

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas Oceánicas y Recursos naturales**

**"ESTIMACIÓN DEL CARBONO NEGRO EMITIDO POR TRANSESPOL E.P Y SU POSIBLE IMPACTO EN EL CAMBIO CLIMÁTICO"**

**Trabajo de titulación Previo a la obtención del Título de Magister En Cambio Climático**

**Presentado por: Ricardo Seris Guerra**

**Guayaquil – Ecuador, 2017**

**PhD. Gladys Rincón Polo**

### **Agradecimiento y dedicatoria**

La fuente de mi energía y motivación son los deseos y las ilusiones que mi madre ha depositado en mí, animándome a que este en constante superación, que nunca me detenga, que siempre busque el crecimiento continuo, pese a cualquier adversidad o circunstancias no favorables, gracias mamá por siempre estar ahí.

**Tribunal de Graduación**

## **Resumen**

La Escuela Superior Politécnica de Litoral a través de la Empresa Pública TRANSESPOL provee del servicio de transporte entre diferentes puntos de la ciudad de Guayaquil y el Campus Gustavo Galindo ubicado en el sector La Prosperina. Durante esta actividad los autobuses pertenecientes al parque vehicular de Transespol queman diesel produciendo emisiones a través del tubo de escape y evaporativas, el presente trabajo estima las emisiones de carbono negro través del tubo de escape durante el periodo correspondiente al año 2015 y el posible impacto en cambio climático por estas emisiones.

Para estimar el carbono negro emitido se ha considerado las condiciones del parque vehicular tales como; la edad del vehículo, el cumplimiento de normativas de emisión, tecnología de motor del vehículo que para este caso es combustión interna, el tipo de superficie de rodamiento, las condiciones meteorológicas de la ciudad de Guayaquil, la distancia recorrida y las características de combustible (diesel premium) comercializado en Ecuador.

Se utilizó el modelo de emisiones vehiculares Moves de la US EPA, un método indirecto para estimar emisiones, lográndose estimar que el carbono negro emitido por TRANSEPOL. A pesar de que MOVES es un modelo que estima emisiones para vehículos que cumplen con normativas americanas de emisión, se implementó un mecanismo para compatibilizarlo con vehículos que cumplen con normativas europeas para los umbrales de material particulado. Para estimar el impacto sobre el cambio climático se utilizó el potencial de calentamiento global GWP con un horizonte de tiempo de 100 años.

## **Abstract**

The Escuela Superior Politécnica del Litoral through the Public Company TRANSESPOL provides the service of transport between different points of the city of Guayaquil and the Campus Gustavo Galindo located in the sector Prosperina. During this activity, buses belonging to the Transespol vehicle fleet burn diesel producing emissions through the exhaust pipe and evaporative, the present work estimates the carbon black emissions through the exhaust pipe during the year 2015 and their possible impact on climate change .

In order to estimate the emitted black carbon, we have considered the conditions of the vehicle park such as the age, the compliance with emission regulations, conditions of the type of road that in this case is urban, engine technology that in this case is internal combustion, meteorological conditions of the city of Guayaquil, distance traveled in 2015 and the characteristics of fuel (diesel premium) commercialized in Ecuador.

We used the US EPA Moves vehicle emissions model, an indirect method for estimating emissions, which is estimated to be the black carbon emitted by TRANSEPOL. Although MOVES is a model that estimates emissions for vehicles that comply with American emission regulations, a mechanism was implemented to make it compatible with vehicles that comply with European regulations for particulate material thresholds. To estimate the impact on climate change, I use the GWP global warming potential with a time horizon of 100 years.

## **Nomenclatura**

**CN:** Carbono Negro

**Flota TEP:** Flota autobuses de Transespol EP

**US EPA:** Agencia de Protección ambiental de los Estados Unidos

**GEI:** Gases de efecto invernadero

**MOVES:** Motor Vehicle Emission Simulator

**PM:** Material Particulado (Particulate Matter)

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVO GENERAL .....	3
2.1. Objetivos específicos.....	3
3. MARCO TEÓRICO.....	3
3.1. Antecedentes .....	3
3.2. Carbono Negro .....	6
3.3. Procesos de emisión de vehículos que circulan por carretera .....	9
3.3.1. Emisiones evaporativas.....	10
3.3.2. Emisiones por tubo de escape.....	11
3.4. Inventarios de emisiones con el Modelo MOVES .....	11
3.4.1. Modelo MOVES y el material particulado .....	13
3.5. Normativas de Emisión .....	17
3.6. Composición de diésel y su relación con las emisiones.....	19
3.7. Unidad Potencial De Calentamiento Global.....	20
4. METODOLOGÍA .....	23
4.1. Determinación de las variables de entrada del modelo MOVES .....	24
4.1.1. Determinación de la superficie de rodamiento que utiliza la flota TEP .....	30

4.1.2. Determinación del parque automotor de la flota TEP y normativa de emisión .....	30
4.1.3. Establecimiento de la actividad de la flota TEP en el ESCENARIO año 2015 .....	31
4.1.4. Determinación de los atributos del combustible utilizado por TEP .....	33
4.1.5. Determinación de la Velocidad de Operación de la flota TEP .....	34
4.1.6. Determinación de las condiciones Meteorológicas en la que opera la flota TEP .....	34
4.2. Calibración del Modelo MOVES .....	34
4.2.1. Calibración de Condiciones Meteorológicas .....	35
4.2.2. Calibración de la velocidad de la flota TEP en las emisiones de CN .....	36
4.2.3. Calibración de la composición del combustible en la emisión de CN .....	36
4.3. Estimación del CN emitido por la flota TEP utilizando el modelo MOVES .....	37
4.4. Estimación del efecto del CN emitido por la flota TEP sobre el cambio climático cambio climático .....	37
5. RESULTADOS .....	38
6. Conclusiones .....	53
7. Recomendaciones .....	54
8. Bibliografía .....	56
1. Anexo 1. POBLACION DE LA ESPOL .....	64
2. ANEXO 2 DECODIFICACIÓN MOVES .....	66
3. Anexo 3. Ejecución de modelo moves .....	69
4. ANEXO 4 RUTAS TRANSESPOL EP .....	71



5. ANEXO 5 CALENDARIO ACADÉMICO DE LA ESPOL AÑO 2015 .....	75
6. ANEXO 6 CALIBRACIÓN DE MODELO MOVES .....	79
7. ANEXO 7 UN CONTROL DE CALIDAD AL AIRE DE GUAYAQUIL .....	81

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Normativas de emisión para motores de autobuses de la Unión Europea .....	18
Tabla 2. Normativas de emisión para motores de autobuses de la US EPA.....	18
Tabla 3. Normativas de Emisiones que requieren DPF .....	19
Tabla 4. Potencial de Calentamiento Global (GWP) (IPCC W., 2013).....	22
Tabla 5. Variables de entrada del modelo MOVES.....	25
Tabla 6. Condiciones Meteorológicas.....	35
Tabla 7. Banda de Velocidad del modelo MOVES .....	36
Tabla 8. Flota TEP. Descripción de la flota vehicular TEP .....	39
Tabla 9. Escenario 2005.....	41
Tabla 10. Escenario 2003 .....	41
Tabla 11. Escenario 1999 .....	42
Tabla 12. Rutas Flota TEP .....	44
Tabla 13. Actividad de la flota TEP en año 2015 .....	45
Tabla 14. Distancia Anual por Escenarios .....	46
Tabla 15. Fracción de Distancia de Recorrida Anual por escenario .....	46
Tabla 16. Atributos del combustible .....	47
Tabla 17. CN emitido por la Flota TEP .....	52

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. El Carbono Negro y el Clima, comparado con los gases de efecto invernadero. (Fuente: US EPA, 2012) .....	8
Figura 2. Procesos de emisión de los vehículos. (Fuente: SEMART, 2007).....	9
Figura 3. Factor de Emisión PM 2.5 con respecto a la velocidad para buses urbanos (Fuente: Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2014).....	14
Figura 4. Relación entre la emisión y la temperatura de motores a Diésel. (Fuente: MOVES Workshop, 2011).....	16
Figura 5. Relación de cambio de emisiones con respecto al cambio de humedad relativa, con diferentes valores de temperatura 70,80,85,90,95,100 grados Fahrenheit.n(Fuente: MOVES Workshop, 2011) .....	16
Figura 6. Potencial de Calentamiento Global. (Fuente: Instituto Real de Tecnología-Kungliga Tekniska Högskolan-Estocolmo Suecia, 2014) .....	22
Figura 7. Ruta Albán Borja .....	39
Figura 8. Ruta Sauces 2, Distancia 13.4 Km. (Fuente: Transespol E.P).....	43
Figura 9. Influencia de la Temperatura (Humedad relativa 58%). (Fuente: Elaboración propia) .....	48
Figura 10. Influencia de la Humedad Relativa (Temperatura 100 °F). (%). (Fuente: Elaboración propia).....	48
Figura 11. Influencia de la Velocidad de operación del autobús en la emisión de CN. (%). (Fuente: Elaboración propia, curva Factor de emisión en base Yao (2014)).....	49
Figura 12. Influencia del Carbono Nivel de Azufre en la emisión de CN. (%). (Fuente: Elaboración propia).....	50
Figura 13. Influencia de BioDiesel % en las emisiones de CN. (%). (Fuente: Elaboración propia) .....	51

## 1. INTRODUCCIÓN

La empresa pública Transespol EP (Flota de Transporte Oficial de la ESPOL – flota TEP), es la encargada de realizar el transporte de estudiantes y empleados de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), ubicada en Guayaquil. Durante el proceso de combustión de los motores de los autobuses quemamos Diésel emitiendo a través de sus tubos de escape, gases de combustión, entre ellos algunos Gases de Efecto Invernadero (GEI), tales como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y material particulado de pequeño tamaño del que el carbono negro (CN) forma parte, los cuales aportan al calentamiento global. Además estos vehículos emiten monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y óxidos de nitrato ( $\text{NO}_x$ ), entre otros.

El carbono negro (CN) es considerado un agente con contribución importante al cambio climático, el cual se diferencia de los otros GEI por producir impactos locales por tener un tiempo de vida corta (~ 6.1 días) frente al tiempo de vida del  $\text{CO}_2$  (~ 100 años). Otra de las características del CN es que posee un potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) equivalente a 460 veces mayor que el de  $\text{CO}_2$  para un horizonte de tiempo de 100 años. Este alto poder de calentamiento del CN ha despertado el interés científico, ya que una reducción de emisiones del mismo permitiría un decrecimiento acelerado en la curva del calentamiento global actual (PNUMA, 2013). El GWP estandariza el efecto radiativo de distintas sustancias con diferentes tiempos de vida.

El aumento de las concentraciones de los GEI producido por actividades antropogénicas, tales como el transporte, los procesos industriales, generación de energía, agricultura, ha producido un aumento de la temperatura global en comparación con la era preindustrial, ocasionando cambios en los patrones climáticos. Por otro lado, investigadores advierten sobre la importancia del CN que produce un forzamiento radiativo equivalente  $1.1 \text{ W/m}^2$  (Bond T. , 2013), y a la vez, es el segundo agente de forzamiento radiativo por debajo del  $\text{CO}_2$  con un forzamiento radiativo de  $1.68 \text{ W/m}^2$  (IPCC, 2013): de ahí la importancia del inventariar el CN emitido en la atmósfera por la flota TEP.

Las emisiones en el sector de transporte están influenciadas por el total de recorrido que realiza el parque vehicular, el tipo de superficie de rodamiento que utiliza, la edad del parque vehicular, la tecnología del motor, la calidad del combustible, regulaciones que imponen límites máximos de emisiones, condiciones meteorológicas, mantenimiento al que son sometidos los vehículos y la velocidad de operación (Porter, et al., 2015). Estas variables deben ser analizadas al inventariar las emisiones del CN desde fuentes móviles.

Los inventarios de emisiones constituyen una herramienta de suma utilidad pues facilitan a los investigadores y/o tomadores de decisión; planificar, implementar y hacer seguimiento de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, asertivas de acuerdo a cada situación particular.

Una vez obtenido el inventario de CN y luego de determinar su equivalencia en toneladas de  $\text{CO}_2$ , se podrá conocer el nivel de afectación de este agente contaminante al cambio climático para un horizonte de 100 años definidos por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) para el potencial de calentamiento global GWP. El GWP no toma en cuenta diferentes mecanismos físicos por el cual el CN afecta el clima, ni tiene en cuenta la fuerte

heterogeneidad regional del CN en los efectos climáticos, (Sims, Gorsevski, & Anenberg, 2015), lo cual le da un alto valor de incertidumbre al resultado obtenido.

## **2. OBJETIVO GENERAL**

Estimar el Carbono Negro emitido por TransESPOL E.P en el año 2015.

### **2.1. Objetivos específicos**

1. Realizar un inventario grueso del carbono negro emitido por TRANSESPOL E.P en el año 2015.
2. Establecer el impacto de las emisiones de carbono negro emitido por TRANSESPOL E.P sobre el Cambio Climático.

## **3. MARCO TEÓRICO**

### **3.1. Antecedentes**

En el Primer Informe Bienal de Actualización del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) del Ministerio de Ambiente del Ecuador se manifiesta:

*“Durante la Conferencia de las Partes (COP) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), celebrada en Nueva Delhi en 2002 (COP8), se decidió que los países en desarrollo, agrupados en las Partes No incluidas en el Anexo I (PNAI), deberían utilizar directrices generadas en dicha conferencia para la preparación de documentos de reporte sobre las acciones emprendidas para lograr los compromisos de la Convención, también conocidos*

*como Comunicaciones Nacionales, tomando en cuenta prioridades, objetivos, y circunstancias nacionales en materia de desarrollo. Estas directrices establecen que las Comunicaciones Nacionales presenten información coherente, transparente y flexible considerando las circunstancias nacionales específicas. Su propósito también fue el de orientar a la entidad encargada del funcionamiento del mecanismo financiero para la prestación oportuna del apoyo financiero que necesiten las Partes que son países en desarrollo, para cubrir el costo total convenido, que entrañe el cumplimiento de lo acordado en la Convención. El Ecuador ha presentado su tercera Comunicaciones Nacionales el Reporte del Inventario Nacional de emisiones antropogénicas y absorciones por los sumideros de todos los Gases de Efecto Invernadero (GEI) no controlados por el Protocolo de Montreal al año 2010” (Ministerio de Ambiente del Ecuador, 2016, pág. 19).*

En la Tercera Comunicaciones Nacional del Ecuador sobre el cambio climático, para la estimación de las emisiones y absorciones de cada uno de los GEI y para reportar los valores de GEI en forma agregada (expresados como CO<sub>2</sub>-eq), se utilizaron los Potenciales de Calentamiento Global (GWP) proporcionados por el IPCC en su segundo informe de evaluación (SAR, por sus siglas en inglés) basados en los efectos de los GEI en un horizonte temporal de 100 años (Ministerio de Ambiente del Ecuador, 2016).

