



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

**UNIVERSIDAD DEL AZUAY  
DEPARTAMENTO DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN SISTEMAS VEHICULARES**

**Estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> en taxis con cilindradas de 1600cc bajo parámetro de conducción normal en la ciudad de Cuenca, utilizando el modelo *IVE***

**Trabajo de graduación Previo a la obtención del título de:  
MAGISTER EN SISTEMAS VEHÍCULAR**

**Autor:**

**ANGEL DANILO ARELLANO CASTRO**

**Director:**

**MATEO COELLO SALCEDO**

**CUENCA – ECUADOR**

**2019**

**Dedicatoria:**

**A Dios por todas sus bondades y guiar mi vida en el camino correcto**

**A mis padres, César (+) y Teresa, por siempre estar conmigo**

**en cada uno de los pasos que doy en mi vida.**

**A mis hijos que son el motor de mi vida.**

**A mis hermanos por su apoyo y cariño,**

**Y de manera especial a Sandra, quién**

**es el pilar fundamental de mi vida,**

**Que con su amor y dedicación**

**me mostró todo su apoyo.**

**Agradecimientos:**

A Dios por darme salud, sabiduría y guiarme para culminar esta meta.

A la Universidad del Azuay por el apoyo durante la realización del Trabajo de investigación, en especial a mi tutor Mateo Coello.

A los profesores de maestría de la universidad, Por todo sus Conocimiento y apoyo brindado todo el tiempo, para la Realización y culminación de esta maestría.

Así como también a las autoridades del ISTSB por todo el apoyo brindado.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	<b>ii</b>
AGRADECIMIENTO.....	<b>iii</b>
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	<b>iv</b>
ÍNDICE DE FIGURAS .....	<b>v</b>
ÍNDICE DE TABLAS.....	<b>vi</b>
RESUMEN.....	<b>vii</b>
ABSTRACT.....	<b>viii</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	<b>1</b>
2. MATERIALES Y METODOS.....	<b>4</b>
3. RESULTADOS .....	<b>9</b>
4. CONCLUSIONES.....	<b>10</b>
5. RECOMENDACIONES.....	<b>10</b>
6. BIBLIOGRAFÍA.....	<b>10</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Filtrado y suavizado de la curva de velocidad / Tiempo.....	<b>7</b>
<b>Figura 2.</b> Filtrado y suavizado de la curva de altitud / Tiempo.....	<b>7</b>
<b>Figura 3.</b> Distribución de bins <i>VSP</i> .....	<b>8</b>
<b>Figura 4.</b> Distribución de datos 1600 cc Conducción normal.....	<b>8</b>
<b>Figura 5.</b> Consumo de combustible.....	<b>9</b>
<b>Figura 6.</b> Factor de emisiones de CO <sub>2</sub> .....	<b>9</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Simbología de la ecuación / Factor de emisiones.....	<b>5</b>
<b>Tabla 2.</b> Resultados de emisiones.....	<b>7</b>
<b>Tabla 3.</b> Total de emisiones mejor escenario.....	<b>9</b>
<b>Tabla 4.</b> Total de emisiones peor escenario.....	<b>9</b>
<b>Tabla 5.</b> Contenido de resultados finales .....	<b>10</b>

# **ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN TAXIS CON CILINDRADAS DE 1600 CC BAJO PARÁMETROS DE CONDUCCIÓN NORMAL EN LA CIUDAD DE CUENCA, UTILIZANDO EL MODELO IVE**

## **RESUMEN**

El presente estudio estimó las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por las taxis con cilindradas de 1600 cc en la ciudad de Cuenca, en condiciones de conducción normal. La estimación del dióxido de carbono se obtendrá mediante el modelo Internacional de Emisiones Vehiculares. Para ello se seleccionó una flota de taxis y se instrumentaron con equipos *GPS* y data loggers para obtener los parámetros que alimenten el modelo. Con la información procesada obtuvimos el factor de emisión de CO<sub>2</sub>, dando los siguientes resultados 323,19 g/km en hora pico y 207,47 g/km en hora valle para utilizarla como línea base para futuros estudios relacionados con la mitigación de este gas.

**Palabras Clave** – flota, emisiones CO<sub>2</sub>, línea base, modelo IVE,

**ESTIMATION OF CO<sub>2</sub> EMISSIONS IN TAXIS WITH 1600 CC OF  
DISPLACEMENT UNDER NORMAL DRIVING PARAMETERS IN CUENCA,  
USING THE IVE MODEL**

**ABSTRACT**

The present study estimated the CO<sub>2</sub> emissions generated by taxis with a displacement of 1600 cc in Cuenca under normal driving conditions. The carbon dioxide estimate was obtained by using the International Vehicle Emissions Model. For this, a fleet of taxis was selected and instrumented with GPS equipment and data loggers to obtain the parameters that fed the model. With the processed information, the CO<sub>2</sub> emission factor was obtained and gave the following results: 323.19 g/km at peak hours and 207.47 g/km at off-peak hours. This may be used as a baseline for future studies related to the mitigation of this gas.

**Keywords** – fleet, emissions, baseline, IVE model.

---

Ing. Mateo Coello Salcedo, Mgr

**Thesis Director**


---

Ing. Danilo Arellano Castro

**Author**



Mateo Coello Salcedo



Translated by  
Ing. Paul Arpi



Trabajo de Titulación.

Danilo Arellano Castro.

Octubre, 2019.

***Estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> en taxis con cilindradas de 1600 cc bajo parámetros de conducción normal en la ciudad de Cuenca, utilizando el modelo IVE***

**INTRODUCCIÓN**

..

En cuanto a los métodos de estimación de emisiones de manera indirecta, este estudio buscará determinar la línea base de emisiones de CO<sub>2</sub> en la ciudad de Cuenca en una flota de taxis con cilindradas de 1600cc, ya que los taxis son los vehículos que mayor circulación tienen durante el día y esto aportaría para tener una base de datos robusta con la cual se pueda tener resultados que sean extrapolables al parque automotor de la ciudad. Por las bondades que ofrece se utilizará el modelo *IVE* para la estimación de las emisiones

Para generar una línea base sobre emisiones de CO<sub>2</sub> utilizamos el método indirecto técnicas de que se encargó de estimar las emisiones a partir de parámetros que alimentan modelos matemáticos, la ventaja de estos es que no se incurre en gastos mayores.

# ***Estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> en taxis con cilindradas de 1600 cc bajo parámetros de conducción normal en la ciudad de Cuenca, utilizando el modelo IVE***

Ángel Danilo Arellano Castro

Departamento de Posgrado

Maestría en Sistemas Vehiculares

Universidad del Azuay

Cuenca, Ecuador

daniloarellanocastro@hotmail.com

**Resumen-** En la actualidad el calentamiento global es considerado la principal problemática de escala global, que principalmente es generada por la concentración de gases de efecto invernadero de origen antropogénico en la atmósfera a la que se le atribuye el 25% al transporte. El presente estudio estimó las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por las taxis con cilindradas de 1600 cc en la ciudad de Cuenca, en condiciones de conducción normal.

La estimación del dióxido de carbono se obtuvo mediante el modelo Internacional de Emisiones Vehiculares. Para ello se seleccionó una flota de taxis de las marcas Hyundai Accent y Kia Rio que cumplen con las cilindrada establecida, y se los instrumentó con equipos como, , un lector de comunicación ELM 327 interface, un celular, a la que se le descargó la aplicación Torque Pro y GPS, para obtener los parámetros que alimenten el modelo. Con la información procesada obtuvimos el factor de emisión de CO<sub>2</sub>, dando los siguientes resultados 323,19 g/km en hora pico y 207,47 g/km en hora valle para utilizarla como línea base en futuros estudios relacionados con la mitigación de este gas.

**Palabras Clave** – Calentamiento global, Taxis, emisiones, equipos, *IVE*.

**Summary-** At present, global warming is considered the main problem of global scale, which is mainly generated by the

concentration of anthropogenic greenhouse gases in the atmosphere to which 25% is attributed to transport. The present study estimated the CO<sub>2</sub> emissions generated by taxis with displacement of 1600 cc in the city of Cuenca, under normal driving conditions. The carbon dioxide estimate was obtained using the International Model of Vehicle Emissions. For this purpose, a fleet of taxis of the Hyundai Accent and Kia Rio brands that comply with the established displacement were selected, and were implemented with equipment such as an ELM 327 interface communication reader, a cell phone, to which the application was downloaded Torque Pro and GPS, to obtain the parameters that feed the model. With the processed information we obtained the CO<sub>2</sub> emission factor, giving the following results 323.19 g / km at peak time and 207.47 g / km at valley time to use it as a baseline in future studies related to the mitigation of this gas.

**Keywords** - Global warming, Taxis, emissions, equipment, *IVE*

## **1. INTRODUCCIÓN**

James Cook en el año 2013 publica en la revista científica *Environmental Research Letters* un artículo titulado “*Quantifying the consensus on*

*anthropogenic global warming in the scientific literature*” donde analiza en la literatura existente sobre cambio climático el consenso sobre la influencia antropogénica sobre este fenómeno, llegando a determinar que de 12000 publicaciones el 97,1% apunta a que el cambio climático es consecuencia directa de la actividad humana y sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y en particular el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)[1]

Esta actividad humana puede ser clasificada por sectores; generación energía, industrial, residencial, transporte, entre otros. El sector del transporte es el que mayores emisiones de CO<sub>2</sub> genera después del sector de generación de energía, aportando aproximadamente un 23% del total del CO<sub>2</sub> antropogénico [2]. De todo el sector, el transporte terrestre y en particular el vehículo privado, constituye más de la mitad de la problemática, debido a la cantidad de vehículos en el mundo.

En el año 2015 alrededor del mundo circulaban alrededor de 1.1 billones de vehículos y se espera que para el 2025 esta cifra incremente a 2 billones[3]. De acuerdo a la organización internacional de constructores automotrices la tasa de crecimiento del parque automotor a nivel mundial es de un 4%, como consecuencia de aquello en 2017 se alcanzó la cifra de 100 millones de vehículos producidos en un año [4]. En Ecuador los índices son mayores pues se tiene una tasa de crecimiento del 15.5% anual del parque automotor y en 2017 se llegó a superar los 2 millones de vehículos matriculados [5] esto ha derivado a que en Ecuador el sector del transporte sea el de mayor demanda energética con cerca de 45 millones de barriles equivalentes de petróleo [6].

Por esta razón surge la necesidad de contar con estrategias y políticas que contribuyan a la mitigación de uso de combustible fósil en el transporte y por ende a la reducción de GEI. Existen varias estrategias como el cambio modal en la transportación, la eco-conducción o el vehículo compartido y también varias políticas como los impuestos verdes, los impuestos al tráfico vehicular o el incentivo a los vehículos eléctricos que han demostrado buenos resultados[7].

