



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

**DEPARTAMENTO DE POSGRADOS**

**MAESTRIA EN SISTEMAS VEHICULARES**

**ESTIMACIÓN DE UN INVENTARIO DE EMISIONES DE  
FUENTES MÓVILES TERRESTRES PARA LA CIUDAD DE  
AZOGUES APLICANDO EL MODELO INTERNACIONAL DE  
EMISIONES VEHICULARES**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Magíster  
en Sistemas Vehiculares**

**Autor:**

Ing. Milton Peñafiel Urgilés

**Director:**

Mgt. Ing. Mateo Coello Salcedo

Cuenca, 2019

## **Resumen**

El objetivo del presente trabajo de investigación, consiste en estimar un inventario de emisiones de fuentes móviles terrestres para la ciudad de Azogues, mediante la aplicación del Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE). Los contaminantes que se han considerado para el análisis son: monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (VOC), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), material particulado (PM<sub>10</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

La metodología consiste en actividades de campo en puntos estratégicos de la localidad para determinar las características del parque automotor y de la actividad vehicular. Este último se obtiene mediante el recorrido en vehículos equipados de un dispositivo GPS y encuestas aleatorias realizadas a conductores en la vía pública. El parque automotor es estudiado utilizando un método de inspección visual en los patios de revisión vehicular del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) local, y con la filmación del tránsito utilizando las cámaras de la Unidad de Gestión de riesgos de la misma institución. Esta información requiere ser procesada e ingresada en el IVE para realizar los respectivos cálculos.

Los resultados obtenidos con el cálculo del IVE muestran una mayor composición de CO<sub>2</sub> y en proporción mucho menor las emisiones contaminantes como CO, HC, entre otros. En el sector de la vía rápida Azogues- Cuenca es donde más emisiones existen debido al alto índice flujo vehicular.

**Palabras clave— fuentes móviles; contaminantes atmosféricos; modelo IVE.**

## **Abstract**

The objective of this research work was to estimate an inventory of emissions from land mobile sources in Azogues through the application of the International Vehicle Emissions Model (IVE). The pollutants considered for the analysis were: carbon monoxide (CO), volatile organic compounds (VOC), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), particulate matter (PM<sub>10</sub>), sulfur oxides (SO<sub>x</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>).

The methodology applied consisted of field activities at strategic points in the area to determinate the characteristics of the vehicle fleet and the vehicular activities. These characteristics were obtained by traveling in vehicles equipped with a GPS device and random surveys conducted to drivers on public roads. The vehicle fleet was studied by using a method of visual examination in the vehicle inspection yard at the local *Gobierno Autónomo Descentralizado* (GAD) and by filming the traffic produced by using the cameras of the *Unidad de Gestión de Riesgos* of the same institution. This information needs to be processed and entered into the IVE to perform the respective calculations.

The results obtained with the calculation of the IVE show a greater composition of CO<sub>2</sub> and a much lower proportion of polluting emissions such as CO, HC, among others. It was found that in the Azogues-Cuenca highway most emissions are produced due the high vehicle flow rate.

**Keywords—mobile sources, atmospheric pollutants, IVE model.**

## 1. INTRODUCCIÓN

El calentamiento global es un fenómeno que produce el aumento de la temperatura media del planeta. Las emisiones que aportan a este fenómeno provienen de varias fuentes como industriales, vehiculares, naturales, entre otros.

En el 2016 de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM), se alcanzó el tercer récord anual consecutivo de calor con una temperatura superior a 1,1°C con respecto a la temperatura media de la era preindustrial. Este aumento de temperatura favorece los episodios meteorológicos extremos en particular las sequías y las olas de calor.

Según el reporte anual de la Agencia Internacional de Energía (IEA), en el 2017, las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) aumentaron 1,4% respecto al 2016. Esto significa 32,5 gigatonnes más de CO<sub>2</sub>, el equivalente a 170 millones de vehículos.

La proporción de dióxido de carbono encontrado en la atmósfera en el 2015 era de 400 ppm y para el 2016 aumentó a 403,3 ppm (OMM); en febrero de 2017 de acuerdo a la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), los niveles de CO<sub>2</sub> continuaron subieron a 406,42 ppm. Recientes estudios realizados por el Instituto Scripps de Oceanografía durante el mes de abril de 2018, registraron 410,31 ppm de CO<sub>2</sub>, un crecimiento que genera proporciones alarmantes debido a que 350ppm es considerado un nivel seguro.

A más de las emisiones descritas, los contaminantes de origen vehicular también atacan contra la salud produciendo afecciones al sistema respiratorio, la sangre, etc. Entre estos contaminantes tenemos: hidrocarburos parcialmente o sin combustión (HC), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), y material particulado (PM<sub>10</sub>), entre otros. (Vargas, S; Onatra, W; Osorno, L; Páez, E; Sáenz, O. 2008).

De acuerdo al origen, los contaminantes se clasifican en dos tipos, los contaminantes primarios que son emitidos directamente por el vehículo, y secundarios los cuales se forman por reacción entre los primarios y la atmósfera.

