajas emisiones, mientras que otro alto porcentaje está por arriba de estos, (Wenzel *et al*, 2000). En general, los vehículos con altas emisiones tienden a presentar mayor variabilidad entre pruebas que los vehículos con bajas emisiones, (Bishop *et al*, 1996).

En un mismo vehículo puede haber también variabilidad en pruebas de emisiones repetidas debido a fallas en algunos componentes del sistema de control de emisiones, que además pueden ser intermitentes y por lo tanto, resultar en altas emisiones en un tiempo determinado, (Wenzel *et al*, 2000).

Como se estableció con anterioridad, desde 1989 y hasta la fecha, los vehículos de gasolina que se comercializan en México deben cumplir con normas que limitan sus emisiones al salir de fábrica. Sin embargo, conforme acumulan kilómetros sus emisiones tienden a incrementarse sin un patrón definido, ya que dependen en gran parte de la durabilidad que ofrece el fabricante en los sistemas de control de emisiones y el mantenimiento especializado que el propietario da al motor.

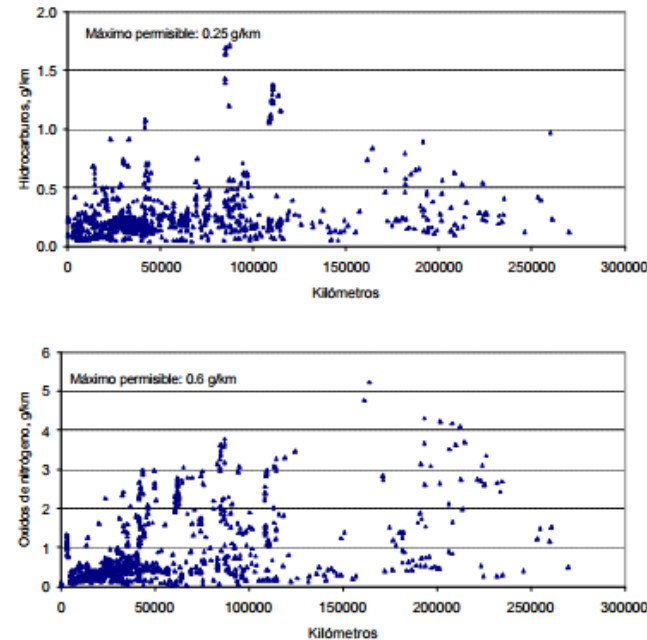
En países como el nuestro, donde no se tienen normas para garantizar el cumplimiento de los máximos permisibles de emisiones por un mínimo de kilómetros recorridos, el problema para estimar las emisiones es todavía más complejo. En tal sentido, los automotores pueden tener desperfectos que originan altas emisiones a escasos kilómetros de uso. En muchos casos las emisiones de dichos vehículos pueden ser comparables con las de los vehículos carentes de sistemas de control.

Los aspectos anteriormente mencionados crean incertidumbre en los modelos estadísticos para el cálculo de los factores de emisión, a pesar de que en su algoritmo de cálculo se incorporan un número importante de variables para tratar de reflejar la realidad, las cuales se describirán más adelante. Un ejemplo de la dispersión que presentan las emisiones medidas en laboratorio y que sirven de soporte para estimar las emisiones promedio por año-modelo, así como los factores de deterioro en modelos como el MOBILE se muestra en la Gráfica 2.1. Las emisiones corresponden a automotores con los mismos niveles permisibles de emisión al salir de fábrica. Los datos se obtuvieron de distintos estudios realizados en el Instituto Mexicano del Petróleo en 127 vehículos provistos de sistema de inyección de combustible y convertidor catalítico de tres vías, cuyas emisiones fueron medidas en varias ocasiones y a diferente kilometraje.

En dicha gráfica se aprecia que durante los primeros kilómetros de uso, un número importante de vehículos presenta emisiones por abajo de los límites señalados por la norma, pero conforme se incrementan los kilómetros, las emisiones crecen en diversas magnitudes, sin un patrón definido de deterioro. Asimismo, la variabilidad observada también depende del mantenimiento de los automotores o la sustitución de

componentes del motor, con lo cual es factible encontrar vehículos con bajas emisiones y alto kilometraje recorrido, que generalmente son los menos.

Gráfica 2.1 Emisiones de escape en pruebas de laboratorio
Vehículos año-modelo 1993-1998

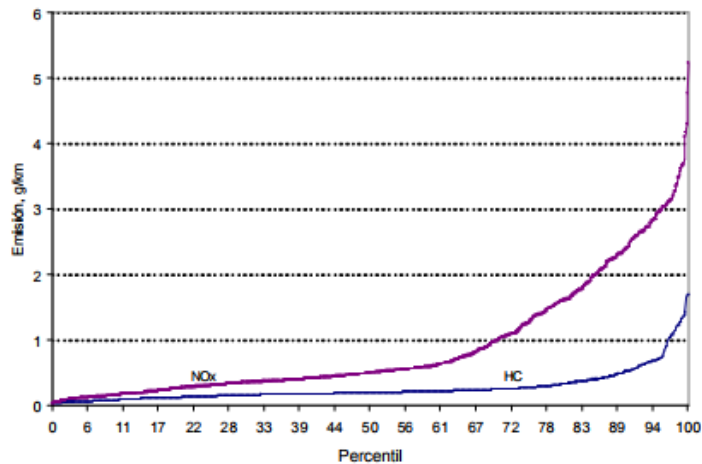


Fuente: Laboratorio de emisiones vehiculares, IMP

Por otra parte, al graficar la distribución de frecuencias acumuladas de las emisiones de HC y NOx de los mismos vehículos (Gráfica 2.2), se observa que aproximadamente el 40% de las mediciones realizadas se encuentran arriba de la norma y el último decil supera a ésta en una magnitud de más de dos veces para hidrocarburos y en más de

cuatro veces para NOx. Los datos reportados corresponden a un conjunto de vehículos probados en las condiciones que se reciben, así como al haberse inspeccionado y acondicionado para la prueba.

Gráfica 2.2 Distribución de emisiones de escape de vehículos 1993-98, en pruebas de laboratorio.



Fuente: Instituto Mexicano del Petróleo, 2002 Laboratorio de emisiones vehiculares

Aun cuando se trata de una muestra relativamente pequeña de vehículos, el comportamiento es comparable con el alto sesgo observado en la distribución de emisiones de muestras grandes de vehículos, donde la mayoría de automotores tienen relativamente bajas emisiones, mientras que un número relativamente pequeño de vehículos en malas condiciones tiene emisiones extremadamente altas, (Bishop *et al*, 1996). Para superar esta dificultad los analistas han utilizado convencionalmente las distribuciones logarítmica y gamma para modelar la forma de los datos de las emisiones vehiculares. La forma de la distribución de emisiones puede variar entre contaminantes, tipo de vehículos y edad de los vehículos, (Wenzel *et al*, 2000).

Debido a que en muchos de los casos las emisiones vehiculares siguen aproximadamente una distribución logarítmica o gamma, los intervalos de confianza para las emisiones promedio no son simétricos. Asimismo, las pruebas estadísticas, tales como la *t-Student*, que depende de la distribución normal de los datos, tampoco pueden utilizarse para determinar si hay diferencias significativas entre dos grupos de vehículos, aún cuando el tamaño de las muestras sea suficientemente grande. Además, las emisiones de diferentes contaminantes, o diferentes muestras de vehículos, podrían no necesariamente seguir el mismo tipo de distribución. Aunque es conocida la naturaleza del sesgo en la distribución de las emisiones vehiculares, no siempre se utilizan las herramientas estadísticas apropiadas para caracterizar la incertidumbre asociada con los niveles de emisión promedio, (Wenzel *et al*, 2000).

En resumen, la variabilidad e irregularidad en las emisiones vehiculares complica el desarrollo de modelos que representen su comportamiento en condiciones reales, así como la efectividad de los programas ambientales, en virtud del sesgo en la distribución de las emisiones de los vehículos en uso, la dificultad para obtener muestras estadísticamente representativas, la influencia de pruebas repetidas en substratos del parque vehicular, las diferencias entre los métodos comunes de prueba y los equipos de medición de los contaminantes.

2.2 Metodologías para la estimación de factores de emisión

Como se estableció con anterioridad, los niveles de emisión de contaminantes de los vehículos en circulación varían en función de las características de los vehículos y diversas variables que los modifican en magnitudes distintas. Un *factor de emisión* se define como el nivel promedio de emisión de un determinado contaminante para cada año-modelo de los diversos estratos que componen el parque vehicular, (Faiz *et al*, 1997).

Los factores de emisión para fuentes móviles se utilizan comúnmente en los estudios de impacto ambiental al planear la construcción de vialidades, así como en la estimación de los inventarios de emisiones para evaluar los programas de control de la contaminación atmosférica. El algoritmo de cálculo para la estimación de las emisiones generadas por los diversos estratos vehiculares que circulan en una determinada

ANEXO 13
MATERIALES Y METODOS

1. INTRODUCCIÓN Y METODOLOGIA

La estrecha relación entre el ambiente físico y la salud humana ha sido reconocida desde tiempos remotos, siendo los documentos antiguos más conocidos los escritos hipocráticos "Aires, aguas y lugares" escritos hace aproximadamente 23 siglos (Hipócrates, sf; citado en Buck et al., 1991). Sin embargo, en épocas más recientes el desarrollo agrícola y su relación con el proceso de urbanización y la Revolución Industrial, han sido algunos de los hechos que más han modificado las relaciones entre el ambiente y la salud (Barret R, Kuzawa C, McDade T, & Armelagos G,1998). Actualmente las condiciones sociales, culturales, económicas y de productividad han hecho que la relación ambiente-salud sea más compleja, requiriendo abordajes que integren el ambiente físico y el social (Idrovo, 2011b). Uno de éstos, descrito por Donohoe (2003) sirvió de marco conceptual a este informe; éste indica que la acción conjunta de la degradación ambiental y la injusticia social son los determinantes más importantes de la salud humana, teniendo entre sus manifestaciones el crecimiento poblacional, la contaminación del agua y del aire, la deforestación, el calentamiento global, las prácticas agrícolas y de pesca no sostenibles, el exagerado consumo de bienes, la desigualdad en el ingreso, las crisis económicas, la militarización y las guerras (Donohoe, 2003). Algunas de estas manifestaciones tienen impacto generalizado en el país, y pueden ser exploradas mediante comparaciones internacionales, y otras tienen impacto específico en zonas más delimitadas; estas últimas serán las que mayoritariamente son descritas en este informe.

Si bien desde finales del siglo XIX se ha postulado, cada vez con mayor insistencia, que el deterioro de los ecosistemas tiene como resultado un detrimento del bienestar de la humanidad, esto aún no ha sido completamente esclarecido debido a que existe evidencia contraria (World Health Organization, 2005a; Raudsepp et al., 2010). Según algunas evaluaciones empíricas recientes, el bienestar depende en una alta proporción de la disponibilidad de alimentos, la cual puede ser aumentada con la tecnología disponible; por otro lado, el deterioro ambiental sólo tendrá impactos negativos sobre el bienestar largo plazo (Raudsepp et al, 2010). Por ello, tener evidencia sobre el deterioro ambiental que ocurre en el país y tiene impacto sobre la salud humana resulta una prioridad nacional para tomar adecuadas decisiones.

1.1. Colombia en el contexto mundial

Colombia es un país privilegiado en su ubicación geográfica, con diversos climas gracias a las diferentes altitudes en una región cercana al paralelo del Ecuador, rico en recursos hídricos, minerales y biodiversidad (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 2012). Esta riqueza ha podido ser cuantificada con indicadores del desempeño ambiental, como el *Environmental Sustainability Index* (ESI) y el *Environmental Performance Index* (EPI) de la Universidad de Yale que, además, han ayudado a los tomadores de decisiones sobre las acciones prioritarias a seguir. El EPI es un indicador que tiene gran importancia para la salud ambiental, ya que por primera vez la incorpora con un peso porcentual (50% en el informe de 2010 y 30% en el informe de 2012) junto al componente de vitalidad del ecosistema (Emerson et al, 2012).

Según el último informe disponible de 2012 el indicador EPI global para el país es de 62.3, lo que lo ubica en la posición 27 a nivel mundial (132 países incluidos en el análisis), y segundo entre todos los países americanos, después de Costa Rica. Sin embargo, al evaluar los dos elementos principales se observa que su desempeño no es óptimo en salud ambiental, donde obtiene un puntaje de 55.5, lo que lo ubica en la posición 86 a nivel mundial. Esto contrasta con la riqueza ambiental, evidente en el indicador de vitalidad del ecosistema, donde obtiene un puntaje de 65.2 y ocupa la posición 11 entre todos los países (Emerson et al, 2012). En la siguiente tabla se resumen los indicadores que conforman cada uno de los dos elementos principales:

Tabla 1.1. Indicadores que permiten la construcción del Índice de Desempeño Ambiental (EPI) para Colombia en 2012.

Salud ambiental	Puntaje	Posición
Efectos de la contaminación atmosférica	64.7	72
Efectos de la contaminación hídrica	39.2	87
Carga de la enfermedad asociada al ambiente	59.2	88
Vitalidad del ecosistema		
Recursos hídricos	53.4	12
Cambio climático	72.8	16
Efectos de la contaminación atmosférica	61.1	25
Biodiversidad y hábitat	84.4	28
Pesca	30.3	38
Agricultura	46.9	82
Bosques	62.2	96

Nota: Fuente: Emerson JW, Hsu A, Levy MA, De Sherbinin A, et al. Environmental Performance Index and pilot trend environmental performance index. New Haven: Yale Center for Environmental Law and Policy;2012:1-98.

Este mismo indicador ha permitido evaluar la tendencia temporal en la última década, permitiendo concluir que Colombia ha mejorado en su desempeño ambiental. Solo cuatro países del continente americano, Nicaragua, México, Brasil y Guatemala, han tenido mejor desempeño que Colombia (Emerson et al, 2012).

De acuerdo con algunas estimaciones mundiales, para 1990 el ambiente era responsable de 25-33% del total de la carga de la enfermedad, afectando principalmente a los menores de cinco años de edad (WHO, 1997). También se sabe que los países más pobres tienden a tener enfermedades relacionadas con el ambiente del hogar, los países de ingresos medios tienden a tener más problemas ambientales relacionados con el ambiente de la comunidad, y que la contaminación ambiental de los países ricos son los que más impacto tienen sobre el ambiente global (Smith et al, 1999). Estudios posteriores han confirmado que el ambiente sigue siendo una causa prioritaria de la carga de la enfermedad (Ezzati M, Lopez AD, Rodgers A, Vander S, & Murray CJ, 2002) y que su disminución es posible dado que, por definición, son enfermedades evitables (Prüss & Corvalán, 2007) que conllevan un costo económico y social innecesario.

Al respecto, en Colombia hay dos análisis que han estimado los costos sociales y económicos del daño ambiental, dados por contaminación del aire urbano, contaminación de agua, sanidad e higiene, contaminación atmosférica intramuros, degradación de las tierras para la agricultura, desastres naturales y accidentes viales. En el primero de estos estudios (Larsen, 2004) los hallazgos sugirieron que los mayores costos anuales promedio se encuentran para los accidentes viales, seguido por los relacionados con el agua, sanidad e higiene, desastres naturales, contaminación del aire urbano, degradación de las tierras agrícolas y, finalmente, la contaminación atmosférica intramuros. En todos estos casos, los costos más altos se deben a daños físicos, seguidos por la morbilidad generada y, con menor costo, la mortalidad asociada (Larsen, 2004).

El segundo análisis (Golub E & Sánchez G, 2012) se enfocó exclusivamente en los costos asociados con la contaminación atmosférica, intra y extramuros, y los problemas relacionados con el consumo de agua no potable y la inadecuada sanidad e higiene. Los resultados sugieren que los costos llegan al 2% de producto interno bruto nacional de 2009, siendo la mayor parte relacionada con la contaminación atmosférica, seguido de los costos por agua no potable e inadecuada sanidad e higiene; la contaminación intramuros, ocupó el último lugar, aunque incluye la mayor parte de costos asociados al uso de combustibles sólidos que generan humo (principalmente de leña). Estos hallazgos son debidos a que Colombia se caracteriza por ser altamente urbanizado, lo que conlleva a que un alto porcentaje de la población se encuentre expuesta a fuentes industriales y de vehículos automotores (Golub E & Sánchez, 2012).

