

# CONSECUENCIAS DE LA COMBUSTION INCOMPLETA EN LA CONTAMINACION DEL AIRE<sup>1</sup>

José Joaquín Garoz

Departamentos de Ingeniería Industrial e Ingeniería Mecánica

## Introducción

El aire es un recurso vital para la vida en la Tierra y para la existencia misma del hombre, ya que no podemos vivir sin respirar. Por lo tanto, la preservación de la calidad del aire es de suma importancia. Sin embargo, debido a que es gratuito y abundante, presuponemos su disponibilidad, sin pensar mucho en la importancia que tiene su calidad para nuestra salud.

La realidad es que estamos cambiando la calidad del aire en las zonas urbanas de las ciudades del mundo, al utilizarlo para arrojar los desechos de la combustión incompleta de los combustibles, lo cual ocurre en la mayoría de los motores de combustión interna utilizados dentro de los perímetros urbanos y sus alrededores.

Este ensayo presenta la hipótesis de que la principal causa de la contaminación del aire en las zonas urbanas de los países en vías de desarrollo es el desconocimiento que existe, en la mayor parte de la población, acerca del simple proceso de la combustión de un combustible, el cual, en los países desarrollados, es un hecho comúnmente conocido; sin embargo, se está incurriendo en el error de dar por supuesto ese conocimiento en los países en vías de desarrollo. En ellos se aplican, en idéntica forma, las normas de revisión de vehículos utilizadas en los países desarrollados, sin tener en cuenta que un propietario de vehículo no cambiará sus hábitos en cuanto al uso y conservación del mismo, si desconoce el principio fundamental del cual depende su funcionamiento.

Aunque un tema importante es la necesaria legislación para el control coercitivo de la contaminación del aire, es conveniente considerar que los ciudadanos también deben conocer por qué hay que cumplir una ley y que su acatamiento será más fácil si están convencidos de que es necesario cumplirla. Es mejor el autocontrol basado en el convencimiento, que el control forzado por la legislación. En contraposición a ello, en muchos países en vías de desarrollo es impresionante el bajísimo porcentaje de personas que saben, a ciencia cierta, cómo funciona un

motor de combustión interna y cuáles son las principales causas de la contaminación del aire. Asimismo, de poco o nada sirve establecer controles y normas si éstos no son apreciados con objetividad por la mayoría de ciudadanos propietarios y usuarios de vehículos motorizados.

Basado en esas premisas, la exposición del tema tiene como objetivo plantear la necesidad de emprender, paralelamente con el esfuerzo legislativo, campañas intensivas de información sobre el fenómeno de la combustión, presentando el tema en forma elemental y atractiva en todos los medios posibles de comunicación.

## Planteamiento

El presente ensayo está basado en las siguientes proposiciones:

1. Los períodos de recambio del elemento depurador del filtro de aire, recomendados por los fabricantes de vehículos, varían entre 15,000 y hasta 40,000 km lo cual sugiere que esas estimaciones están basadas en las condiciones del aire atmosférico que prevalecen en las ciudades con baja contaminación atmosférica (en donde los habitantes tienen un mejor comportamiento en cuanto a la contaminación, por estar mejor informados). En contraposición a esto, por experiencia personal en el uso de mi vehículo en la ciudad de Guatemala, debo cambiar el elemento del filtro a los 3,000 ó 5,000 km. La mayoría de personas no lo cambia con esta frecuencia ya que usualmente no inspeccionan periódicamente el filtro y dependen de un taller para el mantenimiento de su vehículo.
2. El material que obstruye el elemento del filtro de aire, y que obliga a cambiarlo con mucho mayor frecuencia, es una pasta oscura formada por partículas de hollín y aceite diesel, la cual es imposible de eliminar

<sup>1</sup>Este trabajo fue presentado en el Congreso Mundial sobre Contaminación del Aire en Países en Vías de Desarrollo, San José Costa Rica del 21 al 25 octubre, 1996.

mediante el simple soplado con aire comprimido. Este material es el que producen los motores diesel con combustión incompleta, ya sea por deficiencia de oxígeno, por exceso de entrega de combustible, o por ambas razones a la vez.