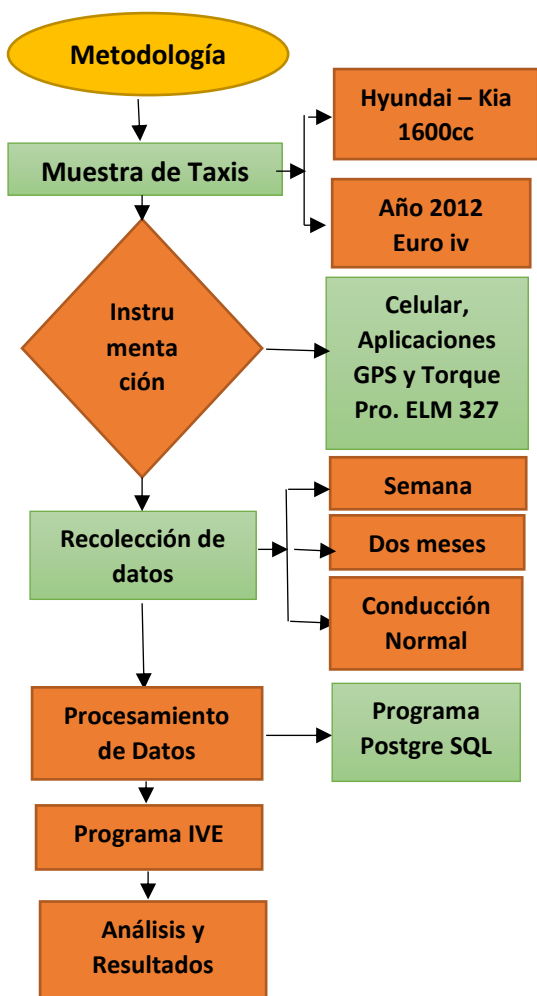
Sin embargo, para aplicar cualquiera de estas estrategias o políticas con el fin de reducir el consumo y las emisiones es necesario en primera instancia contar con una línea base sobre

consumos de combustible y emisiones. Para generar una línea base sobre emisiones de CO<sub>2</sub> se puede utilizar técnicas de medición directas (directamente en el tubo de escape) e indirectas (simulación). Las mediciones directas se las puede hacer mediante laboratorios o sistemas de medición a bordo (PEMS), sin embargo, el problema de estas son los costos relacionados. Por otra parte, están los métodos indirectos que se encargan de estimar las emisiones a partir de parámetros que alimentan modelos matemáticos, la ventaja de estos es que no se incurre en gastos mayores.

Con estos antecedentes surgen algunas preguntas que deberían ser abordadas para tratar de dar soluciones parciales a la gran problemática del consumo energético y emisiones del transporte, preguntas como ¿Qué metodología de medición indirecta es la pertinente para estimar la línea base de emisiones de CO<sub>2</sub>?, ¿Cuál será el factor de emisiones de CO<sub>2</sub> promedio de una flota específica?

En cuanto a los métodos de estimación de emisiones de manera indirecta, varios estudios[8], [9], concluyen que para países con tecnologías vehiculares EURO 3 la mejor opción es el modelo Internacional de emisiones (IVE) ver Figura 1, ya que este se adapta a dichas tecnologías, además de permite cargar directamente al programa la información referente a los hábitos de conducción, mediante los Bines VSP[10]. Existe varios estudios en países como China, India, México, Perú, Chile, entre otros en los que ha sido utilizado el modelo IVE para determinar factores de emisiones e inventarios de emisiones, además de bases de datos para control de clima y control de la calidad de aire[11]. En este contexto este estudio buscara determinar la línea base de emisiones de CO<sub>2</sub> en la ciudad de Cuenca en una flota de taxis con cilindradas de 1600cc, ya que los taxis son los vehículos que mayor circulación tienen durante el día y esto aportaría para tener una base de datos robusta con la cual se pueda tener resultados que sean extrapolables al parque automotor de la ciudad. Por las bondades que ofrece se utilizará el modelo IVE para la estimación de las emisiones.

## 2 MATERIALES. Y MÉTODOS



El método aplicado se basó en la estrategia de procesamiento de la información relativo al software (Botton-up) y de revistas indexadas de la Universidad del Azuay relacionada a la estimación de factores de emisiones de CO<sub>2</sub> utilizando la metodología del modelo internacional de emisiones como una de las más apropiadas para la cuantificación de factores de emisiones. Esta actividad consistió en comparar las diferentes metodología para definir los pros y contras de cada una en función de parámetros como, costo de aplicación, resultados en otros estudios, capacidad de procesamiento, facilidad de uso, adaptabilidad de la metodología al medio y robustez científico del método

### 2.1 Levantamiento de la información.

A partir de la evaluación de las diferentes metodologías se seleccionó una de ellas para aplicarlo a una flota de taxis en la ciudad de Cuenca. Es importante destacar que por el trabajo previo de revisión y análisis de literatura se ha

definido el modelo *IVE* como un método pertinente para la determinación del factor de emisiones de CO<sub>2</sub>

En este caso se evaluó el modelo *IVE* a profundidad para poder entender cómo funciona, como es su uso, la caracterización de las variables que demanda el modelo y los resultados que entrega la aplicación. Para ello se evaluaron modelos que cumplan con la cilindrada establecida y que tengan la capacidad de soportar la instrumentación necesaria para el levantamiento de datos.