De otro lado, se ha descrito que las enfermedades parasitarias e infecciosas tienen un gradiente latitudinal, caracterizado porque éstas se presentan más en la zona intertropical y su ocurrencia va disminuyendo cuando se aleja del Ecuador y se acerca a los polos. Esta tendencia tiene fuerte correlación con la biodiversidad observada entre seres de vida libre,

como mamíferos, herbívoros y angiospermas que también privilegia la zona intertropical. Estos interesantes hallazgos se observan para enfermedades por bacterias, virus, helmintos, protozoos, artrópodos, hongos, micro-parásitos y macro-parásitos (Guernier V, Hochberg ME, & Guégan JF, 2004). Sin embargo, la relación entre mayor biodiversidad en la región intertropical y salud humana no se limita a enfermedades infecciosas, sino que también se ha observado en otras, como la salud mental. Recientes hallazgos sugieren que la biodiversidad en regiones fuera de la región intertropical tiene un efecto positivo en enfermedades como la depresión, mientras que en la zona intertropical puede tener efectos contrarios debido a que no se tienen condiciones mínimas de calidad de vida (Idrovo, 2011b; Duarte & Idrovo, 2012), lo que conlleva nuevamente a la compleja interrelación entre el ambiente social y físico (Donohoe, 2003) y sus ambivalentes efectos sobre la salud humana.

Además de estos datos que privilegian el territorio en tierra firme, es importante recordar que el territorio colombiano incluye una importante superficie marítima, tanto en el océano Atlántico como en el Pacífico. Al respecto, el nuevo indicador *Ocean Health Index* (OHI) (Hallen et al, 2012) permitió calificar a Colombia con un puntaje de 52, lo que ubica al país en el puesto 94 entre 171 países y territorios de todo el mundo. Este indicador resume 10 objetivos públicos que representan un amplio rango de beneficios que un océano saludable provee a la gente, como se señala a continuación:

Tabla 1.2 Indicadores que permiten la construcción del Índice de Salud Oceánica (OHI) (EPI) para Colombia en 2012.

Objetivo	Puntaje de	Puntaje promedio
	Colombia	Mundial
Oportunidad de pesca artesanal	85	87
Medios de vida y economías costeras	69	75
Biodiversidad	68	83
Aguas limpias	67	78
Protección costera	66	73
Almacenamiento de carbono	51	75
Sentido de lugar	48	55
Productos naturales	47	40
Provisión de alimentos	16	24
Turismo y recreación	0	10

Nota:Fuente: Halpern BS, Longo C, Hardy D, et al. An index to assess the health and benefits of the global ocean. Nature; Recuperado de: <http://www.oceanhealthindex.org/Countries/Colombia/> :2012;488:615-622.

Como se puede apreciar, Colombia en todos los indicadores está por debajo del puntaje mundial, excepto para el caso de los productos naturales. Esto quiere decir que hay

extracción sostenible de recursos no alimentarios del océano (excluyendo petróleo, gas y otros productos mineros, así como medicinas o genes) (Halpern et al, 2012). El resto de objetivos son un área de oportunidad para mejorar el desempeño ambiental nacional.

1.2. El dilema de la enfermedad ocupacional y ambiental en Colombia

Una de las evidencias más claras de los efectos negativos sobre la salud humana relacionados con el deterioro ambiental son las enfermedades ambientales. Caracterizar una enfermedad como asociada con el ambiente resulta crucial ya que visibiliza la posibilidad de prevenirla con acciones sobre el ambiente y no sobre los individuos o las poblaciones. Esto resulta fundamental dado el énfasis en cambios conductuales personales que guían gran parte de las políticas nacionales e internacionales en salud (Raphael et al, 2008).

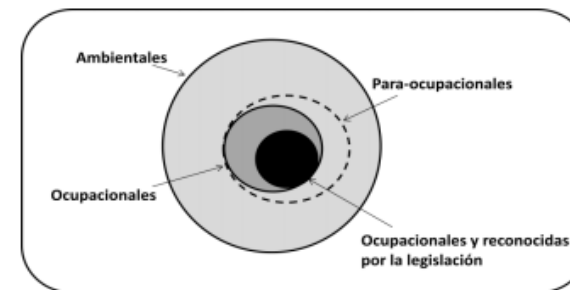
Desde la perspectiva de la salud ambiental es posible clasificar enfermedades de origen ocupacional y de origen extra-ocupacional (o del ambiente general), siendo las primeras caracterizadas por ocurrir luego de la exposición a agentes ambientales presentes en el trabajo. Si bien, este informe tuvo como objetivo caracterizar las enfermedades asociadas con el ambiente general, en muchos casos en Colombia no es claro cuándo una enfermedad es ocupacional o ambiental. Esto ha sido evidenciado al comparar la ocurrencia esperada de enfermedades ocupacionales (Idrovo, 2003) con los reportes oficiales de su ocurrencia (Ministerio de Salud y Protección Social, 2004), que sólo incluyen una mínima proporción del total esperado, incluso en estudios específicos sobre el tema (Ministerio de Salud y Protección Social, 2007).

La definición de enfermedad de origen ocupacional en Colombia no depende exclusivamente de la relación con la actividad laboral, sino que debe cumplir unos requisitos explícitos en la Ley 1562 de 2012, que involucran la inclusión del trabajador en el Sistema General de Riesgos Laborales (SGRL). Dada la alta proporción de trabajo informal en el país, evidenciada en las mediciones del empleo informal y seguridad social que hace el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), que suele estar fuera del SGRL, resulta importante que estas enfermedades sean incluidas como ambientales para que se mantenga así su condición de prevenible mediante acciones en el ambiente y no se considere enfermedad general cuya prevención puede depender de modificaciones personales, como son los cambios conductuales.

En la figura 1.1 se encuentra resumida la aproximación asumida en este informe. Como se puede apreciar, las enfermedades ambientales intentan delimitar las enfermedades que privilegian los factores de riesgo ambientales sobre otro tipo de factores de riesgo; en algunos casos esta delimitación es relativamente simple, pero para la mayoría de las enfermedades el origen es multicausal. En estos casos deben entenderse como aquellas donde el ambiente físico tiene un papel preponderante sobre otros factores de riesgo. Un grupo especial de las enfermedades ambientales corresponde a las enfermedades ocupacionales, las cuales se relacionan con trabajos específicos y un grupo intermedio es el

de las enfermedades para-ocupacionales que son enfermedades de origen ocupacional que ocurren en individuos allegados a los trabajadores (v.gr. familiares) y que implican alguna forma de diseminación del agente ambiental más allá del contexto laboral (Méndez M, et al, 2010). Esto es algo relativamente frecuente en ambientes de trabajo informal. Este informe no hace énfasis en las enfermedades ocupacionales reconocidas por el SGRL colombiano, y sólo fueron incluidos algunos casos en los cuales se presentan en ambientes de trabajo informal.

Figura 1.1. Las enfermedades ambientales y ocupacionales en el contexto del sistema de salud colombiano.



Fuente: El autor.

Esta diferenciación entre las enfermedades según su origen resulta importante para el país dada su organización sectorial. Las enfermedades de origen ocupacional, y reconocidas legalmente como tales, son responsabilidad primaria del Ministerio del Trabajo, y todas las demás son responsabilidad del Ministerio de Salud y Protección Social. Sin embargo, dado que la característica más importante de las enfermedades ambientales y ocupacionales son su potencial prevención en la fuente que origina la contaminación, en ese sentido también son responsabilidad del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Este tipo de división sectorial puede hacer que el sector informal de la economía se visibilice, por lo cual resulta en un reto muy importante para la salud ambiental y ocupacional en Colombia.

1.3. Poblaciones vulnerables y justicia ambiental

La estrecha relación entre la salud humana y el ambiente se manifiesta más frecuentemente en poblaciones que por características particulares, se encuentran en una situación de vulnerabilidad o susceptibilidad. Cuando fue posible, en este informe se presentan datos específicos para estas poblaciones. La vulnerabilidad, en el contexto de la

salud ambiental, puede entenderse como la característica de un sujeto de poder ser lesionado y de no tener la capacidad de defenderse. Algunas poblaciones han tenido especial atención en salud ambiental, y fueron tenidas en cuenta en este informe, como los menores de edad, las mujeres en edad reproductiva y los más pobres de las sociedades.

Los menores de edad han sido reconocidos como uno de los grupos que más se ven afectados por la contaminación ambiental (Landrigan et al, 2004). Ellos pueden exponerse desde la etapa prenatal por exposiciones de la madre, luego mediante la lactancia materna y, después a los agentes presentes en el suelo, aire, agua y alimentos (Mukerjee, 1999). La susceptibilidad de los menores es superior a la de los adultos; esto es debido al estadio de desarrollo en que se encuentran sus órganos y, en especial, al menor desarrollo del sistema inmunológico. Por ejemplo, suelen ser más susceptibles a los efectos de agentes neurotóxicos debido a que la barrera hemato-encefálica y la mielinización cerebral no ha llegado a su pleno desarrollo (Grandjean & Landrigan, 2006). En relación con su peso corporal, los menores de edad tienen una mayor tasa inhalatoria, y su ingesta de agua y leche, suelen ser superiores a las de los adultos (Mukerjee, 1999).

Las mujeres también son un grupo susceptible a las toxas ambientales (Wasserman, 1999; Gochfeld, 2007) tanto por condiciones biológicas (sexo) como por diferencias socioculturales con los hombres (género). Hay evidencias recientes que indican que existe una interrelación entre la genética, las relaciones de género y el ambiente que explican los diferenciales en exposición y efectos asociados con agentes ambientales (Ordovas, 2007). Por ejemplo, las manifestaciones tóxicas de los metales pesados diferenciales entre hombres y mujeres tienen explicaciones relacionadas al sexo y el género. Las mujeres presentan más alergias y eczemas por níquel; retienen más cadmio, por lo que presentan más severidad de enfermedad de itai-itai; movilizan plomo acumulado en hueso durante el embarazo y la menopausia incrementando los niveles séricos, y son más proclives a efectos inmunotóxicos del plomo. Los hombres tienden a tener mayores concentraciones de plomo y más susceptibles a evidenciar los efectos neurotóxicos (Vahter et al, 2007).

De otro lado, la población más pobre generalmente se expone a más factores ambientales (Rauh et al, 2008); este hecho puede explicarse desde las nociones de justicia ambiental. Por justicia ambiental se hace referencia a un conjunto de conocimientos interdisciplinarios procedentes de las ciencias sociales que enlazan de manera coherente marcos conceptuales del ambiente, ecología política, teorías de justicia, legislación ambiental, gobernanza, política y planeación ambiental, desarrollo, sustentabilidad, entre otras (Schlosberg, 2007). En diversos estudios alrededor del mundo, el marco de la justicia ambiental ha permitido entender mejor la intrincada relación entre contaminación ambiental y pobreza como determinante importante de la salud infantil (Cureton, 2011), la importancia que tienen las mujeres para promover la justicia ambiental y social (Gute et al, 2009), el adecuado manejo de la biodiversidad y la protección frente a la biopiratería (Mackey & Liang, 2012), así como sus interrelaciones con el cumplimiento de los Objetivos del Milenio promulgados por la Organización de Naciones Unidas (Mitra & Rodríguez, 2010). Este marco, como se verá más adelante, permitió comprender mejor, la forma en la cual el

2. RESIDUOS SÓLIDOS Y PELIGROSOS

La urbanización, considerada como proceso de concentración de la población en un número reducido de núcleos es junto a la modernización de la sociedad y la industrialización, uno de los fenómenos sociales característicos del siglo XX; especialmente la urbanización a gran escala que, desde mediados de siglo, se expandió a todos los continentes a un ritmo desconocido hasta entonces. El vivo desarrollo urbano ocurrió primero en los países industrializados y luego se extendió por los países de menor desarrollo económico, impulsando la polarización de sus recursos en unos enclaves privilegiados y, al mismo tiempo, el desarrollo desigual y la diferenciación interna de sus territorios y sociedades (Panadero, 2001).

Un número creciente de personas están habitando las ciudades cada vez más grandes. Estas comunidades de alta densidad poblacional plantean un reto especial en cuanto a la generación de residuos sólidos (Gary, 1999), llegando actualmente a representar uno de los retos más sobresalientes para la sociedad en su relación con el ambiente. Se estima que en el planeta se generan alrededor de 1600 millones de toneladas anuales de residuos sólidos (Angulo et al., 2010), con repercusiones ambientales tales como emisiones de metano y dióxido de carbono (Qdais et al., 2010), olores ofensivos en los rellenos sanitarios, contaminación atmosférica y de recursos hídricos (UN, 2010).

Si bien es cierto que desde que el hombre ha existido como especie se han generado residuos, la dinámica social cambiante que nos ha acompañado a lo largo de los siglos ha ido de la mano con la creciente generación de todo tipo de residuos que debido a inapropiadas y/o inexistentes técnicas de tratamiento, reutilización, reciclaje y disposición final han repercutido en el deterioro del medio ambiente y por ende en la calidad de la salud del hombre (Acurio et al., 1998).

Según Tchobanoglous (1998), los residuos sólidos comprenden todos los residuos que provienen de actividades animales y humanas, de carácter sólido que son desechados como inútiles o superfluos. La tasa de producción de los residuos sólidos de los países desarrollados y de los países en desarrollo aumenta a un ritmo sin precedentes. Los desechos que produce una ciudad son directamente proporcionales a su riqueza; los desechos de poca densidad contienen grandes cantidades de envoltorios, plásticos y papel que producen las sociedades prósperas; los desechos de gran densidad, que contienen un gran porcentaje de humedad, los

producen sociedades menos prósperas, situación que es preponderante en la gestión de residuos sólidos urbanos. Debe recordarse que los distintos tipos de desechos requieren métodos de tratamiento y eliminación distintos (Winchester, 2006) para que tengan el menor impacto sobre el ambiente y la salud humana.

De esta manera, abordar el tema de la gestión de los residuos sólidos convencionales y peligrosos exige involucrar otros tópicos de la sociedad, para entender el problema que estos representan, identificando sus causas y consecuencias. Así, la gestión de los residuos sólidos debe entenderse como un conjunto articulado de acciones normativas, operativas, financieras y de planificación, basadas en criterios sanitarios, ambientales, sociales, políticos, técnicos, educativos, culturales, estéticos y económicos, para la generación, manejo, tratamiento y disposición final de esos residuos (Mandelli, 1997).

Las proporciones de la generación de residuos sólidos fueron adquiriendo una connotación mayúscula con el paso de los años, siendo la Revolución Industrial su principal detonante. Aumentó la cantidad y complejidad de los residuos sólidos que a diario se estaban generando, tendencia que se potencializó cada vez más con cada nación y/o región que se industrializaba, dentro del contexto social y económico que caracterizó el siglo pasado. Según Moreno & Salazar (2009) el capitalismo, como modelo de desarrollo económico que a pasos firmes colonizó el mapa geopolítico mundial, abriga el consumo para la dinamización de los mercados, bajo la premisa de la satisfacción de las necesidades, resultando esto en la rotación dinámica de gran variedad de productos perecederos, y por ende aumentando la cantidad de desperdicios que deben eliminarse.

Así lo entendieron comunidades científicas, ecologistas, mandatarios y un sinnúmero de organizaciones de toda índole, preocupación que se manifestó en la *Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo* celebrada en Río de Janeiro en 1992, siendo los residuos sólidos el eje temático de un Capítulo completo del documento denominado PROGRAMA 21 que se ratificó en esta cumbre. Ya en la década de los noventa, se vislumbraba un panorama crítico en cuanto a la tendencia de generación de residuos sólidos, incluso afirmando que podría cuadruplicarse o quintuplicarse para el año 2025, (CNUMAD, 1997). La tabla 2.1 muestra un proyectado de la generación *per cápita* de residuos sólidos convencionales, según datos recopilados por el *United Nations Human Settlements Programme*.