3. El fenómeno de la obstrucción temprana del elemento depurador del filtro de aire es acentuado por el hecho de que todo el transporte colectivo y de carga coincide en las arterias de mayor concentración de tráfico vehicular. Por esta razón, siendo la mayoría de ellos emanadores de partículas de hollín y diesel crudo, contribuyen a obstruir rápidamente los elementos depuradores de los filtros de aire de los demás vehículos que circulan en esos trayectos. La concentración de partículas de hollín es aún mayor en trayectos con fuertes pendientes, debido a la sobrecarga que usualmente tienen esos vehículos.

4. Los filtros de aire sucios y obstruidos son la causa más ignorada y, sin embargo, la causa principal de la restricción de entrada de aire a los motores. El primer componente del motor que debe ser comprobado, si existe humo negro o falta de potencia, es el filtro de aire. Los indicadores de requerimiento de servicio del filtro de aire son la forma más precisa de saber cuándo se debe cambiar el filtro de aire, pero muchos motores diesel no cuentan con este indicador, o se lo han eliminado. Ningún motor de gasolina para vehículo cuenta con un indicador de este tipo, el cual sería de gran utilidad para verificar el estado del filtro de aire de los motores de combustión interna, en las ciudades en que este problema es común.

5. Desde el punto de vista del exceso de entrega de combustible, éste puede ocurrir por un ajuste en exceso del volumen de inyección de la bomba de combustible, por desajuste en el control de la relación aire/combustible, o por inyectores de combustible defectuosos. Cuando el combustible no es atomizado correctamente, el proceso de combustión tarda más de lo normal, dejando combustible sin quemar en el cilindro. Parte del combustible no quemado se escurre por las paredes de las camisas. Esto lava el aceite protector, reduce la lubricación y acelera el desgaste de los anillos y de las camisas y el rayado de los pistones. Los principales indicadores son: exceso de humo negro, falta de potencia (lo contrario de lo que creen quienes incrementan el volumen de inyección de la bomba de combustible) y contaminación del aceite con combustible.

6. Tanto la tendencia a la alteración del volumen de inyección de la bomba de combustible, como la falta de compensación por altitud en la regulación del motor, son indicaciones de que hay un desconocimiento generalizado de los principios básicos del funcionamiento de un motor, principalmente del proceso de combustión, lo cual debería ser conocido al

menos por las personas que operan y mantienen los vehículos.

7. Una prueba de dinamómetro debería ser suficiente para convencer a cualquiera que incrementar el volumen de inyección de la bomba de combustible no produce más potencia del motor, sino, por el contrario, disminuye la potencia y aumenta el consumo de combustible.

## Definiciones

La contaminación atmosférica se puede definir como el proceso de degradación que sufre la capa de aire en las zonas urbanas, debido a las impurezas de gases y partículas que flotan sobre las ciudades.

Cuando el aire es puro, está constituido por 78% de nitrógeno, 20.9% de oxígeno y pequeñas cantidades de  $\text{CO}_2$  y argón. Contiene, además, cierta cantidad de vapor de agua, dependiente de las condiciones atmosféricas. El aire puro lo encontramos en las llanuras, en los bosques alejados de las ciudades, en las altas montañas y en el mar.

La conversión de energía que ocurre en un motor de combustión interna produce desechos que constituyen contaminantes del aire. La situación se agrava cuando la combustión es incompleta, como veremos a continuación, al describir las características de los diferentes contaminantes.

Los principales contaminantes del aire son (ver Tabla 1):

**Bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ):** Ha aumentado su concentración en las zonas urbanas como consecuencia de los desechos de combustión en los vehículos. Se produce siempre que se quema un combustible, incluso en las mejores condiciones de combustión completa. Es un componente normal del aire (0.03% en volumen) y es parte del ciclo del carbono en la biósfera. Normalmente no se le consideraba un contaminante. Sin embargo, la combustión del carbón, de los productos del petróleo y del gas natural produce grandes cantidades de  $\text{CO}_2$  y por ello su concentración en la atmósfera está aumentando. Esta tendencia presagia un aumento de la temperatura superficial de la tierra. No tiene efectos nocivos directos sobre la salud, salvo a concentraciones arriba de 5,000 ppm (Tabla 1).

