

ESTIMACION DE EMISIONES EN VEHICULOS EN CIRCULACIÓN

Jorge Inche M.*

RESUMEN

El artículo, presenta una metodología para la estimación de emisiones vehiculares, producida por la combustión del combustible y que son liberadas por el escape del vehículo. Con este fin se cuantifican las emisiones usando ecuaciones que relacionan la actividad vehicular y los factores de emisiones.

Palabras claves: Emisiones. Contaminación del aire. Fuente vehicular.

ABSTRACT

The present article, presents a methodology for the estimate of vehicular emissions, produced by the combustion of the fuel which are liberated by the escape of the vehicle. With this end the emissions are quantified using equations that relate the vehicular activity and the factors of emissions.

Key words: Emissions. Contamination of the air. Vehicular source.

INTRODUCCIÓN

Las estimaciones de emisiones para vehículos automotores en circulación, tales como autos, camiones, taxis y microbuses, que generan compuestos orgánicos volátiles (cov), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno, (NOx), óxidos de azufre (SOx), partículas totales en suspensión (pts), plomo, y especies reductoras de la visibilidad, tienen impactos negativos sobre la salud pública.

El creciente interés en generar estimaciones de la contribución de los vehículos automotores a los inventarios totales que incluyen las emisiones industriales, ha conducido al desarrollo de inventarios de emisión para las ciudades. Los datos disponibles para desarrollar estos inventarios han variado de manera considerable; sin embargo, a través de las técnicas mejoradas para la recopilación de datos y las metodologías de estimación, los futuros esfuerzos de inventario incrementarán su precisión y confiabilidad. El propósito de este artículo consiste en presentar los métodos de inventario existentes y de corto plazo, en la medida en que podrían ser aplicados en la ciudad de Lima. Por otro lado, con el objetivo de compensar las amplias variaciones en la disponibilidad de datos de emisiones y actividad vehicular, aquí se analiza algunos procedimientos.

VEHÍCULOS AUTOMOTORES

Los vehículos automotores que circulan por carreteras, son aquellos como los automóviles, los taxis, los camiones y microbuses diseñados para operar en carreteras públicas. En la mayor parte de las áreas urbanas los vehículos automotores contribuyen en gran medida a las emisiones de compuestos orgánicos volátiles «cov» (benceno, tolueno, hidrocarburos), CO, NOx, SOx, partículas totales en suspensión (pts), plomo y especies que reducen la visibilidad. Debido a la gran magnitud de dichas emisiones y a las consideraciones especiales se requiere hacer las estimaciones respectivas.

Las emisiones de vehículos automotores contienen un gran número de contaminantes resultantes de varios procesos diferentes (Figura 1). Las emisiones más comúnmente consideradas son las del escape, consecuencia de la combustión y se emiten por el tubo de escape del vehículo y las que provienen de varios procesos de emisión evaporativa. Estos procesos, que generan sólo emisiones de compuestos orgánicos, incluyen:

- **Emisiones por remojo en caliente (hot soak),** que ocurren debido a la volatilización del combustible en el sistema de distribución después de apagado el motor. El calor residual de éste volatiliza el combustible.
- **Emisiones evaporativas durante la marcha,** provenientes de las fugas del combustible, líquido o vapor, que ocurren cuando está operando el motor.

* Magister en Ciencias. Ingeniero Químico. Instituto de Investigación. Facultad de Ingeniería Industrial. UNMSM. E-mail : d260008@unmsm.edu.pe