De acuerdo a lo manifestado por la Comisión de Cooperación Ambiental de Norte América:

*“En los últimos años Canadá, Estados Unidos y México han venido elaborando inventarios de CN. Luego de evaluar estos inventarios, la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA por sus siglas en inglés) determinó que hacía falta un método sistemático para calcular las emisiones de CN, toda vez que las discrepancias entre un país y otro obstaculizan las comparaciones y evaluaciones de opciones de mitigación a escala transfronteriza. Con vistas a atender esta situación,*

*la CCA emprendió en 2013 un proyecto encaminado a definir directrices para la estimación de emisiones de CN, para aumentar la precisión de los cálculos de las emisiones de CN de América del Norte, generar inventarios confiables y compatibles a partir de los cuales puedan establecerse valores de referencia y determinarse prioridades para su reducción por categoría de fuente o lugar” (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2015, pág. 8).*

El Eastern Research Group (ERG, por sus siglas en inglés), analizó dos de los principales inventarios de emisiones de CN a escala mundial, que ocupan un lugar destacado dentro de la literatura en la materia. El inventario mundial de emisiones de CN, llevado a cabo por el grupo de Bond et al. (2004), en el cual consideran diversas fuentes de combustión: residenciales, comerciales e industriales, así como, hornos ladrilleros, estufas para cocinar y vehículos motorizados, quema de biomasa a cielo abierto y quema de desechos urbanos. En ese estudio se consideran aspectos relacionados con las prácticas de combustión, lo que incluye la combinación de combustibles (fósiles y biocombustibles), los tipos de combustión y los dispositivos de control de emisiones. El otro inventario analizado corresponde a un modelo de interacciones y sinergias entre gases de efecto invernadero y la contaminación atmosférica, el cual estima las emisiones históricas de diez contaminantes atmosféricos y seis gases de efecto invernadero para cada uno de los 48 países europeos, China e India en Asia y los países del Anexo I de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

En noviembre del 2015 Eastern Research Group publicó las “Directrices para la estimación de las emisiones de carbono negro de América del Norte”. En el desarrollo de estas directivas se evaluaron datos y métodos disponibles en América del Norte, Europa y Asia. Estas directrices recomiendan utilizar la última versión disponible del simulador de emisiones de motores de vehículos llamado MOVES

desarrollado por la USEPA (Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés), debido a que en dicho simulador los factores de emisión son actualizados de manera permanente por la USEPA asegurando la uniformidad en el cálculo de las emisiones para América del Norte (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2015).

Entre los antecedentes de uso del modelo MOVES se tiene que el mismo ha sido ampliamente utilizado en inventarios de emisiones en México por el Instituto Nacional de Ecología y en España por la Organización Factor CO<sub>2</sub> (Solaun, Sopelana, Arraibi, & Pérez, 2014).

### **3.2. Carbono Negro**

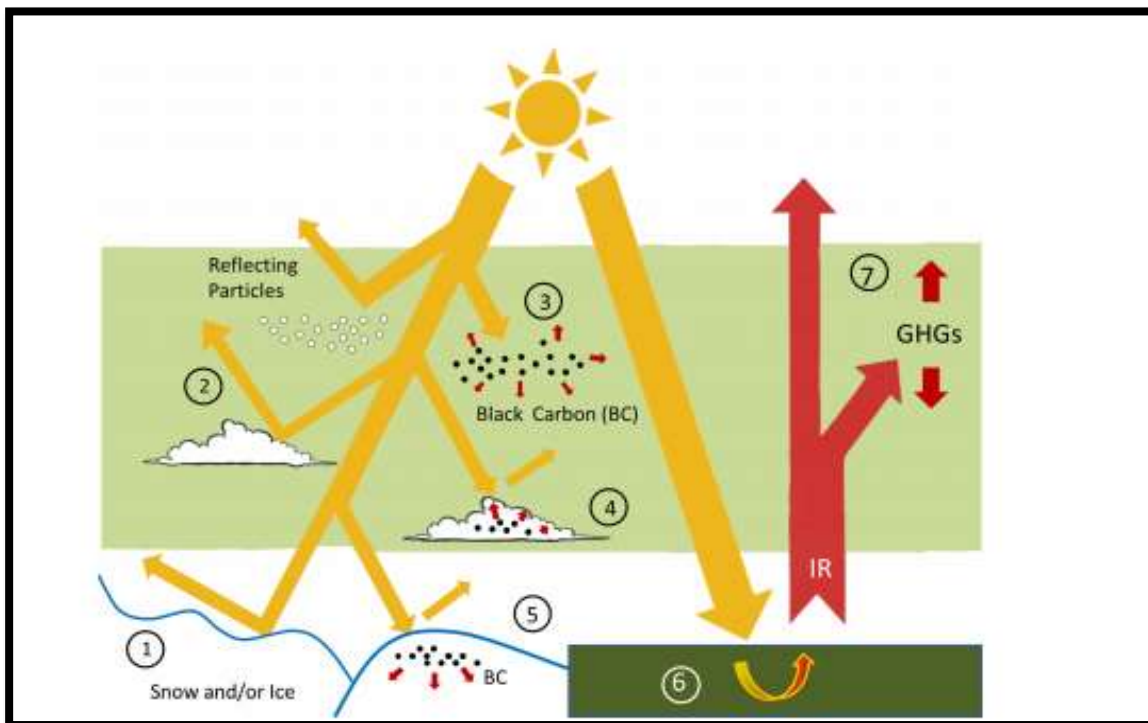
El Carbono Negro (CN) es material particulado con tamaño inferior a una micra, el cual forma parte del contaminante de criterio denominado PM<sub>2.5</sub>, por ser parte del material particulado menor a 2,5 micrómetros. El CN es emitido, principalmente, como resultado de la combustión incompleta de combustibles, debido a la falta de oxígeno o por operar a bajas temperaturas. Estas dos situaciones operacionales del motor hacen que parte del carbono perteneciente al combustible se convierta en CN y no en CO<sub>2</sub> (Atlantic Consulting, 2009).

La presencia de carbono negro (CN) en la atmosfera tiene influencia importante en el clima mediante diferentes mecanismos tales como la reducción del albedo, lo cual sucede al depositarse el CN en la nieve y, la absorción tanto de la radiación entrante como saliente en todas las longitudes de onda, lo cual contribuye al calentamiento de la atmosfera y el obscurecimiento de la superficie (US EPA, 2012): los GEI en contraste sólo atrapan la radiación infrarroja saliente de la superficie de la Tierra (US EPA, 2010).



Así mismo, el CN también afecta la distribución y capacidad de reflexión de las nubes reduciendo su tiempo de vida (US EPA, 2012) . En la Figura 1 se ilustra de forma gráfica el efecto de la presencia del CN en el balance térmico de la atmosfera (US EPA, 2011). Los puntos de la Figura 1 señalados con números arábigos se describen a continuación:

1. La radiación solar penetra la superficie de la tierra y es reflejada por la superficie especialmente por la nieve y el hielo.
2. Las nubes limpias con partículas dispersas (transparentes) no absorben luz, sólo la reflejan, contribuyendo a reducir la cantidad de energía solar absorbida por la superficie.
3. El CN en suspensión en la atmósfera absorbe parte de la radiación solar entrante calentando los alrededores.
4. Las nubes con CN disminuyen su capacidad de reflexión, calentándose y disminuyendo su tiempo de vida por lo que las precipitaciones disminuyen.
5. El CN depositado en la nieve y/o hielo absorben parte de la luz del sol reflejada por la nieve y/o hielo aumentando su tasa de fusión.
6. La mayor parte de la radiación solar es absorbida por la superficie de la Tierra y la calienta, parte de la energía absorbida se convierte en radiación infrarroja y es regresada al espacio.
7. La mayor parte de esta radiación infrarroja pasa a través de la atmosfera, pero otra parte es absorbida por las moléculas de gases de efecto invernadero. Estos gases reemiten la radiación hacia la tierra calentando la atmosfera baja.



**Figura 1. El Carbono Negro y el Clima, comparado con los gases de efecto invernadero. (Fuente: US EPA, 2012)**

Se estima que el forzamiento radiativo del carbono negro es  $1.1 \text{ W/m}^2$ , siendo ésta la segunda fuente de emisión más importante de calentamiento global: se conoce que solo el  $\text{CO}_2$  tiene un efecto de calentamiento superior al del CN (Bond, 2013, pág. 5381) con un valor de  $1.62 \text{ W/m}^2$ .

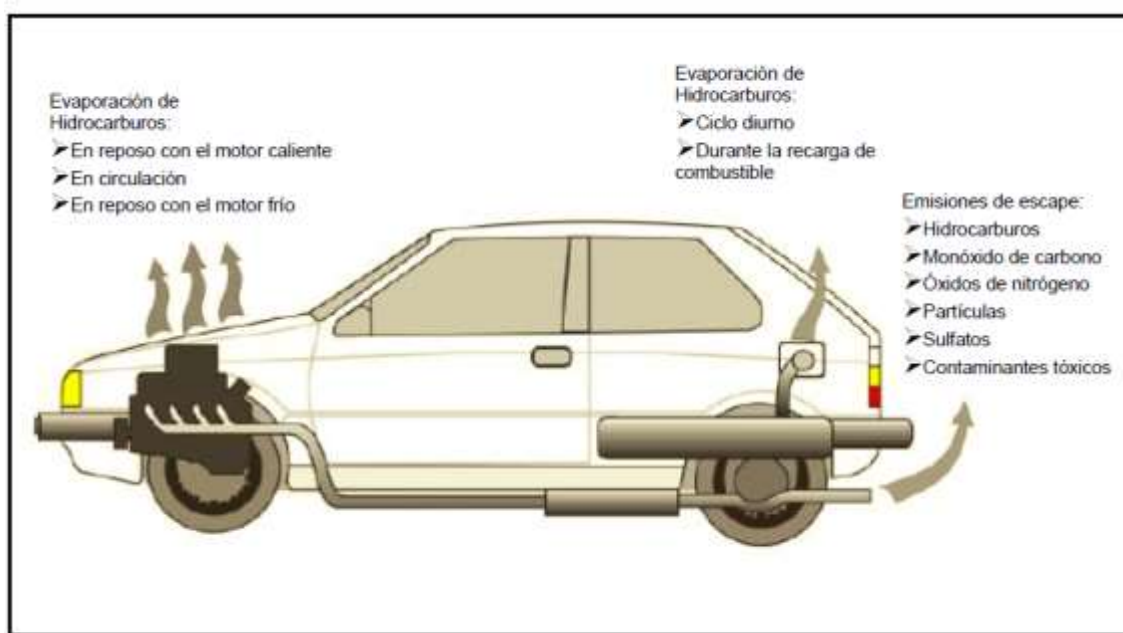
Las incertidumbres sobre el forzamiento neto del clima debido al CN son importantes debido a la falta de conocimiento en las posibles interacciones entre las nubes y el carbono negro, el carbono orgánico y co-emitidos (Bond, 2013, p. 5381).

Aunque la reducción sustancial e inmediata de los gases de efecto invernadero de larga duración (GEI) es esencial para resolver el problema del cambio climático a largo plazo (IPCC, 2013), el CN ofrece la oportunidad de una mitigación importante para abordar

los efectos climáticos a corto plazo y para disminuir la tasa de cambio climático (Atlantic Consulting, 2009). La alta capacidad de absorción de luz del CN y su papel en los procesos atmosféricos claves vinculan al CN con una serie de impactos climáticos, incluyendo el aumento de las temperaturas, el acelerado del deshielo y el correspondiente derretimiento de la nieve y, las interrupciones en los patrones de precipitación (US EPA, 2012). Por todo lo expuesto, se hace indispensable que la reducción del CN sea de vital importancia. (Sasser, 2012, p. 11).

### 3.3. Procesos de emisión de vehículos que circulan por carretera

Los vehículos automotores propulsados por motores de combustión interna producen, en general, dos tipos de emisiones de gases contaminantes: emisiones evaporativas y emisiones por el tubo de escape (SMART, 2007). Ver Figura 2.



**Figura 2. Procesos de emisión de los vehículos. (Fuente: SEMART, 2007)**

### **3.3.1. Emisiones evaporativas**

De acuerdo a la Guía Metodológica para emisiones vehiculares de ciudades Mexicanas (2007), las emisiones causadas por la evaporación de combustible pueden ocurrir cuando el vehículo está estacionado y cuando está en circulación, su magnitud depende de las características del vehículo, factores geográficos y meteorológicos, como la altura, temperatura ambiente y principalmente por la presión de vapor del combustible. La variedad de procesos por lo que se presentan emisiones evaporativas en vehículos incluyen:

- Emisiones diurnas, generadas en el sistema combustible del vehículo debido a los cambios de temperatura a través de las 24 horas del día.
- Emisiones del vehículo recién apagado con motor caliente, la cual se presentan una vez que se apaga el motor debido a la volatilización del combustible por su calor residual.
- Emisiones evaporativas en circulación, la cual se presentan cuando el motor esta en operación normal.
- Emisiones evaporativas del vehículo en reposo con motor en frio: Ocurren principalmente debido a la permeabilidad de los componentes del sistema de combustible.
- Emisiones evaporativas durante el proceso de recarga del combustible: Consisten de fugas de vapores del tanque de combustible durante el proceso de recarga; se presentan mientras el vehículos están en las estaciones de servicio.