Tabla 2.1. Estimaciones de generación mundial de residuos sólidos.

Residuos sólidos municipales	Generación cápita (Kg/persona/año)	Generación (miles de millones toneladas /año)	
		2006	2025
Estimación actual	310	2.0	2.4
Promedio*	580	3.8	4.6
Máxima rata de generación*	760	4.9	5.9

Nota: Fuente: [UN-HABITAT] United Nations Human Settlements Programme. Solid waste management in the world's cities. Water and sanitation in the world's cities 2010. London: UN HABITAT;2010.

* Según Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).

En el caso de las potencias mundiales, como los Estados Unidos de América, la producción de residuos sólidos ha aumentado más de 67% desde 1980, llegando a generarse un total de 254 millones de toneladas de residuos sólidos por año (EPA, 2008). Aumentos similares en la generación de residuos sólidos se reportaron en la India (Taylan et al., 2008), China (Chen et al., 2010), y Colombia (Nieves, 2009).

2.1. Colombia y los residuos sólidos

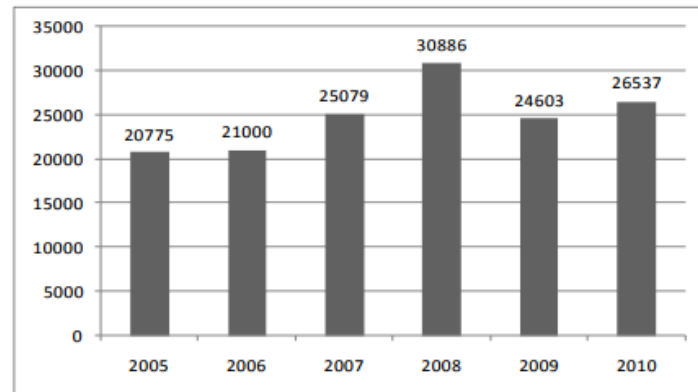
Si bien es cierto que actualmente el país cuenta con un marco legislativo amplio en todo lo que respecta a la gestión integral de residuos sólidos, esto representa el resultado de varias décadas de conocimiento en el tema, a través de actos legislativos, dinámicas sociales y situaciones que permitieron ver la realidad de la problemática que para entonces aquejaba al país en materia de residuos sólidos. Desde 1974, con la expedición del Decreto Ley 2811, denominado el Código de los Recursos Naturales, hasta el día de hoy, cuando se tiene un ordenamiento legislativo bastante complejo, fundamentado en una política de gestión de residuos sólidos a nivel nacional, Colombia ha logrado estructurar, por lo menos en el plano legal, todos y cada uno de los objetivos trazados en el Capítulo 21 del PROGRAMA 21 de la *Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo* de 1992 (CNUMAD, 1997), en tópicos relevantes como la minimización de residuos, maximización del reuso y reciclaje bajo parámetros ambientales aceptables, promoción del tratamiento y disposición ambientalmente apropiado de los residuos y la expansión de la cobertura del servicio.

2.1.1. Residuos sólidos convencionales en Colombia

En lo que respecta a los residuos sólidos, convencionales o domésticos como se conocen comúnmente, ya en 2004 el Senado de la República de Colombia manifestó interés por la situación crítica que se vivía por ese tiempo, apoyado en cifras como las 14.000 toneladas diarias de residuos sólidos generados en el país en 1994, y su considerable aumento

a más de 22.000 toneladas en 2004, proyectando una generación mayor para los años subsecuentes (Senado de la República de Colombia, 2004). Para 2008, el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en el marco de los lineamientos de la Política de Gestión de Residuos Sólidos, presentó una cifra de 28.800 toneladas diarias de residuos sólidos producidos en Colombia, con una participación mayoritaria de las cuatro grandes ciudades capitales: Bogotá, Cali, Medellín y Barranquilla. Puntualizó además, que cerca de un 17% de los residuos generados a diario en el país son recuperados (Mesa JL, 2008).

Figura 2.1. Consolidado de cantidades de residuos (toneladas) dispuestos diariamente en Colombia.



Nota: Fuente:[SSPD] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia. Diagnóstico. Bogotá DC: SSPD;2011.

De acuerdo con los datos presentados por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, mediante información recolectada por el Sistema Único de Información-SUI de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, para 2012 llegaron a los sitios de disposición final 26.537 toneladas diarias de residuos (Figura 2.1). De esta cantidad, solo 79% de los municipios del país realizaron una disposición de residuos en sitios adecuados, tales como rellenos sanitarios y plantas integrales. Este porcentaje corresponde a la disposición de 25.091 toneladas por día, mientras que el 21% restante de los municipios continúa disponiendo 1.446 toneladas diarias en sitios de disposición inadecuados, como botaderos a cielo abierto, enterramientos, cuerpos de agua y quemas (SSPD, 2011).

Si bien la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios informa que se han presentado logros significativos en relación con los sistemas de disposición de residuos sólidos 5 años después de expedida la Resolución 1390 de 2005 del MAVDT (tabla 2.2 y figura 2.2), aún se reporta la disposición de residuos en botaderos, áreas excavadas o rellenos sin ningún control. Esto ocasiona problemas ambientales y una carga contaminante al subsuelo, con alto riesgo de contaminación de aguas subterráneas especialmente donde el nivel freático es alto o está en contacto directo con el residuo (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2009).

La Resolución 1390 de 2005 ordenó el cierre, clausura y restauración o transformación técnica de los sitios de disposición final que se encontraban operando de manera inadecuada, y facilitó como alternativa de disposición a los municipios y prestadores la implementación de celdas temporales con condiciones de operación controladas, o el empleo de rellenos sanitarios ubicados dentro del mismo municipio o en otros municipios. Parece ser que las distintas normas para la actividad de disposición final han contribuido a generar conciencia social y ambiental a prestadores, usuarios y entidades involucradas en el tema, haciendo de su cumplimiento un aspecto prioritario en la agenda de los municipios, departamentos y mesas de trabajo de las entidades que vigilan y regulan la prestación de los servicios públicos.

Tabla 2.2. Sistemas de disposición final 2010 y 2011.

	Relleno sanitario	Celdas transitorias	Botadero a cielo abierto	Planta integral	Enterramiento	Cuerpo de agua	Quema
2010							
Ton/día	21662,1	1006,5	1399,7	330	175,4	20,7	8,9
Municipios	674	90	199	83	36	10	6
Sitios	229	79	193	39	34	8	6
2011							
Ton/día	24608,4	293	1334,6	189,7	83,3	19,4	8,7
Municipios	762	38	190	67	27	9	5
Sitios	206	27	176	35	24	7	5

Nota: Fuente:[SSPD] Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia. Diagnóstico. Bogotá DC: SSPD;2011.

Sin embargo, y como se mencionó anteriormente, la problemática de los residuos sólidos no se delimita estrictamente a su disposición final, hecho que se confirmó en la formulación de la Política de Residuos Sólidos en Colombia, la cual incluyó además temas como la generación creciente de residuos sólidos en el país, la pérdida del potencial de utilización de los residuos, la gestión parcial de los residuos sin considerar el impacto ambiental

ANEXO 14
MATERIALES Y METODOS

Efectos de la contaminación atmosférica en la salud y su importancia en la ciudad de México

Maite Vallejo,* Kathrine Jáuregui-Renaud,** Antonio G. Hermosillo,* Manlio F. Márquez,* Manuel Cárdenas*

Recepción versión modificada 7 de septiembre del 2002; aceptación 17 de septiembre del 2002

Resumen

El impacto de la contaminación atmosférica sobre la salud es un problema complejo. En esta revisión se describen los efectos de la exposición a ozono y monóxido de carbono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, plomo y partículas suspendidas sobre la salud. También se consideran las condiciones geológicas de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México que favorecen la persistencia de contaminantes en la atmósfera, y sus efectos sobre la población. Se comenta el uso del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), las normas vigentes y los programas mexicanos para mejorar la calidad de aire, así como sus logros al disminuir la concentración de la mayoría de los contaminantes; aunque algunos de ellos, como el ozono y las partículas suspendidas, aún rebasan la norma. La evidencia señala que para mejorar más las condiciones atmosféricas de la ciudad, además de continuar los programas existentes, es indispensable impulsar la investigación multidisciplinaria, básica y aplicada, para enfrentar este problema.

Palabras clave: Contaminación atmosférica, ozono, monóxido de carbono, plomo y partículas suspendidas.

Introducción

La contaminación atmosférica se define como la presencia de sustancias en el aire, en cantidades que pueden ser perjudiciales para la vida, afectar estructuras, materiales y ocasionar cambios en las condiciones meteorológicas o climáticas.^{1,2} A lo largo de su existencia, el ser humano ha propiciado el deterioro del ambiente por la contaminación atmosférica. Las actividades que producen emisión de

Summary

The impact of air pollution on human health is a complicated problem. In this review, we describe the main health effects of exposure to ozone, carbon monoxide, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, lead and particulate matter. Geographical characteristics of the metropolitan area of Mexico City that favor pollutant persistence with adverse effects on the population are described; the use of the Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), current norms, and present programs to diminish this problem are discussed. Evidence shows that through these actions, air quality has improved. However, some pollutants such as ozone and particulate matter, still exceed the standard. To further improve air quality in the city, existing programs should continue and multidisciplinary research, both basic and applied, is required.

Key words: Atmospheric pollution, ozone, carbon monoxide, lead and particulate matter.

contaminantes atmosféricos incluyen desde el uso de fogatas y la combustión de madera hasta la industrialización y urbanización de las grandes ciudades.

Un contaminante atmosférico es cualquier sustancia (química o biológica) que al agregarse al aire puede modificar sus características naturales, por ejemplo el humo, los polvos, los gases, las cenizas, las bacterias, los residuos y los desperdicios. Además de los contaminantes atmosféricos, los contaminantes del ambiente

Contaminación atmosférica y salud.

Incluyen también a todo aquello que altere sus características naturales, como el calor, la radiactividad y el ruido.³ Los contaminantes atmosféricos se clasifican por su origen en primarios y secundarios. Los contaminantes primarios están en la atmósfera tal y como fueron generados por procesos naturales o por actividades del ser humano, son ejemplos el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de azufre (SO₂). Los contaminantes secundarios son los que se forman en la atmósfera por reacciones químicas o fotoquímicas en las que intervienen contaminantes primarios, por ejemplo el ozono (O₃) y los sulfatos.⁴

Se han identificado una gran cantidad y variedad de contaminantes. Esta revisión se refiere a aquellos con efectos sobre la salud y para los que se han definido normas de concentraciones permisibles en la atmósfera. Éstos son: el ozono (O₃), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO₂), el dióxido de nitrógeno (NO₂), el plomo (Pb), las partículas suspendidas totales (PST) y las partículas menores de 10 micrómetros de diámetro (PM₁₀).

Ozono

El ozono es una molécula con 3 átomos de oxígeno que se forma directamente por la acción de la luz solar sobre el dióxido de nitrógeno. El principal sitio de acción del ozono, en el ser humano, es en la mucosa de las vías respiratorias. Los síntomas que se observan con mayor frecuencia son: tos, sibilancias, cefalea náusea, malestar general e irritación conjuntival de la nariz y de la faringe.^{5,6} Los factores que pueden influir en su transporte y eliminación de las vías respiratorias altas son: la morfología nasal las características de la respiración y la cantidad y composición bioquímica del moco.⁷ La exposición aguda provoca disminución de la capacidad inspiratoria posiblemente por disminución de la actividad de los músculos inspiratorios.⁸ Estudios en población no fumadora han mostrado que la exposición crónica se asocia con cambios morfológicos y celulares de los bronquiolos terminales y de la región alveolar proximal y con endurecimiento pulmonar.^{9,10} Los efectos extrapulmonares no se han definido, pero se ha propuesto que el ozono o sus metabolitos pueden afectar a los linfocitos y los eritrocitos.⁴

Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro, ligeramente más denso que el aire. Está compuesto por un átomo de carbono y uno de oxígeno, y es el resultado de la combustión incompleta de materiales de origen orgánico, fosilizado o no. Se dice que los vehículos

automotores son responsables de más del 90% de la emisión de monóxido de carbono a la atmósfera, pero este compuesto también puede tener su origen en cocinas, fraguas y maquinaria industrial.¹¹ Cuando un individuo se expone a monóxido de carbono no lo percibe, porque como ya se mencionó es incoloro e inodoro y no es causa de dolor ni de irritación primaria de las mucosas.¹² Durante la exposición, el monóxido de carbono no se acumula, su absorción y su excreción dependen de la diferencia de la presión parcial del gas en la sangre y en el aire alveolar. Este compuesto compete con el oxígeno por los sitios de unión de las hemoproteínas acarreadoras de oxígeno y forma un compuesto estable la carboxihemoglobina (COHb), que desplaza al oxígeno por lo que disminuye la presión parcial de oxígeno en la sangre y ocasiona hipoxia tisular.¹³ La relación entre el monóxido de carbono en el aire y las concentraciones de carboxihemoglobina en la sangre dependen principalmente de la duración de la exposición y de la función cardiorespiratoria del individuo. De acuerdo a la norma de calidad del aire de los Estados Unidos de Norteamérica, la concentración de carboxihemoglobina permisible en una persona expuesta a una concentración de 10 mg por m³ (9 ppm) de monóxido de carbono durante 8 horas o de 40 mg por m³ (35 ppm) durante una hora es de 1.2 a 1.5%, pero en fumadores de 20 o más cigarrillos por día puede alcanzar un valor de 4 a 7%.^{14,15}

Aunque se ha observado que concentraciones de 3.2 a 4.2% de carboxihemoglobina se asocian a deterioro de la capacidad de razonar, los efectos nocivos para la salud se observan cuando la concentración es de 5% o más. Los principales efectos de la inhalación de monóxido de carbono son: alteraciones de la percepción y de las funciones cerebrales, disminución de los reflejos osteomusculares, mareo, inconsciencia y muerte.¹² Las personas con insuficiencia cardíaca son particularmente susceptibles a este contaminante porque a diferencia del individuo sano, no pueden compensar la falta de oxígeno con un aumento del flujo sanguíneo al organismo. En este grupo de pacientes la inhalación de monóxido de carbono puede ocasionar desde una disminución de la capacidad para hacer ejercicio y dolores musculares, hasta manifestaciones clínicas de angina de pecho.¹³

Dióxido de azufre (SO₂)

El dióxido de azufre es un gas que está formado por un átomo de azufre y dos de oxígeno. Se puede generar tanto en fuentes naturales como por la ignición de combustibles fósiles. Los óxidos de azufre son solubles en agua, y al hidratarse forman ácidos irritantes. Penetran al organismo por la vía aérea y se asocian a disminución de la función pulmonar. El aumento de su

* Departamento de Electrofisiología. División de Investigación Clínica. Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez.