### 2.2 Flota vehicular

La flota de taxis seleccionada cumplen con la norma Euro cuatro, características del motor, año de fabricación, son de las marcas Hyundai Accent y Kia Rio del año 2012 ambos con cilindradas de 1600 cc y con características de soportar la instalación de los instrumentos.

El modelo *IVE* utiliza básicamente parámetros de carácter ambiental como es la humedad, temperatura, también algunas variables como, patrones de conducción, recorridos de rutas, composición química del combustible utilizado., Todas estas variables serán obtenidas del *GPS* y normativas actuales e información gubernamental local.

### 2.3 Instrumentación de equipos

Se instrumentó a cada taxi con un celular con la aplicación torque pro y el ELM 327 ya que de esta manera se podrá almacenar la información del celular para su posterior procesamiento. La ventaja de contar con el ELM es que aparte de los datos de latitud longitud y altura también entregara información referente al consumo de combustible lo que servirá para poder evaluar temas de autonomía y ahorro.

### 2.4 Adquisición de datos

Con la instrumentación implementada en cada uno de las taxis seleccionados se procedió a levantar la información de manera semanal durante un periodo de dos meses seguidos con un tiempo de 12 horas diarias de trabajo por cada unidad con el fin de obtener la mayor cantidad de datos que sean posible. El almacenamiento de la información para su posterior procesamiento de los datos, utilice hojas de cálculo en Excel para la organización de la información, en el modelo *IVE* es necesario hacer un filtrado de los mismos para eliminar datos atípicos en velocidad y altura con el fin de obtener resultados más próximos a

la realidad. Para la generalización de los resultados se utilizó la estadística descriptiva, cuartiles y centiles para todos los resultados obtenidos. [12]

## 2.5 Procesamiento de información

El proceso de emisiones en el modelo *IVE* consiste en estimar los factores  $Q(t)$  para cada tipo de vehículo, multiplicar la base de factores de emisión  $B(t)$  por cada uno de los factores de corrección  $K_{(1)[t]}$  y por la distancia- vehículo para cada tecnología.

Ejemplo:

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

**Tabla 1** Simbología de la ecuación factor de emisión

$Q_{(t)}$	Factor de emisión para cada tipo de vehículo
$B_{(t)}$	Base de factores de emisión
$K_{(1)[t]}$	Serie de factores de corrección

**Elaborado:** Danilo Arellano C.

Una vez terminada la recolección de datos mediante el dispositivo ELM327, se procedió a la creación de una base de datos. En primera instancia se clasificaron los archivos (.csv) según el taxi del cual provenían, para luego proceder con un filtro de celdas vacías o datos erróneos la cual se realizó mediante un programa en matlab debido a la gran cantidad de archivos. La información recolectada, superó los veinte millones de datos, lo que llevó a crear un sistema de gestión de bases de datos orientados a un código abierto en veintisiete columnas donde contiene información de identificación del vehículo, fecha, hora, posición de GPS, altitud y parámetro de funcionamiento del vehículo. El postgre SQL es un servidor de datos libre, ya que incluye características de la orientación a objetos, como tipos de datos que ayudó a procesar la información con resultados confiables.

## 2.6 Metodología para determinar el inventario de emisiones.

En la parte experimental, se utilizó una flota de nueve taxis con cilindrada de 1600cc de las marcas Hyundai Accent y Kia Rio del año 2012 que realizaron los recorridos habituales bajo parámetro de conducción normal dentro de la Ciudad de Cuenca, el levantamiento de la información se la realizó en dos meses de trabajo continuo de 12 horas. Para la selección de los

días se consideró un día típico y un día atípico y para los horarios se tomó en cuenta la menor (hora valle) y la mayor (hora pico) congestión de tráfico vehicular.

Los equipos requeridos para llevar a cabo esta investigación de estimación de emisiones de CO<sub>2</sub> fueron:

- Flota de vehículos (taxis)
- Celular Alcatel 4034 G
- Lector interface *ELM 327*
- *GPS*
- Programa desarrollado en la universidad para el cálculo de los bins *VSP*
- Programa *IVE*

### 2.6.1 Recorridos de los taxis en la ciudad.

Los recorridos fueron aleatorios y se consideró las calles o vías que los taxistas más frecuentan en la ciudad, sin embargo se seleccionó una ruta específica para el escenario de hora valle y otra para la hora pico en función de los percentiles 25 y 75 que en estadística sirve para comparar un conjunto ordenado de datos.

### 2.6.2 Patrón de conducción

Comprende el conjunto de secuencia de tiempos y velocidades. La velocidad, aceleración y desaceleración de un vehículo tiene un profundo impacto ambiental en las emisiones que emiten los vehículos, para ello es fundamental que los ciclos de conducción representen las condiciones de circulación reales de los vehículos.