El incremento del uso del automóvil generó un tipo particular de contaminación atmosférica que se presenta en ambientes con hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, los cuales junto con la luz solar generan ozono troposférico, que al mezclarse con el dióxido de nitrógeno da lugar a una nube amarillo-parduzca, irritante para los ojos y vías respiratorias, esta se conoce como smog fotoquímico. (Payri, F; Desantes, J. 2011).

La cantidad de emisiones a través del sistema de escape varía considerablemente dependiendo de tres factores: tipo de vehículo, comportamientos de conducción, condiciones climáticas y geográficas de la localidad.

El tipo de vehículo está definido por aspectos como la tecnología empleada para la gestión de la mezcla aire/combustible, cilindrada del motor, sistema de control de emisiones, tipo de combustible y edad del vehículo.

Los comportamientos de conducción que influyen sobre el aumento de las emisiones vehiculares son: velocidad de circulación por la carretera, distribución de los arranques del motor y distancia recorrida diariamente.

Condiciones locales como pendientes, calidad del combustible, temperatura y humedad del ambiente, y altura de operación influyen directamente en el desempeño y emisiones del vehículo. (Field data collection activities IVE, 2008).

La determinación de un Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos, consiste en cuantificar la masa de emisiones que se incorporan al aire, provenientes de todo tipo de fuentes, en un período dado de tiempo y en un área determinada. (Sbarato, D; Sbarato, V; Ortega, J; Campos, M; Salort, M. 2000).

La importancia de estos inventarios radican en el uso de los mismos para resolver problemas ambientales, entre los que plantea Conde, podemos destacar los siguientes: manejo de residuos y calidad del aire; evaluación de opciones de mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI); identificación de las principales fuentes y sumideros de GEI con mayor confianza para tomar decisiones mejor fundamentadas, con respecto a medidas de respuesta apropiadas

El modelo IVE, presenta ciertas características favorables como: simplicidad y flexibilidad de uso, adaptabilidad a características de cualquier país, demanda pocos insumos y utiliza mediciones de campo. (SEMARNAT; INE; Western Governors' Association, 2007).

Este software ha sido aplicado exitosamente en varias ciudades de diversos países de Latinoamérica incluyendo Quito para la estimación de emisiones vehiculares. Se ha logrado obtener resultados satisfactorios para diversos compuestos demostrando la eficacia del proceso de cálculo, podemos destacar los siguientes estudios:

- Guadalupe (2016): realizó una modelación de emisiones vehiculares en la ciudad de Quito para estimar los contaminantes siguientes: monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (VOC), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), material particulado (MP<sub>10</sub>).
- Fletes (2016): mediante el uso del IVE, estimó las emisiones vehiculares durante el año 2015 en la ciudad de Tegucigalpa.
- Giraldo (2005): aplicó el modelo IVE en la ciudad de Bogotá para estimar los contaminantes vehiculares.

Enfocándonos en la localidad estudiada, la ciudad de Azogues, tiene un parque automotor de 23.500 vehículos automotrices para el año 2017 (SRI), con una tasa de crecimiento del 6% anual aproximadamente.

El crecimiento del parque automotor así como la falta de control sobre las emisiones producidas, y la carencia de estudios sobre el tema en esta localidad, dan lugar para establecer un punto de partida a través de un estudio.

Como objetivo de la presente investigación tenemos la estimación de un inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Azogues, el mismo servirá para establecer políticas de control y análisis de beneficios para proyectos de mitigación.

## 2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

La metodología es del tipo Bottom – Up, que consiste en reunir diferentes sistemas que conformarán un todo; estos son especificados en gran detalle. Los componentes se van uniendo con otros hasta conformar un sistema final, que se logra al llegar al nivel superior. (Crespi, V. 2008).

### 2.1. PROCESO DE CÁLCULO

El cálculo que realiza el Modelo IVE (Ecuación 1.), consiste en producto de un factor de emisiones base y una serie de factores de corrección locales.

$$Q_{[t]} = B_{[t]} * K_{(1)[t]} * K_{(2)[t]} * \dots * K_{(x)[t]}$$

**Ecuación 1.** Método de cálculo.

Los factores de corrección se obtienen de los patrones de conducción, patrones de partida, y características del parque automotor, a más de los factores propios de la localidad como características del combustible y condiciones atmosféricas, entre otros. Estas correcciones ajustan el cálculo a condiciones propias del lugar en estudio. Los factores de corrección se detallan a continuación en la Tabla 1.

**Tabla 1. Factores de corrección del IVE.**

Variabes locales	Calidad de combustible	Potencia y conducción
Temperatura ambiente	Gasolina total	Potencia Especifica Vehicular (VSP)
Humedad ambiente	Gasolina Azufre	Pendiente
Programas de I/M	Gasolina Plomo	Aire Acondicionado
Base de factores de corrección	Gasolina Benceno	Distribución de Partidas
	Gasolina Oxigenados	
	Diésel Total	
	Diésel Azufre	

Los patrones de conducción se obtienen a partir de velocidad del vehículo, magnitud de conducción, y la pendiente del terreno. Estos influyen directamente en la cantidad de combustible consumido y por ende en

emisiones producidas. (Manual IVE 2.0, 2008).