** Unidad de Investigación Médica. HG. Centro Médico Nacional La Raza, IMSS.

Correspondencia y solicitud de sobresitos: Dr Manuel Cárdenas. Subdirección de Investigación Clínica. Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez. Juan Badiano No.1. Col Sección XVI. Tlalpan 14080. México D.F. Tel: 55-732911, exts 1178 y 1411, fax: 55-730629, e-mail: yog_14080@yahoo.com

concentración en el ambiente se ha relacionado con un incremento en la mortalidad, exacerbación de enfermedades cardíacas y pulmonares, y aumento de la incidencia de enfermedades respiratorias agudas.^{4,10}

En áreas urbanas cuando la contaminación por dióxido de azufre se asocia a contaminación por dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono puede tener consecuencias fatales. En Londres en 1952, el complejo de óxido de azufre y partículas ("la niebla negra") fue el responsable de un aumento de la mortalidad especialmente de personas con enfermedad cardíaca o respiratoria y en niños pequeños.¹⁴

Dióxido de nitrógeno (NO₂)

El dióxido de nitrógeno está compuesto por un átomo de nitrógeno y dos de oxígeno. Los óxidos de nitrógeno son emitidos tanto por fuentes naturales, por ejemplo los relámpagos y las emisiones volcánicas, como por fuentes artificiales como los motores de combustión interna, las plantas generadoras de energía térmica, las instalaciones industriales, los sistemas de calefacción y los incineradores.⁴

El dióxido de nitrógeno es un gas irritante que se absorbe en la mucosa de las vías respiratorias y en los alvéolos. Los pocos estudios epidemiológicos realizados sobre sus efectos en la salud sugieren que aumenta la susceptibilidad a infecciones respiratorias y, en pacientes con asma, provoca disminución de la capacidad de ventilación.^{15,16} Estos efectos se han observado cuando la concentración promedio es de 0.08 a 0.15 ppm.¹⁷ La exposición puede ser detectada en sangre y orina por la presencia de ácidos nítrico y nitroso o sus sales.¹⁸ En sujetos expuestos a alta concentración los efectos máximos pueden ocurrir entre 1 y 3 días después de la exposición.¹⁰

Plomo (Pb)

El plomo es un metal que abunda en la corteza terrestre. Es emitido al ambiente por fuentes naturales como los volcanes y por actividades humanas como la industria. Se le encuentra formando compuestos en soldaduras, pinturas, acumuladores, pilas secas y cerámica.⁴ También se utiliza en insecticidas (arsenato de plomo) para proteger de parásitos al ganado. El tetra-etilo de plomo es un compuesto que desde 1923 se adicionó a las gasolinas como agente antidetonante.¹⁹

La forma química del plomo determina su comportamiento al interactuar con el cuerpo humano. Los compuestos orgánicos se absorben rápidamente por la piel y las mucosas, los inorgánicos lo hacen por las vías respiratoria y gastrointestinal. La excreción se lleva a cabo principal-

mente por orina y en menor cantidad por la bilis y la exfoliación de tejido epitelial.²⁰ La mayor parte del plomo en el aire ambiente se encuentra en forma de partículas de diámetro aerodinámico menor de 10 µm (PM₁₀) y puede ser inhalado.¹⁹ Se considera que un adulto sano puede retener en los pulmones del 10 al 80% de las partículas suspendidas inhaladas y que, de ellas, un 50% del plomo pasa a la circulación.¹⁹ Cuando el plomo se ingiere, la proporción que se absorbe por el tracto gastrointestinal es del 10 al 15% aproximadamente para los adultos y hasta el 50% para los niños. Cuando la dieta es baja en calcio, vitamina D, hierro o zinc, la absorción de Pb aumenta.⁴ Se acumula en los dientes, los huesos, y el sistema hematopoyético.²¹ La exposición a concentraciones superiores a los 10 µg/dL en niños, mujeres embarazadas y en período de lactancia y de 25 µg/dL para el resto de la población tiene consecuencias en diversos órganos y sistemas.²² En el sistema hematopoyético, interactúa con los sitios donde hay grupos sulfhidrílo y altera acciones enzimáticas, como las de los grupos HEMO para la producción de hemoglobina y citocromos. También produce acumulación de proto-porfirinas en los eritocitos, interfiere con la actividad de la ATPasa Na/K (bomba de sodio/potasio), se adhiere a la membrana de los glóbulos rojos aumentando su fragilidad y reduciendo su supervivencia. Todo lo anterior da como resultado anemia microcítica. En el riñón, la exposición aguda produce disminución reversible de la función renal, por daño en los túbulos proximales, con aminoaciduria, glucosuria y fosfatúria; la exposición crónica causa fibrosis intersticial progresiva con insuficiencia renal crónica. Los síntomas gastrointestinales: anorexia, náuseas, constipación y dolor abdominal suelen aparecer a concentraciones de plomo de 80 µg/dL. Los espasmos abdominales intensos ("cólico de plomo") ocurren cuando las concentraciones de plomo llegan a los 150 µg/dL. Se acumula en el sistema esquelético, en forma de trifosfato de plomo, y se libera durante la desmineralización del hueso con el envejecimiento y durante el embarazo; el plomo liberado, puede afectar el desarrollo del feto.²³⁻²⁵ En el sistema nervioso central produce edema, efecto citotóxico directo y encefalopatía, que con frecuencia es irreversible. En el sistema nervioso periférico el plomo ocasiona neuropatía por sus efectos en la vaina de mielina.^{24,27}

Partículas suspendidas

En este grupo se incluyen sustancias que se desprenden al ambiente como el polvo proveniente de suelos erosionados y caminos sin asfaltar; o que se forman en la atmósfera por reacciones químicas o fotoquímicas, en las que intervienen gases y compuestos orgánicos.²⁸ Se consideran como partículas inhalables a las que tienen un diámetro igual o menor de 10 µm,²⁹ y se clasifican en:

Contaminación atmosférica y salud.

1. Partículas burdas, con un diámetro aerodinámico menor de 10 µm (PM₁₀) y mayor de 2.5 µm. Están compuestas principalmente por sílice, titanio, aluminio, sodio, hierro y cloruros;
2. Partículas finas, con un diámetro aerodinámico igual o menor a 2.5 µm (PM_{2.5}). Están compuestas por productos derivados de la combustión, particularmente del diesel, e incluyen carbono, plomo, vanadio, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno;
3. Las partículas ultra finas son aquellas que tienen un diámetro aerodinámico menor de, 1 µm. Están compuestas por los productos de quemas agrícolas y forestales y por la combustión de gasolina y diesel. Sin embargo permanecen aisladas en la atmósfera durante períodos muy cortos, ya que tienden a unirse a partículas de mayor tamaño.³⁰⁻³²

Los efectos de estos contaminantes en la salud se conocen parcialmente, las partículas finas pueden ser más tóxicas que las grandes.³³⁻³⁵ Se han realizado varios estudios sobre sus efectos en el aparato respiratorio, pero aún se sabe poco acerca de sus consecuencias sobre la función cardiovascular.³⁶⁻³⁸ La evidencia señala que pueden afectar la función respiratoria³⁹ y ser un vehículo para sustancias tóxicas.⁴⁰

La exposición a concentraciones altas de partículas suspendidas por breves períodos en adultos mayores, en niños y en pacientes con enfermedades cardiorrespiratorias y con asma, se ha relacionado con aumento de la morbilidad por enfermedad pulmonar obstructiva crónica y neumonía,^{41,42} y de la mortalidad por cardiopatía isquémica.³⁸ Estudios realizados en los Estados Unidos de Norteamérica con períodos de seguimiento de 7 a 18 años señalan que el efecto acumulativo de la exposición crónica a partículas PM₁₀, puede reducir la esperanza de vida en la población adulta expuesta, principalmente por aumento de la mortalidad por causa respiratoria y cardiovascular.⁴³⁻⁴⁵

Características de la ciudad de México que favorecen la contaminación atmosférica

La zona metropolitana de la ciudad de México (ZMCM), es una cuenca hidrológica, situada a 2,240 m de altura sobre el nivel del mar en su parte central, con una extensión territorial de 1,200 km² está rodeada por montañas que tienen una altura promedio de 1000 m sobre la parte central de la ZMCM la más alta es la Sierra del Ajusco. Debido a estas características la concentración de oxígeno está disminuida (-23%) en relación con el nivel del mar, y esto, a su vez reduce la eficiencia de los motores de combustión interna, aumenta la concentración de monóxido de carbono y de hidrocarburos y favorece la exposición a radiaciones capaces de transformar los contaminantes primarios en ozono y otros oxidantes.⁴⁶ Además la dirección de los vientos predomi-

nantes, de noreste a suroeste, hace que la mayor concentración de contaminantes esté en la zona sur de la ciudad, en donde la Sierra del Ajusco obstaculiza su dispersión.^{47,48}

En la Ciudad de México hay dos épocas climáticas durante el año: la estación invernal seca (Noviembre-Abril) y la de lluvia (Mayo-Octubre). Durante la época seca son frecuentes las inversiones térmicas, en las que una capa de aire frío, denso y térmicamente estable queda atrapado por la capa superior de aire caliente; situación que desaparece cuando el sol calienta el aire frío (entre las 9:00 y 10:00 horas) y los contaminantes se dispersan. La ciudad está sujeta a la influencia de sistemas anticiclónicos generados en el Golfo de México y en el Océano Pacífico, con estabilidad atmosférica por inhibición de la mezcla vertical del aire. Estas características generan un aumento resultante en la concentración de los contaminantes que causa daño a la salud.^{47,48}

Entre 1992 y 1994 la Dirección de Epidemiología de la SSA llevó a cabo un análisis de 81 episodios en el que se identificó la asociación entre concentraciones altas de contaminantes y aumento de la incidencia de síntomas como: disnea, cefalea, irritación de las conjuntivas y de las mucosas respiratorias, tos productiva, odinofagia y disfonía.⁴⁹ En otros estudios, sobre las causas de mortalidad en la población general entre 1990 y 1992⁴⁹ y sobre la mortalidad infantil de 1993 a 1995,⁵⁰ se identificó una asociación entre el aumento en la concentración de partículas suspendidas, ozono y dióxido de nitrógeno, y el aumento de la mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares en personas mayores de 65 años y en niños menores de 5 años.

En un estudio efectuado en una zona residencial del suroeste de la Ciudad de México, en niños en edad escolar, se identificó la asociación entre concentración elevada de partículas suspendidas y ozono y la exacerbación de síntomas de vías respiratorias bajas y disminución del flujo espiratorio máximo.⁵¹ En 1992 y 1993, estudios en niños en edad pre-escolar, mostraron asociación entre la concentración de ozono superior a 0.120 ppm, el aumento del ausentismo escolar y la disminución del flujo espiratorio máximo.^{52,53} En 1996, se efectuó un estudio en niños asmáticos de 5 a 7 años de edad, en quienes se identificó asociación entre las concentraciones de PM₁₀ y de ozono con la presencia de síntomas respiratorios y la incidencia de enfermedades de vías respiratorias bajas.⁵⁴

Acciones para disminuir la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de la ciudad de México

Desde hace más de 40 años se han efectuado acciones para mejorar la calidad del aire en México como la

creación de la Dirección de Higiene Ambiental, de la Secretaría de Salubridad y Asistencia, en 1959.⁴⁸ Años después, en 1967, se puso en operación la primera "Red de Monitoreo Atmosférico" de la ciudad de México, para conocer los índices de contaminación por dióxido de azufre, partículas y polvo sedimentable en la atmósfera.⁴⁹ En los años setenta se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental.⁵⁰

Una norma de la calidad del aire se define como "una regla cuyo logro y mantenimiento es un requisito para proteger, con un margen de seguridad adecuado, la salud pública." Los contaminantes que se encuentran con más frecuencia y a mayor concentración se denominan contaminantes "criterio". Los límites permisibles se establecen por sus efectos en la salud de los grupos más vulnerables de la población.⁵¹ Las normas vigentes en México se publicaron en 1994.⁵²

Desde 1986, los contaminantes criterio se monitorean en las principales ciudades de la República Mexicana. Hoy, la Red de Monitoreo Ambiental (RAMA) trabaja durante las 24 horas del día en las ciudades de México, Guadalajara, Monterrey, Toluca, Ciudad Juárez, Tijuana y Mexicali.⁵³ Para evaluar de forma global las concentraciones de los contaminantes, en 1986, se creó un índice de calidad del aire denominado "Índice Metropolitano de Calidad de Aire" (IMECA). Este índice mide la concentración en ppm o $\mu\text{g}/\text{m}^3$, de acuerdo con el contaminante de que se trate, y la convierten a una escala de 0 a 500 puntos en la que un valor de 100 corresponde al valor máximo aceptado por las normas de calidad del aire y uno de 500 representa niveles de contaminación que producen daños evidentes a la salud.⁵⁴

El último programa, aún vigente, para mejorar la calidad del aire en el Valle de México se denomina PROAIRE, tiene como metas: industria y vehículos no contaminantes, transporte vehicular eficiente y protección, conservación y recuperación de los nichos ecológicos, y el Programa de Contingencias Ambientales (PCA). Una contingencia ambiental se clasifica en dos fases: la primera se pone en marcha cuando se rebasan los 250 puntos IMECA, pero si no se logra reducir la concentración de contaminantes y llegan a 350 puntos IMECA, entra en operación la segunda fase.⁴⁶

Las acciones efectuadas para combatir la contaminación atmosférica en la Ciudad de México han mejorado sustancialmente la calidad del aire. Las modificaciones en los combustibles y la incorporación de tecnología vehicular moderna han resultado en una disminución significativa de la emisión de contaminantes por los automóviles. El plomo y el azufre, dos contaminantes que en el pasado causaron serios problemas, actualmente permanecen dentro de la norma todos los días del año. La emisión de monóxido de carbono también ha

disminuido. Sin embargo, el ozono y las partículas suspendidas PM_{10} aún representan problemas. No obstante que se han logrado disminuir las emisiones de ozono en el 82% de los días del año, éste rebasa la norma. En cuanto a las partículas PM_{10} , la norma se rebasa entre 6 y 50% de los días del año, de acuerdo con las condiciones climáticas.⁵⁵

De lo anteriormente expuesto se desprende que la contaminación atmosférica es un problema de salud, que en la ciudad de México se agrava por sus condiciones geográficas, climáticas y sociales. La investigación ha permitido crear estrategias para limitar sus consecuencias. Sin embargo, a pesar de que las medidas tomadas por las autoridades sanitarias han logrado disminuir los efectos de algunos contaminantes, aún son muchos los factores que deben corregirse para mejorar más las condiciones atmosféricas de la ciudad. Para combatir el problema es indispensable continuar los programas existentes, e impulsar la investigación básica y aplicada en diferentes campos.

ANEXO 15
MATERIALES Y METODOS

Normas Euro

Las denominadas normas Euro (categorías de contaminantes) fijan los valores límite de las emisiones contaminantes de los vehículos nuevos. En la fiscalidad de un vehículo, las emisiones de gases contaminantes tienen un papel muy importante porque el tipo impositivo depende también de la clasificación que establecen las diferentes normas Euro. El código indicado en el permiso de circulación ofrece información sobre el nivel de emisión de contaminantes del vehículo.

Las disposiciones legislativas son cada vez más exigentes: el Parlamento Europeo ha decidido fijar otra vez nuevos valores límite para la emisión de contaminantes de los turismos. Euro 5 entró en vigor el 1 de septiembre de 2009. Al mismo tiempo, la UE ha fijado ya los valores de la norma Euro 6 (a partir de 2014) para la industria del automóvil.

Limitaciones a las emisiones para vehículos nuevos con motor de gasolina						
	válido a partir de	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	HC+NOx (g/km)	PM
Euro I	12/92	2,72	-	-	0,97	-
Euro II	01/97	2,20	-	-	0,5	-
Euro III	01/00	2,30	0,20	0,15	-	-
Euro IV	01/05	1,00	0,10	0,08	-	-
Euro V	09/09	1,00	0,10	0,06	-	0,005*
Euro VI	08/14	1,00	0,10	0,06	-	0,005*

* con inyección directa

Limitaciones a las emisiones para vehículos con motor de gasolina

Limitaciones a las emisiones para vehículos nuevos con motor diésel						
	válido a partir de	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	HC+NOx (g/km)	PM
Euro I	01/92	3,16	-	-	1,13	0,14
Euro II	01/96	1,00	0,15	0,55	0,70	0,08
Euro III	01/00	0,64	0,06	0,50	0,56	0,05
Euro IV	01/05	0,50	0,05	0,25	0,30	-
Euro V	09/09	0,50	0,05	0,18	0,23	0,005
Euro VI	08/14	0,50	0,09	0,08	0,17	0,005

El nivel de emisiones para vehículos con motor diésel

Valor límite actual 2 ruedas			
	válido a partir de	CO (g/km)	NOx (g/km)
Euro I	06/99	13,00	0,30
Euro II	04/03	5,50	0,30
Euro III	01/07	2,00	0,15

ANEXO 16
MATERIALES Y METODOS



INTRODUCCIÓN

Estimaciones realizadas por la autoridad federal mexicana, referente a las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel nacional y presentadas ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, muestran que en México en el año 2002, se generaron 553 millones de toneladas equivalentes de bióxido de carbono (eq. CO₂), indicando un incremento del 30% comparadas con las emisiones de 1990¹.