Los patrones de conducción en el modelo *IVE* son representados por parámetros que pueden obtenerse conociendo el tipo de vehículo y una tasa de velocidad segundo a segundo[13]

**Potencia específica del vehículo *VSP*:** Es la razón entre la potencia instantánea de un vehículo y su masa. Es un parámetro fundamental en la determinación de emisiones contaminantes, ya que se deriva de la velocidad instantánea y de la aceleración[13] La potencia instantánea generada por el motor es utilizada para sobre pasar la resistencia a la rodadura, el arrastre aerodinámico y para aumentar las energías cinética y potencial del vehículo. Este garantiza realizar una predicción adecuada de las emisiones de CO<sub>2</sub> y su unidad es potencia por unidad de masa (W/Kg) o

(KW/ton)[13]

### Ejemplo:

$$VSP = v[1.1a + 9,81(\text{atan}(\sin(\text{pendiente}))) + 0,132] + 0,003v^3$$

### Ecuación 1 Potencia específica del vehículo VSP

Donde:

$$\text{pendiente} = (h_{t=0} - h_{t=-1})/v_{t=-1a} \text{ o segundos}$$

v= velocidad (m/s)

a= aceleración (m/s<sup>2</sup>)

h= altitud (m)

Demanda del motor (Engine Stress) (ES): es la carga del motor y representa los últimos 20 segundos de operación del motor antes de cada medición y las rpm implícitas del automóvil[13]. El objeto de esta metodología es asociar a cada par VSP ES (calculado segundo a segundo) una emisión determinada en (gramos/segundos). Como la tecnología actual no permite a los instrumentos lograr una precisión muy elevada, es más razonable agrupar los valores obtenidos en un histograma con intervalos bien definidos. Así como nace el concepto de BINS de potencia. Con la metodología del ES se mejora la predicción de emisiones CO, HC, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>[13]

Ejemplo:

Estrés del motor (sin unidades) = índice rpm + (0,08ton/KW)\* potencia pre promedio

### Ecuación 2 Estrés del motor

Dónde: **Potencia pre promedio** = promedio (VSP<sub>t=-5 secto-25 sec</sub>) (KW/ton)

**Índice RPM** = Velocidad<sub>t=0</sub>/Divisor Velocidad (sin unidades)

**Mínimo Índice RPM** = 0,9

**BINS de potencia:** Son casillas o intervalo de valores VSP y ES que pueden alcanzar un vehículo en un segundo determinado[13]

Los resultados del procesamiento de datos de las ecuaciones de VSP y estrés del motor, representan la fracción de tiempo recorrido en cada una de las categorías VSP y estrés. Hay tres categorías de estrés y 20 categorías de VSP, con un total de 60 bins[13]

### 2.6.3 Patrones de Partidas Soak

Diferentes puntos de partidas producen impactos en las emisiones que emanan los vehículos a la atmósfera.

El efecto más predominante es el periodo Soak antes que se produzca la partida.

La denominación Soak es el periodo de tiempo que un motor en caliente ha estado apagado antes de volver a ponerse en marcha. El motor de un vehículo cuando es prendido luego de un tiempo largo provoca mayor volumen de emisiones[13]

### 2.6.4 Variables ambientales

Al ser IVE un programa que se acopla a la realidad de una localidad, es indispensable conocer las variables ambientales que se describen a continuación[13]

**Altitud.-** Es la distancia vertical a un origen determinado, considerado como nivel cero, para el que se suele tomar el nivel medio del mar. Al incremento de estas variables hay menos cantidad de oxígeno que afecta a la combustión, ocasionando una pérdida de potencia, torque y un menor rendimiento de combustible (Km/l).

**Temperatura y humedad relativa.-** Es un magnitud referida a las nociones comunes de calor o frío. La humedad relativa es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica.

**Pendiente.-** Hace referencia a las inclinaciones de las vías respecto de la horizontal en la ciudad. Esta información se solicita al departamento de tránsito del GAD municipal, donde muestra las distintas pendientes que tienen algunas calles o vías que comprenden todo el circuito de la ciudad de Cuenca.

## 2.7 Criterio de análisis de emisiones

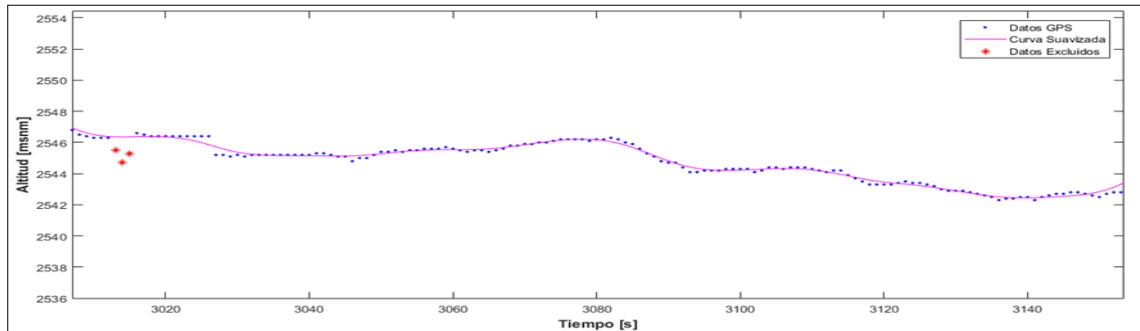
En el presente estudio se analizó las emisiones de CO<sub>2</sub> en dos escenarios los cuales corresponden: primero un mejor escenario en condiciones de tráfico favorables (hora valle) y segundo, un peor escenario en el cual existe tráfico (hora pico), para ello se ordenó de menor a mayor las velocidades promedio de cada hora de datos comprobando que corresponden a una distribución normal