**Monóxido de carbono (CO):** Se produce por *combustión incompleta*. Se genera principalmente en los motores de los vehículos. Comienza a tener efectos nocivos sobre la salud en concentraciones mayores de 13 ppm (partes por millón) y al estar expuesto a él durante periodos prolongados de tiempo. Afecta el

Tabla 1 Contaminantes del aire más importantes. (Tomado de: Microsoft Encarta 1995 Enciclopedia)

CONTAMINANTE	FUENTES PRINCIPALES	COMENTARIOS
Monóxido de carbono (CO)	Gases de escape de los vehículos motorizados; algunos procesos industriales.	Norma de salud: 10 mg/m <sup>3</sup> (9 ppm) en 8 hrs; 40mg/m <sup>3</sup> en 1 hora (35 ppm)
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Instalaciones de generación de potencia y de calor, petróleo o carbón que contiene azufre; plantas de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Norma de salud: 80 g/m <sup>3</sup> (0.03 ppm) en un año; 365 g/m <sup>3</sup> en 24 horas (0.14 ppm)
Partículas en suspensión (TSP)	Gases de escape de los vehículos; procesos industriales; incineración de desechos; generación de potencia y de calor; reacción de gases contaminantes en la atmósfera	Norma de salud: 75 g/m <sup>3</sup> en un año 260 g/m <sup>3</sup> en 24 horas; compuesto de carbón, nitratos, sulfatos, y muchos metales incluyendo Pb, Cu, Fe y Zn
Plomo (Pb)	Gases de escape de los vehículos; fundidoras de plomo, plantas fabricantes de baterías	Norma de salud: 1.5 g/m <sup>3</sup> en 3 meses; la mayor parte del plomo contenido en las TSP
Oxidos de nitrógeno (NO, NO <sub>2</sub> )	Gases de escape de los vehículos; generación de potencia y de calor; ácido nítrico; explosivos; plantas de fertilizantes	Norma de salud: 100 g/m <sup>3</sup> (0.05 ppm) en un año para NO <sub>2</sub> ; reaccionan con los hidrocarburos y la luz para formar oxidantes
Oxidantes fotoquímicos; sobre todo ozono (O <sub>3</sub> ), también nitrato peroxiacetílico (PAN) y aldehídos	Formados en la atmósfera por reacción de los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos y la luz solar	Norma de salud: 235 g/m <sup>3</sup> (0.12 ppm) en 1 hora
Hidrocarburos sin metano (incluye etano, etileno, propano, butanos, pentanos, acetileno)	Gases de escape de los vehículos; evaporación de solventes; procesos industriales; eliminación de desechos sólidos; combustión de combustibles	Reaccionan con los óxidos de nitrógeno y la luz solar para formar oxidantes fotoquímicos
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Todas las fuentes de combustión	Posiblemente dañino a la salud en concentraciones mayores de 5000 ppm en más de 2 a 8 horas; los niveles atmosféricos han aumentado de +/- 280 ppm, hace un siglo, a más de 350 ppm actualmente; esta tendencia puede estar contribuyendo al efecto invernadero

sistema nervioso central; provoca dolor de cabeza, fatiga, somnolencia y cambios funcionales cardíacos. Es inoloro al estar aislado, pero en los gases de combustión está presente en combinación con vapores de gasolina o de hollín, según se trate de un motor a base de combustible gasolina o diesel, y de otros gases que, conjuntamente, tienen un olor peculiar de combustión incompleta en un motor que no está puesto a punto o afinado. La máxima concentración permisible para trabajadores saludables en la industria, para un día de trabajo de ocho horas, es 50 ppm. Una concentración de 1000 ppm puede producir inconsciencia en una hora y la muerte en cuatro horas.

**Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>):** Producido por la combustión de los derivados del petróleo que contienen azufre, como el diesel y combustibles más pesados, como el denominado combustóleo (Bunker C) que se usa en algunas fábricas y en las termoeléctricas. Irrita la parte alta de las vías respiratorias cuando su concentración es de varias partes por millón. Al combinarse con las

gotas de lluvia o de rocío, forma el ácido sulfúrico que perjudica a organismos vivos y mancha paredes y monumentos. Agrava el enfisema, la bronquitis y el asma.

**Oxidos de nitrógeno:** Se forman cuando la combustión ocurre a altas temperaturas, como en los cilindros del motor de un automóvil. Al haber combustión incompleta, la acumulación de carbón en las cámaras de combustión ocasiona temperaturas mayores y, por lo tanto, mayor formación de óxidos de nitrógeno. Son gases de color café-rojizo y olor picante; irritan los pulmones, agravan enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Enturbian el aire de las ciudades.

**Ozono:** Cuando varios gases orgánicos se combinan, en presencia de la luz solar, con óxidos de nitrógeno, se produce una reacción compleja cuyo producto final es el ozono (O<sub>3</sub>). Este es el gas característico del smog de Los Angeles, California, ciudad donde por primera vez se identificó esta reacción fotoquímica. El ozono irrita los ojos y las mucosas de los seres humanos;

además, daña algunas plantas. Las concentraciones más altas de este gas se observan en áreas de alta concentración vehicular, en días con mucho sol.

**Partículas finas en suspensión (PM10 y PM2.5):** Las partículas finas son tan pequeñas, que permanecen suspendidas en el aire y pueden ser inhaladas y depositadas en el sistema respiratorio. Las principales partículas finas son expelidas directamente al aire por los tubos de escape. El término PM10 se refiere a partículas que tienen 10 micrones (milésimas de milímetro) o menos de diámetro. El término PM2.5 se refiere a partículas sumamente finas que tienen 2.5 micrones o menos de diámetro. Los motores diesel, aunque usualmente representan solamente un 10 o un 15% de la flota total de vehículos de una ciudad, contribuyen con más del 40% de las emisiones de partículas relacionadas con el transporte, en ciudades de países en donde el mantenimiento de los vehículos es adecuado y en donde los habitantes tienen una actitud generalmente favorable a evitar la contaminación. En países en vías de desarrollo ese porcentaje es mucho mayor, como lo evidencia el alto índice de vehículos que expelen humo negro.

Las investigaciones actuales indican que la materia en forma de partículas finas es el contaminante del aire con mayores impactos sobre la salud, y que más incide en sus costos relacionados. Según Turk et al. (1974), se ha demostrado que la retención de hidrocarburos carcinogénicos en el cuerpo humano es aumentada apreciablemente si son adsorbidos previamente en partículas de hollín.

### Análisis de la situación actual

Un primer paso para controlar la contaminación atmosférica es conocer las causas que la originan. Un contaminante puede tener relevancia sobre los demás, en una ciudad.

Es por eso que debemos plantearnos las siguientes preguntas:

1. ¿Se han considerado todos los alcances que tiene la alta emisión de partículas sobre la contaminación del aire en las ciudades?

2. ¿Se ha tomado en consideración el efecto que tiene la concentración de vehículos emisores de grandes cantidades de partículas de hollín, en trayectos de alta densidad de tráfico, sobre el comportamiento de los motores que deben funcionar aspirando ese aire?

3. Tomando en cuenta que cada litro de gasolina quemado requiere utilizar aproximadamente 11,250 litros de aire a presión atmosférica normal,

¿cuál será el efecto sobre los filtros de aire de los vehículos que circulan rodeados de vehículos que emanan humo negro?

4. ¿A qué grado afecta este fenómeno la contaminación del aire en las ciudades de los países en vías de desarrollo? ¿Será necesario realizar muestreos y análisis estadísticos en las ciudades más afectadas por la contaminación del aire, para establecer a qué grado afecta el fenómeno descrito?