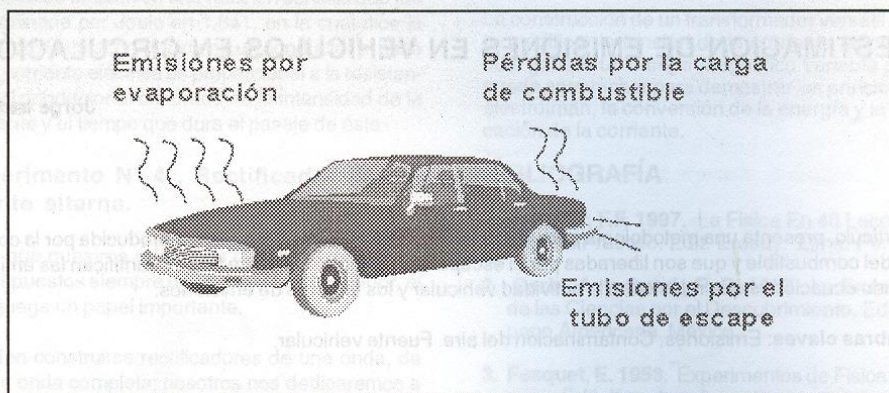


Figura 1. Emisiones en vehículos automotores

- **Emisiones diurnas**

Emisiones del tanque de combustible del vehículo debido a la mayor temperatura de la masa de líquido y a la presión del vapor. Estas emisiones resultan del aumento de la temperatura ambiente, de la entrada de calor desde el sistema de escape del vehículo o del calor reflejado desde la superficie de la carretera.

- **Emisiones evaporativas en reposo**

Emisiones evaporativas que no son las del remojo en caliente, las diurnas ni las debidas a la recarga del tanque. Estas emisiones se presentan cuando el motor no está en operación y se deben sobre todo a las fugas del combustible y a la permeación del vapor a través de las líneas del combustible.

- **Emisiones evaporativas durante la recarga de combustible**

Emisiones evaporativas desplazadas desde el tanque de combustible durante la recarga. Aunque el vehículo es la fuente de las emisiones, éstas ocurren mientras el vehículo está en reposo y en lugares conocidos, como las grifos.

TIPOS DE VEHÍCULOS

El gran número de vehículos en la Ciudad de Lima, hace que la medición de las emisiones de cada vehículo individual sea impráctica. En consecuencia, la metodología para el inventario de vehículos automotores se basa en distribuir a los vehículos en categorías con características de emisión similares y, posteriormente, tratar de cuantificar las emisiones para cada grupo. Las variables clave que se utilizan en esta clasificación inicial de los vehículos

son el tipo de vehículo (automóvil, camión, taxi o microbus), el tipo de combustible (gasolina, diesel, gas licuado de petróleo, etc), el peso bruto vehicular (PBV), y el nivel de la tecnología de control de emisiones del vehículo. El PBV es el peso del vehículo cuando transporta la carga máxima permitida por el fabricante con el tanque de combustible lleno.

METODOLOGÍA BÁSICA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES

La ecuación básica utilizada para la estimación de las emisiones de los vehículos automotores requiere la multiplicación de los datos de actividad vehicular por un factor de emisión apropiado, como se muestra en la ecuación 1:

Donde:

$$EP = KRV \times FE_p \quad (1)$$

Donde:

Ep = Emisiones totales del contaminante p
 KRV = Kilómetros recorridos por vehículo
 FE_p = Factor de emisión del contaminante p

Para los vehículos automotores, los datos de actividad se refieren a los kilómetros recorridos por vehículo (KRV), mientras que los factores de emisión se expresan en unidades de gramo de contaminante por KRV. Es preferible que los KRV sean estimados a partir de modelos de transporte o de conteos de vehículos en circulación. En algunos casos, sin embargo, los KRV pueden ser obtenidos a partir de las estadísticas de consumo de combustible.

La ecuación básica de estimación presentada anteriormente es aplicable para la mayoría de los contaminantes gaseosos y partículas. Para otros contaminantes tales como SO_x y el plomo, las emisio-

nes se calculan utilizando un balance de combustible, suponiendo que se emite la totalidad del azufre o plomo contenido en el combustible.

La ecuación que describe el balance de combustible para SO_x es:

$$ESO_{x,f} = \text{Comb}f \times pf \times Sf \times 2 \quad (2)$$

Donde:

$ESO_{x,f}$ = Emisiones de SO_2 del combustible f (gasolina o diesel)

Comb f = Consumo total del combustible f

pf = Densidad del combustible f

Sf = Contenido de azufre (fracción de masa) del combustible f

2 = Factor de conversión de masa de azufre a masa de SO_x (como SO_2).

Una ecuación similar describe el balance de combustible para el plomo:

$$E_{Pb,f} = \text{Comb}f \times pf \times Pbf \quad (3)$$

Donde:

$E_{Pb,f}$ = Contenido de plomo (fracción de masa) del combustible f.