Por otra parte, el documento elaborado por el gobierno de la Ciudad de México denominado "Estrategia Local de Acción Climática del Distrito Federal"², incluyó un capítulo con el inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), donde se menciona que en el año 2000 en la ZMVM fueron emitidos 54.1 millones de toneladas equivalentes de CO₂.

Además, los inventarios de emisiones de contaminantes criterio desarrollados para la ZMVM de los años 1998, 2000, 2002 y 2004, incluyeron un apartado de las emisiones de CO₂. Este último reportó que en el año 2004 en la ZMVM se emitieron cerca de 35.8 millones de toneladas de CO₂³.

El presente inventario, incluye las emisiones de bióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), generados en los sectores: energético, industrial, habitacional, comercial, de servicios y transporte vehicular, así como por los rellenos sanitarios.

¹ Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, 1990-2002.

² SMA-GDF, 2006. Generado por la Dirección de Coordinación Institucional e Integración de Políticas.

³ Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio de la ZMVM 2004.

Las estimaciones de GEI referidas anteriormente y las presentadas en este documento, fueron calculadas con la metodología del IPCC⁴.

Dada la importancia que han tomado los GEI, se decidió desarrollar un inventario para estos gases, que además de las emisiones de CO₂, incluyera también las emisiones de CH₄ y N₂O, profundizando el nivel de análisis y desagregación de las fuentes emisoras de estos gases en su actualización bianual.

Debido a que parte de la información necesaria para estimar las emisiones de GEI no está desagregada para el Distrito Federal y mucho menos para la ZMVM, fue necesario recurrir a estimaciones propias realizadas por personal de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, con las debidas consideraciones en el registro de la estimación del cálculo, en la recopilación de las fuentes y la gestión de la calidad de los datos.

⁴Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) creado en 1989 por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial, organismo en el que participan representantes de los gobiernos para discutir y acordar compromisos que ayuden a reducir la velocidad de los cambios y a mitigar sus efectos.



En la Tabla 2.2 se presenta el consumo energético por tipo de combustible para el año 2006, y se observa que la demanda de la ZMVM es cubierta principalmente por gasolina (43%). En segundo lugar se tiene al gas natural, el cual participó con el 24%.

Tabla 2.2 Consumo energético por tipo de combustible, ZMVM-2006

Tipo de combustible	Consumo anual [millones de barriles]	Energía disponible	
		[PJ]	[%]
Gasolina Premium	6.6	32.0	5.8
Gasolina Magna	41.6	202.8	37.2
Diesel Industrial bajo Azufre	1.5	8.0	1.5
PEMEX Diesel	12.7	69.0	12.7
Gas Natural ¹	21,204.3	128.5	23.6
Gas LP	27.8	104.6	19.2
Total ZMVM	21,294.5	544.9	100.0

Nota: No incluye turbotina, ya que la mayoría se consume fuera de la ZMVM y por arriba de la altura de capa de mezclado.

El consumo promedio diario de los combustibles en la ZMVM para el año 2006, se estimó en 306 mil barriles equivalentes de gasolina; es decir alrededor 48 millones de litros por día.

2.3.1 Contexto industrial

De acuerdo al Censo Económico 2004 realizado por el INEGI², existen más de 328 mil industrias manufactureras a nivel nacional, y el 16% se encuentra ubicado en la ZMVM, principalmente en grandes parques industriales. Las actividades más representativas de esta zona son: la producción de alimentos, bebidas, tabaco; productos metálicos, producción de papel y sus derivados; y la generación de energía eléctrica.

El sector industrial es de los más importantes por su demanda energética, el año 2006 requirió el 27% (147 PJ) de la energía total generada en la ZMVM por la quema de combustibles fósiles para realizar gran parte de sus procesos productivos; teniendo al gas natural comprimido como el principal combustible utilizado (83%). Ver Tabla 2.3.

¹ Es importante mencionar que el consumo de gas natural es abundante, debido a que sólo genera 6.06 MJ por barril, a diferencia de los demás combustibles que en promedio generan de 3765 a 5426 MJ por barril de combustible.

² Sección Censos y Censos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2004.

2.1. Zona de estudio

La Zona Metropolitana del Valle de México, está integrada por las 16 delegaciones del Distrito Federal y por 59 municipios conurbados del Estado de México (Ver Tabla 2.1)

Tabla 2.1 Delegaciones y municipios de la ZMVM, 2006

Cve	Delegación	Cve	Municipio	Cve	Municipio	Cve	Municipio
00010	Alvaro Obregón	15002*	Acolman	15035*	Huehuetoca	15083*	Tamamula
00002	Azcapotzalco	15009*	Amecameca	15036*	Huayquillas	15084*	Temascalapa
00014	Benito Juárez	15010*	Apaxco	15037	Huixquilucan	15089*	Tenango del Aire
00003	Coyoacán	15011*	Atenco	15038*	Isidro Fabela	15091*	Teoloyucan
00004	Cuajmatlpan	15013	Atzacán de Zaragoza	15039	Interoctva	15092*	Teotihuacán
00015	Cuauhtémoc	15015*	Atlixco	15044*	Jaltenco	15093*	Tepetitlaxco
00005	Gustavo A. Madero	15016*	Atlixco	15046*	Jilotingo	15094*	Tepetitlaxco
00006	Itzacoatlco	15017*	Ayapango	15050*	Juchitlapec	15095*	Tepetitlaxco
00007	Itzapalapa	15020	Coacalco de Barrizobal	15070	La Paz	15096*	Tequisquiac
00008	M. Contreras	15022*	Cocotlán	15053*	Melchor Ocampo	15099*	Texcoco
00016	Miguel Hidalgo	15023*	Coyotepec	15057	Nauyatlán de Juárez	15100*	Tezoyuca
00009	Miño Alta	15024	Cuautlilan	15059*	Nestlépan	15103*	Tlalmanalco
00011	Tlalhuac	15121	Cuautlilan Izcalli	15058	Nexahualcoyotl	15104	Tlalpan de Baz
00012	Tlalpan	15025	Chalco	15060	Nicolás Romero	15125*	Tonantla
00017	Venustiano Carranza	15028*	Chiautla	15061*	Nopaltepec	15106*	Tultepec
00013	Xochimilco	15029	Chicoloapan	15065*	Otumba	15109	Tullihán
		15030*	Chiconcuac	15068*	Ozumba	15122	Valle de Chalco Solidaridad
		15031	Chimalhuacán	15069*	Papalotla	15112*	Villa del carbón
		15033	Ecatepec de Morelos	15075*	San Martín de las Pirámides	15120*	Zumpango
		15034*	Ecatepec	15081	Teómac		

*Municipios agregados a la ZMVM (2006) Decreto de Ampliación de la ZMVM Gaceta Oficial del Gobierno del Distrito Federal 2006



Figura 2.1 Zona Metropolitana del Valle de México

2.2 Tendencias de población en la ZMVM (1990-2006)

En la ZMVM convergen las dos entidades más pobladas del país, estimándose una población para esta zona de alrededor de 19.6 millones de habitantes, lo que ha implicado la presencia de factores de presión ambiental, como resultado de las actividades desarrolladas para satisfacer sus necesidades cotidianas. Así mismo, el crecimiento poblacional ha impulsado las actividades urbanas e industriales en el Valle de México y como consecuencia un aumento del consumo energético.

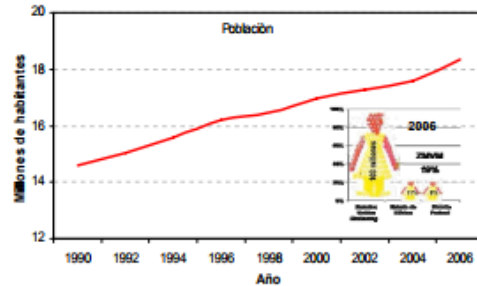


Figura 2.2 Crecimiento poblacional de la ZMVM

2.3 Consumo de energía en la ZMVM

La energía destinada al consumo final de la ZMVM para el año 2006, se estimó en 545 Peta Joules (PJ) a diferencia del año 1990 que fue de 443 PJ, lo que significó un aumento de 102 PJ, que podría representar alrededor del 23% de incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generados por la combustión de combustibles fósiles.

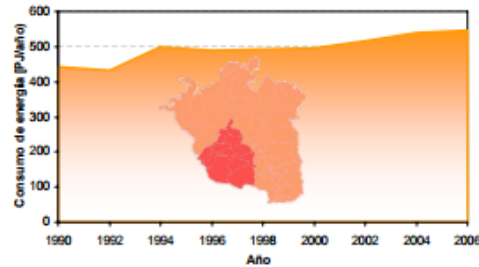


Figura 2.3 Consumo energético en la ZMVM, 1990-2006

Las emisiones de GEI generadas en la ZMVM, resultan principalmente de la transformación de combustibles fósiles en energía, por ejemplo en energía mecánica para la movilidad de los autos, de energía eléctrica para iluminar y para la función de los aparatos electrodomésticos, así como de vapor para que se realicen los procesos industriales, entre otros.

15

En la Tabla 2.2 se presenta el consumo energético por tipo de combustible para el año 2006, y se observa que la demanda de la ZMVM es cubierta principalmente por gasolina (43%). En segundo lugar se tiene al gas natural, el cual participó con el 24%.

Tabla 2.2 Consumo energético por tipo de combustible, ZMVM-2006

Tipo de combustible	Consumo [miles de barriles]	Energía disponible	
		[PJ]	[%]
Gasolina Premium	6.6	32.0	5.8
Gasolina Magna	41.6	202.8	37.2
Gasóleo Doméstico	N/S	N/S	N/S
Diesel Industrial bajo Azufre	1.5	8.0	1.5
PEMEX Diesel	12.7	69.0	12.7
Gas Natural ¹	21,204.3	128.5	23.6
Gas LP	27.8	104.6	19.2
Total ZMVM		544.9	100.0

Nota: No incluye turbotina, ya que la mayoría se consume fuera de la ZMVM y por arriba de la altura de capa de mezclado. N/S.- No significativo.

El consumo promedio diario de los combustibles en la ZMVM para el año 2006, se estimó en 306 mil barriles equivalentes de gasolina; es decir alrededor 48 millones de litros por día.

2.3.1 Contexto Industrial

De acuerdo al Censo Económico 2004 realizado por el INEGI², existen más de 328 mil industrias manufactureras a nivel nacional, y el 16% se encuentra ubicado en la ZMVM, principalmente en grandes parques industriales. Las actividades más representativas de esta zona son: la producción de alimentos, bebidas, tabaco; productos metálicos, producción de papel y sus derivados; y la generación de energía eléctrica.

El sector industrial es de los más importantes por su demanda energética, el año 2006 requirió el 27% (147 PJ) de la energía total generada en la ZMVM por la quema de combustibles fósiles para realizar gran parte de sus procesos productivos; teniendo al gas natural comprimido como el principal combustible utilizado (83%). Ver Tabla 2.3.

¹ Es importante mencionar que el consumo de gas natural es abundante, debido a que sólo genera 6.06 MJ por barril, a diferencia de los demás combustibles que en promedio generan de 3765 a 5426 MJ por barril de combustible.

² Sección Censos y Conteos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2004.

ANEXO 17
MATERIALES Y METODOS

**Emission Inventory in Medellín (Colombia) city.
An Approximation**

By **M.V. Toro¹**, **L.V. Cremades²**, **R. Quiceno¹**, **J. Ramirez¹**, **C. Zuluaga¹**,
N. Moussiopoulos³.

1. Universidad Pontificia Bolivariana (UPB). E-mail: toro@eq.upc.es, and mvtoro@logos.upb.edu.co
2. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). E-mail: cremades@pe.upc.es
3. Aristotele University of Thessaloniki (AUTH). E-mail: moussio@eng.auth.gr

Abstract

An atmospheric emission inventory has been processed in the Aburrá Valley were Medellín. The purpose of the study is to consider the annual emission of air pollutants. This is necessary to be applied to the project named PAMOMED (Photochemical Air Modelling in Medellín) undertaken by UPC, UPB, and AUTH. The domain of the study covers an area of 40 x 40 km² (1600 km²) with a time resolution of one hour and spatial resolution of 1 x 1 km². The emission of the pollutants have been defined in each cell and they are usually expressed as amount of mass per surface unit in a period of 24 hours.

The inventory includes the main emitting sources such as mobile, biogenic and industrial sources. The Air pollutants are SO₂, TSP, NO_x, CO and VOC. This last one is specified in the main group of hydrocarbons.

Key Words: Air pollution, biogenic emissions, emission factors, emission inventory, emission sources, industrial emission, traffic emissions.

1. Introduction

Medellin city is located in the Aburrá valley, which is one of the most important populated and industrial areas in Colombia. However, up to date there was not carried out any systematic study to build up an atmospheric emission inventory in this area. The purpose of this study is to estimate the annual emission of air pollutants from the main sources in the Aburrá valley. This task is the first stage in the project named PAMOMED (Photochemical Air Modeling in Medellín) that is being undertaken by UPC, UPB, and AUTH.

Aburrá Valley is located in the northwest of Colombia between 5° 25' and 8° 55' latitude west and between 73° 53' and 77° 07' longitude north. It is at 1500 meters above the sea level (m asl) and the annual average of temperature is 20°C.

The valley area is 1152 km²; the land use is distributed as: urban 16%, forest 14%, farmland 30%, scrub woodland 15%, and others 25%. The city is communicated with the surroundings regions by five main roads, although has two airports: one located inside the valley and other at 40 km in Rionegro city at the east of the valley.

The domain of the study covers an area of 40 x 40 km² (1600 km²) with a time resolution of one hour and spatial resolution of 1 x 1 km². The highest altitude is 6000

m asl which is divided in 35 variable-width layers. The emission of the pollutants have been defined in each cell and they are usually expressed as amount of mass per surface unit in a period of 24 hours. In the figure 1 is shown the domain of the inventory.

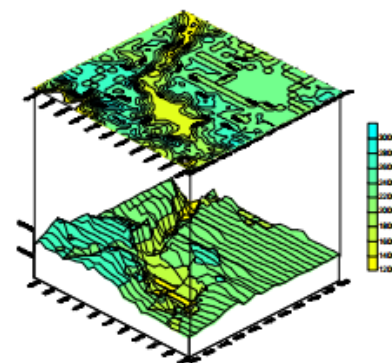


Figure 1 Domain of the inventory. Representation of the Aburrá valley in the center of the domain.

The inventory includes the main emitting sources such as mobile, biogenic and industrial sources. The air pollutants considered are: SO₂, TSP, NO_x, CO and VOC. This last one is assumed to be composed by a profile of the main organic compound families (pseudo-compounds): alkanes, alkenes, aromatics and aldehydes. The emissions from industries and vegetation were estimated by applying the emission factors obtained by the Environmental Protection Agency (EPA, 2000). The emission factors of the CORINAIR study (Corine, 2000) (Veldt et al., 1988) were used for the estimation of mobile sources.

2. Methodology for estimation of the emissions

In order to assess the contribution of the metropolitan area of Aburrá Valley to the biogenic emission of photochemical precursors of ozone gases, we analyzed the land use data for the vegetation which was classified as: forests (conifers and eucalyptus), scrub woodland and farmland (potato, bean, corn and coffee). We applied the model G93 (Guenther et al., 1993) using the emission factors obtained from the BEIS program developed by EPA.

For the industrial emissions, the emission factors of the combustion, chemical and food processes were considered. In Medellín half of the processes consists of steam or energy production, whereas the remainder are chemical, metallurgical and food ones. Most of the factories use fuel oil no. 2, fuel oil no. 6 and coal for the combustion processes. We

¹ 3rd International Conference on Urban Air Quality & 5th SATURN Workshop, Loutraki (Greece), March 19-23, 2001

have applied the EPA emission factors for the main pollutants, and the CORINAIR emission factors for the split of VOC such is shown in table 1 (Costa, 1995).