5. ¿Cuánto combustible se desperdicia diariamente en el mundo por esa causa?

6. Si se hacen campañas internacionales de convencimiento para prevenir el SIDA, por ejemplo, ¿no será asimismo necesario emprender una campaña internacional de educación sobre el funcionamiento apropiado de los vehículos, en los países en donde este tipo de educación es prácticamente inexistente, sobre todo si se considera que el automóvil es la máquina de mayor uso en el mundo?

A pesar de que este fenómeno y la cadena de eventos que inicia se deben a procesos ampliamente conocidos, no ha recibido atención ni se ha reconocido su verdadera trascendencia, no obstante que puede ser corroborado mediante análisis estadístico.

Al realizar una búsqueda intensiva en bibliotecas, librerías, revistas sobre el medio ambiente, publicaciones de organizaciones internacionales dedicadas a la preservación del medio ambiente, y revisando además las publicaciones disponibles de varias fuentes sobre contaminación del aire en la Internet, no he encontrado una sola mención de este fenómeno específico.

### Fuentes de contaminación del aire

Las principales fuentes de contaminación del aire son:

- 1) Vehículos de motor
- 2) La industria

De estas dos fuentes, en las ciudades que por su mayor contaminación han ameritado realizar mediciones de comprobación, se ha determinado que los vehículos son la mayor fuente de monóxido de carbono, de hidrocarburos no quemados y de óxidos de nitrógeno. Por ejemplo, en México D. F. la contribución a la contaminación es: vehículos: 83%, industria: 17%. En general, en ciudades con alto grado de industrialización, la contribución de las fábricas a la contaminación ambiental se ha medido o estimado en 17 a 20%. En todas las ciudades del mundo, la principal fuente de contaminación es el transporte por vehículos de motor.

Las fuentes fijas prácticamente no emiten monóxido de carbono, excepto en casos de falta excesiva de aire en la combustión, lo cual la hace ineficiente. La emisión de CO en las fuentes móviles también aumenta obviamente con la falta extrema de aire en la combustión.

#### Descripción de la combustión incompleta en los motores

Todo combustible, sea leña, gas, kerosina, gasolina o diesel, requiere aire para proveer el oxígeno necesario para su combustión. En la entrada de aire a los motores de combustión interna que utilizan gasolina o diesel, se coloca un filtro para proteger al motor de las partículas de polvo abrasivas que pueden causar desgaste a sus piezas metálicas internas. Este filtro es útil mientras pueda cumplir la doble función de evitar la entrada de polvo y de permitir la entrada de aire que el motor necesita para funcionar normalmente. La eficiencia del filtro va disminuyendo a medida que se obstruye con más y más partículas, hasta que se obstruye totalmente si no se cambia antes de que eso suceda.

A medida que el filtro de aire se va obstruyendo con polvo y toda clase de partículas que se encuentran en suspensión en la atmósfera, el motor se ve cada vez más restringido de suministro de aire y esto ocasiona que funcione en condiciones de mezcla rica, lo que es lo mismo, de exceso de combustible y escasez de aire. Es decir, mientras que el suministro de combustible sigue siendo el mismo para cualquier régimen de carga y velocidad, el suministro de aire necesario para quemar ese combustible es cada vez menor. El resultado es que el combustible se quema sólo parcialmente, saliendo el resto no quemado por el escape, en forma de hollín o partículas de carbón en alta concentración, lo cual le da el aspecto de humo negro. Esta es la razón principal (y la más sencilla de solucionar), aunque no la única, del humo negro que expelen los vehículos, el cual no es otra cosa que combustible desperdiciado.