### 3.3.2. Emisiones por tubo de escape

Las emisiones por el tubo de escape son producto de la quema del combustible, y comprenden una serie de contaminantes tales como: CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y material particulado (Chandrappa & Chandra Kulshrestha, 2016) . Las emisiones por el tubo de escape dependen de las características del vehículo, tecnología, sistema de control de emisiones, mantenimiento y edad. Los vehículos más pesados o más potentes tienden a generar mayores emisiones por kilómetro recorrido. El material particulado liberado por el tubo de escape es principalmente carbono negro y carbono orgánico. (Zereini & Wiseman , 2011)

### 3.4. Inventarios de emisiones con el Modelo MOVES

Los inventarios de emisiones son herramientas de utilidad que facilitan el evaluar la magnitud de las emisiones de contaminantes atmosféricos y la contribución de las distintas categorías de fuentes (Comisión para la Cooperación Ambiental, 2015). *“Los inventarios requieren del análisis y procesamiento de la información, de acuerdo a las necesidades del modelo que se utiliza para calcular los factores de emisión o directamente las emisiones. Si bien es cierto que la recolección, análisis y procesamiento de la información, debe ser la misma indistintamente del modelo que se trate, todos los modelos requieren la preparación de esta información en formatos diferentes, así como de información complementaria”* (INECC, 2014, p. 14).

La ecuación 1 muestra de forma general la estimación de emisiones de contaminantes de origen vehicular (Climatico, 2013):

$$E_{ij} = FE_{ij} * DA_j \quad \text{Ecuación 1.}$$

Dónde:

**E<sub>ij</sub>**: Emisiones totales de i contaminante en la categoría vehicular j. (g)

**FE<sub>ij</sub>**: El factor de emisión de i contaminante en la categoría vehicular j (g/km)

**DA<sub>j</sub>**: Dato de actividad A de la categoría vehicular j para un vehículo (km /día o año).

Los motores que queman Diésel emiten material particulado PM<sub>2.5</sub> primariamente carbonosos, con alto contenido de carbono elemental, que es la otra forma de denominar al CN, carbono orgánico, y mezclas complejas de metales e iones (THE WORLD BANK, 2014).

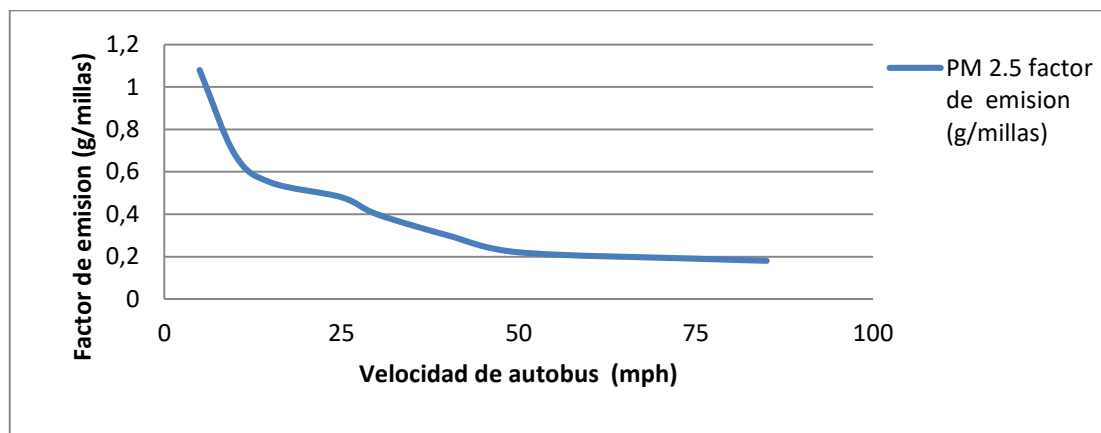
Los factores de emisión de vehículo son una función de la edad del vehículo, tecnología de motor, la velocidad de circulación, características del combustible y condiciones meteorológicas del lugar. La determinación de un factor de emisión es una tarea compleja, por lo que a lo largo de los años se han desarrollado diferentes técnicas para facilitar los factores de emisión. Estas técnicas las podemos clasificar en directas e indirectas. Las técnicas directas para determinar los factores de emisión están basadas en mediciones directamente en la fuente, es decir, se usan dispositivos de medición en los vehículos auto-transportados para establecer sus emisiones. Las técnicas indirectas para determinar el factor de emisión no se basan en mediciones en las fuentes, sino en muchas mediciones directas realizadas en otros momentos y lugares, las cuales se correlacionan con una flota específica y se ajustan usando parámetros locales que podrían afectar a las emisiones. Aunque cuando aparentemente las técnicas directas son menos precisas que las técnicas indirectas, lo que sucede es que, las técnicas indirectas al estar basadas en un mayor número de mediciones le proporcionan mayor validez estadística al resultado (Echaniz, 2009). Por lo expuesto, al utilizar el modelo MOVES estamos calculando el factor de emisión de forma indirecta.

El modelo MOVES calcula el valor total de las emisiones por el tubo de escape mientras el vehículo está en movimiento, por el tubo de escape cuando el carro está encendido y por procesos evaporativos. Para esto el modelo MOVES multiplica el factor de emisión por cada actividad y aplicando los ajustes necesarios al tipo fuente, modo de operación, edad del vehículo, tecnología de motor, características del combustible y condiciones meteorológicas (USEPA, 2014).

#### **3.4.1. Modelo MOVES y el material particulado**

El modelo MOVES requiere como datos de entrada los siguientes parámetros: velocidad de operación, cantidad de distancia recorrida, tipo de calzada o superficie de rodamiento, cantidad de distancia recorrida por año tecnológico, distribución de la edad de los vehículos, condiciones meteorológicas locales, los atributos del combustible utilizado, y el tipo de mantenimiento siempre y cuando esté disponible el factor de ajuste para el combustible que usan los vehículos objetos del inventario. Una vez ingresados los datos se ejecutan los algoritmos internos del modelo y se obtienen los reportes de emisión de los contaminantes solicitados.

La velocidad de operación de los vehículos es una de las variables de entrada del modelo MOVES, en el caso del material particulado  $PM_{2.5}$  emitido por los vehículos tenemos que a medida que la velocidad aumenta la tasa de emisión disminuye (Yao, 2014), como se muestra la Figura 3.



**Figura 3. Factor de Emisión PM 2.5 con respecto a la velocidad para buses urbanos (Fuente: Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2014)**

Geogina Echaniz (2009) afirma que la temperatura y la humedad relativa afectan las tasas de emisión, de diferentes contaminantes de acuerdo a los siguientes mecanismos:

1. Efecto directo mediante el ajuste de la temperatura en las tasas de emisión.
2. Efecto directo vía factor de corrección de humedad para emisiones de NO<sub>x</sub>, debido al efecto del vapor de agua en las temperaturas de la cámara de combustión del motor
3. Efecto indirecto a través del ajuste del aire acondicionado por temperatura y humedad relativa que se utilizan para rellenar el índice de calor de la fracción de flota que utiliza aire acondicionado encendido pueden tener efecto sobre HC, CO y NO<sub>x</sub>.

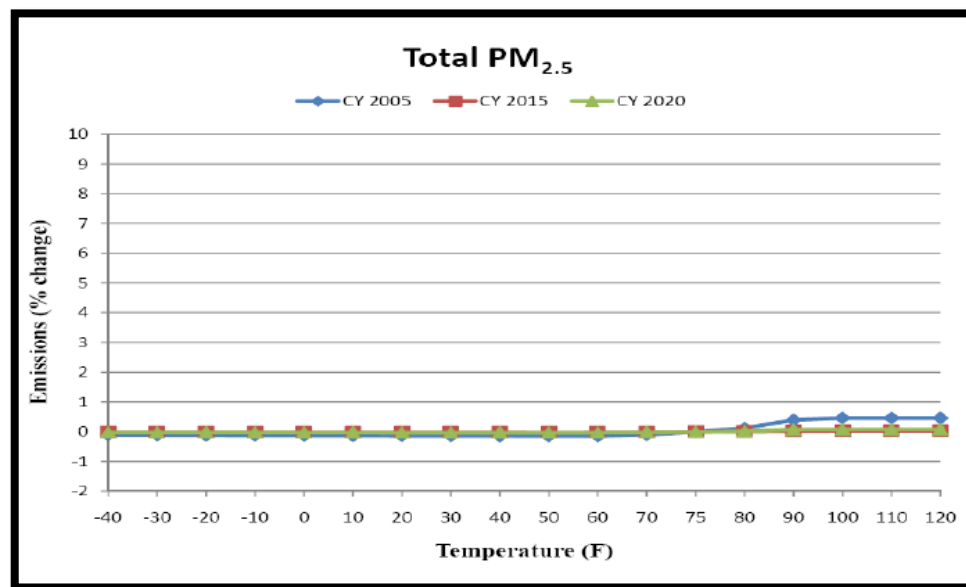
Para el caso particular del material particulado PM<sub>2.5</sub> en el Modelo MOVES la temperatura no tiene ningún efecto (Choi, 2014). En la Figura 4 se puede ver que la relación entre la temperatura y el cambio porcentual de emisión es prácticamente cero.



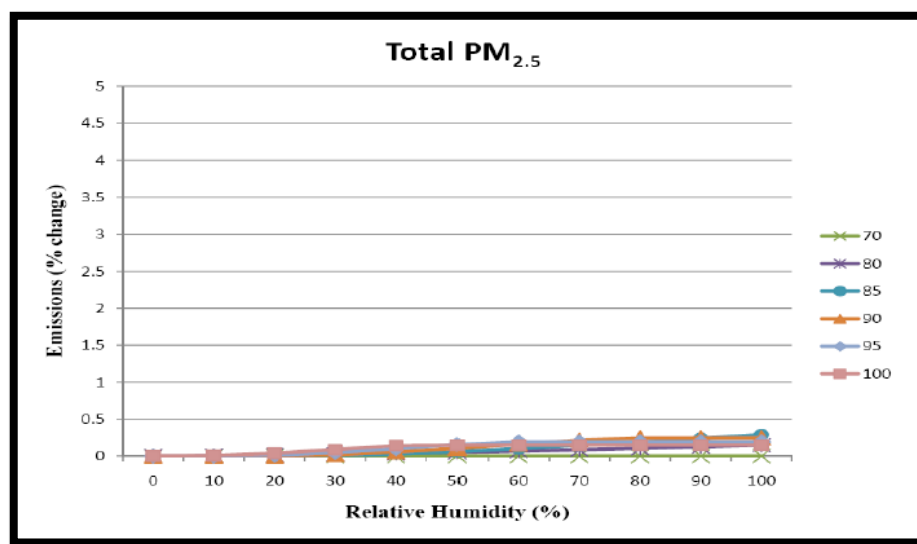
Mientras que la humedad relativa afecta levemente el porcentaje de cambio de emisiones con un valor inferior al 0.5% como se observa en la Figura 5.

Los programas de mantenimiento sirven para detectar si los vehículos requieren reparación. Desde las primeras versiones de MOVES la US EPA decidió incluir un factor de ajuste para la estimación de emisiones para los programas de inspección y mantenimiento, como resultado se obtuvo el factor de ajustes para los camiones, vehículos livianos y pesados a gasolina para los contaminantes HC, CO y NO<sub>x</sub> (OTAQ, 2014, p. 42), pero, hasta el momento el factor de ajuste para los motores a diésel no está disponible.

Por medio de MOVES International (Glover, 2012) se ha establecido una metodología para ajustar las tasas de emisión del modelo MOVES con el fin de reflejar las diferencias en los estándares de emisión entre el país objetivo y Estados Unidos. Se destaca, que se prefieren los datos de emisiones locales, pero se reconoce que la mayoría de los países carecen de la información detallada necesaria para reemplazar por completo las tasas de emisión estadounidenses contenidas en MOVES. El modelo MOVES-México ha sido implementado en México por la USAID (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, por sus siglas en inglés) a través del MLED (Programa para Desarrollo Bajo en Emisiones de México, por sus siglas en inglés) en colaboración con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC, (USAID-INECC, 2016).



**Figura 4. Relación entre la emisión y la temperatura de motores a Diésel. (Fuente: MOVES Workshop, 2011).**



**Figura 5. Relación de cambio de emisiones con respecto al cambio de humedad relativa, con diferentes valores de temperatura 70,80,85,90,95,100 grados Fahrenheit.n(Fuente: MOVES Workshop, 2011)**

### **3.5. Normativas de Emisión**

Con el objetivo de evitar problemas en la salud humana y mitigar el cambio climático, la legislaciones de la Unión Europea y la de Estados Unidos, a través de la US EPA han desarrollado normativas de emisión que definen los límites máximos de emisión de material particulado (PM), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), hidrocarburos (HC) y el monóxido de carbono (CO) emitidas desde vehículos, incluidos camiones, autobuses, camionetas y grandes pickups. Los valores máximos permitidos para autobuses que se muestran en Tabla 1 corresponden a las normas de la Unión Europea, mientras que en la Tabla 2 se muestran los correspondientes a las normas de la US EPA.

Aunque hay diferencias en los umbrales propuestos por cada agencia, la tendencia general es hacer normas progresivas para reducir las emisiones de los contaminantes claves, como NO<sub>x</sub> y material particulado. Las normas sobre CO en Estados Unidos no han mostrado cambios notables porque los vehículos utilitarios pesados a motor diésel no son una fuente de contaminación significativa en ese país. Las normas de la US EPA relativas al CO y HCT son menos estrictas que las europeas, aunque las relativas al NO<sub>x</sub> y el material particulado son comparables (Cooper, 2014).

Por otro lado, los fabricantes de vehículos con el objetivo de cumplir las normativas de emisión antes mencionadas han iniciado la instalación de filtros de partículas de diésel (DPF, por sus siglas en inglés), los cuales son instalados en los tubos de escape para atrapar el material particulado

De acuerdo al Consejo Internacional de Transporte Limpio (ICCT, por sus siglas en inglés) las normas basadas en filtros para partículas diésel se usan para obtener los beneficios de las inversiones que se han realizado en América Latina en combustibles limpios. En la Tabla 3 se muestra las normativas que requieren la instalación de DPF, tanto las publicadas por la US EPA como las de la Unión Europea. En Ecuador las normativas exigidas son US EPA94 y EURO II.

**Tabla 1. Normativas de emisión para motores de autobuses de la Unión Europea**

Normas Unión Europea					
ID Norma	Fecha	CO(g/km)	HCT(g/km)	NO <sub>x</sub> (g/km)	PM(g/km)
Euro I	1992	8,1	1,98	14,4	0,648
Euro II	1998	7,2	1,98	12,6	0,27
Euro III	2000	3,78	1,188	9	0,18
Euro IV	2005	2,7	0,828	6,3	0,036
Euro V	2008	2,7	0,828	3,6	0,036
EEV		2,7	0,45	3,6	0,036
Euro VI	2013	2,7	0,234	0,72	0,018

Fuente: Lindqvist 2012. Notas: 1) Con frecuencia las pruebas de emisiones convierten los resultados de g/kWh a g/km. Nylund et al. (2004) utilizan el factor de conversión de 1,8 km por g/kWh. 2) EEV representa una norma de emisiones voluntaria entre las normas Euro V y Euro VI (Diéselnet 2009).