Table 1 VOC profile (Veldt et al., 1988).

POLLUTANT	COAL	FUEL OIL	GLP
Methane	75	20	75
Alkanes	9	55	12
Alkenes	6	10	7
Aromatics	5	5	0
Aldehydes	5	10	6

For the road traffic emissions, the study area was divided in 1-km² cells that enclosed the main avenues in the city and roads. Starting from the information of vehicular capacity of the years 1997 to 2000, as well as the adopted emission factors of the CORINAIR European methodology, a procedure was elaborated based on balances of vehicular flow and a computer program to calculate the hot emissions to the atmosphere. As a result of the simulation, it was possible to determine the hourly emission of each one of the pollutants in the respective cells for a typical labor day.

3. Results

The results obtained from the estimations of the emissions of the sources are shown in table 2 and figures 2, 3, 4 and 5. The greatest contribution of TSP and SO₂ is due to the high consumption of coal by the industries. The highest concentrations of NO_x are produced by the industries and road traffic and in a low percentage by the vegetation.

Table 2 Total emissions in Medellin city

	EMISSION T/YEAR				
	TSP	SO ₂	CO	NO _x	VOC
Industries	29261	11392	900	5707	43
Road traffic	492	472	52446	8031	12436
Biogenic	0	0	0	342	6000
Total	29753	11864	53346	14079	18479
%	23	10	42	11	14

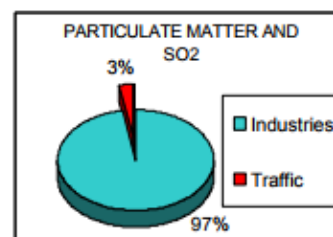


Figure 2 Emission of TSP and SO₂

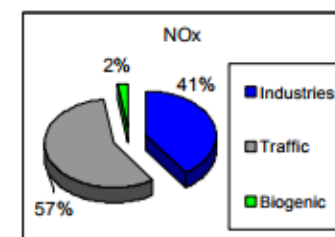


Figure 3 Emission of NO_x

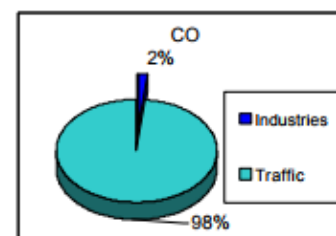


Figure 4 Emission of CO

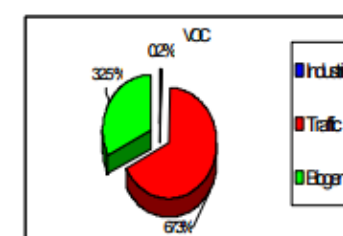


Figure 5 Emission of VOC

CO is the most emitted pollutant in Medellin. CO emissions are basically due to the vehicles and are caused by the deficient combustion of fuel in the rush hours when there are the greatest traffic jams, as can be observed in figure 6. The traffic pattern shows that the highest amount of cars appears between 7:00 and 8:00 h in the morning and between 18:00 and 20:00 h in the late afternoon.

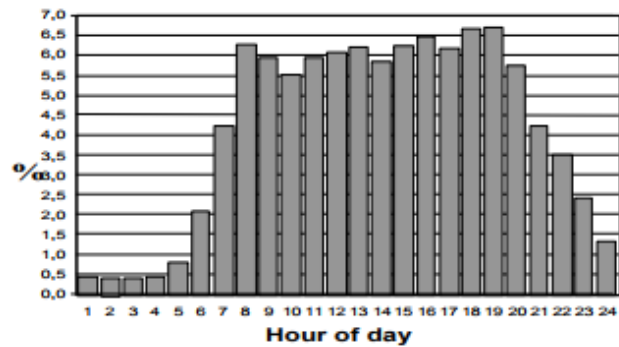


Figure 6 Percentage of vehicle flow vs. Hour. Variation of the traffic hour by hour in a labour day

In general, Medellín's downtown represents the most affected area by the sources, followed by the center-western region as can be seen in figures 7 to 10. Likewise, for the analyzed area, the biggest emissions were evidenced in the hours of the day, with marked peaks at 8:00 h in the morning and 19:00 h at night.

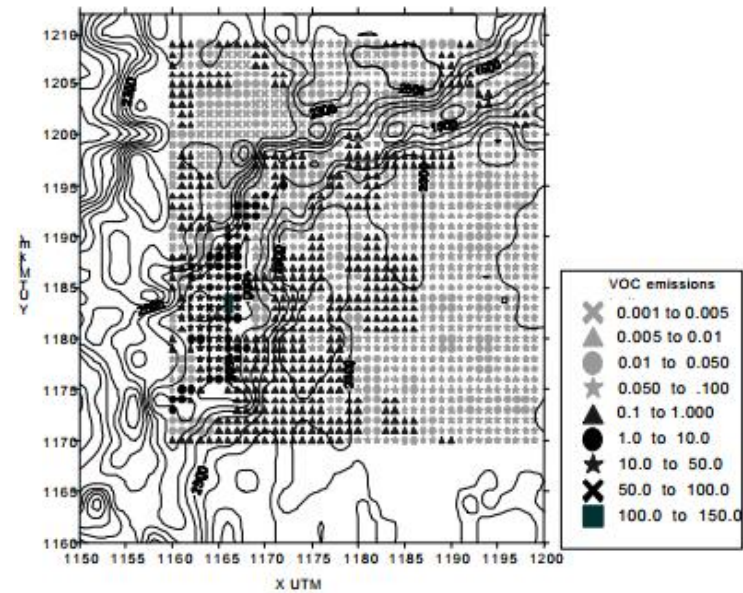


Figure 7 Distribution of VOC emissions (kg/h) in the study area: The emissions of VOC are distributed by all the domain in a range of 0.001 to 150 kg/h. The highest emissions are located in the valley. In the rural areas the highest emissions reach 10 kg/h.

ANEXO 18
MATERIALES Y METODOS

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS

Este capítulo presenta una visión global de los principios fundamentales de los motores de ciclo Otto, la combustión, las emisiones vehiculares y sus efectos en la salud y el medio ambiente, así como también una descripción de los factores de emisión.

1.1 MOTORES DE COMBUSTIÓN DE CICLO OTTO

Son máquinas que obtienen energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que se inflama dentro de una cámara de combustión.

1.1.1 EL CICLO OTTO¹

Es el ciclo ideal para las máquinas reciprocantes de encendido por chispa. En la mayoría de éstas el pistón ejecuta cuatro tiempos completos dentro del cilindro, y el cigüeñal dos revoluciones por cada ciclo termodinámico. El análisis termodinámico de los ciclos reales de cuatro tiempos no es una tarea simple, sin embargo éste puede simplificarse si se utilizan las suposiciones de aire estándar, obteniendo como resultado condiciones de operaciones parecidas a las del ciclo Otto ideal.

Se compone de cuatro procesos reversibles internamente, como se muestra en la figura 1.1 éstos son:

- 1-2 Compresión isentrópica.
- 2-3 Adición de calor a volumen constante.
- 3-4 Expansión isentrópica.
- 4-1 Rechazo de calor a volumen constante.

¹ CENGEL Y, BOLES M; Termodinámica 5ta Edición. Mc Graw Hill; México; 2006

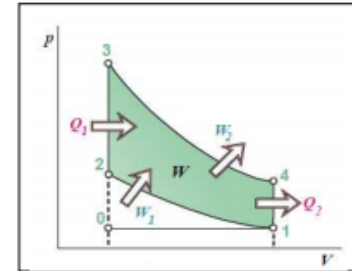


Figura 1.1 Ciclos de trabajo de un motor Otto de cuatro tiempos.²

1.1.2 EL MOTOR A GASOLINA

Un motor de gasolina constituye una máquina termodinámica que trabaja con el ciclo Otto formada por un conjunto de piezas o mecanismos fijos y móviles, cuya función principal es transformar la energía química que proporciona la combustión producida por una mezcla de aire y combustible en energía mecánica o movimiento. Esta transformación en el motor se realiza en cuatro carreras o tiempos: admisión, compresión, explosión y escape. Estas carreras se repiten continuamente mientras opera el motor.³

1.1.2.1 Primer Tiempo: Admisión

Durante éste tiempo el pistón se desplaza desde el punto muerto superior (PMS) al punto muerto inferior (PMI) y efectúa su primera carrera o desplazamiento lineal. Durante éste desplazamiento el cigüeñal realiza un giro de 180°.

1.1.2.2 Segundo Tiempo: Compresión

En éste tiempo el pistón efectúa su segunda carrera y se desplaza desde el punto muerto inferior (PMI) al punto muerto superior (PMS). Durante éste recorrido la muñequilla del cigüeñal efectúa otro giro de 180°. Ángulo total girado por el cigüeñal 360°.

² www.juntadeandalucia.es/averroes/les_sierra.../d.../termopri.pdf

³ http://www.asifunciona.com/mecanica/af_motor_gasolina/af_motor_gasolina_1.htm

Cuando el sistema de distribución se encuentra mal sincronizado, sus elementos desgastados o las válvulas están en mal estado, las emisiones contaminantes se incrementan de manera considerable debido a que parte de la mezcla aire-combustible sale por la válvula de escape sin combustionarse.

1.2.2 SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO⁶

Las exigencias ambientales en el mundo y en particular para los vehículos, obligaron a los fabricantes a desarrollar tecnologías que permitan controlar la potencia, el ahorro de combustible y la disminución de la contaminación.

El control electrónico para vehículos se compone de sensores, unidad de control y de actuadores estos elementos permiten controlar el funcionamiento del motor durante su operación, siendo en realidad un sistema de control de emisiones necesitando para su diagnóstico equipos como: escáner automatizado, analizador de gases, multímetro automatizado, osciloscopio; equipos que permiten realizar reparaciones en el sistema. Para su operación se necesita de personal capacitado en la utilización de estas herramientas.

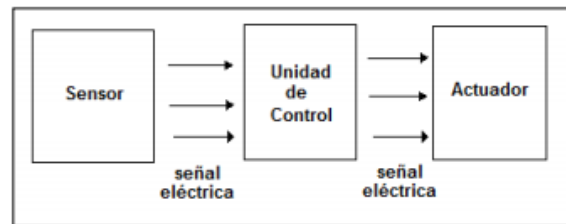


Figura 1.4 Esquema de un sistema de control general.

1.2.2.1 Sensores

Son instrumentos que convierten una magnitud física (temperatura, revoluciones del motor, etc.) o química (gases de escape, calidad de aire, etc.), en una magnitud eléctrica que pueda ser entendida por la unidad de control. La señal de

⁶ <http://www.mecanicavirtual.org/>

salida del sensor no es considerada solo como una corriente o una tensión, sino también se consideran las amplitudes de corriente y tensión, la frecuencia, el periodo, la fase o la duración del impulso de una oscilación eléctrica, así como los parámetros eléctricos "resistencia", "capacidad" e "inductancia".

Los sensores utilizados en forma general en la gestión electrónica del motor son:

- Temperatura de refrigerante del motor (ETC).
- Temperatura de aire de admisión (MAT).
- Velocidad del vehículo. (VSS).
- Masa de aire (MAF).
- Posición del árbol de levas.
- Temperatura CTS.
- Posición del cigüeñal.
- Detonación.
- Presión absoluta en el múltiple de admisión (MAP).
- Oxígeno.
- Posición de la mariposa (TPS).
- Vacío.

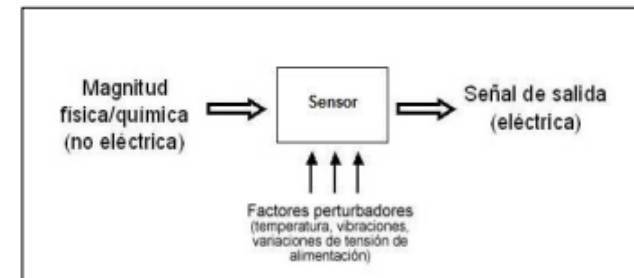


Figura 1.5 Esquema del funcionamiento de un sensor.

1.2.2.2 Unidad de Control Electrónico (ECU)

Es una computadora encargada de administrar y organizar todas las funciones del motor, procesa las señales eléctricas enviadas por los sensores, al mismo tiempo controla a los actuadores por medio de otras señales eléctricas.

Las características de la Unidad de Control son:

- Posee una alimentación de 12v que proviene de la batería
- Los sensores envían señales analógicas y digitales al componente preparador de señales.
- El microprocesador posee memorias RAM, EPROM, EEPROM para almacenar información técnica y de programación fundamental del funcionamiento del vehículo.
- La ECU prepara las señales eléctricas específicas y las envía a los actuadores.
- Para la realización del diagnóstico la ECU posee un conector, el cual permite utilizar un escáner automotriz para realizar el mantenimiento y verificar en forma general el funcionamiento del motor.

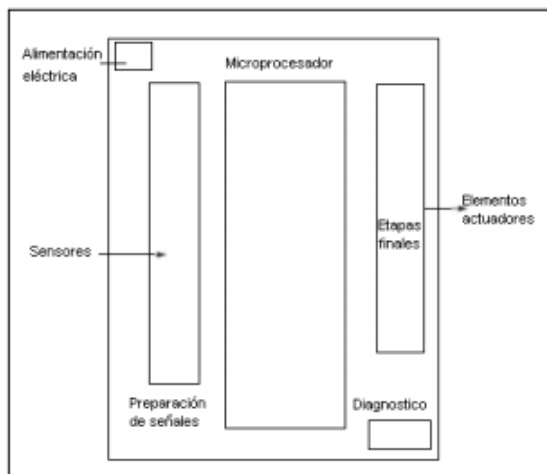


Figura 1.6 Esquema interno de una Unidad de Control para vehículo.

1.2.2.3 Actuadores

Son elementos que reciben las señales eléctricas de la unidad de control y actúan en los diferentes sistemas del motor realizando acciones como cambio de posición, inyección de combustible, accionamiento de circuitos eléctricos, abrir o cerrar válvulas y otras. Los actuadores generalmente son solenoides y relés.

Los actuadores utilizados en forma general son:

- Relé de bomba de combustible.
- Bomba de combustible.
- Inyectores.
- Relé de alimentación de corriente.
- Válvula de dosificación del combustible.
- Electro válvula para depósito de carbón activo.
- Termostato para refrigeración del motor.
- Válvula para recirculación de gases de escape.
- Calefacción para sonda lambda.

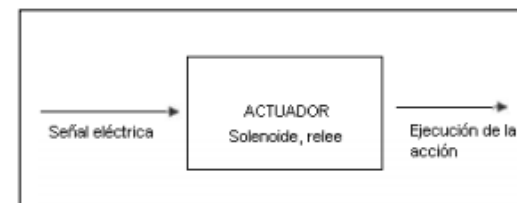


Figura 1.7 Esquema de funcionamiento de un actuador.

Cuando se activa el Check Engine en los vehículos de inyección electrónica significa que existe un problema en el funcionamiento del motor, al revisar con un escáner automotriz la unidad de control muestra códigos de error siendo la causa del mal funcionamiento un sensor o un actuador produciendo en la mayoría de los casos incremento de las emisiones contaminantes.

1.2.3 SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE⁷

Encargado de recibir, almacenar y proporcionar el combustible en forma adecuada para que se mantenga la relación ideal aire-combustible en todos los regímenes de funcionamiento del motor, ya sea en ralentí, media velocidad o a plena carga, reduciendo de esta forma las emisiones vehiculares.

Componentes del Sistema de Inyección de Combustible

- Tanque de combustible.
- Conductos.
- Bomba de inyección de combustible.
- Filtro de combustible.
- Riel de inyección.
- Inyectores.