Los patrones de partida tienen un profundo impacto sobre las emisiones de los vehículos, y se definen como el tiempo que transcurre entre cada partida del motor. (Manual IVE 2.0, 2008).

Los factores de emisión establecen una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmosfera y una unidad de actividad o proceso, como: consumo de energía, unidades de producción, etc. (Torres, L; Urbina, V. 2008). Para fines vehiculares éstos son utilizados en la determinación de emisiones para diferentes tipos de automóviles o condiciones de circulación (Parra, R. 2008). Las unidades generalmente son gramos por kilómetro recorrido (gr/km).

Dichos factores pueden ser determinados mediante: pruebas estáticas, pruebas dinamométricas, mediciones a bordo, y utilizando un sensor remoto.

### 2.2. TRABAJO DE CAMPO Y RECOLECCION DE INFORMACION

#### 2.2.1. Inspección de la flota vehicular

La inspección vehicular se realizó en las instalaciones de la dirección de movilidad del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Azogues (GADMA), ubicada en la calle Gral. Ignacio de Veintimilla de la parroquia urbana Aurelio Bayas.

Partimos de una muestra de 284 vehículos; estos ingresaban al patio de revisión vehicular, lo cual daba la oportunidad de inspeccionarlos, logrando así, obtener los datos del odómetro, sistema de gestión de combustible, catalizador, sistema de recirculación de gases de escape, entre otros.

Se clasificó el parque automotor según las diferentes tecnologías y clases vehiculares contenidos en IVE. Obteniendo una muestra final de 273 vehículos organizados en 28 categorías que componen el parque automotor de la ciudad.

#### 2.2.2. Composición de la flota vehicular.

Se realizó haciendo uso de tres cámaras de vigilancia de la Dirección de Gestión de Riesgos del GADMA. Éstas están ubicadas en varias zonas de la ciudad; por motivos de estudio se utilizaron 3, estas son: la cámara ubicada en la autopista Azogues-Cuenca, la cámara que se encuentra en la intersección de las avenidas 16 de abril y Ernesto C. Guevara, y por último se utilizó la cámara ubicada en la intersección de las calles Julio M. Matovelle y Antonio José de Sucre.

El registro total fue de 14 horas, realizado paralelamente con los patrones de conducción para ser utilizados en los cálculos. El procesamiento consistió en realizar el conteo de los vehículos filmados y la clasificación de acuerdo con las categorías del parque automotor determinadas anteriormente.

#### 2.2.3. Actividad vehicular.

El estudio de la actividad vehicular consistió en determinar parámetros dinámicos como patrones de velocidad y altitud, magnitud de conducción y los patrones de partida.

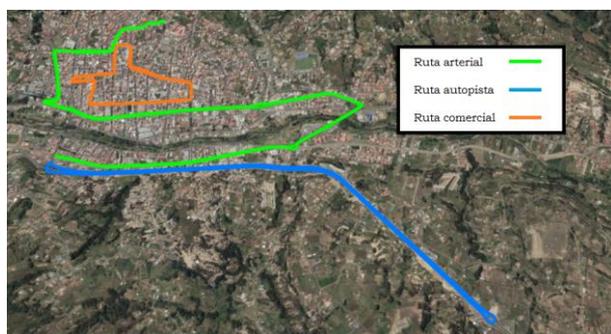
Los parámetros que componen la actividad vehicular se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2. Parámetros para el estudio de la actividad vehicular.**

Parámetro	Descripción	Influencia
Patrones de conducción	Distancia de recorrido, perfiles de velocidad y altitud.	Directamente proporcionales al consumo de combustible y emisiones contaminantes.
Patrones de partida	Tiempos entre puestas en marcha del motor.	A mayor tiempo, menor temperatura en el motor y menor eficiencia de combustión.
VARIABLES ambientales	Altitud, temperatura ambiente, humedad relativa.	Influencia directa en la eficiencia de la combustión del motor y por ende mayores emisiones contaminantes.
Características del combustible	Calidad del combustible, cantidad de impurezas y aditivos.	Influencia directa en la eficiencia de la combustión del motor y por ende mayores emisiones contaminantes.
Uso del aire acondicionado	Porcentaje de tiempo en el que se usa el aire acondicionado.	Directamente proporcionales al consumo de combustible y emisiones contaminantes.

### 2.2.3.1. Patrones de conducción.

El procedimiento para su obtención consistió en recorrer rutas específicas dentro de la zona urbana de la ciudad, registrando los datos de velocidad, distancia recorrida y altitud en función del tiempo, para ello, se utilizó un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) con una frecuencia de 1 Hz ubicado en el vehículo de pruebas. Las rutas fueron tres: comercial, arterial y autopista como se indica en la Figura 1.