La concentración de vehículos que expelen humo negro en los trayectos de mayor densidad de tránsito ocasiona un efecto multiplicador de este fenómeno, ya que contribuye a obstruir los filtros de aire de otros vehículos. Los filtros de aire duran ahora mucho menos tiempo, en condiciones aceptables, que lo previsto por los fabricantes de vehículos en sus recomendaciones de mantenimiento. Si el taller que hace el servicio a un motor se rige únicamente por la recomendación usual del fabricante y no por el estado real del filtro, establecido mediante inspecciones

frecuentes, ese motor estará funcionando por largo tiempo en las condiciones descritas, es decir, desperdiciando combustible y contaminando el ambiente. El grado al cual se ven afectadas algunas unidades es tal, que se puede observar vehículos cuyo motor utiliza gasolina como combustible, expeliendo humo negro claramente visible.

En los motores diesel el efecto multiplicador es mayor, debido a que usan un combustible más espeso, cuya combustión completa depende aun más de una buena mezcla con el aire. Por esta razón, grandes cantidades de combustible sin quemar se han despilfarrado en el aire.

Cuando ocurre combustión *completa* (casi nunca ocurre en la realidad):

Todo el carbono se transforma en  $CO_2$ .

Todo el hidrógeno se transforma en  $H_2O$ .

Todo el azufre se transforma en  $SO_2$  (en el caso del diesel).

Cuando ocurre combustión *incompleta*, los productos de la combustión contienen, además:

Combustible sin quemar

Carbono, C

Hidrógeno libre,  $H_2$

Monóxido de carbono, CO

OH

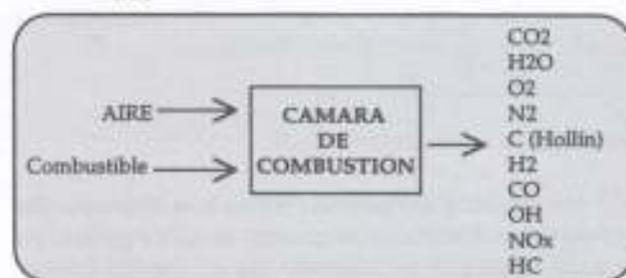


Figura 1. Esquema del proceso de combustión incompleta

Razones de combustión incompleta:

Falta de oxígeno

Exceso de suministro de combustible

Exceso de aire

Disociación a alta temperatura

Sobrecarga

Restricción en el sistema de escape

El exceso de aire produce combustión incompleta debido a la mezcla insuficiente en la cámara de combustión, durante el breve tiempo en que el oxígeno y el combustible están en contacto.

La falta de aire en un motor diesel produce una deficiencia en la necesaria turbulencia dentro de la cámara de combustión, para lograr una mezcla más íntima entre el aire y el combustible atomizado, y reduce la eficiencia volumétrica del motor. Todo esto contribuye a reducir drásticamente el aprovechamiento del contenido energético del combustible.

Por supuesto, incluso tratándose de un motor perfectamente puesto a punto, o afinado, hay condiciones de operación en las que se producirá contaminación y desperdicio de combustible. Como referencia estadística a gran escala, consideremos los siguientes datos publicados por la Environmental Protection Agency de los EE.UU., EPA (1982) (Tabla 2)

Esta tabla muestra cinco categorías de contaminantes del aire y su contribución porcentual proveniente de todas las fuentes de transporte y del subconjunto de vehículos de carretera. La EPA informa en su reporte que virtualmente todo el CO, aproximadamente la mitad de los hidrocarburos y alrededor de un tercio de los óxidos de nitrógeno provienen de los motores de gasolina. Los motores diesel son los causantes de las partículas.

Ese es el escenario de contaminación por fuentes móviles en los EE.UU., un país en donde la mayor parte del público está informado sobre los principios básicos del funcionamiento de un motor y en donde el mantenimiento de los motores recibe una atención aceptable. Preguntémosnos ahora, ¿cuál es el escenario en un país en donde la mayor parte del público no está informado sobre ese tema, ni siquiera la mayoría de propietarios de vehículos? Es razonable esperar que la emanación de partículas en los motores diesel es mucho mayor y que esta circunstancia ocasiona que los motores de gasolina contaminen también, en mucho mayor grado, por obstrucción prematura del filtro de aire.