**Tabla 2** Resultados de emisiones

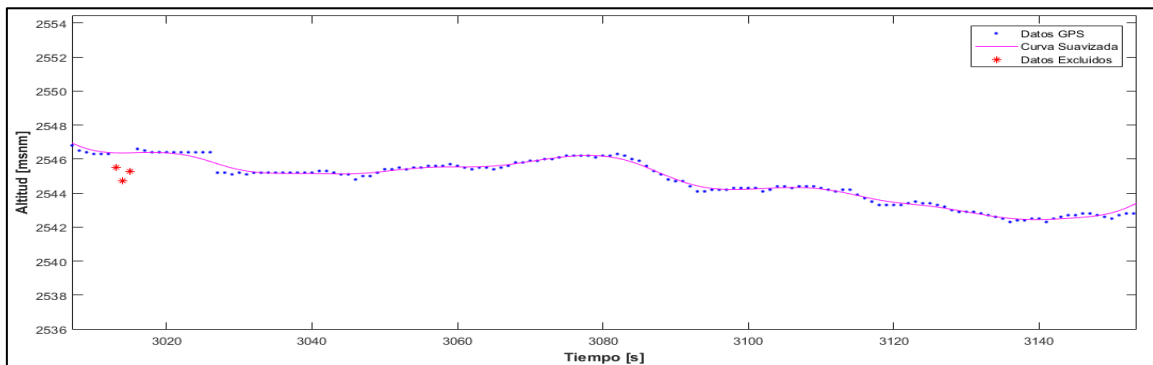
Taxis 1600 cc	Conducción	
	Mejor Escenario	Peor Escenario
CO <sub>2</sub> [g/km]	207,47	323,19
CO [g/km]	2,86	3,88
PM [mg]	3,03	4,59
NO <sub>x</sub> [mg]	302,47	440,64

### 2.7.1 Filtrado y suavidad de la curva de los datos del GPS

Los datos de velocidad y altitud de los recorridos representativos pasan por un filtro de datos atípicos y la suavización de la curva, antes de ser procesados para el cálculo de bins *vsp*, En las Figura 1 y 2 se muestra un ejemplo de este procedimiento



**Figura 1.** Ejemplo de filtro y suavización de la curva Velocidad/Tiempo.



**Figura 2.** Ejemplo de filtro y suavización de la curva Altitud/Tiempo

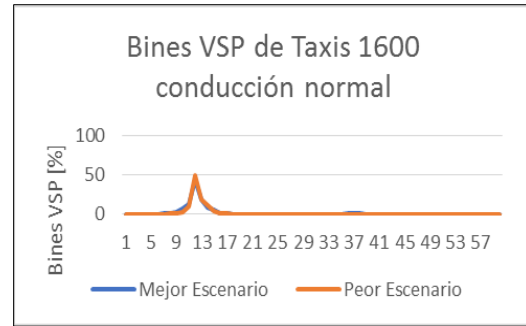
### 2.7.2 Cálculos de emisiones de CO<sub>2</sub>

Para el cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> se utilizó el software modelo IVE:

Primero se calcula los bins *vsp*, con ayuda de un servidor de base de datos postgre SQL, una herramienta de veintisiete columnas desarrollada en la Universidad del Azuay.

Dentro del modelo IVE- la flota vehicular corresponde a la tecnología vehicular 127, (esta es la tecnología vehicular más común entre los taxis de la ciudad), la cual describe un vehículo liviano a gasolina, inyección multipunto, con catalizador, válvula de recirculación de gases de escape( *egr*) y sistema de ventilación del cárter (*pcv*). También se utilizó una temperatura de 16.1 °C y una humedad relativa del 60%, que corresponden al registro promedio de la ciudad [14].

Para los datos de calidad del combustible se consideró lo estipulado en la Norma TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 935. Esta norma establece los límites máximos de los diferentes componentes de la gasolina en Ecuador. El contenido de azufre se establece en 650 ppm, el contenido de benceno es del 1%, no contiene plomo y el contenido de oxígeno es del 2.7%

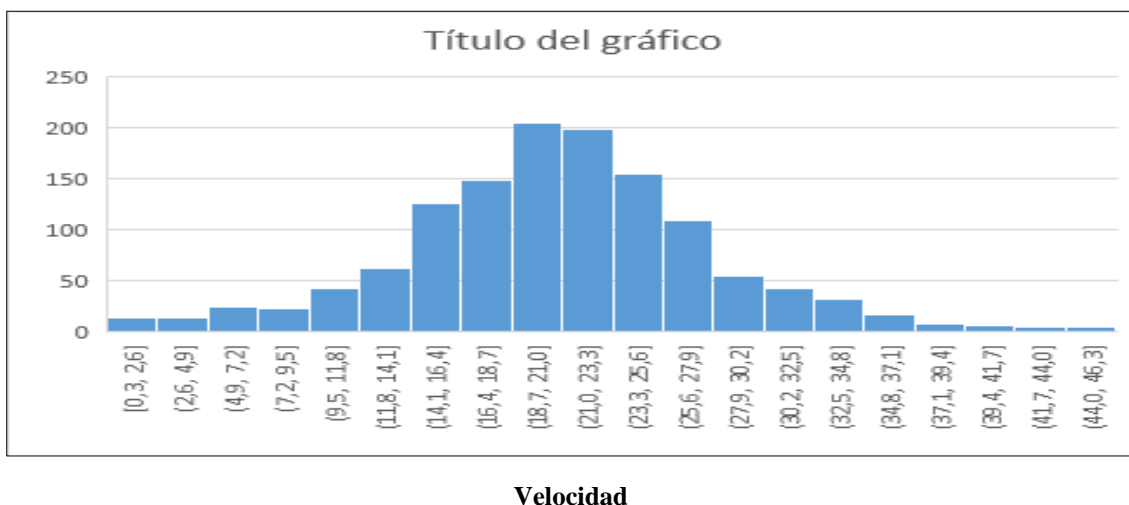


**Figura 3** Distribución de bins VSP Taxis 1600cc

En la figura 3 se muestra el cálculos de los bins VSP. Con una distribución del 50% de los bins de la flota vehicular de taxis con cilindrada de 1600cc en conducción normal, promediando el mejor y peor escenario de los datos recogidos de la flota.