**Figura 1. Rutas de estudio.**

Estas rutas fueron seleccionadas en base al plan de movilidad del GADMA, donde se establecen las rutas

arteriales de la ciudad. Como información de apoyo se utilizó la actividad y recorrido del transporte público, y conteos vehiculares realizados en las calles Simón Bolívar, calle Antonio José de Sucre y la avenida 24 de mayo.

Fueron registradas 14 horas distribuidas en dos días de siete horas respectivamente. Como se muestra en la Tabla 3, durante el primer día se realizó el recorrido por la tarde y el segundo día por mañana, consiguiendo así tomar diversas muestras de varias horas del día en diferentes rutas.

**Tabla 3. Cronograma de levantamiento de datos con el GPS.**

DIA 1			
Hora	Arterial	Comercial	Autopista
13:00		x	
14:00			x
15:00	x		
16:00		x	
17:00	x		
18:00		x	
19:00			x
DIA 2			
Hora	Arterial	Comercial	Autopista
6:00	x		
7:00		x	
8:00			x
9:00	x		
10:00		x	
11:00			x
12:00	x		

### 2.2.3.2 Patrones de partida.

Se obtuvieron mediante 225 encuestas realizadas aleatoriamente a los conductores de los vehículos en el centro de la ciudad. Ésta consistía en estimar el tiempo durante el cual el motor del vehículo estuvo apagado antes de haberlo puesto en marcha por última vez. Estas fueron distribuidas en horarios en función de la demanda estipulada en previos conteos vehiculares en la calle Simón Bolívar.

Con el procesamiento de los datos a través de Microsoft Excel, fueron determinadas un total de 172 encuestas útiles ya que en las otras 53 el motor había sido puesto en marcha fuera de las horas del estudio.

### 2.2.4. Filtrado de datos del GPS

Este proceso se realizó en 2 etapas. Primero se eliminó los puntos con posibles errores generados por el dispositivo durante la toma de datos; y por último se suavizó la curva para ajustar los valores pico que afectarían los resultados. A través de una interpolación de splines cúbicos, aplicada mediante el software Matlab fue determinada una curva, que representa de manera óptima la altitud y velocidad en función del tiempo.

### 3. RESULTADOS OBTENIDOS

#### 3.1. COMPOSICIÓN DEL PARQUE AUTOMOTOR

El parque automotor estaba compuesto en su mayor parte de vehículos a gasolina; otra parte por vehículos a diésel; y, pequeñas categorías unificadas en el grupo otros, como se puede observar en la Figura 2.

El grupo con 72.1% contenía vehículos livianos a gasolina, equipados con un sistema de inyección multipunto y catalizador de 3 vías. Dentro del mismo había 3 categorías, diferenciadas según la lectura del odómetro.

Los vehículos equipados con carburador conformaron el 12.9%, con las características de que estos tenían más de 161 000 km en el odómetro y carecían de catalizador.

Los vehículos pesados a diésel conformaron un 6.4% del parque automotor; la gestión de combustible es a través de un sistema mecánico de inyección directa. Dentro de esta categoría están los buses de transporte público.

El grupo *otros*, contenía a varias categorías minoritarias con un porcentaje de entre 2% y 0.2%. Éstas fueron tomadas en cuenta de manera individual únicamente para el cálculo.

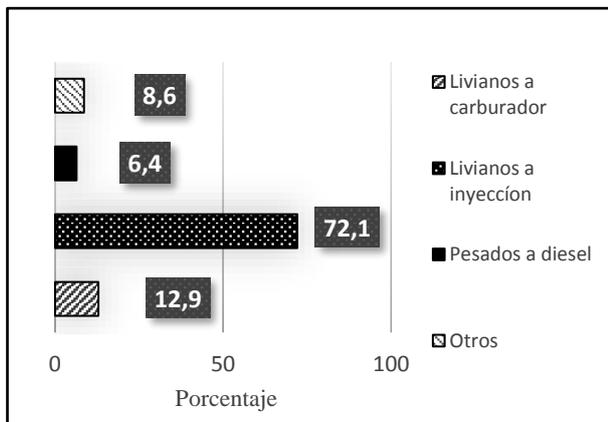


Figura 2. Composición del parque automotor.

#### 3.2. DISTRIBUCIÓN DE LOS PATRONES DE PARTIDA

La distribución se puede observar en la Figura 3, donde el tiempo predominante con un 20% fue de 15min y en menor porcentaje (2%) los tiempos de 6 y 8 horas

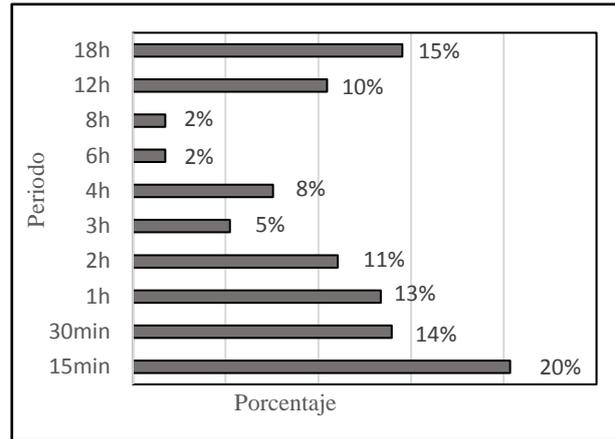


Figura 3. Distribución de los patrones de partida.