### Consideraciones de índole económica

A guisa de ejemplo del potencial de ahorro económico, consideremos las siguientes reflexiones, basadas en cifras aproximadas pero bastante realistas, en relación con la ciudad de Guatemala:

En el área urbana de la ciudad de Guatemala circulan actualmente unos 400,000 vehículos de motor, excluyendo a las motocicletas. Suponiendo un consumo promedio por vehículo de dos galones diarios (con un recorrido diario promedio de 50 km por vehículo), esto significa un consumo de 800,000 galones de combustible diarios. Si suponemos que, con las medidas correctivas necesarias, se logra un ahorro promedio de 10% del consumo de combustible, esto representa un ahorro de 80,000 galones diarios o 28,800,000 galones (685,714 barriles de petróleo) por año. El ahorro, para el país, en términos monetarios, sería de unos 173 millones de quetzales (U.S. \$ 28.8 millones) por año. Si tomamos en cuenta los vehículos en el resto del país, el ahorro total es de aproximadamente 234 millones de quetzales (U.S. \$ 39.0 millones) por año. Este beneficio es adicional a la disminución de la contaminación del aire en las zonas urbanas.

Otra consecuencia de esta situación prevaeciente es el deterioro prematuro de los motores por acumulación de carbón y funcionamiento a temperaturas localizadas mayores que las normales. El ahorro que puede lograrse en piezas de repuesto y reparaciones, que inciden en los costos de operación de las flotas de vehículos de transporte, merece indudablemente ser considerado seriamente como un incentivo adicional para lograr una mejor operación de los motores.

Tabla 2. Emisiones totales estimadas por año en los EE.UU., de fuentes artificiales en 1980 (Environmental Protection Agency, 1982)

	Monóxido de Carbono	Hidrocarburos	Oxidos de Azufre	Oxidos de Nitrógeno	Partículas
Total, tetagramos <sup>1</sup> /año	85.4	21.8	23.7	20.7	7.8
Todo el transporte, %	81.0	36.0	3.8	44.0	18.0
Vehículos de carretera, %	72.0	29.0	1.7	32.0	14.0

<sup>1</sup>El prefijo tera es equivalente al factor  $1 \times 10^{12}$

### Acciones que se deben efectuar

La situación descrita constituye un problema grave y trascendental cuya solución es posible y de grandes beneficios, si se le presta la atención, se le divulga y se le pone el empeño necesario. La contaminación del aire es un problema amplio, grave y complejo en el cual la solución técnica debe ser armonizada con los intereses sociales y económicos de la comunidad. Debe existir una comprensión por parte del público acerca de las grandes implicaciones del control de la contaminación del aire, o de la falta del mismo, así como de las dificultades técnicas.

Se deben considerar objetivos de información a corto y largo plazo, para lograr una buena comprensión del problema específico y cambiar los patrones de comportamiento de una larga tradición. A corto plazo se requiere realizar campañas de divulgación sobre el fenómeno de la combustión incompleta y sus implicaciones. En estas campañas desempeña un papel importante la cooperación de los medios de comunicación, como la prensa, la televisión y la radio. A largo plazo se debe incluir, en los programas de educación vial, una explicación elemental de los principios básicos de la combustión en los motores.

Se requiere de un programa planificado de uso de los medios y organizaciones comunitarias, para lograr acciones específicas o cambios. Los individuos preocupados por el control de la contaminación del aire deben comprender cómo lograr estos objetivos, pero tomando en consideración las limitaciones del método de la información y del aun más lento método educativo. Será necesario vencer la apatía del público y estimular la acción. Se debe tener presente que la causa principal de contaminación del aire en las regiones metropolitanas es la multitud de fuentes pequeñas asociadas con las actividades diarias de una comunidad, y no unas pocas fuentes de gran magnitud.