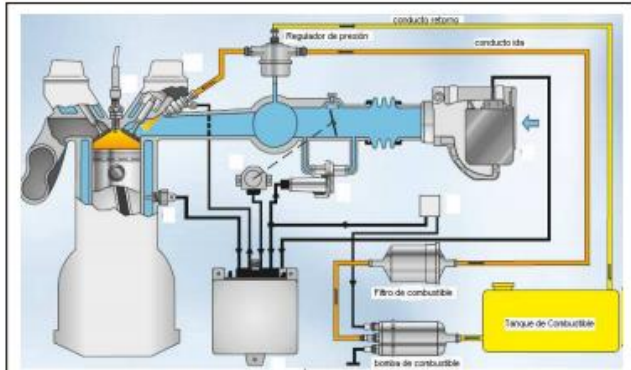


Figura 1.8 Diagrama de un sistema de alimentación de combustible por inyección.⁸

⁷ ROJAS, L; Mecánica Automotriz; INACAP; 2001

⁸ BOSCH, Manual de Sistema de Inyección Electrónica

Cuando existe baja presión del sistema, filtros de inyectores taponados se incrementan las emisiones contaminantes. Esto también se produce si los sensores (oxígeno, flujo de aire, temperatura del motor y otros) o actuadores (inyectores, válvula de dosificación de combustible y otros) se encuentran en mal estado.

1.2.4 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AIRE⁹

Encargado de recibir y proporcionar el aire para el funcionamiento del motor. Proporciona en forma controlada el aire necesario para todos los regímenes de funcionamiento del motor.

Componentes del Sistema de Alimentación de Aire

- Filtro de aire.
- Múltiple de admisión de aire.
- Sensores de MAF, MAP, MAT.
- Mariposa de aceleración.

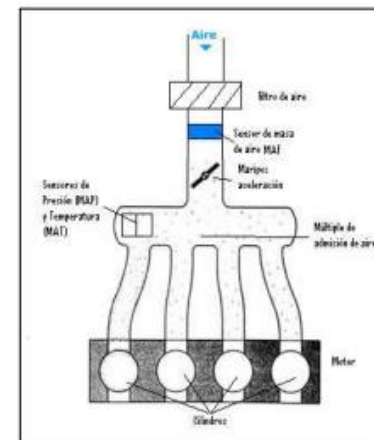


Figura 1.9 Esquema del sistema de alimentación de aire.

⁹ ROJAS, L; Mecánica Automotriz; INACAP; 2001

ANEXO 19
MATERIALES Y METODOS

METALES EN PM₁₀ Y SU DISPERSIÓN EN UNA ZONA DE ALTO TRÁFICO VEHICULAR

Analí Machado, Harvi Velázquez, Neyma García, César García, Lorena Acosta, Albertocórdova y María Linares

Analí Machado Pineda. Ingeniera Mecánica, Maestría en Ingeniería de Gas, Doctora en Ingeniería Ambiental, La Universidad del Zulia (LUZ), Venezuela. Profesora, LUZ, Venezuela y Directora, Centro de Combustibles Gaseosos para Vehículos Automotores (CEDEGAS-LUZ), Venezuela. Dirección: CEDEGAS, LUZ. Apartado Postal 526 Maracaibo 4001-A, Venezuela. e-mail: amachadop@luz.edu.ve

Harvi Velázquez. Licenciado en Química y Maestría en Ciencias del Ambiente, LUZ, Venezuela. Profesor, LUZ, Venezuela.

Neyma García de Rossell. Ingeniera Química, LUZ, Venezuela. M.Sc. en Ingeniería de Salud Ambiental, University of Texas, Austin, EEUU. Profesora, LUZ, Venezuela.

César García. Ingeniero Químico, LUZ, Venezuela. M.Sc. en Ingeniería Química, Washington University, Seattle, EEUU. Profesor, LUZ, Venezuela.

Lorena Acosta. Licenciada en Química, LUZ, Venezuela. Asistente de investigación, CEDEGAS-LUZ, Venezuela.

Alberto Córdova. Ingeniero Químico y Estudiante de Maestría en Ingeniería Ambiental, LUZ, Venezuela. Asistente de investigación, CEDEGAS-LUZ, Venezuela.

María Teodora Linares. Licenciada en Química, Maestría en Ciencias del Ambiente, LUZ, Venezuela. Asistente de investigación, CEDEGAS-LUZ, Venezuela.

RESUMEN

Debido a la importancia del efecto de las partículas inhalables PM₁₀ sobre la salud, se evaluaron los niveles de ocho metales traza (Pb, Al, Ni, Zn, Cu, Cr, V, Cd) en dichas partículas, en una zona de alta densidad vehicular. Las muestras fueron recolectadas en los sitios de muestreo (considerados como de emisión y dispersión) durante las épocas de sequía y lluvia, empleando un muestreador de bajo volumen con filtros de fibra de cuarzo, sometidas a un proceso de digestión y analizadas por espectrometría de absorción atómica. Las concentraciones de PM₁₀ fueron el doble en la zona de emisión que en la zona de dispersión en ambas épocas, presentando una mejor correlación entre las zonas en época de sequía. A excepción de V y Cu, todos los metales analizados mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las zonas de muestreo. Por otra parte, para el período total existen diferencias significativas entre las zonas y las épocas climatológicas tanto para PM₁₀ como para la totalidad de los metales. El Pb no excedió el estándar de calidad del aire establecido para Venezuela, pero presentó una concentración promedio en la zona de emisión de 1,13µg/m³, cercano al límite diario permisible para Venezuela y USEPA; mientras que tanto el Pb como el Ni sobrepasaron el límite permisible de la OMS en ambas zonas durante todo el período de muestreo. El análisis estadístico demostró la adecuada selección de la zona de monitoreo, confirmando que la principal fuente de emisión de los poluentes es el parque automotor.

PM₁₀ METALS AND THEIR ATMOSPHERIC DISPERSION IN A ZONE OF HIGH VEHICULAR TRAFFIC DENSITY

SUMMARY

Due to the increased interest in health effects of inhalable particles (PM₁₀), the levels of eight trace metals (Pb, Al, Ni, Zn, Cu, Cr, V, Cd) in such particles were evaluated in atmospheric samples of a high traffic density area. Samples were collected at two different sites (considered as emission and dispersion areas) during dry and wet season periods, using a low volume air sampler equipped with quartz fiber filters. The samples were analyzed by atomic absorption spectrometry after acid extraction. PM₁₀ concentrations were twice as high in the emission area than in the dispersion area for both climatic regimes, but exhibited a better correlation between sites during the dry season. All the metals except V and Cu showed statistically significant differences between monitoring sites. Considering the total sampling period for PM₁₀ as well as for all the metals, there are significant differences between sites and between seasons. The Venezuelan air quality standard for Pb was not exceeded, but a mean concentration of 1.13µg/m³, very close to Venezuelan and USEPA standards was obtained at the emission site. Meanwhile, Pb and Ni levels for both locations were above the limit allowed by WHO during the whole sampling period. The statistical analysis demonstrated an adequate selection of the monitoring areas, confirming that the main emission source of these atmospheric pollutants are motor vehicles.

METAIS EM PM₁₀ E SUA DISPERSÃO EM UMA ZONA DE ALTO TRÁFICO VEICULAR

RESUMO

Devido à importância do efeito das partículas inaláveis PM₁₀ sobre a saúde, se avaliaram os níveis de oito metais traço (Pb, Al, Ni, Zn, Cu, Cr, V, Cd) em ditas partículas, em uma zona de alta densidade veicular. As amostras foram coletadas nos locais de amostragem (considerados como de emissão e dispersão) durante as épocas de seca e chuva, empregando um muestreador coletor de baixo volume com filtros de fibra de quartzo, submetidas a um processo de digestão e analisadas por espectrometria de absorção atômica. As concentrações de PM₁₀ resultaram o dobro na zona de emissão que na zona de dispersão em ambas as épocas, apresentando uma melhor correlação entre as zonas na época de seca. Com exceção de V e Cu, todos os metais analisados mostraram diferenças estatisticamente significativas entre as zonas de amostragem. Por outra parte, para o período total existem diferenças significativas entre as zonas e as épocas climatológicas tanto para PM₁₀ como para a totalidade dos metais. O Pb não excedeu o padrão de qualidade do ar estabelecido para Venezuela, mas apresentou uma concentração média na zona de emissão de 1,13µg/m³, próximo do limite diário permíssível para Venezuela e USEPA; enquanto que tanto o Pb como o Ni sobrepasaram o limite permíssível da OMS em ambas zonas durante todo o período de amostragem. A análise estatística demonstrou a adequada seleção da zona de monitoração, confirmando que a principal fonte de emissão dos poluentes é o parque automotor.

PALABRAS CLAVE / Absorción Atómica / Contaminación / Emisiones Vehiculares / Metales / PM₁₀ /

Recibido: 15/10/2006. **Modificado:** 21/02/2007. **Aceptado:** 28/03/2007

Introducción

La contaminación del aire en áreas urbanas es causada principalmente por diferentes fuentes de combustión y procesos industriales. Entre los contaminantes de mayor interés están las partículas, el dióxido de nitrógeno y el monóxido de carbono, que constituyen un problema ambiental, resultante de las actividades del hombre o contaminación antrópica (ICLAM, 2004).

La actividad industrial y el tráfico automotor cumplen un rol importante en la formación de partículas y participan directa e indirectamente en la formación de aerosoles secundarios, y en consecuencia la concentración de partículas en áreas urbanas es alta comparada con áreas no urbanas (Saskia *et al.*, 1998).

A partir de estudios epidemiológicos llevados a cabo en las décadas de 1980 y 90 se han obtenido datos que permiten afirmar que existe una correlación significativa entre la exposición al material particulado atmosférico y diversos efectos adversos sobre la salud (Künzli *et al.*, 1992; Bascom *et al.*, 1996; Brunekreef *et al.*, 1997). En estos estudios los niveles de material particulado han sido caracterizados de diferentes formas, incluyendo (Schwartz, 1994; Dockery y Pope, 1996) la concentración en masa total (partículas en suspensión totales, PST), PM₁₀ (partículas ≤10µm) y PM_{2,5} (partículas ≤2,5µm).

Investigaciones realizadas por Wjst *et al.* (1993) y por Weiland *et al.* (1994) establecieron una asociación entre el tráfico automotor y la disminución de la función pulmonar así como un incremento en problemas respiratorios en niños, principalmente en ciudades que se encuentran en desarrollo.

Al margen del tamaño de las partículas, los efectos del material particulado atmosférico en la salud dependen de su composición química. A pesar de que en la actualidad existe todavía incertidumbre acerca de los efectos provocados por las diferentes especies químicas, la mayoría de los estudios apuntan que el mayor impacto sobre la salud es causado por las partículas de carbono elemental (CE), compuestos orgánicos (CO), concretamente hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs), sulfatos y nitratos, partículas <0,1µm y determinados metales como As, Cd, Fe, Zn, Cr, Cu, Al, V, Ni y Pb (Wichmann y Peters, 2000; WHO, 2003).

En el estado Zulia, Venezuela, el municipio Maracaibo es una localidad urbana con elevada densidad poblacional y alto índice de mortalidad por cáncer de pulmón y enfermedades del sistema respiratorio, tales como bronquitis, asma, laringitis y neumonía, entre otras.

El principal metal presente en las emisiones vehiculares hasta agosto 2005 en Venezuela es el Pb, debido a que hasta esa fecha fue usada la gasolina con plomo. El uso de la gasolina con plomo ha sido restringido desde 1995 en los EEUU y otros países de Europa, y en Japón desde 1975. Como consecuencia de estas acciones las concentraciones de ese elemento han decrecido drásticamente en zonas urbanas (Hung, 1994).

En esta investigación se evalúan las concentraciones de Pb, Al, Ni, Zn, Cu, Cr, V y Cd presentes en el material particulado inhalable (PM₁₀) en una zona específica de la ciudad de Maracaibo caracterizada por una alta densidad vehicular y en otra cercana, a fin de evaluar la dispersión atmosférica de tales partículas.

Muestreo

El muestreo se realizó durante dos períodos, abarcando tanto la época húmeda (noviembre 2004) como la época seca (enero-febrero 2005), recolectándose en total 12 en lluvia y 14 en sequía, respectivamente. El tiempo de recolección de cada muestra fue de 24h, con un captador de PM₁₀ de bajo volumen (flujo de muestreo de 16,71/mm), y una frecuencia interdiaria, de acuerdo a lo establecido en el Decreto 638 (COVENIN, 1995).

Para la recolección de las partículas se emplearon filtros de fibra de cuarzo de 47mm de diámetro, realizando una estabilización ambiental durante 24h. antes y después del muestreo, en una sala a condiciones controladas de temperatura (25°C) y humedad (<50%).

Análisis de las muestras

Después de colectadas las muestras y de ser acondicionados los filtros, se procedió a la digestión. Los filtros fueron colocados en vasos de precipitado de vidrio de 150ml, se adicionaron 10ml de agua regia (64,6ml HNO₃ + 182ml HCl; Lodge, 1989) y 3ml de HC1O₄ (Sadiq y Mian, 1993), y se dejaron en contacto toda la noche. Al día siguiente el contenido de cada vaso fue calentado a 60°C por ~3h, hasta casi sequedad. Luego se adicionaron 20ml de agua caliente para facilitar la filtración, se dejaron enfriar, el contenido fue filtrado y, finalmente, se enrasó a 50ml usando agua desionizada y se guardaron en envases de polipropileno para su posterior análisis (COVENIN, 1987) en el equipo de espectrometría de absorción atómica.

Previo a la medición de las concentraciones de los metales (Pb, Al, Ni, Zn, Cu, Cr, y y Cd), en las muestras se construyeron curvas de calibración, partiendo de patrones concentrados de 1000mg/l y a partir de estos se prepararon diluciones de acuerdo a los requerimientos de cada uno de los metales. Se aplicó el mismo tratamiento a tres blancos y la lectura obtenida de estos fue restada de las lecturas de las muestras, para obtener la concentración real.

Para el análisis estadístico se aplicaron varios criterios, tales como media o promedio (Miller y Miller, 1993), desviación estándar (Montgomery, 1991; García, 1999), prueba de rechazo de Chauvenet (García, 1999), pruebas de medias normales, con varianzas y medias desconocidas t-Student, coeficiente de correlación lineal (Miller y Miller, 1993), distribución de frecuencias acumuladas log-normal (SAS, 1990).

Resultados y discusión

Condiciones meteorológicas durante el período de muestreo

En la [Tabla 1](#) se presentan los datos meteorológicos recopilados durante las épocas de medición en dos emplazamientos de muestreo. Puede observarse que en ambas épocas climatológicas la humedad fue >70%. La humedad en la atmósfera origina un problema de dispersión de la luz, reduciendo la visibilidad. Así mismo, en condiciones de elevada humedad relativa (si ésta excede a 70%), determinados tipos de partículas higroscópicas se convierten en núcleos de condensación originando nieblas, lo cual disminuye marcadamente la visibilidad (ICLAM, 2004); además favorece la formación de contaminantes secundarios particulados a partir de contaminantes gaseosos peligrosos, tales como las sustancias responsables de la lluvia ácida.

TABLA I
ALGUNOS PARÁMETROS METEOROLÓGICOS EN EL PERIODO DE MUESTREO

Periodo	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del viento	Temperatura (°C)	Humedad (%)
Nov - dic. 2004	3,24 ±2,32	113,70° ±13,07°	29,74 ±1,49	89,60 ±4,26
Ene - feb. 2005	1,54 ±0,52	88,48° ±10,96°	28,25 ±0,46	91,36 ±8,70

La dirección y velocidad del viento juegan un papel importante en el proceso de dispersión de los contaminantes. La dirección del viento (ENE, E y SE) exhibió una tendencia preferencial hacia los sitios de muestreo, evidenciando la correcta selección de las zonas estudiadas. Por otra parte, no existen variaciones significativas de la temperatura y la humedad durante los dos períodos de muestreo, mientras que en la velocidad del viento sí se observan diferencias significativas, con registros de hasta el doble durante el período de lluvia.