#### 3.3. PATRONES DE CONDUCCIÓN

La Figura 4 muestra un extracto de los patrones de velocidad obtenidos en las diferentes rutas, donde las variaciones en función del tiempo pueden ser apreciadas.

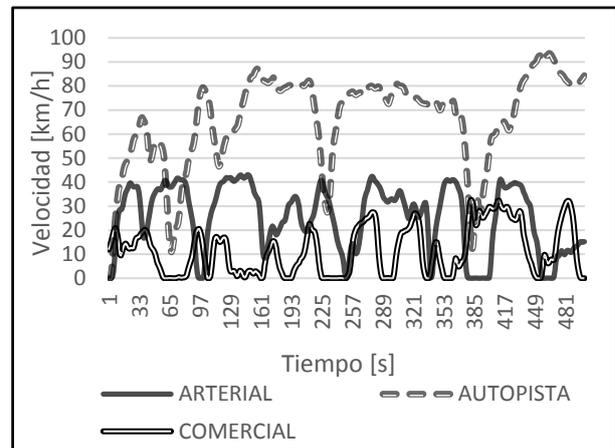
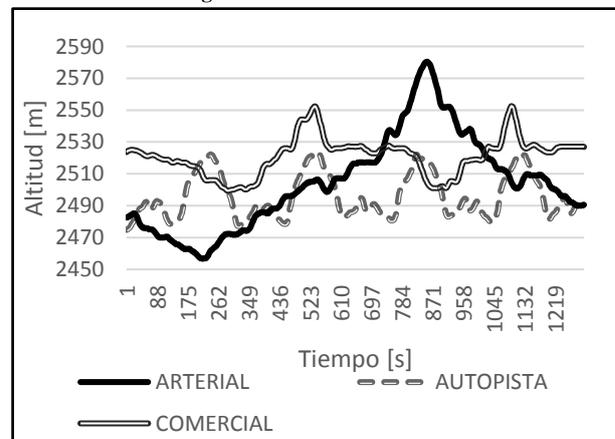


Figura 4. Patrones de velocidad.

La Figura 5 muestra un extracto del registro de la variación de altitud en las rutas, se pueden apreciar las pendientes características de esta localidad.

Figura 5. Patrones de altitud.



### 3.4. INVENTARIO DE EMISIONES

Mediante los cálculos de IVE se obtuvieron los valores de las emisiones para cada recorrido del vehículo de pruebas en las diferentes rutas, posteriormente se estimaron las mismas para todo el parque automotor mediante los vehículos contabilizados en las filmaciones. A partir de las emisiones totales por ruta durante el día, se procedió a calcular de manera anual. Por último se estimó para toda el área urbana aplicando una sumatoria de estos valores tal como plantea la metodología de IVE.

El Inventario de Emisiones (Tabla 4) se compone en un 94% aproximadamente de dióxido de carbono y un 6% de compuestos contaminantes. Una totalidad de 15970 toneladas son emitidas anualmente por el parque automotor. Los contaminantes llegan a una cifra de 970 toneladas anuales.

Tabla 4. Inventario de Emisiones anuales.

Emisiones anuales [Ton]		
Monóxido de carbono	CO	815
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	15000
Compuestos orgánicos volátiles	VOC	56
Óxidos de nitrógeno	NO <sub>x</sub>	73
Óxidos de azufre	SO <sub>x</sub>	2
Material particulado (10 micras)	MP10	24

Estas emisiones están distribuidas por las rutas como se muestra en la Tabla 5. La mayor parte de emisiones son generadas en la autopista. En el centro urbano, la presencia de emisiones vehiculares fue menor.

Tabla 5. Emisiones anuales en las diferentes zonas de la ciudad.

CO				
	arterial	comercial	autopista	total
Emisiones [ton]	187.9	102	525.3	815
CO <sub>2</sub>				
	arterial	comercial	autopista	total
Emisiones [ton]	4380.69	2639.27	7979.97	15000
VOC				
	arterial	comercial	autopista	total
Emisiones [ton]	18.4	13.4	24.5	56.3
NO <sub>x</sub>				
	arterial	comercial	autopista	total
Emisiones [ton]	18.0	10.4	44.3	73
SO <sub>x</sub>				
	arterial	comercial	autopista	total
Emisiones [ton]	0.46	0.28	0.84	1.58
MP10				
	arterial	comercial	autopista	total
Emisiones [ton]	7.58	5.28	11.45	24.32

La composición porcentual de los contaminantes se presenta en la Figura 6, está compuesta en su mayor parte por monóxido de carbono, seguido por las emisiones de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles. El material particulado y los óxidos de azufre (2.1% SO<sub>x</sub>)

tuvieron un mínimo porcentaje por lo que se representaron conjuntamente en los resultados con el 2,7%.