### 2.7.3 Datos sobre velocidades promedio. Taxis 1600cc. Conducción normal

Se analizó una muestra de 2802 datos sobre velocidades promedio de cada hora de recorrido en dos escenarios, la distribución normal de datos se muestra en la figura 4.



**Figura 4.** Distribución de datos sobre velocidades promedio de Taxis 1600cc. Conducción normal



### Mejor escenario

El mejor escenario corresponde a los datos registrados el día 19 de junio del 2019 entre las 6:00 am y las 7:00 am, en el vehículo taxi-16 y consta de 1633 datos registrados.

**Tabla 3** Total de emisiones mejor escenario

TAXIS	1600CC	CONDUCCIÓN	NORMAL
Total de emisiones en un día [g/km]	Total de emisiones en un mes [g/km]	Total de emisiones en un año. [g/Km]	Total de emisiones en un año [t/km]
49543,83	1189052,06	14268624,77	14,270

### Peor escenario

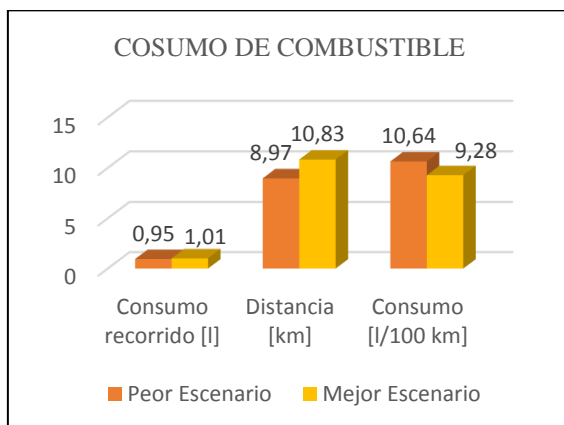
El peor escenario corresponde a los datos registrados el día 29 de mayo del 2019 entre las 17:00 pm a 18:00pm, en el vehículo Taxi-13 y consta de 2009 datos registrados.

**Tabla 4** Total de emisiones peor escenario

TAXIS	1600CC	CONDUCCIÓN	NORMAL
Total de emisiones en un día [g/Km]	Total de emisiones en un mes [g/Km]	Total de emisiones en un año. [g/Km]	Total de emisiones en un año [t/km]
77177,77	2347516,29	28170195,49	28,170

### 2.8 Consumo de combustible

En la figura 5. Se presentan los resultados finales con respecto al consumo de Combustible en las rutas asignadas con tráfico y sin tráfico las vías y/o calles de la ciudad de Cuenca.



**Figura 5.** Consumo de combustible

Con los valores de consumo de combustible que se obtuvieron al circular por las calles y perímetros de la ciudad, los nuevos taxis con cilindradas de 1600cc. Se estableció un consumo promedio en el peor y mejor escenario, determinando la cantidad de combustible que requiere cada uno de los recorridos. El consumo de combustible varía según el movimiento realizado, puesto que cada uno de estos difiere en su distancia y tiempo.

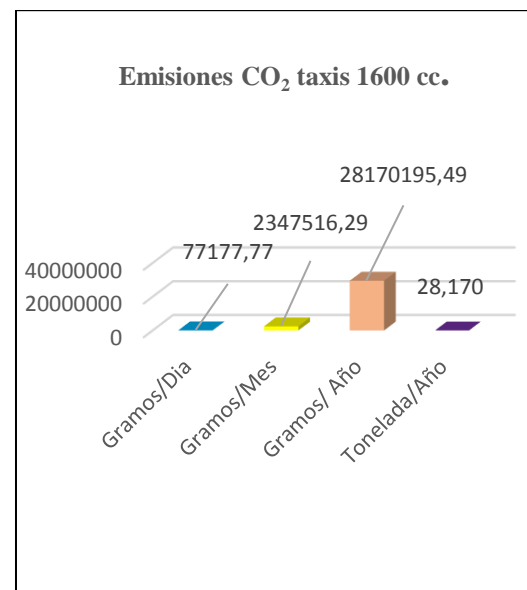
Consumo recorrido[l].Este valor corresponde al consumo total de la ruta.

Distancia [km] Este valor corresponde al kilometraje recorrido en la ruta analizada.

Consumo [l/100km] Este valor corresponde al consumo del vehículo en litro por cada 100 kilómetros.

### 3. RESULTADOS

El software modelo IVE, estimó emisiones contaminantes de CO<sub>2</sub> en la ciudad de Cuenca, mediante una secuencia de pasos bien establecidos que permiten reunir la información, procesarla, tabularla y agruparlas en distintos cuadros.