**Tabla 2. Normativas de emisión para motores de autobuses de la US EPA**

Normas US EPA						
Año Norma	CO (g/km)	HCT (g/km)	HCNM (g/km)	HCNM+ NO <sub>x</sub> (g/km)	NO <sub>x</sub> (g/km)	PM (g/km)
1994	45,06	3,78			14,54	0,20
1996	45,06	3,78			11,63	0,15
1998	45,06	3,78			11,63	0,15
2004 (1)	45,06	3,78		6,98		0,03
2004 (2)	45,06	3,78	2,91	7,27		0,03
2007	45,06	3,78	0,41		3,92	0,03
2010	45,06	3,78	0,41		0,58	0,03

Fuente: Programa Cooperativo de Investigación sobre Transporte Público, 2011. Notas: La EPA convierte g/bhp•hr a g/mi usando 4,679 bhp•hr por mi. 2004 (1) y (2) representan dos opciones distintas para el cumplimiento.

**Tabla 3. Normativas de Emisiones que requieren DPF**

<b>Legislación</b>	<b>Normativa</b>	<b>Requiere Filtro DPF</b>
<b>US EPA</b>	EPA94	
	EPA98	
	EPA2004	
	EPA2007	<b>X</b>
	EPA2010	<b>X</b>
<b>UNION EUROPEA</b>	EURO I	
	EURO II	
	EURO III	
	EURO IV	
	EURO V	
	EURO VI	<b>X</b>

Fuente: ICCT, DOCUMENTO DE APOYO, 2014-5

### **3.6. Composición de diésel y su relación con las emisiones**

El contenido de azufre en el Diésel hace que las emisiones de sulfatos generen un mayor impacto sobre el ambiente por ser éste un componente importante en la composición del material particulado (PM). Por otro lado, el contenido de azufre en el combustible limita la respuesta que puede ofrecer el uso de tecnologías para la reducción de emisiones de los motores a diésel. En los casos en los que se mejora la calidad del combustible aumentando el porcentaje de BioDiesel, se podría reducir las emisiones de material particulado PM. Sin embargo, las emisiones de óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) podrían ser ligeramente más elevadas en comparación con las emitidas por diésel proveniente de hidrocarburos, debido al mayor contenido de oxígeno en el biocombustible (The World Bank , 2014)

De acuerdo a Gladstein, Neandross and Associates (GNA) y el NRDC, la máxima prioridad de América Latina es adoptar ampliamente normas relacionadas con el

combustible para reducir los niveles de azufre, a niveles ultra bajos, es decir concentraciones de azufre máximas de 15 ppm. Alcanzar niveles ultra bajos de azufre reduciría las emisiones de material particulado proveniente de todos los vehículos y permitiría el uso de tecnologías avanzadas de control de emisiones, de tal forma que se podrá eliminar más del 90 % de las emisiones de CN. Actualmente, Chile es el único país que adopta e implementa los estándares de diésel con niveles ultra bajos de azufre mientras que Colombia y Uruguay tienen estándares de 50 ppm de azufre. (Associantes, Gladstein Neandross, 2014, p. 4).

La normativa NTE INEN 1489:2012 para diésel de Ecuador indica que el diésel *premium* utilizado para el transporte tiene una concentración de 500 ppm. Desde el 2008, el uso de diésel ultra bajo en azufre (ULSD, por sus siglas en inglés), es de uso mandatorio en los Estados Unidos porque reduce las emisiones del dióxido de azufre, un componente clave en el smog, y además permite el uso de tecnologías de control de emisiones como filtros de partículas de diésel (Forum, 2017).

### **3.7. Unidad Potencial De Calentamiento Global**

Para determinar el impacto en calentamiento global del CN se tienen diferentes métricas las cuales son: potencial de calentamiento global (GWP), potencial de temperatura global (GTP), pulso de forzamiento específico (SFP) y respuesta de temperatura superficial por unidad de emisiones continuas (Bond T. , 2013), siendo el GWP la métrica más común en uso para GEI.

El GWP es una medida de la cantidad de energía absorbida por 1 kg de emisión de un gas durante un período de tiempo determinado, denominado horizonte de tiempo, en relación a la energía absorbida por 1 kg de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Houghton, 2009). Este índice revela la medida en la que un gas de efecto invernadero contribuye al calentamiento global (IPCC G., 2007). Para hacer comparables los efectos de los diferentes gases, el GWP expresa el potencial de calentamiento de un gas en

comparación con el potencial que posee el mismo volumen de CO<sub>2</sub> durante el mismo periodo de tiempo. El GWP del CO<sub>2</sub> se establece igual a 1. Las emisiones agregadas de gases de efecto invernadero se convierten a la unidad de CO<sub>2</sub>-equivalente (CO<sub>2</sub>eq) en base al potencial de calentamiento global para un horizonte temporal que puede ser de 20 o 100 años (Mach, 2013). El GWP proporciona una estimación aproximada de la relación costo-eficacia del control de diferentes medidas.

La métrica física del GWP para emisiones de CN se puede calcular a partir de la estimación media anual de forzamiento climático (**Bond T. C., 2013**). En la Tabla 4 se presentan los valores propuestos por el IPCC (2013) para el GWP del CN, estimados como media mundial para tiempos de vida de 20 y 100 años. Como se observa en la Tabla 4 el CN tiene un alto valor de GWP. Entre las posibles razones para estos elevados valores está su capacidad de absorción de la radiación, su reflexión (albedo), sus complejas interacciones con otros aerosoles y su participación en el proceso de formación de nubes.

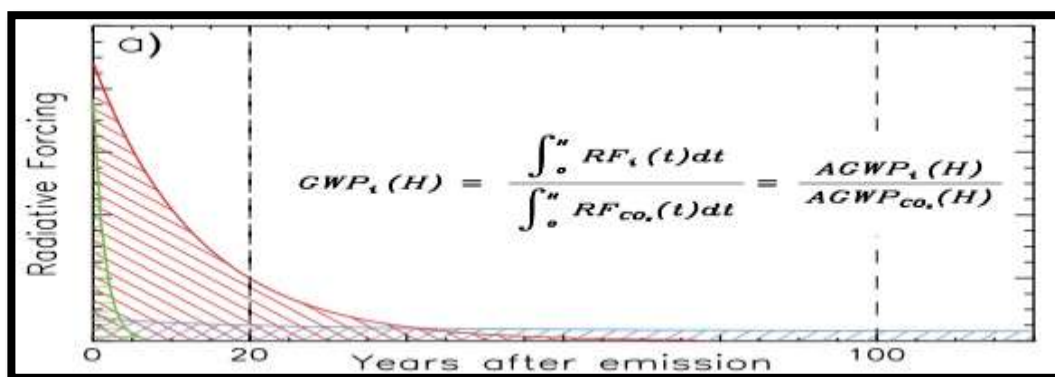
**Tabla 4. Potencial de Calentamiento Global (GWP) (IPCC W., 2013).**

GWP Carbono Negro (adimensional)	
20 años	100 años
1600	460

Fuente: IPCC

Así mismo, se destaca que el CN forma parte de los llamados contaminantes climáticos de vida corta (CCVC), por tener un tiempo de vida menor a una semana: los estudios de Bond indican un tiempo de vida de 6.1 días (Bond; 2013), mientras que los estudios de Schulz manifiestan un tiempo de vida de 6.3 días (Schulz, 2006).

En la Figura 6 se presenta la definición del potencial de calentamiento global (GWP) como la relación entre la cantidad forzamiento radiativo del gas de estudio y el forzamiento radiativo del CO<sub>2</sub>. El área azul representa el forzamiento radiativo por la emisión de 1 kg de CO<sub>2</sub>, el área verde representa el forzamiento radiativo de un GEI con un tiempo de vida menor a 1,5 años y el área roja representa un GEI con tiempos de vida de 13 años.

**Figura 6. Potencial de Calentamiento Global. (Fuente: Instituto Real de Tecnología- Kungliga Tekniska Högskolan-Estocolmo Suecia, 2014)**



#### **4. METODOLOGÍA**

La flota TEP desarrolla su actividad en la ciudad de Guayaquil ubicada en litoral ecuatoriano en las coordenadas 2°11'00"S, 79°53'00"O. De acuerdo a la organización CLIMATE-DATA, el clima de la ciudad de Guayaquil tiene una precipitación media aproximada de 791 mm anual, con meses secos entre mayo y diciembre, siendo agosto el mes más seco con 0 mm de precipitación, y el mes histórico más lluvioso es el de marzo con una precipitación promedio de 199 mm. El mes de marzo también es el más caluroso del año con un promedio de 27.1 °C. Las temperaturas medias más bajas del año se producen en julio, cuando está alrededor de 24.2 ° C. La variación en las temperaturas durante todo el año es 2.9 ° C.

Aunque la ciudad de Guayaquil tiene parroquias urbanas y rurales, los recorridos realizados por la flota TEP se desarrollan en el sector urbano. La flota TEP proporciona servicios de transporte principalmente a la población de la ESPOL por lo que es importante resaltar que de acuerdo al sitio web de la ESPOL en el año 2012, la población estudiantil registrada en 2012 era de 10.736 estudiantes, 294 profesores titulares y 347 profesores contratados, la planta administrativa estaba conformada por 305 servidores con nombramiento y 68 contratados. En tanto que la planta de trabajadores lo integran 323 personas. Para mayores detalles ver Anexo 1.

La metodología propuesta para la estimación de emisiones de la flota TEP es la siguiente:

1. Determinación de las variables de entrada al modelo MOVES
  - 1.1. Determinación del tipo de carretera que utiliza la flota TEP
  - 1.2. Determinación del parque vehicular de la flota TEP y normativa de emisión para ese tipo de vehículo.

- 1.2.1. Determinación de la normativa de la flota TEP
- 1.2.2. Elaboración de escenarios para la estimación de emisiones de CN de la flota TEP
- 1.3. Establecimiento de la actividad de la flota TEP en el año 2015
- 1.4. Determinación de los atributos del combustible utilizado por TEP
- 1.5. Determinación de la velocidad de operación de la flota TEP
- 1.6. Determinación de condiciones meteorológicas en la que opera la flota TEP
2. Calibración del Modelo MOVES
3. Estimación del CN emitido por la flota TEP utilizando el modelo MOVES
4. Estimación del efecto del CN emitido por la flota TEP sobre el cambio climático cambio climático.

#### **4.1. Determinación de las variables de entrada del modelo MOVES**

Las variables de entrada del modelo MOVES se resumen en la Tabla 5, en ella se observa que el modelo MOVES permite configurar el tipo de vehículos y su edad, el tipo de combustible y sus características, velocidad de operación, la distancia total recorrida y su proporcional por mes, factores meteorológicos que podrían afectar y el contaminante a estimar. Para mayores detalles ver el Anexo 2.

**Tabla 5. Variables de entrada del modelo MOVES**

<b>Parámetro</b>	<b>Código</b>	<b>Unidades</b>	<b>Definición</b>
Flota vehicular	sourceTypeID	Adimensional	11 Motocicleta 21 Carro de pasajeros 31 Camión de pasajeros 32 Camión comercial liviano 42 Autobús 43 Bus Escolar 51 Camión recolector de basura Entre otras categorías
Fracción de edad de flota vehicular	ageFraction	Adimensional	Equivale a la fracción de la flota vehicular de acuerdo a la ecuación 4
Normativa		No aplica	Sin normativa EPA94 EPA98 EPA2004 EPA2007 EPA2010 Se configura automáticamente de acuerdo a la edad del vehículo

Continuación Tabla 5

<b>Parámetro</b>	<b>Código</b>	<b>Unidades</b>	<b>Definición</b>
Tipo de carretera	roadTypeID	Adimensional	1 Off-Network 2 Rural Restricted Access 3 Rural Unrestricted Access 4 Urban Restricted Access 5 Urban Unrestricted Access
Días de trabajo	dayID	No aplica	1 Fin de semana 2 Días laborables
Contaminante	pollutanid	g Kg libras Toneladas	1 Total de hidrocarburos 3 Óxidos de Nitrógeno 6 Metano 90 CO <sub>2</sub> Atmosférico 92 CO <sub>2</sub> Equivalente 110 Total de material particulado por escape 112 Carbono Elemental MOVES estima 39 contaminantes

Continuación Tabla 5

<b>Parámetro</b>	<b>Código</b>	<b>Unidades</b>	<b>Definición</b>
Velocidad de Operación	avgSpeedBinID	No aplica	1 velocidad < 2.5mph 2 2.5mph <= velocidad < 7.5mph 3 7.5mph <= velocidad < 12.5mph 4 12.5mph <= velocidad < 17.5mph 5 17.5mph <= velocidad < 22.5mph 6 22.5mph <= velocidad < 27.5mph 7 27.5mph <= velocidad < 32.5mph 8 32.5mph <= velocidad < 37.5mph 9 37.5mph <= velocidad < 42.5mph 10 42.5mph <= velocidad < 47.5mph 11 47.5mph <= velocidad < 52.5mph 12 52.5mph <= velocidad < 57.5mph 13 57.5mph <= velocidad < 62.5mph 14 62.5mph <= velocidad < 67.5mph 15 67.5mph <= velocidad < 72.5mph 16 72.5mph <= velocidad
Cantidad de Millas recorridas	HPMSBaseYearVMT	Millas	Cantidad de millas recorridas por la flota TEP en el año 2015
Temperatura	temperature	°F	Temperatura ambiental

Continuación Tabla 5

<b>Parámetro</b>	<b>Código</b>	<b>Unidades</b>	<b>Definición</b>
Humedad Relativa	relHumidity	%	La humedad relativa es el porcentaje de saturación de un volumen específico de aire a una temperatura específica
Año de fabricación del Vehículo	modelYearID	No Aplica	Se ingresa el año de fabricación del vehículo
Tipo de combustible	fuelTypeID	No aplica	1 Gasolina 2 Diésel 3 Gas Natural Comprimido 4 Gas licuado de petróleo 5 Ethanol al 85% 9 Electricidad
Presión de Vapor Reid	RVP	psi	La prueba PVR, proporciona una medida la presión de vapor de un líquido derivado del petróleo, a una temperatura de 100°F
Nivel de Azufre	sulfurLevel	ppm	Concentración de azufre en el combustible
Porcentaje de BioDiesel	BioDiéselEsterVolume	%	Porcentaje de BioDiesel

Continuación de Tabla 5

<b>Parámetro</b>	<b>Código</b>	<b>Unidades</b>	<b>Definición</b>
Índice de Cetano	CetaneIndex	psi	El número o índice de Cetano guarda relación con el tiempo que transcurre entre la inyección del carburante y el comienzo de su combustión, denominado “Intervalo de encendido”. Una combustión de calidad ocurre cuando se produce una ignición rápida seguida de un quemado total y uniforme del carburante.
Temperatura de destilación al 90%	T90	°F	Es la temperatura en la que 90 % del combustible sea evaporado
Tecnología de Motor	engTechID	No aplica	Tecnología del motor 1 (EngTechId 1) para todos los tipos de combustibles, excepto para los motores eléctrico en los que se utiliza como identificador de tecnología 30

Fuente: US EPA, 2014

#### **4.1.1. Determinación de la superficie de rodamiento que utiliza la flota TEP**

Para determinar el tipo de superficie de rodamiento (urbana o rural) se procede a realizar una revisión en sitio realizando en recorrido de todas las rutas de la flota TEP desde las diferentes estaciones hasta el campus Prosperina de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

#### **4.1.2. Determinación del parque automotor de la flota TEP y normativa de emisión**

##### ***4.1.2.1. Determinación de la normativa de la flota TEP***

Los funcionarios de la ESPOL facilitaron el año de compra, fabricante y modelo de cada autobús de la flota TEP, con estos datos se procede a revisar el sitio web de los fabricantes las características de cada uno de los autobuses de la flota TEP y se identifica la normativa de emisión que rige a cada vehículo.