Para generar un inventario de emisiones de vehículos automotores es necesario recopilar una gran variedad de datos que incluyen KRVs; estadísticas de consumo de combustible; velocidades de manejo; datos del registro vehicular y clases de vehículos; así como las características del combustible. En algunos casos, los datos son absolutamente indispensables para el proceso del inventario y deben obtenerse para generar incluso las estimaciones más preliminares.

ESTIMACIONES DE KRV BASADAS EN EL TRÁFICO

Existen dos tipos principales de estimación de KRVs, basados en el tráfico, las estimaciones detalladas para caminos específicos obtenidos a partir de los modelos de demanda de recorrido (MDRs), y las estimaciones de KRVs regionales desarrolladas a partir de los programas de medición del tráfico u otros medios.

Estimaciones de los KRV a partir de los Modelos de Demanda de Recorrido

Los modelos de demanda de recorrido (MDRs) son representaciones de la red de caminos en un área urbana modeladas en computadora. Los MDRs, son usados para modelar los flujos de tráfico a fin de mejorarlos, y en los estudios de administración de congestionamientos. En los MDRs, la región a ser

modelada se divide en zonas con características demográficas similares. Los caminos o grupos de caminos se representan en el modelo como una red de enlaces conectados que constituyen los medios para rastrear el flujo de tráfico entre zonas. Para modelar la conducta del recorrido, se asigna a las zonas adecuadas el número, origen y destino de los recorridos vehiculares. El recorrido en los enlaces es entonces calculado para generar los tiempos de recorrido estimados más cortos entre las zonas. Los resultados de los MDRs hacen una estimación del tiempo de recorrido y de los flujos de tráfico en los enlaces individuales.

A partir de las estimaciones de la distancia y el volumen de los enlaces MDR, los KRVs en un enlace individual pueden ser estimados a partir de la ecuación:

$$KRV = \frac{\text{Distancia}}{\text{Volumen}} \quad (4)$$

Donde:

KRV = Kilómetros recorridos por vehículo en un período de tiempo dado

Volumen = Número de vehículos en un enlace para un período de tiempo dado

Distancia = Distancia del enlace, en kilómetros

Las estimaciones regionales de KRVs pueden desarrollarse sumando los KRVs de todos los enlaces de un tipo determinado en un área definida.

Estimación de KRV Regionales

Las estimaciones de KRVs regionales se basan en mediciones directas de los volúmenes vehiculares que pasan por un punto individual de un camino. Los KRVs del camino son entonces estimados a partir de los volúmenes vehiculares y la longitud de camino. De manera ideal, las mediciones directas de los volúmenes de tráfico deberían ser hechas en una gran muestra de caminos en el área; sin embargo, el costo de una medición frecuente de los volúmenes de tráfico en una gran cantidad de caminos en un área urbana, es prohibitivo. En su lugar, las mediciones son hechas en una muestra o subconjunto de caminos en la región y los resultados son extrapolados para estimar los KRVs regionales totales. Como parte de este proceso, la red de caminos primero es clasificada en un sistema en el que se espera que los caminos de la misma clase tengan volúmenes de tráfico similares. Las mediciones son hechas a partir de una muestra de los caminos en cada clase. Una estimación regional puede entonces ser desarrollada extrapolando los resultados de la muestra con base en la relación de la longitud de los caminos de la clase muestreada con respecto a la longitud total de los caminos de

dicha clase. Si las mediciones tomadas durante cierto número de años son combinadas para estimar los KRV regionales, podrían requerirse ajustes adicionales.

Estimaciones de los KRVs Derivadas de los Datos de Consumo de Combustible

En ausencia de estimaciones de KRVs directas a partir de MDRs y de programas regionales para la recopilación de datos, los KRVs pueden ser estimados indirectamente a partir de los datos de consumo de combustible, también pueden ser utilizados para verificar la validez y precisión de las estimaciones.

Las estadísticas de ventas y consumo de combustible son típicamente mucho más utilizadas y accesibles que las estimaciones de KRVs directas. En general, estas estadísticas son calculadas para evaluar las ventas y consumo de combustible, dado que la gasolina y el diesel son artículos de consumo de gran valor.