**Figura 6** Factores de emisiones de CO<sub>2</sub>

En la figura 6, se presentan los datos de emisiones del peor escenario, donde se observa la variación de los índices de emisiones de CO<sub>2</sub> por día, mes y año. Tomando en consideración el escenario de la hora pico, obtuvimos los siguientes resultados de contaminación ambiental. 77177,77[g/km] por día; 2347516,29[g/km] por mes; 28170195,49

[g/km] por año y 28,170[t/km] por año, lo que valida el análisis realizado a la ciudad para futuros proyectos.

#### 4. CONCLUSIONES

El presente trabajo tiene como finalidad dar un aporte a la ciudad de Cuenca, en cuanto al estudio de emisiones de CO<sub>2</sub> generado por las taxis el cual servirá como línea base para futuros estudios relacionados con la mitigación de este gas de efecto invernadero. En este estudio se obtuvieron los patrones de conducción (velocidad, tiempo y altitud) de los taxis con cilindrada de 1600cc en conducción normal, los cuales son parámetros de ingreso para la obtención de los factores de emisión en los contaminantes de tipo criterio para las rutas arteriales de la ciudad debido a que la mayoría de los taxis escogidos cumplen con las normativas Euro IV, donde su sistema de alimentación de alta presión logra una mejor pulverización de combustible y por ende una mezcla homogénea. El contaminante criterio que se logra reducir en dicha tecnología se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5 Contenidos de resultados / peor escenario

H/día	24
Hora diaria taxis	12
Cantidad actual de taxis en Cuenca	3553
<b>Masa/Tiempo</b>	<b>Emisiones de CO<sub>2</sub></b>
Gramos/hora	3215,738
Gramo/ día	80797,5
Gramos / mes	2347516,29
Gramos/año	29491410,7
Tonelada/año	28,170
Total de CO <sub>2</sub> en flota	100088,01

De acuerdo a la tabla 5. Los resultados de las emisiones de CO<sub>2</sub> anual generada por los taxis con cilindrada de 1600cc en conducción normal, en el peor escenarios (hora pico), podemos observar que los índices de contaminación ambiental anual para los habitantes de la ciudad de Cuenca son muy elevados como para que los gobiernos nacional y local ejecuten programas macros para la mitigación de los gases y el cuidado del medio ambiente.

#### 5. RECOMENDACIONES

- Validar el estudio realizado de la estimación de CO<sub>2</sub> obteniendo los factores de emisión por medio del modelo *IVE*, con pruebas de medición en rutas utilizando los equipos *GPS* y datalogger, la cual mide en tiempo real la cantidad de emisiones que producen los vehículos en la ciudad.
- Ampliar la investigación a 24 horas para determinar con más exactitud la cantidad de emisiones contaminantes que se emiten a la atmósfera.
- Estrategias para reducir las emisiones de gases contaminantes tales como, mejorar la calidad del combustible, que las entidades encargadas de esta problemática, como la Empresa Municipal de movilidad, Tránsito y Transporte (EMOV EP). Mejoren los programas de inspección y realicen campañas de sociabilización que concienticen a la ciudadanía en la importancia que es realizar un mantenimiento periódico de sus vehículos para evitar fallas en los sistemas de control de emisiones.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Cook *et al.*, “Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature,” vol. 024024, 2013.
- [2] IPCC, “Climate Change 2007: Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability,” witzerland, 2017.
- [3] J. D. K. Bishop, M. E. J. Stettler, N. Molden, and A. M. Boies, “Engine maps of fuel use and emissions from transient driving cycles,” *Appl. Energy*, vol. 183, pp. 202–217, 2016.
- [4] OICA, “Man made CO<sub>2</sub> EMISSIONS,” 2015. .
- [5] Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, *Anuario AEADE 2015*. QUITO, 2016.
- [6] G. nacional de la republica del Ecuador, “Ministerio de Electricidad y Energía Renovable,” *Ministerio de Electricidad y Energía Renovable*, 2015. .
- [7] L. I. Rizzi and C. De La Maza, “The external costs of private versus public

- road transport in the Metropolitan Area of Santiago, Chile,” *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 98, pp. 123–140, 2017.
- [8] S. Kumar Pathak, V. Sood, Y. Singh, and S. A. Channiwala, “Real world vehicle emissions: Their correlation with driving parameters,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 44, pp. 157–176, 2016.
- [9] H. Wang, C. Chen, C. Huang, and L. Fu, “On-road vehicle emission inventory and its uncertainty analysis for Shanghai, China,” *Sci. Total Environ.*, vol. 398, no. 1–3, pp. 60–67, 2008.
- [10] M. L. T. Cossio *et al.*, “CO2 in the road transport sector,” *Uma ética para quantos?*, vol. XXXIII, no. 2, pp. 81–87, 2012.
- [11] N. Davis, J. Lents, M. Osses, N. Nikkila, and M. Barth, “Part 3: Developing Countries: Development and Application of an International Vehicle Emissions Model,” *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 1939, pp. 155–165, 2005.
- [12] International Sustainable Systems Research Center, “Manual del Usuario del Modelo IVE Mayo , 2008,” p. 55, 2008.
- [13] C. Chuquiguangua Auquilla, “Estimación Indirecta de Emisiones Contaminantes de Fuentes Móviles en el casco urbano de la cabecera cantonal del Cantón Sevilla de Oro,” 2016.
- [14] EMOV EP, “Informe de Calidad de Aire Cuenca-2015,” 2016.