Se destaca que el parque vehicular de la flota TEP, cumple normativas de emisiones de la Unión Europea, las cuales no están soportadas en el modelo MOVES por usar las normativas de emisiones vehiculares de la US EPA. Por lo expuesto, se hace necesario realizar un mecanismo de aproximación de las normas de emisión vehicular de la Unión Europea con las normativas de la US EPA basado en los umbrales máximos permitidos para el material particulado.

Conociendo que el CN forma parte del material particulado emitido por el tubo de escape, y de acuerdo al objetivo del presente trabajo de realizar un inventario de CN emitido por la flota TEP, se procede a compatibilizar la normativa sobre emisiones de material particulado de los buses Euro II y Euro III mostrados en la Tabla 1 (umbrales máximos de emisión de 0.27 g/km y 0.18 g/km, respectivamente) con la normativa EPA94, la cual muestra un umbral máximo de emisión de 0.20 g/km (ver Tabla 2).



#### **4.1.2.2. Escenarios para la estimación de emisiones de CN de la flota TEP**

Dado que no es posible cambiar los años de entrada correspondiente a los estándares tecnológicos en MOVES (INECC, 2014), se implementara tres escenarios, en los cuales se considera la edad del Bus y el cumplimiento de la normativa de emisiones EPA94, estos escenarios corresponden a los años 2005,2003 y 1999.

#### **4.1.3. Establecimiento de la actividad de la flota TEP en el ESCENARIO año 2015**

Las diferentes rutas que cubre la flota TEP están publicadas en su sitio web y muestran la trayectoria de cada una a través de Google Maps, Esta herramienta gráfica además de mostrar cada ruta, permite obtener la distancia recorrida de la misma. Esta distancia se duplica para estimar el recorrido de ida y retorno. Una vez obtenida la distancia, es necesario determinar la frecuencia diaria de cada ruta para obtener el total de la distancia mensual recorrida. La distancia anual total, se estima sumando todas las distancias mensuales a la cual denominaremos DAT.

Se destaca que se excluyen todos los transportes no rutinarios y solo se consideran los días laborables y que todos los buses de la flota recorren distancias iguales. Los días laborables correspondientes al 2015 se obtienen del calendario académico de la ESPOL, los mismos que se proceden a clasificar en días-de-clases y días-de-no-clases. En base a entrevistas realizadas a los funcionarios de TEP se determina la frecuencia de viajes durante los días-de-clases y días-de-no-clases. Tal es así que la frecuencia de los días-de-no-clases es equivalente al 10 % de la frecuencia los días-de-clases, por lo que la distancia mensual recorrida será calculada utilizando la ecuación 2.

$$D_{rm} = D_c * T_d + 0.1 D_{nc} * T_d$$

Ecuación. 2

Dónde:

$D_{rm}$ : Distancia total recorrida mensual (km)

$D_c$ : Día de clases (día)

$D_{nc}$ : Día de no clase (día)

$T_d$ : Total diario (km)

Una vez obtenida la distancia recorrida en kilómetros esta distancia se convierte a millas, por ser las unidades del modelo MOVES. En el modelo MOVES se ingresa la distancia anual recorrida y la fracción de la distancia mensual correspondiente a cada mes. Esta fracción se calcula mediante la ecuación 3.

$$F_m = D_{rm}/DAT \quad \text{Ecuación. 3}$$

Dónde:

F<sub>m</sub>: Fracción de distancia de recorrido mensual, la misma que es sin unidades

D<sub>rm</sub>: Distancia recorrida mensual (Millas)

DAT: Distancia total recorrida anual (Millas)

Dado que para la estimación de CN de flota TEP se requieren de los tres escenarios la distancia anual para cada escenario se estima en base a la cantidad de buses del escenario, por lo que esta distancia se obtiene de acuerdo a la ecuación 4.

$$DAE = (DAT/T_b) * C_{bm} \quad \text{Ecuación. 4}$$

Dónde:

DAE: Distancia anual del escenario

DAT: Distancia total recorrida anual (Millas)

T<sub>b</sub>: Total de buses de la flota TEP (18)

C<sub>be</sub>: Cantidad de buses del escenario

El modelo MOVES requiere que se ingrese la fracción de distancia recorrida de los buses por año tecnológico. Para obtenerla se divide la cantidad de buses del año de tecnología para el total de buses del escenario, de acuerdo a la ecuación 5.

$$\text{Frb} = \text{Cb}/\text{Tb}$$

Ecuación. 5

Dónde:

Frb: Fracción de recorrido de buses por año de compra

Cb: Cantidad de buses del año de compra del escenario

Tb: Total de buses del escenario

#### **4.1.4. Determinación de los atributos del combustible utilizado por TEP**

El combustible utilizado por el sector del transporte en el Ecuador es el diésel *premium*.

Los combustibles se caracterizan mediante las siguientes propiedades:

- RVP presión de vapor Reid, por sus siglas en ingles
- Nivel de azufre en ppm
- Porcentaje de BioDiesel
- Índice de Cetano
- Temperatura de destilación al 90%

Para obtener estos atributos de diésel Premium se procede a realizar una revisión documental. En los Ensayos publicados por parte de la Agencia de Regulación de y Control Hidrocarburos del Ecuador (Hidrocarburos, 2016), obtenemos la presión de vapor Reid para los derivados del petróleo y se convierte de kilopascal (Kpa) a libra fuerza por pulgada cuadrada (psi) por ser la unidad soportada en el modelo MOVES. En el Boletín 086 (PetroEcuador, 2013), obtenemos el nivel de azufre del diésel *premium*. En la Normativa ecuatoriana INEN 1489:99 obtenemos el porcentaje de BioDiesel, el índice de Cetano y la temperatura de destilación al 90%.

#### **4.1.5. Determinación de la Velocidad de Operación de la flota TEP**

La velocidad regular de operación de la flota TEP se estima mediante entrevista a los choferes de la flota TEP que conducen las diferentes rutas en el transcurso del día. Se verifica que este valor se ajuste a los límites de velocidad especificadas en las normativas de tránsito ecuatoriana.

#### **4.1.6. Determinación de las condiciones Meteorológicas en la que opera la flota TEP**

El modelo MOVES requiere como datos de entrada la temperatura y humedad relativa del lugar donde se transportan los vehículos, los cuales fueron suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Los datos suministrados por el INAMH son temperatura y humedad relativa promedia diaria para la ciudad de Guayaquil durante el 2015. De acuerdo a lo explicado en la sección de Marco Teórico la influencia de las condiciones meteorológicas en la estimación de CN son despreciables, por lo que se calcula el valor medio anual de la temperatura y la humedad relativa media anual del año 2015. La temperatura media es convertida a °F por ser la unidad requerida por el modelo MOVES.

### **4.2. Calibración del Modelo MOVES**

En paso metodológico 4.1 se implementaron tres escenarios, de los cuales se selecciona uno para realizar la calibración de las siguientes variables para establecer su influencia sobre el carbono negro (CN) emitido: influencia de las condiciones meteorológicas, velocidad de operación de la flota TEP y composición del combustible. La calibración

del mantenimiento vehicular no se realiza debido a que no existe en el modelo MOVES un factor de ajuste por mantenimiento para los motores a diésel.

#### 4.2.1. Calibración de Condiciones Meteorológicas

Conservando los datos del Escenario seleccionado y manteniendo fijas el resto de las variables de entrada se calibra la influencia de estas variables meteorológicas (temperatura y humedad relativa) sobre el CN emitido. Cada una de estas variables meteorológicas se calibra por separado.

La temperatura se calibra manteniendo la humedad relativa fija en un valor de 58%, mientras que la influencia de la humedad relativa se calibra manteniendo la temperatura fija en un valor de 100 °F. En la Tabla 6 se muestran las condiciones meteorológicas usadas para la calibración. Los valores fijos y variables de temperatura y humedad relativa han sido escogidos de forma aleatoria.

**Tabla 6. Condiciones Meteorológicas**

<b>Condición Meteorológica Fija</b>	<b>Condición Meteorológica Variable</b>
<b>Humedad = 58%</b>	<b>Temperatura (°F)</b>
	32
	64
	77
	100
<b>Temperatura =100 °F</b>	<b>Humedad (%)</b>
	25
	58
	100

**Fuente: Elaboración Propia**

#### 4.2.2. Calibración de la velocidad de la flota TEP en las emisiones de CN

Nuevamente, para el Escenario 1999 se varía la banda de velocidad del modelo MOVES y se mantienen fijas el resto de las variables. Se procede a estimar el CN emitido para cada banda de velocidad. En la Tabla 7 se muestran los valores de velocidad máxima, mínima y media para las bandas del modelo MOVES.

**Tabla 7. Banda de Velocidad del modelo MOVES**

Banda modelo MOVES	Velocidad Máx (km/h)	Velocidad Mín (km/h)	Velocidad Media (km/h)
1	0.00	4.05	2.03
2	4.05	12.07	8.06
3	12.07	20.12	16.10
4	20.12	28.17	24.15
5	28.17	36.22	32.20
6	36.22	44.27	40.25
7	44.27	52.32	48.30
8	52.32	60.37	56.35
9	60.37	68.42	64.40
10	68.42	76.47	72.45
11	76.47	84.52	80.50

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3. Calibración de la composición del combustible en la emisión de CN

Con el escenario seleccionado para validar la influencia de la composición del combustible sobre las emisiones de CN de la flota TEP, se mantienen fijas todas las variables exceptuando la concentración de nivel de azufre y porcentaje de biodiesel en la composición del combustible. El análisis de estos dos compuestos se realiza por separado.

La estimación del CN emitido por la flota TEP para concentraciones de nivel azufre de 15 ppm, 50 ppm, 150 ppm y 500 ppm se hace manteniendo fijo el porcentaje de BioDiesel definido en el paso metodológico 1.

Para porcentaje de BioDiesel se usa 5, 10 y 20 %, manteniendo fijo el nivel de concentración de azufre definido en paso metodológico 1.

#### **4.3. Estimación del CN emitido por la flota TEP utilizando el modelo MOVES**

La estimación de CN emitido por la flota TEP para el año 2015, es igual a la suma de las estimaciones de CN para los escenarios 2005, 2003 y 1999, siguiendo la ecuación 6.

$$CN_{Tep2015} = CN_{Esc2005} + CN_{Esc2003} + CN_{Esc1999} \quad \text{Ecuación. 6}$$

Dónde:

$CN_{Tep2015}$ : Estimación de CN de la flota TEP para el año 2015

$CN_{Esc2005}$ : Estimación de CN para el Escenario 2005

$CN_{Esc2003}$ : Estimación de CN para el Escenario 2003

$CN_{Esc1999}$ : Estimación de CN para el Escenario 1999

Para ejecutar el modelo MOVES para cada Escenario se procede de acuerdo a los Anexo 3 Ejecución del modelo Moves.

#### **4.4. Estimación del efecto del CN emitido por la flota TEP sobre el cambio climático**

Para estimar el efecto del CN emitido por la flota TEP sobre el cambio climático en el año 2015, se utiliza el Potencial de Calentamiento Global (GWP) con un horizonte de vida de 100 años para el CN por medio de la ecuación 7.

$$CO_{2-eq-CN} = CN_{Tep2015} * GWP_{cn(100)} \quad \text{Ecuación. 7}$$

Donde:

$CO_{2-eq-CN}$  :  $CO_2$  equivalente del CN emitido por la flota TEP en año 2015, para un horizonte de 100 años

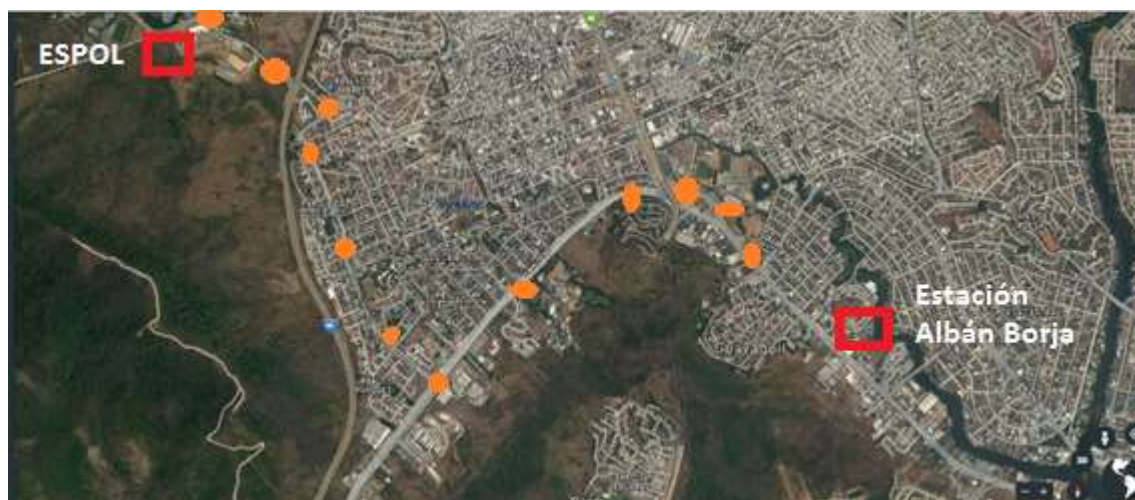
$CN_{Tep2015}$ : Cantidad de CN emitido por la flota TEP en año 2015

$GWP_{cn(100)}$ : Potencial de Calentamiento Global para el CN , con un horizonte de vida de 100 años, (460) de acuerdo a la Tabla 4.