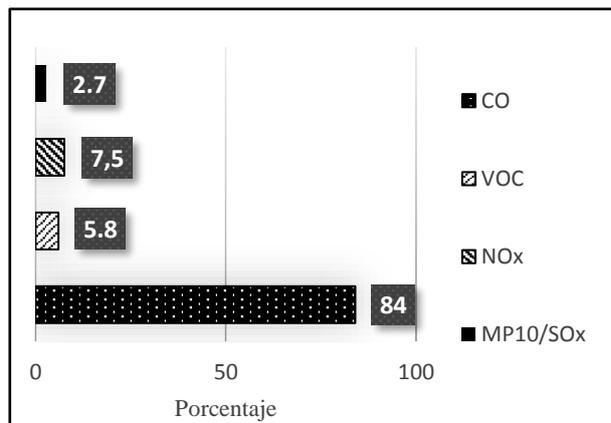


Figura 6. Composición porcentual de las emisiones contaminantes.

A partir del promedio de emisiones por hora del vehículo de pruebas, y la distancia recorrida durante ese mismo tiempo, se obtuvieron factores de emisión locales para las diferentes rutas estudiadas. Estos fueron útiles para la validación de resultados y para posibles estudios ambientales posteriores en la localidad. Como se indica en la Tabla 6, el mayor factor de emisiones estuvo en la zona céntrica de la ciudad, un resultado esperado debido a la mayor variación de la velocidad de los vehículos y las pendientes características del terreno.

Tabla 6. Factores de emisión locales.

CO				
	arterial	comercial	autopista	valor medio
FE [gr/km]	164.2	270	156.2	196.8
CO <sub>2</sub>				
	arterial	comercial	autopista	valor medio
FE [kg/km]	3.83	7.00	2.37	4.40
VOC				
	arterial	comercial	autopista	valor medio
FE [gr/km]	16.1	35.5	7.3	19.6
NO <sub>x</sub>				
	arterial	comercial	autopista	valor medio
FE [gr/km]	15.7	27.5	13.2	18.8
SO <sub>x</sub>				
	arterial	comercial	autopista	valor medio
FE [gr/km]	0.40	0.73	0.25	0.46
MP10				
	arterial	comercial	autopista	valor medio
FE [gr/km]	6.62	14.02	3.40	8.01

El factor de emisiones de dióxido de carbono (Figura 7) fue mucho más alto que los demás, por lo que fue determinado en kg/km. Este no se consideró contaminante, pero en cantidades sin control produce un efecto adverso al ambiente.

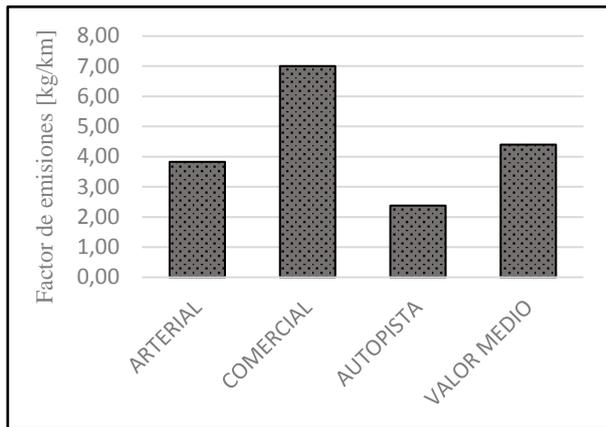


Figura 7. Factores de emisión de CO<sub>2</sub>.

El contaminante de mayor presencia fue el monóxido de carbono (Figura 8), con un factor de emisiones de hasta 270 gr/km en el centro de la ciudad.

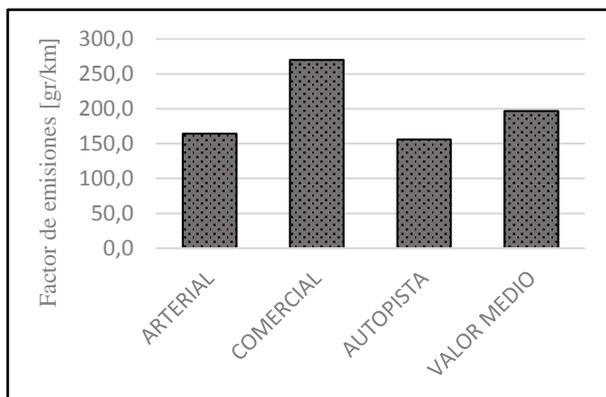


Figura 8. Factores de emisión de CO.

Los factores de emisión de los contaminantes, se describen en la Figura 9.