KRV_i	= $Ventas_i \times KPL_i$
KRV	= Kilómetros recorridos por vehículo
Ventas	= Ventas totales de combustible (litros)
KPL	= Rendimiento promedio del parque vehicular (kilómetros/litro)
f	= Tipo de combustible

Cuadro 1. Características del Flujo Vehicular

Años de Fabricación	: 1980 –1994
Tamaño del motor	: Menor a 1400 cc. y mayor o igual a 1400 cc.
Circulación Urbana	: Recorrido promedio diario entre las 18:00 h a 23:00 h
Tipo de Combustible	: Diesel, gasolina con plomo (84 octanos) y gasolina sin plomo (ver figura 1), los microbuses y camiones utilizan mayormente diesel y los autobuses y taxis utilizan gasolina diesel (ver figura 2 y 3)
Contenido de azufre	: 0,15 % (gasolina con plomo); 0,10 % (gasolina sin plomo) y 0,40% (diesel).
Contenido de plomo	: 0,31 g/l (gasolina con plomo); 0,002 g/l (gasolina sin plomo).
Kilómetros recorridos por vehículo	: Taxi: 203; microbuses: 328; Camión: 227; automóvil: 80 (ver figura 4).
Recorrido promedio cada vez que se enciende el motor	: 8 Km.

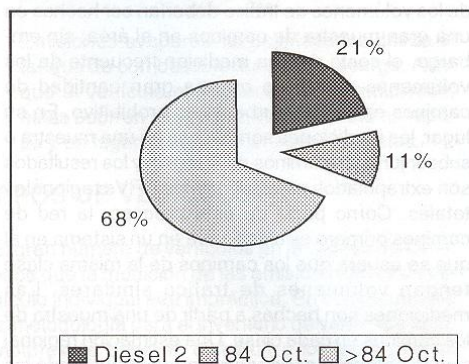


Figura 2. Tipos de Combustibles en autos de la estación 1 (Av. Universitaria)

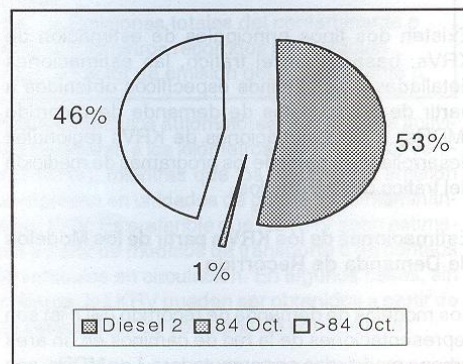


Figura 3. Tipos de Combustibles en taxis de la Estación 1 (Av. Universitaria)

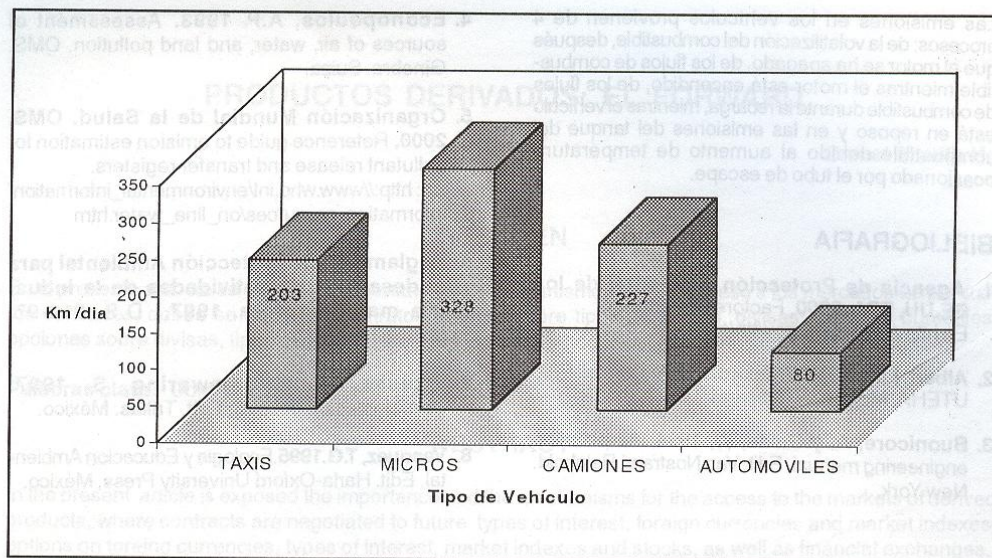


Figura 4. Recorrido Promedio por Vehículo.