## 5. RESULTADOS

La Figura 7 corresponde a una fotografía aérea de la ciudad de Guayaquil provista por la herramienta Google Earth. En ella se señala, mediante un cuadro rojo la Estación Albán Borja y en otro cuadro rojo la estación de la ESPOL y con puntos anaranjados se muestra el recorrido de la ruta Albán Borja-ESPOL de la flota TEP. Utilizando el paso metodológico 4.1.1 el cual consiste en hacer una revisión física en sitio de todas las rutas recorridas por la flota TEP, se identifica que el tipo de superficie de rodamiento que utilizada para la ruta Albán Borja, es urbana. Este mismo procedimiento se realiza para el resto de las rutas: rutas Pollos, ruta el Encanto, ruta Orquídeas, ruta Acacias, ruta Portete y ruta Duran, identificándose que todas las superficies de rodamiento utilizadas por el transporte TEP ESPOL son urbanas.





**Figura 7. Ruta Albán Borja**

En la Tabla 8 detalla las características del parque vehicular de la flota TEP: marca, combustible usado, modelo, año de fabricación, normativa de emisión de la Unión Europea y su correspondiente normativa en la US EPA, de acuerdo a la conversión definida en el paso metodológico 4.1.2.1, esta conversión es requerida porque el modelo MOVES solo trabaja con normativas de la US EPA y la flota de autobuses fue diseñado bajo normativa europea.

**Tabla 8. Flota TEP. Descripción de la flota vehicular TEP**

Fuente: Elaboración propia

Flota TEP							
ID	Marca	Combustible	Modelo	Año de Fabricación	Edad	Normativa Emisiones	
						UE	US EPA
1	Mercedes Benz	Diésel	OF 1721/59	2004	11	EURO II	EPA94
2	Mercedes Benz	Diésel	OF 1721/59	2006	9	EURO II	EPA94
3	Mercedes Benz	Diésel	OF 1721/59	2007	8	EURO II	EPA94
4	Chevrolet	Diésel	FTR32	2008	7	EURO II	EPA94
5	Chevrolet	Diésel	FTR32	2008	7	EURO II	EPA94
6	Mercedes Benz	Diésel	OF 1721/59	2009	6	EURO II	EPA94
7	Mercedes Benz	Diésel	OF 1721/59	2009	6	EURO II	EPA94
8	Mercedes Benz	Diésel	OF 1721/59	2010	5	EURO II	EPA94
9	Mercedes Benz	Diésel	OF 1722/59	2005	10	EURO III	EPA94
10	Mercedes Benz	Diésel	OF 1722/59	2006	9	EURO III	EPA94
11	Mercedes Benz	Diésel	OF 1722/59	2007	8	EURO III	EPA94
12	Mitsubishi	Diésel	ROSA	2009	6	EURO III	EPA94
13	Mitsubishi	Diésel	ROSA	2009	6	EURO III	EPA94
14	Mitsubishi	Diésel	ROSA	2009	6	EURO III	EPA94
15	Mercedes Benz	Diésel	OF 1730/59	2010	5	EURO III	EPA94
16	Mercedes Benz	Diésel	OF 1730/59	2011	4	EURO III	EPA94
17	Hyundai	Diésel	COUNTY TM 3.9	2013	2	EURO III	EPA94
18	Hyundai	Diésel	COUNTY TM 3.9	2013	2	EURO III	EPA94

Una vez identificada la normativa de emisiones que se aplicará a cada tipo de automotores se utiliza el paso metodológico 4.1.2.2 para elaborar los escenarios emisión; obteniéndose los escenarios 2005, 2003 y 1999. La elaboración de los escenarios se justifica basado en que el modelo MOVES asigna la normativa de emisión automáticamente de acuerdo al año del vehículo; por ejemplo, un autobús de la flota TEP adquirido en el año 2004 cumple una normativa US EPA equivalente al año 1994 y a la vez tiene 11 años de edad con respecto al año 2015, por lo que, para calcular las emisiones emitidas por este autobús será necesario plantear un escenario en cual figure que este fue adquirido en 1994 cumpliendo de esta forma la US EPA 94 y para cumplir con la edad de 11 años la de modelación de emisiones correspondiente de este autobús es la del año 2005.

En la Tabla 9 se muestra el escenario 2005, en la Tabla 10 se muestra el Escenario 2003 y en la Tabla 11 el Escenario 1999. En esas Tablas se presentan los buses correspondientes a cada Escenario, segregados según la edad de fabricación que está relacionada directamente con el tipo de normativa.

**Tabla 9. Escenario 2005**

Flota TEP			Escenario 2005	
ID	Ano de Fabricación	Edad	Año de Escenario	Edad
1	2004	11	1994	11
9	2005	10	1995	10
2	2006	9	1996	9
10	2006	9	1996	9
3	2007	8	1997	8
11	2007	8	1997	8
4	2008	7	1997	8
5	2008	7	1997	8

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10. Escenario 2003**

Flota TEP			Escenario 2003	
ID	Ano de Fabricación	Edad	Año de Escenario	Edad
6	2009	6	1997	6
7	2009	6	1997	6
12	2009	6	1997	6
13	2009	6	1997	6
14	2009	6	1997	6

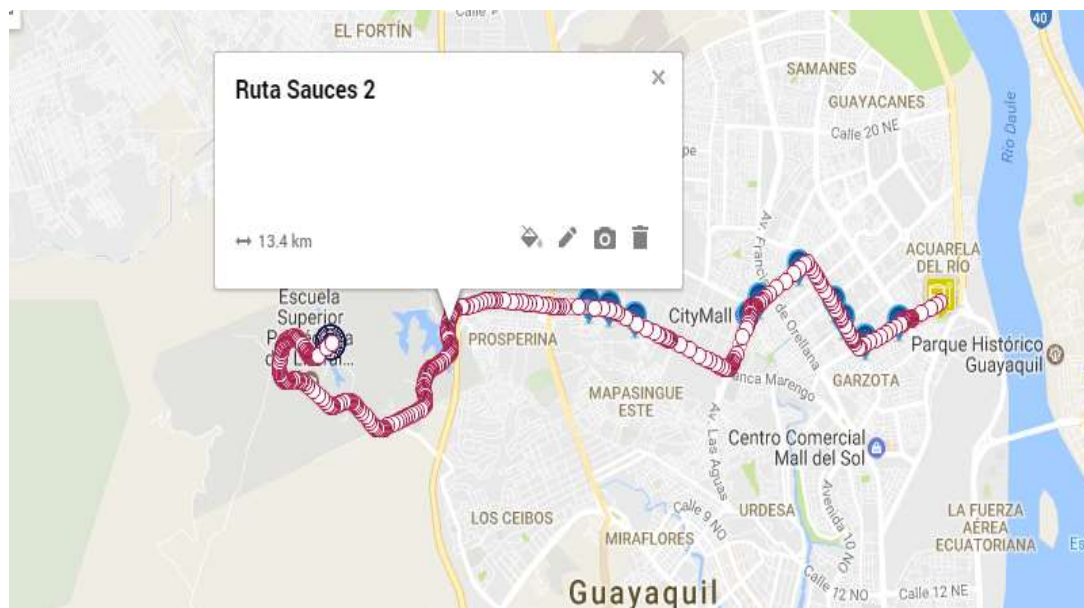
Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 11. Escenario 1999**

<b>Flota TEP</b>			<b>Escenario 1999</b>	
<b>ID</b>	<b>Año de Fabricación</b>	<b>Edad</b>	<b>Año de Escenario</b>	<b>Edad</b>
8	2010	5	1994	5
15	2010	5	1994	5
16	2011	4	1995	4
17	2013	2	1997	2
18	2013	2	1997	2

Fuente: Elaboración propia

La actividad de la flota TEP en año 2015 se obtiene mediante el paso metodológico 4.1.3. Para esto se usa la distancia total recorrida de la flota, la ruta llevada a cabo y la distancia total recorrida para cada uno de los escenarios 2005, 2003 y 1999, la fracción de distancia recorrida por mes y la fracción de distancia recorrida por año tecnológico en cada escenario. Como ejemplo se muestra en la Figura 8 la ruta Saucés. En ella se presenta esa ruta obtenida de Google Maps, en la cual se señala la ruta y la distancia recorrida en kilómetros. El Anexo 4 contienen el equivalente para las rutas Pollos el Encanto, Orquídeas, Acacias, Portete, Albán Borja y Duran.



**Figura 8. Ruta Saucos 2, Distancia 13.4 Km. (Fuente: Transespol E.P)**

En la Tabla 12 se muestran todas las rutas de flota TEP señalando la distancia de cada ruta en un solo sentido, el factor de ida y retorno, el recorrido total ida y retorno, la frecuencia diaria y el total diario para un día-de-clase, una vez realizada la adaptación al calendario académico de la ESPOL para el año 2015, considerando los días de clases y días no laborables. Para mayores detalles ver Anexo 5.

**Tabla 12. Rutas Flota TEP**

<b>Ruta</b>	<b>Distancia (km)</b>	<b>Factor Ida - retorno</b>	<b>Distancia (km)</b>	<b>Frecuencia Diaria</b>	<b>Distancia Total (km)</b>
Pollos Encanto	12.1	2	24.2	3	72.6
Orquídeas	13.5	2	27	3	81.0
Acacias	21.1	2	42.2	3	126.6
Portete	14.2	2	28.4	3	85.2
Albán Borja	9.72	2	19.44	48	933.12
Duran	20.3	2	40.6	2	81.2
Sauces 2	13.4	2	26.8	11	294.8
				<b>Total Diario</b>	<b>1674.52</b>

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 13 muestra la actividad de la Flota TEP para el año 2015. Esa Tabla contiene la distancia recorrida por mes, su correspondiente fracción mensual y la distancia total anual en kilómetros y millas, tanto la distancia total anual como la fracción mensual recorrida son requeridas como entrada del modelo MOVES.

**Tabla 13. Actividad de la flota TEP en año 2015**

Mes	Días- de-clases	Días- de- no-clases	Distancia Recorrida (km)	Fracción Recorrida (adimensional)
Enero	20	0	33490.40	0.103896
Febrero	13	5	22606.02	0.070130
Marzo	10	12	18754.62	0.058182
Abril	10	15	19256.98	0.059740
Mayo	0	23	3851.396	0.011948
Junio	22	0	36839.44	0.114286
Julio	21	0	35164.92	0.109091
Agosto	21	0	35164.92	0.109091
Septiembre	22	0	36839.44	0.114286
Octubre	7	20	15070.68	0.046753
Noviembre	19	0	31815.88	0.098701
Diciembre	20	0	33490.40	0.103896
<b>Total (km)</b>			<b>322,345.10</b>	
<b>Total (millas)</b>			<b>200,295.95</b>	

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida la distancia total anual recorrida por la flota TEP se hace necesario establecer la distancia anual correspondiente a los escenarios 2005, 2003 y 1999, calculadas con la ecuación 5. Ver Tabla 14 Distancia anual por escenarios en millas por ser la unidad requerida en el modelo Moves.

**Tabla 14. Distancia Anual por Escenarios**

<b>Escenario</b>	<b>Distancia Anual (millas)</b>
Flota TEP	200,295.95
Escenario 2005	89,020.42
Escenario 2003	55,637.76
Escenario 1999	55,637.76

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 15 se muestra la fracción de distancia recorrida por escenario según tipo de autobuses por año tecnológico en cada escenario mediante la ecuación 6. Obtenido este resultado se completa la definición de la actividad requerida para el modelo MOVES.

**Tabla 15. Fracción de Distancia de Recorrida Anual por escenario**

<b>Escenario 2005</b>	
<b>Año Tecnológico</b>	<b>Fracción de distancia Anual</b>
1994	0.125
1995	0.125
1996	0.250
1997	0.500
<b>Escenario 2003</b>	
<b>Año Tecnológico</b>	<b>Fracción de distancia Anual</b>
1997	1
<b>Escenario 1999</b>	
<b>Año Tecnológico</b>	<b>Fracción de distancia Anual</b>
1994	0.4
1995	0.2
1997	0.4

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se hace necesario obtener las características del combustible (diésel *premium*) mediante la revisión documental descrita en el paso metodológico 4.1.4. Los resultados del levantamiento bibliográfico son mostrados en la Tabla 16.