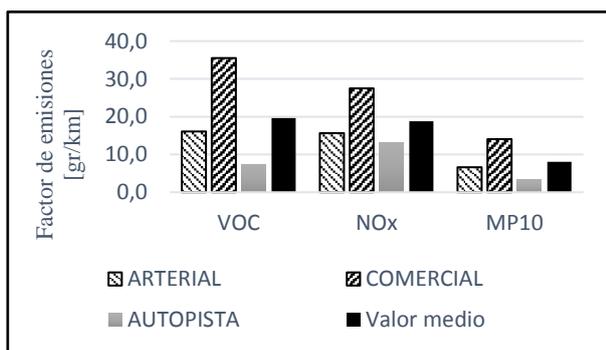


Figura 9. Factores de emisión para varios contaminantes.

#### 4. DISCUSIÓN

El IVE tiene el alcance de simular escenarios mediante modificación en los datos ingresados para el cálculo. Para validar los datos se asumió dos escenarios para obtener condiciones similares a la ciudad de Quito, con el fin de realizar una comparación con los datos obtenidos por Guadalupe (2016) en un modelado de emisiones realizado con IVE.

El primer escenario consistió en asumir que en la ciudad de Azogues se implementó la Revisión Técnica Vehicular (RTV) de manera similar a otras ciudades de este país. Se estimó un gran impacto en las emisiones de monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles. Los porcentajes se describen en la Tabla 7.

Tabla 7. Reducción porcentual de emisiones.

Reducción de emisiones anuales [%]		
Monóxido de carbono	CO	47
Compuestos orgánicos volátiles	VOC	22

En las Tablas 8 y 9 se muestra la reducción en los factores de emisión mediante la aplicación de un centro RTV.

Tabla 8. Reducción de los factores de emisión de CO.

CO [gr/km]				
	arterial	comercial	autopista	valor medio
Emisiones calculadas	164.2	270	156.2	196.8
Emisiones con RTV	132.0	216.5	95.2	147.9
Porcentaje	24	25	64	33

Tabla 9. Reducción de los factores de emisión de VOC.

VOC (gr/km)				
	arterial	comercial	autopista	valor medio
Emisiones calculadas	16.1	35.5	7.3	19.6
Emisiones con RTV	13.1	28.8	6.0	16.0
Porcentaje	22.6	23.3	21.3	22.9

El segundo escenario consistió en aplicar la RTV, y la modificación de la composición del parque automotor. Se reemplazó los vehículos a gasolina equipados con carburador por vehículos equipados con inyección multipunto con catalizador. La categoría de pesados a diésel que compone el 6% fue reemplazada por vehículos pesados equipados con gestión electrónica bajo la normativa Euro 3.

Como resultado, la tasa de emisiones se redujo en todos los compuestos analizados, especialmente en los contaminantes como el material particulado en hasta un 700%, los porcentajes están detallados en la Tabla 10. Los factores de emisión obtenidos se detallan en la Tabla 11.

Tabla 10. Reducción porcentual de emisiones.

Reducción de emisiones anuales [%]		
Monóxido de carbono	CO	150
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	6
Compuestos orgánicos volátiles	VOC	195
Óxidos de nitrógeno	NO <sub>x</sub>	20
Óxidos de azufre	SO <sub>x</sub>	50
Material particulado (10 micras)	MP10	700

**Tabla 11. Factores de emisión obtenidos en el segundo escenario.**

CO				
	arterial	comercial	autopista	valor medio
FE [gr/km]	59.8	92	66.2	72.7
CO2				
	arterial	comercial	autopista	valor medio
FE [kg/km]	3.62	6.46	2.24	4.11
VOC				
	arterial	comercial	autopista	valor medio
FE [gr/km]	5.1	10.0	2.8	6.0
NOx				
	arterial	comercial	autopista	valor medio
FE [gr/km]	14.0	25.6	10.5	16.7
SOx				
	arterial	comercial	autopista	valor medio
FE [gr/km]	0.37	0.68	0.23	0.43
MP10				
	arterial	comercial	autopista	valor medio
FE [gr/km]	0.85	1.77	0.45	1.02

Utilizando las condiciones simuladas, los resultados se asemejaron a los obtenidos en la ciudad de Quito, pudiendo ser validados mediante un análisis de proporcionalidad, como se detalla en la Tabla 12.

Los factores de emisiones contaminantes llegaban a una proporción de hasta 3.3; y, se ha estimado que los causantes serían la carencia de control de emisiones en la localidad y el estado no óptimo del parque automotor.