Niveles de las partículas inhalables PM₁₀

Los niveles de PM₁₀ observados durante las dos épocas climatológicas, tanto en la zona de emisión como en la de la zona de dispersión para el período total, se muestran en la [Tabla II](#). Como era de esperarse, durante la totalidad del monitoreo las concentraciones en la zona de emisión resultaron mayores entre 50% (época de lluvia) y 90% (época de sequía) que las de la zona de dispersión, existiendo diferencias significativas (p<0,05) entre ellas, lo que confirma la apropiada selección de los sitios de acuerdo al propósito establecido.

TABLA II
PROMEDIO DE PM₁₀ EN ZONAS DE EMISIÓN Y DISPERSIÓN DURANTE
AMBAS ÉPOCAS DE MUESTREO

Elemento	Lluvia (µg/m ³)		Sequía (µg/m ³)		Periodo Total (µg/m ³)		Referencia (µg/m ³)
	Emisión	Dispersión	Emisión	Dispersión	Emisión	Dispersión	
PM ₁₀	82,27±14,40	53,48±14,25	84,27±24,81	44,68±26,48	83,27±19,43	46,87±18,67	40,00±7,32
n	12	12	14	14	26	26	12

Al mismo tiempo, el análisis de cada localización revela que ambos sitios exhiben un comportamiento homogéneo (niveles de concentración similares) independientemente del período de toma de muestras involucrado, evidenciando que durante todo el año dominan patrones uniformes tanto de emisión como de dispersión. Las mayores concentraciones se observaron en la zona de emisión en la época de sequía, representando casi el doble (1,8 veces) de las reportadas en la zona de dispersión. Lo anterior permite inferir que en esta zona de la ciudad tienen mayor predominio las emisiones del parque automotor que el lavado atmosférico.

Igualmente en la [Tabla II](#) se observa la semejanza entre los niveles de concentración de la zona de dispersión y la de referencia, que es poco poblada y alejada de fuentes antropogénicas de contaminación, ratificando la ocurrencia del proceso de dispersión y la apropiada selección de las zonas de muestreo. Cabe destacar que la zona de referencia se encuentra ubicada de forma tal que puede recibir partículas provenientes de fuentes situadas a gran distancia, como las de la península de Paraguaná.

Niveles de metales en partículas inhalables PM₁₀

Las concentraciones promedio de todos los metales en las zonas bajo estudio, son presentadas en la [Tabla III](#), evidenciándose que el Pb, como era de esperarse, es el principal marcador de las emisiones vehiculares. El Pb amerita ser estudiado con detenimiento por el hecho de que se detecta principalmente en partículas atmosféricas finas, por estar asociado con procesos donde se utilizan temperaturas muy elevadas y por los efectos adversos conocidos (Sánchez, 2000). El Pb al igual que V, Ni y Cu, puede ser generado tanto por fuentes móviles como por plantas de generación de potencia, y aunque en las zonas cercanas no se encuentra una planta generadora, las partículas de PM₁₀ pueden viajar grandes distancias (Nriagu y Pacyan, 1998).

TABLA III
CONCENTRACIONES PROMEDIO DE TODOS LOS METALES,
EN LAS ZONAS BAJO ESTUDIO

Elemento	Lluvia ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Sequía ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Periodo total ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Referencia ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	Emisión	Dispersión	Emisión	Dispersión	Emisión	Dispersión	
Pb	1,18 ±0,41	0,58 ±0,15	1,07 ±0,04	0,74 ±0,025	1,13 ±0,39	0,66 ±0,22	0,15±0,01
Al	0,53 ±0,46	0,26 ±0,12	1,06 ±0,25	0,52 ±0,22	0,80 ±0,45	0,39 ±0,22	0,30±0,02
Ni	0,05 ±0,02	0,04 ±0,01	0,10 ±0,03	0,06 ±0,01	0,08 ±0,03	0,05 ±0,01	0,01±0,00
Zn	0,03 ±0,01	0,03 ±0,01	0,07 ±0,02	0,04 ±0,01	0,05 ±0,03	0,04 ±0,01	3,00±0,23
Cu	0,05 ±0,04	0,02 ±0,01	0,04 ±0,01	0,02 ±0,00	0,05 ±0,03	0,02 ±0,01	0,03±0,01
Cr	0,05 ±0,04	0,03 ±0,01	0,04 ±0,01	0,02 ±0,01	0,05 ±0,02	0,03 ±0,01	-
V	0,02 ±0,02	0,01 ±0,00	0,02 ±0,00	0,01 ±0,00	0,02 ±0,01	0,01 ±0,00	0,005±0,0
Cd	0,001 ±0,00	0,0009 ±0,00	0,0008 ±0,00	0,0006 ±0,00	0,0009 ±0,00	0,0007 ±0,00	0,0002±0,00

Como se presenta en la [Tabla III](#) para el lapso total de muestreo, las mayores concentraciones para todos los metales se encontraron en la zona de emisión, exhibiendo diferencias significativas del 95% de confiabilidad. Esto evidencia que los poluentes de esta zona son dispersados en dirección a la zona seleccionada como de dispersión, debe destacarse que la zona fue fijada bajo el criterio de micro escala (100- 500m), a una distancia de 200m del foco emisor. Los elementos con las diferencias más pronunciadas entre las zonas bajo estudio son Pb, Al, y, Cu y Ni, en contraste con Zn, Cr y Cd.

Al comparar la variación de los resultados obtenidos en las tres zonas de estudio, tanto para PM₁₀ como para todos los metales, a excepción del Zn, la zona de referencia exhibe concentraciones por debajo de las encontradas en las zonas de emisión y de dispersión, evidenciándose la inexistencia en la zona de otra fuente primaria antrópica de partículas que pudiera considerarse de importancia. La diferencia significativa en los niveles atmosféricos encontrados entre las diversas zonas comprueba la fuerte influencia del parque automotor en esta zona de la ciudad. La mayor concentración de Zn encontrada en la zona de referencia es de interés, ya que la concentración de fondo es 60 y 85,7 veces mayor que la de la zona de emisión y dispersión, respectivamente. Esto puede deberse a la existencia de otro tipo de fuente emisora, cuya dispersión hacia la zona de referencia se ve influenciada por la dirección del viento, ya que al encontrarse en partículas pequeñas pueden viajar grandes distancias. Adicionalmente, la zona de referencia puede encontrarse influenciada por el fenómeno de resuspensión.

En cuanto al Al es sabido que constituye un elemento común en las emisiones vehiculares, cuyo origen esta vinculado al moderno empleo del convertidor catalítico, puesto que utiliza como sustrato $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Sin embargo, es de hacer notar que no es sino hasta el 2000 que aparecen en Venezuela vehículos con este tipo de dispositivos y que, en general, el parque automotor de transporte público no posee esta característica (Hung *et al.*, 1994). Es posible la existencia de otra de fuente antropogénica de este elemento que tenga un menor impacto.

Se han determinado concentraciones de Ni mayores en zonas residenciales y céntricas, en comparación con zonas industriales, con lo que se puede establecer la relación entre el parque automotor y el Ni (Gerdol *et al.*, 1999). Otro metal relacionado con este tipo de fuentes es el V, por lo que las concentraciones de Ni y V pueden deberse al tipo de combustible y la composición de los escapes de los vehículos, en especial los de transporte público que emplean combustible diesel (ICLAM, 1998) y transitan continuamente en esta zona de la ciudad, debido a que es un punto de enlace de muchas líneas de transporte público.

Cu, Zn y Cr están principalmente relacionados con las emisiones de las actividades antropogénicas con altas temperaturas (industria y transporte) y biogénicas (Morales *et al.*, 1995). El Zn es encontrado frecuentemente en partículas finas, debido a la razón concentración-frecuencia (C/F) >1. Esto es esperado puesto que las emisiones vehiculares son el resultado de un proceso de combustión a altas temperaturas, relacionado principalmente con partículas finas. Adicionalmente, los aceites de motor son una fuente importante de Cr (Hung *et al.*, 1994). Los niveles de Zn también se encuentran estrechamente relacionados con el empleo y desgaste de cauchos y frenos de vehículos (Largerwerff y Specht, 1970; Friedlander, 1993).

Por otra parte, el que las concentraciones de Cd, y, y Cu no presenten variaciones importantes entre las estaciones de medición para un metal dado, podría indicar una concentración de fondo que puede elevarse porque ambos sitios estén bajo la influencia de una fuente lejana que genera emisiones capaces de viajar grandes distancias y por la ausencia de fuentes locales de emisión. Estos elementos son mayormente producidos por desechos de incineración, plantas de generación eléctrica y fuentes industriales (Barratt, 1980).

Las emisiones de metales relacionadas con el tráfico se aprecian tanto en las fracciones finas como en las gruesas (emisiones de motores, resuspensión de partículas sedimentadas, abrasión del firme, frenos y ruedas), por lo que en la zona de emisión para las dos épocas climatológicas existen niveles mayores tanto para PM₁₀ como para casi todos los metales estudiados.

ANEXO 20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5. RESULTADOS Y DISCUSION

Las pruebas denotadas en el laboratorio se evidencian en las pruebas realizadas, pero que inicialmente tomamos muestras como dedigna el manual con tanque lleno, pero en muchas ocasiones cuando se va a pasar la revisión vehicular recomiendan con medio tanque para que supuestamente baje de mejor forma y trabaje adecuadamente las emisiones vehiculares, procediendo a realizar con las 2 muestras.



Figura 6. Aditivo y equipo de pruebas
Fuente: Autores

Se realizaron pruebas individuales y para obtener una muestra más aceptable se procedió a 5 pruebas iniciando con el combustible extra, y luego con los porcentajes de combustibles, utilizando la norma INEN 2203.

Según normativa INEN, 2203 la emisión de gases contaminantes se las mide en ralentí a 800 RPM y a 2500 RPM, luego de un lapso de 30 segundos por lo que se obtuvo las muestras de las pruebas con los porcentajes de aditivos según el eje transversal denominado tiempo.

El nivel de CO, según I CORPAIRE no debe superar el valor de 0,5%, para que el vehículo apruebe la revisión técnica vehicular.

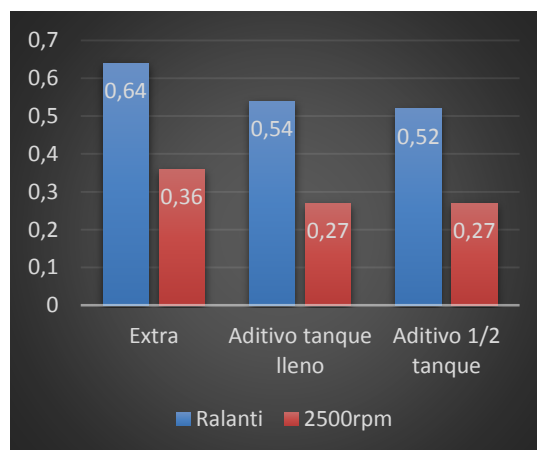


Figura 7. Porcentaje emisiones CO
Fuente: Autores

Mientras tanto al momento de realizar las pruebas de HC, se tomaron muestras a 2500 y luego de los 30 segundos se tomó la muestra a real anti hasta que el auto de estabilice y nos muestre los valores de emisiones.

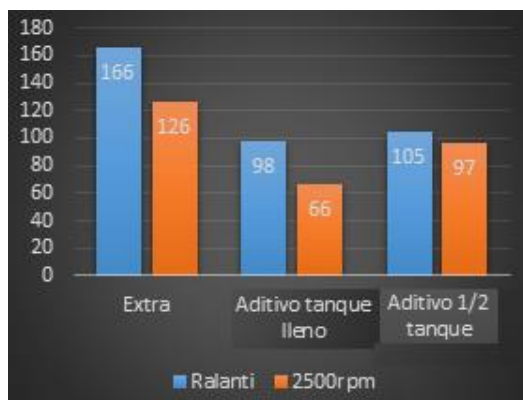


Figura 8. Porcentaje emisiones HC

Fuente: Autores

Las pruebas realizadas luego se las comparo con la norma INEN cuyos valores determina que en vehículos con una cilindrada de 1400 no debe superar el valor de CO de 1,0 y los valores de HC no serán superior a 200, lo que se observa en las pruebas que nunca sobrepasan estos valores permitidos por la INEN.

En las pruebas con gasolina extra la emisión de gases de CO inicialmente de 0,64, y luego de utilizar el aditivo con la prueba en Ralentí con tanque lleno baja a 0,54, con una reducción del 15, 62%, y con medio tanque colocado el aditivo la reducción es del 18,75%. Mientras que las pruebas a 2500 RPM inicialmente se tiene una muestra de 0,36 y luego baja a 0,27, teniendo una reducción del 25%

El las muestras de HC, se generan datos similares y favorables a la reducción de emisiones de gases contaminantes, por lo que inicialmente en Ralentí y con la gasolina extra determina un valor de 166, y no sobrepasa lo que determina la INNEN 2203 que es de 200ppm, y al colocar el aditivo en tanque lleno reduce 59% y con medio tanque reduce un 63,25%, mientras que a 2500 RPM iniciando con un valor de 126 reduce con tanque lleno 47,61% y con medio tanque una reducción del 23%.

CONCLUSIONES

- El automóvil se comporta de diferente manera, con los diferentes tipos de combustible (Súper y Extra) así mismo con los múltiples aditivos que podemos encontrar
- El porcentaje de contaminación sin aditivo es mayor al porcentaje de contaminación con el aditivo. El incremento de la potencia del motor y su torque con un bajo consumo de gasolina
- El tiempo de vida del motor, los aditivos permiten que existan menos fricción y menos desgaste en el motor.

RECOMENDACIONES

- Utilizar aditivo para la gasolina por lo menos cada dos veces que llenemos el tanque de combustible, con el fin de ayudar al medio ambiente en la contaminación.
- Si queremos evitar alguna enfermedad a futuro por gases nocivos, debemos usar aditivo de gasolina para evitar resguardar la salud.
- Para que un vehículo pase la revisión corpaire en óptimas condiciones, uno de los elementos que ayudaría es un aditivo de gasolina.

BIBLIOGRAFIA

- [1] L. Giraldo, «Estimación del inventario de emisiones de fuente móviles para la ciudad de Bogotá e identificación de variables pertinentes».
- [2] U. d. I. Andes, «Estimación de los factores de emisión de las fuentes móviles de la ciudad de Bogotá».
- [3] E. Vega, «Comparación de perfiles de emsiones vehiculares en túnel y dinamómetro».
- [4] J. Sigsby, 1987.
- [5] chevrolet, «automotriz.net,» [En línea]. Available: <http://www.automotriz.net/cms/mercado/chevrolet-ganara-posiciones-como-marca-global/>.
- [6] j. gomez, «el nuevo octanaje de la gasolina en el Ecuador,» [En línea]. Available: <http://especiales.elcomercio.com/2012/04/gasolina>.
- [7] l. villa, «plan de impementacion de produccion mas limpia,» 2015.
- [8] marca ravaglioli, «servicio automotriz,» [En línea].
- [9] INEN, «INEN 2203 Gestión Ambiental,» [En línea].
- [10] «foro coches,» 2009. [En línea]. Available: <https://www.forocoches.com/foro/showthread.php?t=4594211>.
- [11] L. L. D. Guitierrez, «Estimacion de factores de emision para vehiculos automotores de gasolina,» 2002.
- [12] M. M. Suarez, «El caso de la contaminacion atmosferica en Bogata,» 2008.
- [13] M. vallejo, «efectos de la contaminacion atmosferica en la salud y su importancia en la ciudad de mexico,» 2002.
- [14] Vallejo, 2002. [En línea].
- [15] NGK, «Normas Euro,» [En línea].
- [16] Z. M. d. V. d. México, «Inventario de emisiones,» 1998. [En línea].
- [17] V. Toro, « Emission inventory in Medellin,» 2001. [En línea].

- [18] E. Alba, «Desarrollo y validación de un método para determinación de factores de emisión vehicular mediante pruebas a bordo en la ciudad de Quito,» 2010.
- [19] A. Machado, «Metales en PM 10».