**Tabla 16. Atributos del combustible**

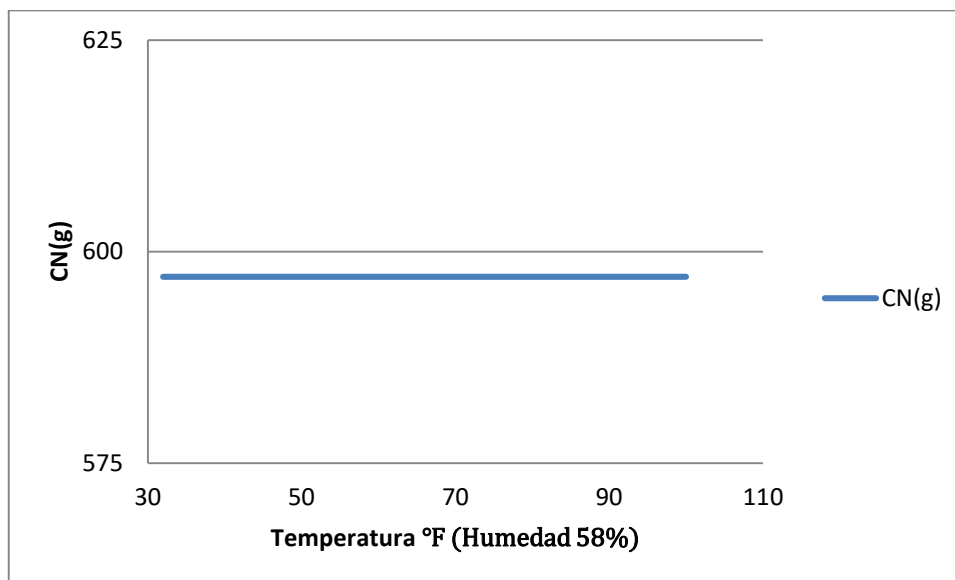
<b>Propiedad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
RVP	Presión de vapor Reid	1.88549 psi
sulfurlevel	Nivel de Azufre	150 ppm
BioDiéselEsterVolume	Porcentaje de Biodiésel	5%
CetaneIndex	Índice de Cetano	46
T90	Temperatura de destilación al 90%	734 °F

Fuente: Elaboración propia

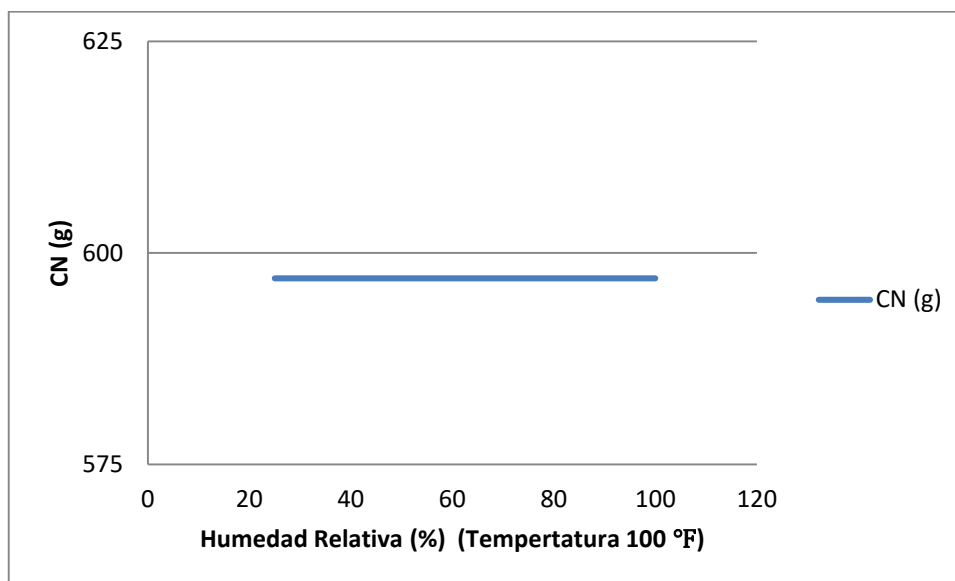
Adicionalmente, mediante entrevistas a funcionarios de la ESPOL (paso metodológico 4.1.5) se conoce la velocidad en la que opera la flota TEP (52 a 60 km/h) en todo su horario de funcionamiento (6:00 am a 8:00 pm). Se destaca que esta velocidad se encuentra en la banda 8 del modelo MOVES.

Una vez completado el paso metodológico 4.1, se procede a calibrar el modelo MOVES, utilizando el paso metodológico 4.2, iniciamos seleccionando el Escenario 1999, en este escenario determinaremos las influencias de las condiciones meteorológicas, velocidad de operación y composición del combustible.

La influencia de las condiciones meteorológicas, temperatura y humedad relativa, son mostrados en las figura 9 y figura 10, en estas se observa la poca influencia de la temperatura y la humedad relativa sobre la estimación CN. Este resultado confirma lo expuesto por David Choi (2014), por lo cual no es necesario configurar condiciones meteorológicas exactas. En Tabla A6.1. del Anexo 6 se pueden ver los valores utilizados para verificación de la influencia de las condiciones meteorológicas.

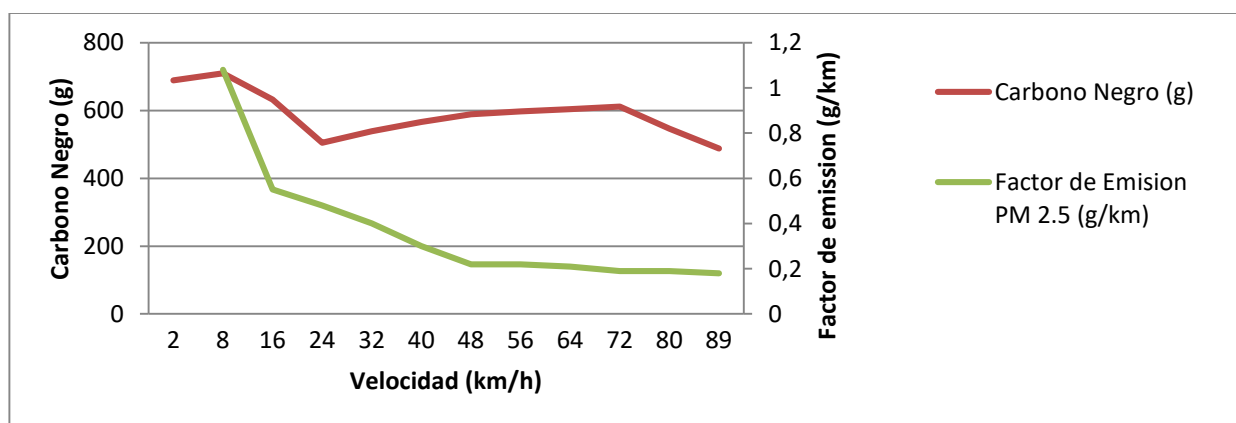


**Figura 9. Influencia de la Temperatura (Humedad relativa 58%). (Fuente: Elaboración propia)**



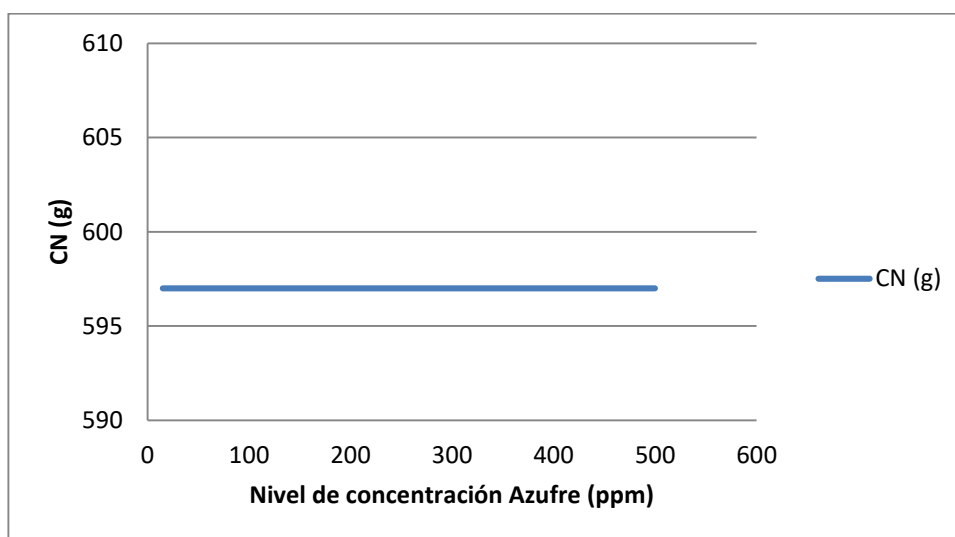
**Figura 10. Influencia de la Humedad Relativa (Temperatura 100 °F). (%). (Fuente: Elaboración propia)**

La Figura 11 muestra la influencia de la velocidad de operación sobre la estimación del CN. En ella la curva color rojo, muestra un comportamiento binomial con un pico máximo en las emisiones de CN cuando la velocidad alcanza los 8 km/h, el mínimo ocurre a la velocidad de 24 km/h para la primera moda, el segundo pico ocurre a la velocidad 64 km/h, para luego comenzar a descender: en este caso, la velocidad afecta directamente a las emisiones de CN. Se destaca que la curva obtenida de la influencia de velocidad difiere de la descrita en el marco teórico por Yao (2014), para las emisiones del material particulado con respecto a la velocidad de operación (curva color verde de la figura 11). Dicha curva denota que las emisiones disminuyen a medida que aumenta la velocidad. Lo importante en este punto es identificar que la curva obtenida, es específica para el CN y no para el total del material particulado. En la Tabla A6.2 del Anexo 6 se pueden observar los valores de velocidad y concentración de CN obtenido, para la verificación de la influencia de la velocidad en cálculo de estimaciones de CN.



**Figura 11. Influencia de la Velocidad de operación del autobús en la emisión de CN. (%). (Fuente: Elaboración propia, curva Factor de emisión en base Yao (2014))**

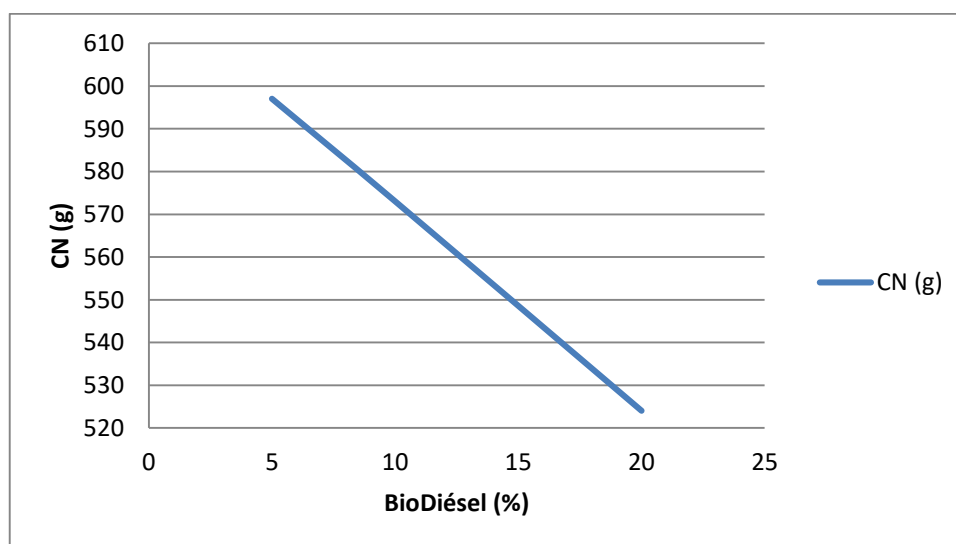
La figura 12 muestra que el nivel de concentración de azufre en la composición del combustible (Diésel *premium*) no afecta las emisiones de CN en la flota TEP, quedando claro que las emisiones se mantienen constantes aún para combustibles con ultra bajo nivel de azufre (15 ppm máximo). La causa por la que al reducir el nivel de azufre del combustible, y no obtener disminución de emisiones CN de la flota TEP, es debido a que este parque vehicular está compuesto por autobuses que no cumple con normativas requeridas para aprovechar las ventajas del diésel ultra bajo en azufre como lo son las normativas EURO VI y EPA 2010, por la cual los fabricantes de vehículos, han tenido que instalar filtros para partículas de Diésel, para su cumplir con los límites de emisiones definidos en estas normativas. En la Tabla A6.3 del anexo 6 se pueden ver las diferentes concentraciones de azufre y el CN obtenido, para verificar la influencia de nivel de azufre en la estimación de CN.



**Figura 12. Influencia del Carbono Nivel de Azufre en la emisión de CN. %).**  
(Fuente: Elaboración propia)

El estudio de la relación entre el porcentaje de biodiesel en la composición del diésel y las emisiones de CN para valores de composición de 5%, 10% y 20% de biodiesel es inversamente proporcional, es decir, a medida que el porcentaje de biodiesel aumenta las emisiones de CN se reducen.

Aun cuando en Ecuador el porcentaje de biodiesel es del 5%, este análisis permitiría abrir el debate de aumentar el porcentaje de biodiesel con el objetivo de reducir las emisiones de CN. La figura 13 muestra gráficamente la influencia del aumento porcentaje de biodiesel en la composición del diésel, en las emisiones de CN de la flota TEP. Este resultado es consistente con lo descrito en el marco teórico en que se afirma que a mayor cantidad de biodiesel menor cantidad de emisiones de material particulado PM (The World Bank , 2014) . Ver Tabla A6.4 en el Anexo 6.



**Figura 13. Influencia de BioDiésel % en las emisiones de CN. %). (Fuente: Elaboración propia)**

Aplicando el paso metodológico 4.3, ingresando todos los datos recogidos acerca de la actividad de la flota TEP, el tipo de carretera, el combustible y considerando lo revelado en proceso de calibración acerca de las condiciones meteorológicas y velocidad de operación, se obtiene el CN estimado para el año 2015 emitido por la flota TEP es de 2254 g, que es la suma de CN estimado para los Escenarios 2005, 2003 y 1999. Los resultados mensuales se muestran en Tabla 17.

**Tabla 17. CN emitido por la Flota TEP**

	<b>Escenario 2005</b>	<b>Escenario 2003</b>	<b>Escenario 1999</b>	<b>Total</b>
<b>MES</b>	<b>CN (g)</b>	<b>CN(g)</b>	<b>CN(g)</b>	<b>CN(g)</b>
Ene	115	54	61	<b>230</b>
Feb	86	40	45	<b>171</b>
Mar	64	30	34	<b>128</b>
Abr	68	32	36	<b>136</b>
May	13	6	7	<b>26</b>
Jun	131	61	69	<b>261</b>
Jul	121	56	64	<b>241</b>
Ago	121	56	64	<b>241</b>
Sept	131	61	69	<b>261</b>
Oct	52	24	27	<b>103</b>
Nov	113	53	60	<b>226</b>
Dic	115	54	61	<b>230</b>
<b>Total Anual (g)</b>	<b>1130</b>	<b>527</b>	<b>597</b>	<b>2254</b>

Fuente: Elaboración propia

Con el GWP100 del CN (para 100 años) del IPCC (2014) igual a 460 en la ecuación 7, se tiene que el impacto climático producido por las emisiones de 2254 g de CN de la flota TEP en año 2015, resulta ser de 1036.84 kgCO<sub>2</sub>-eq.