**Tabla 12. Validación de factores de emisión.**

	CO	VOC	NOx	PM10	CO2
Modelado de emisiones Quito					
Diésel			13.6	5.47	1.279
			8.19	1.77	0.646
			6.89	4.57	0.569
			16.62	3.03	1.389
			5.6	1.56	0.46
Gasolina	113.95	43.74			
	26.05	1.82			
	20.03	1.47			
	64.07	5.16			
	63.42	5.26			
	66.31	5.28			
Valor medio	59.0	10.5	10.2	3.3	0.9
Resultados obtenidos					
<b>Resultados</b>	196.8	19.6	18.8	8.01	4.4
Proporción	3.3	1.9	1.8	2.4	5.1
<b>Escenario 1</b>	147.9	16	18.8	7.97	4.4
Proporción	2.5	1.5	1.8	2.4	5.1
<b>Escenario 2</b>	72.7	6.0	16.7	1.0	4.1
Proporción	1.2	0.6	1.6	0.3	4.7

## 5. CONCLUSIONES

- Las características del parque automotor influyen directamente sobre las emisiones producidas. Se analizó una cantidad representativa de vehículos para lograr obtener una caracterización. El parque automotor en estudio, está conformado en su mayor parte por vehículos a gasolina. Se obtuvo 4 grandes grupos, los vehículos livianos a gasolina con sistema de inyección multipunto (72.1%), vehículos livianos a gasolina con carburador (12.9%), vehículos pesados a diésel (6.4%) y un grupo denominado *otros* (8.6%) donde se agrupó las categorías con porcentaje bajo (entre 2% y 0.2%).
- Los patrones de conducción describen las tendencias de conducción en la localidad. Mediante la ayuda de un GPS se tomó muestras de éstas, para incluirlas al cálculo. La velocidad y altura obtenidas fueron filtradas para ser utilizada en el cálculo de la Potencia Específica Vehicular (VSP). La altura describió las pendientes características de la localidad, siendo éste un parámetro para el aumento de las emisiones.
- Mediante los patrones de partida de los vehículos, la temperatura de funcionamiento de los motores puede ser descrita e incluida en el cálculo. Los periodos cortos de tiempo prevalecieron sobre los demás con excepción del periodo de 18 horas, lo que indica que hay una mayor tendencia a tener el motor apagado por cortos periodos de tiempo.
- El Inventario de Emisiones, dio como resultado una línea base para el estudio de emisiones en la ciudad. Las emisiones anuales generales están en 15970 toneladas, compuestas por 15000 ton de CO2 que representan un 94% aproximadamente y un 6% de compuestos contaminantes. Para estos últimos, el CO prevalece con 815 ton que equivalente al 84%, seguido por un 7.5% de NOx, 5.8% de VOC y 2.7% de MP10 y SOx.
- La cantidad de emisiones determinadas por ruta demuestran una mayor presencia de las mismas en el sector de la autopista, seguido por la ruta arterial y la ruta comercial respectivamente en función de la cantidad de vehículos. En cuanto a los factores de emisión, estos llegaron a un máximo valor en la ruta comercial y un mínimo en la autopista.

## 6. RECOMENDACIONES

- Se puede ampliar el estudio incluyendo específicamente la ruta de los buses con el fin de analizar detalladamente este grupo y establecer ordenanzas de control ya que *este grupo es altamente influyente sobre el NOx y PM10*.

- La implementación de un centro RTV sería un proyecto viable para la localidad debido a los beneficios ambientales estimados para la ciudad, disminuyendo en un 47% aproximadamente las emisiones de CO y un 22% de VOC.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Guadalupe, J. (2016). Modelación de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres en Quito, Ecuador. Tesis de maestría. Universidad técnica Federico Santa María, Valparaíso.
- Davis, N., Lents, J., Osses, M., Nikkila, N., & Barth, M. (2005). Part 3: Developing countries: development and application of an international vehicle emissions model. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 155-165.
- Fletes, W. (2016). Estimación de las emisiones vehiculares en la ciudad de Tegucigalpa, Honduras. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Ciencias Forestales UNACIFOR, Honduras.
- (2008). Manual del Usuario del Modelo IVE.
- Quiñonez, C. (2012). Evaluación de los inventarios de emisiones de fuentes móviles de Bogotá mediante datos de la red de calidad de aire. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Sbarato, D., Sbarato, V., Ortega, J., & Salort, R. (2000). Emisiones de contaminantes en el Aeropuerto Internacional Córdoba, Argentina. Emisiones de contaminantes en el Aeropuerto Internacional Córdoba, Argentina. UNC.
- INE, SEMARNAT, Western Governors' Association. (2007). Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas. México, DF.
- Edwin, A., & Jonny, L. (2010). Desarrollo y validación de un método para la determinación de factores de emisión vehicular mediante pruebas a bordo en la ciudad de Quito, Tesis Facultad de Ingeniería Mecánica. Escuela Politécnica Nacional.
- INE, SEMARNAT. Planeación y preparación del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero. México, DF: Conde, L.
- CRESPI, Valentino. Top – Down vs. Bottom – Up Methodologies in Multiagent System Desing. Autonomous Robots manuscip. Springer Science + Busisness Media, Enero 2008.
- Payri, F., & Desantes, J. M. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Vargas, S., Onatra, W., Osorno, L., Páez, E., & Sáenz, O. (2008). *Contaminación atmosférica y efectos respiratorios en niños, en mujeres embarazadas y en adultos mayores*. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 11(1), 31-45.