RESULTADOS

Cuadro 1. Inventario de emisiones vehiculares.

Tipo de vehículo	Tamaño del motor	Nº de vehíc.	PTS		SO _x		NO _x		CO		COV		Plomo	
			Fe _p (*)	TM/a	Fe _p (*)	TM/a	Fe _p (*)	TM/a	Fe _p (*)	TM/a	Fe _p (*)	TM/a	Fe _p (*)	TM/a
autos	≥ 1400 cc	7380	0,07	10,70	0,333	51	1,87	285	15,6	70	2,23	335	0,0403	6
Taxis	≥ 1400 cc	5700	0,07	100,3	0,333	146	1,87	197	15,6	345	2,23	470	0,0403	5
Microbuses	3,5-16TM	8000	0,2	131,9	1,16	306	0,7	462	3,3	660	1,35	891	---	---
Camiones	3,5-16TM	940	0,9	11,3	4,29	21	11,8	141	6	66	2,6	36	---	---

Fuente: Elaboración propia

(*) : Factor de emisión en Kg/1000 Km de recorrido de la U.S. EPA.

PROCEDIMIENTO

La información sobre el número, año de fabricación y el tamaño del motor de los vehículos fue extraída del inventario de emisiones realizado por el instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la UNMSM, mediante mediciones directas de los volúmenes vehiculares que pasan por un punto ubicado en la Av. Universitaria, entre los nodos de intersección de la Av. Colonial y la Av. Venezuela.

CONCLUSIONES

Los factores de emisión se expresan en unidades de gramo de contaminante por kilómetro recorrido del vehículo, y son obtenidos del modelo de factor de emisión Part 5 de la U.S. EPA, que aún no ha sido modificado para ser utilizado fuera de los EE.UU., sin embargo, sirve como metodología provisional hasta que se genere la ecuación específica para el Perú.

Las emisiones en los vehículos provienen de 4 procesos: de la volatilización del combustible, después que el motor se ha apagado, de los flujos de combustible mientras el motor está encendido, de los flujos de combustible durante la recarga, mientras el vehículo está en reposo y en las emisiones del tanque del combustible debido al aumento de temperatura ocasionado por el tubo de escape.

BIBLIOGRAFIA

1. **Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. EPA. 2000.** Factores de emisión. En <http://www.epa.gov/ttn/chief>.
2. **Albert, Lilia A. 1997.** Toxicología Ambiental. Edit. UTEHA. México.
3. **Buoncore, A. y Davis, W. 1994.** Air pollution engineering manual, Edit. Van Nostrand Reinhold. New York.
4. **Econopoulos, A.P. 1993.** Assessment of sources of air, water, and land pollution. OMS. Ginebra. Suiza.
5. **Organización Mundial de la Salud. OMS. 2000.** Reference guide to emission estimation for pollutant release and transfer registers. En: http://www.who.int/environmental_information/information_resources/on_line_water.htm
6. **Reglamento de Protección Ambiental para el desarrollo de actividades de la Industria manufacturera, 1997.** D.S. 019-97. MITINCI.
7. **Strauss, W. y Mainwaring, S. 1997.** Contaminación del aire. Edit. Trillas. México.
8. **Vasquez, T.G. 1995.** Ecología y Educación Ambiental. Edit. Harla-Oxford University Press, México.

Cuadro 1. Inventario de emisiones vehiculares									
Tipo de vehículo	Tamaño del motor (cc)	Wt de vehículo (kg)	CO		HC		NO _x		PM ₁₀
			g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	
Autos	1300 cc	1200 kg	2.35	2.35	0.25	0.25	0.15	0.15	0.05
Taxis	1300 cc	1200 kg	2.35	2.35	0.25	0.25	0.15	0.15	0.05
Microbuses	2500 cc	2500 kg	4.70	4.70	0.50	0.50	0.30	0.30	0.10
Camiones	3500 cc	3500 kg	7.05	7.05	0.75	0.75	0.45	0.45	0.15