Cualquier programa de control de la contaminación del aire sería poco efectivo y en muchos casos estaría condenado al fracaso, sin el cumplimiento voluntario de las actividades de control por parte de la mayoría de los miembros de la comunidad involucrada. Esto es cierto aun en lugares en donde se han adoptado regulaciones y se han iniciado programas de obligatoriedad, debido a que la experiencia con leyes que afectan a grandes cantidades de personas ha demostrado que las leyes, por sí mismas, no son suficientes. Como se debe lograr idealmente un cumplimiento voluntario máximo, es necesario que se desarrolle una actitud cooperativa por parte de aquellos a quienes les concierne la regulación.

Debido a que la contaminación del aire es un tema técnico, los otros sectores del público y las cámaras legislativas deben buscar la asesoría de los científicos y profesionales.

No importa cuán tecnológicamente avanzado sea el diseño y construcción de un motor, o con qué dispositivos cuente para compensar o evitar la combustión incompleta; tiene que reconocerse que, si el filtro de aire está obstruido, habrá combustión incompleta. Es por esta razón que la contaminación del aire debe ser controlada a toda costa en la fuente, promoviendo por todos los medios posibles el funcionamiento apropiado de los motores.

Ningún dispositivo de anticontaminación funcionará si los autos no reciben el mantenimiento adecuado. Por ejemplo, si el sistema de control de emisiones falla, el conductor no lo notará; en realidad, el rendimiento del vehículo puede mejorar marginalmente. Por lo tanto, aun en el caso de contar con un público bien informado, si el mantenimiento se deja solamente a la vigilancia de los propietarios de los vehículos, la calidad del aire se verá afectada por un alto número de vehículos con controles de emisión defectuosos. Se requiere de una entidad de inspección debidamente autorizada y con la autoridad necesaria para poder hacer cumplir las normas que hayan sido establecidas en la ley correspondiente. El cumplimiento requiere inspección, pero a sabiendas de que los procedimientos de inspección no garantizan un mantenimiento adecuado. Sin embargo, una campaña adecuada de concientización puede lograr una mejor actitud del público hacia el cumplimiento de las normas.

### Conclusiones

La contaminación debe controlarse en la fuente, definiendo con precisión sus causas para que éstas puedan ser eliminadas. Es prácticamente imposible controlarla cuando el aire ya está contaminado. Por eso se debe prever, en todo lo posible, que la combustión sea lo más completa que permitan los motores, es decir, que funcionen en las condiciones para las que fueron diseñados.

La reducción o eliminación de las causas principales de la contaminación requieren de un esfuerzo de concientización del público y de mucho mayor trabajo para lograr las condiciones ideales, que la medida adoptada en relación con la eliminación del uso del tetraetilo de plomo como antidetonante en la gasolina.

La principal fuente de la contaminación del aire son los motores de combustión interna de los

vehículos. El combustible nunca se quema completamente en el motor, aun en condiciones ideales. Pero la contaminación aumenta considerablemente si el mantenimiento del motor no es el adecuado.

La solución de los problemas de contaminación requiere la cooperación regional, nacional e internacional.

### Recomendaciones

Convencer a los fabricantes de vehículos de la necesidad de incluir un indicador de filtro de aire tapado en todo tipo de vehículo, principalmente en las unidades destinadas a la exportación a países en vías de desarrollo.

Promover el uso de analizadores del estado del filtro de aire en las estaciones de servicio.

Los cursos de educación vial en las escuelas deben incluir una explicación elemental de los principios básicos de la combustión en los motores.

A corto plazo, iniciar campañas de información y concientización al público sobre estos temas.

Promover proyectos de conservación de la calidad del aire, los cuales pueden tener también como objetivo el uso racional de la energía y el consecuente ahorro energético.

### Literatura citada

Environmental Protection Agency. 1982. Reporte 450/4-82-001, Estados Unidos. En: Avallone, E. A. y T. Baumeister III, (eds.) 1987. *Marks Standard Handbook for Mechanical Engineers*, 9a. edición, McGraw-Hill Book Company, New York.

Microsoft Corporation, 1995. Microsoft Encarta Encyclopedia, en CD-ROM.

Turk, A. et al. 1974. *Environmental Science* W. B. Saunders Company, Estados Unidos.