Es importante mencionar que en el inventario de emisiones de la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de GEI para año 2010 del Ecuador no se consideró el CN, en el mismo solo se valoran las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O (Ministerio de Ambiente del Ecuador, 2016, pág. 66). Este inventario muestra que el sector del transporte contribuye con 42% de las emisiones de la categoría energía y 18 % de las emisiones totales del Ecuador con un valor de 15.163,15 Gg CO<sub>2</sub>-eq en el que se incluye el transporte terrestre, marítimo y aéreo. Para convertir las emisiones de los GEI diferentes al CO<sub>2</sub> utilizaron el GWP con un horizonte de tiempo de vida de 100 años.

Aunque en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático presenta que el 43% del combustible consumido en el Ecuador es diésel, no indica cual es el porcentaje de participación de las emisiones generadas al usar este tipo de combustible. Por lo que solo podemos decir que si el inventario presentado por la Tercera Comunicación Nacional De Cambio Climático de Ecuador fuera para el 2015, la flota TEP contribuiría 6.84E<sup>-06</sup> % al total de emisiones del sector del transporte, donde también se consideran las emisiones por el uso de la gasolina, fuel oil, keronese/jet fuel.

## 6. CONCLUSIONES

- A pesar que el modelo Moves esta diseñado para inventariar emisiones de vehículos fabricados en Estados Unidos, la metodología realizada permitió realizar el inventario de CN de la flota TEP; gracias a que tanto los límites máximos permitidos para emisiones de material particulado son comparables entre las normativas de la Unión Europea y la US EPA.

- A pesar que la reducción de la concentración de azufre en el combustible disminuye significativamente las emisiones de CN, en el caso de Ecuador, de acuerdo a lo demostrado en la fase de calibración, no existe tal disminución de las emisiones de CN, ya que el parque vehicular en el Ecuador cumple con normativas Euro II y US EPA 94, de acuerdo a la legislación Ecuatoriana; cuyas tecnologías de motor no son suficientes para poder evidenciar una disminución de las CN por reducción de concentración de azufre.
- Conforme a los resultados obtenidos al aumentar la concentración de BioDiesel y manteniendo los otros atributos del combustible (Diesel Premium), en cual se identificó la disminución de las emisiones de CN, por lo que con el parque vehicular existen en Ecuador, para disminuir la concentración de CN, es más importante aumentar la concentración de BioDiesel que disminuir la concentración de Azufre.
- Dado que las condiciones meteorológicas no influyen en las estimaciones de CN, el modelo MOVES puede ser utilizado para inventariar el CN para el sector de transportes del Ecuador.

## **7. RECOMENDACIONES**

- El Ecuador puede reducir las emisiones de CN mejorando el combustible, e implementando las normativas EPA 2010 y EURO VI. Lo que se traduce en tener un combustible con niveles ultra bajo en azufre, actualizar la legislación vigente, e implementar proyectos de actualización de motores de parque vehicular existente.
- Realizar un estudio comparativo entre el inventario obtenido con el modelo Moves y un el inventario de CN con el Modelo COPERT por soportar



normativas de emisión de la Unión Europea. Además se puede realizar una comparación de resultados del impacto en el cambio climático entre usar la unidad GWP y la unidad de pulso de forzamiento específico SFP.

- Terminar la implementación de la red de monitoreo de Calidad de Aire de Guayaquil, para determinar la concentración promedio de CN, la misma que tendrá 8 estaciones en año 2018, ver Anexo 7.
- Para mejorar los resultados del modelo MOVES para la estimación de emisiones en el Ecuador, es necesario realizar ajustes a los factores emisiones a través de muestreos locales.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Agency, A. a. (2014). *Emission Adjustments for Temperature, Humidity, Air Conditioning, and Inspection and Maintenance for On-road Vehicles in MOVES2014*. Washington: US EPA.
- Associantes, Gladstein Neandross. (2014). *Limpieza del aire de América Latina: la reducción de las emisiones de carbono negro puede beneficiar rápidamente al clima y la salud pública*. New York: NRDC.
- Atlantic Consulting. (2009). *El carbono negro y el calentamiento global: impacto de los combustibles comunes*. Gattikon: Atlantic Consulting.
- Atlantic Consulting. (2009). *El Carbono Negro y el Calentamiento Global: Impacto de los Combustibles Comunes*. Gattikon: Atlantic Consulting.
- Bond. (2013). *Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment*. Malden: JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH.
- Bond. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: ATMOSPHERES*, , VOL. 118, pp 5381.
- Bond. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: ATMOSPHERES*, VOL. 118, pp 5384.

- Bond, S. (2005). Can reducing black carbon emissions counteract global warming? *Environmental Science and Technology*, 5921–5926.
- Bond, T. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 5381.
- Bond, T. C. (2004). A technology-based global inventory of black and organic carbon. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 109*, 34.
- Bond, T. C. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: ATMOSPHERES, VOL. 118*, 5380–5552, , 5511.
- Boyer, W. B. (2010). *Methods for Improving Global Inventories of Black Carbon and Organic*. Washington D. C: U.S. Environmental Protection Agency.
- Carmichael, R. a. (2008). *Global and regional climate changes due to black carbon*. Nature Geoscience.
- Chandrappa, R., & Chandra Kulshrestha, U. (2016). *Sustainable Air Pollution Management*. New York: Springer.
- Choi, D. (2010). *MOVES Sensitivity Analysis-The Impacts of Temperature and Humidity on Emissions*. Washington D. C: U. S. Environmental Protection Agency, OTAQ.
- Choi, D. (2011). *MOVES Sensitivity Analysis: The Impacts of Temperature and Humidity on Emissions*. Washington D. C: USEPA.
- Choi, D. (2011). *MOVES Sensitivity Analysis: The Impacts of Temperature and Humidity on Emissions* . Washintong: US EPA.

- Choi, D. (2011). *MOVES Sensitivity Analysis: The Impacts of Temperature and Humidity on Emissions*. Washington DC: Office of Transportation & Air Quality, USEPA.
- Choi, D. (2014). *Emission Adjustments for Temperature, Humidity, Air Conditioning, and Inspection and Maintenance for On-road Vehicles in MOVES2014*. Washington: US EPA.
- Climatico, I. N. (2013). *Elaboración del Inventario Nacional de Emisiones de Fuentes Móviles para México 2013 y proyección 2030 mediante el uso del modelo Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES)*. Mexico: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión para la Cooperación Ambiental. (2015). *Directrices para la estimación de las emisiones de carbono negro de América del Norte*. Montreal-Canada: Comisión para la Cooperación Ambiental.
- Consulting, A. (2009). *El Carbono Negro y el Calentamiento Global: Impacto de los Combustibles Comunes*. Gattikon-Suiza: Atlantic Consulting.
- Cooper, E. (2014). *EMISIONES DE ESCAPE DE AUTOBUSES DE TRANSPORTE PÚBLICO*. Washington: EMBARQ.
- Echaniz, G. (2009). *Guía metodológica para estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas*. Mexico: Instituto Nacional de Ecología.
- EPA, U. (2010). *Report to Congress on Black Carbon-pp3*. Washington D. C: US EPA.
- EPA, U. (2010). *Technical Bulletin - Diesel Particulate Filter - General Information*. Washington, DC: US EPA.
- EPA, U. (2013). *Development of Emission Rates for Heavy-Duty Vehicles in the Motor Vehicle Emissions Simulator (MOVES2014)*. Washintong: US EPA.

- Forum, D. T. (2017). POLICY WHY RETROFIT? *Diesel Technology Forum* ,  
<http://www.dieselforum.org/policy/why-retrofit>.
- Fuglestedt, J. K. (2009). Transport impacts on Atmosphere and Climate: Metrics.  
*Atmospheric Environment, in press*.
- Glover, E. J. (2012). Development of an international version of the MOVES model.  
*Ponencia presentada en el marco de la Conferencia Internacional sobre Inventarios de Emisiones*.
- Hidrocarburos, C. d. (2016). <http://www.controlhidrocarburos.gob.ec>. 2016: Control de Hidrocarburos.
- Houghton, J. (2009). *Global Warming*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ICCT. (2014). *Actualizacion de Normativas*. Mexico: ICCT.
- ICCT. (2014). Black Carbon Expert. *International Council On Clean Transportation*,  
<http://www.theicct.org/news/tami-bond-2014-macarthur-grant>.
- ICCT. (2014). Black Carbon Expert. *International Council On Clean Transportation*,  
<http://www.theicct.org/news/tami-bond-2014-macarthur-grant>.
- INECC. (2014). “*Elaboración del Inventario Nacional de Emisiones de Fuentes Móviles para México 2013 y proyección 2030 mediante el uso del modelo Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES)*”. Mexico: INECC.
- IPCC. (2007). *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing, in CLIMATE CHANGE 2007*. Ginebra: 2007.
- IPCC. (2013). AR5. Geneva.
- IPCC. (2013). *Resumen para responsables de políticas*. Suiza: IPCC.

- IPCC, G. d. (2007). Anexo 1. In G. d. IPCC, *AR4* (p. 150). Holanda: A. P. M. Baede.
- IPCC, W. G. (2013). *AR5 Final Draft Underlying Scientific-Technical Assessment-pp 8-101*. Stockholm: IPCC.
- Jacobson. (2007). Testimony for the Hearing on Black Carbon and Arctic. *House Committee on Oversight and Government Reform*.
- Jacobson, M. Z. (2012). Investigating cloud absorption effects: Global absorption properties of black carbon, tar balls, and soil dust in clouds and aerosols. *Journal of Geophysical Research*, Vol 117, D06205.
- Johnson, E. (2009). *El Carbono Negro y el Calentamiento Global: Impacto de los Combustibles Comunes*. Gattikon: Atlantic Consulting.
- Johnson, E. (2009). *El Carbono Negro y el Calentamiento Global: Impacto de los Combustibles Comunes*. Gattikon--pp 4: Atlantic Consulting.
- Mach, K. J. (2013). Anexo 2. In S. P. Katharine J. Mach (USA), *AR5* (p. 121). Geneva: IPCC.
- Ministerio de Ambiente del Ecuador. (2016). *Primer Informe Bienal de Actualización del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Quito: Ministerio de Ambiente del Ecuador.
- OTAQ. (2014). *MOVES2014 Highway Vehicle Temperature, Humidity, Air Conditioning, and Inspection and Maintenance Adjustments Assessment and Standards Division*. Washintong D.C: USEPA.
- PetroEcuador. (2013). *COMBUSTIBLES QUE PRODUCE EP PETROECUADOR SUPERAN METAS DE CALIDAD*. Quito: COORDINACIÓN GENERAL DE IMAGEN EMPRESARIAL .

- Petroecuador. (2013). *Combustibles que produce PETROECUADOR EP SUPERAN METAS DE CALIDAD-Boletín 086*. Quito: Petroecuador.
- PNUMA. (2013). *Informe Anual 2013*. Nairobi: PNUMA.
- Porter, C., Kall , D., Beagan, D., Margiotta, R., Koupal, J., Fincher, S., et al. (2015). *Input Guidelines for Motor Vehicle Emissions Simulator*. Washington D.C: Copyright National Academy of Sciences.
- Quality, U. E. (2014). *MOVES2014 Highway Vehicle Temperature, Humidity, Air Conditioning, and Inspection and Maintenance Adjustments Assessment and Standards Division*. Washintong D.C: US EPA.
- Rypdal, K. N. (2009). Costs and Global impacts of black carbon abatement strategies. *Tellus B*, in press.
- Sasser, E. (2012). *Report to Congress on Black Carbon*. Washington: US EPA.
- Schulz, M. e. (2006). Radiative forcing by aerosols as derived from the AeroCom present-day and pre-industrial simulations. *Atmos. Chem. Phys*, 5225–5246.
- Sims, R., Gorsevski, V., & Anenberg, S. (2015). *BLACK CARBON MITIGATION AND THE ROLE OF THE GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY*. Washington, D.C.: Scientific and Technical Advisory Panel.
- Solaun, K., Sopelana, A., Arraibi, E., & Pérez, M. (2014). *Black Carbon y sus efectos en el clima*. Madrid: Factor CO2.
- Tami C. Bond. (2004). A technology-based global inventory of black and organic carbon. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 109, Parrafo 91.

- The World Bank . (2014). *Reducing Black Carbon Emissions from Diesel Vehicles: Impacts, Control Strategies, and Cost-Benefit Analysis*. Washington DC: The World Bank.
- THE WORLD BANK. (2014). *Reducing Black Carbon Emissions from Diesel Vehicles: Impacts, Control Strategies, and Cost-Benefit Analysis*. Washington: THE WORLD BANK.
- US EPA. (2010). *Report to Congress on Black Carbon*. Washington D. C: US EPA.
- US EPA. (2011). *Report to Congress on Black Carbon*. Washintong D.C: US EPA.
- US EPA. (2012). *Report to Congress on Black Carbon -Chapter 2*. Washington: US EPA.
- USAID-INECC. (2016). *Guía del Usuario de MOVES-México PROGRAMA PARA EL DESARROLLO DE EMISIONES BAJAS EN MÉXICO (MLED)*. MEXICO: INECC.
- USEPA. (2012). *Report to Congress on Black Carbon -Chapter 2-pp17*. USEPA.
- USEPA. (2012). *Report to Congress on Black Carbon-Appendix 2- Black Carbon Emissions Inventory Methods and Comparisons*. Washington-EEUU: Gobierno de los EEUU.
- USEPA. (2013). *Development of Emission Rates for Heavy-Duty Vehicles in the Motor Vehicle Emissions Simulator (MOVES2014)*. Washintong D.C: USEPA.
- USEPA. (2014). *MOVES2014 Highway Vehicle Population and Activity Data*. Washintong D.C: USEPA.



USEPA. (2016). <https://www.epa.gov/moves/moves2014a-latest-version-motor-vehicle-emission-simulator-moves>. Washington D. C: USEPA.

Yao, Z. (2014). Sensitivity analysis of project level MOVES running emission rates for light and heavy duty vehicles. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 90.

Zereini , F., & Wiseman , C. (2011). *Urban Airborne Particulate Matter*. New York: Springer.

## 1. ANEXO 1. POBLACION DE LA ESPOL

Fragmento de reseña histórica de la ESPOL, publicado en el siguiente enlace:

<http://www.ESPOL.edu.ec/ESPOL/main.jsp?urlpage=historiaESPOL.jsp>

La ESPOL en la actualidad

A diciembre de 2012 la ESPOL cuenta con una planta docente de 294 profesores titulares y 347 profesores contratados. Del total de profesores titulares, 71 poseen grado de PhD. Los profesores titulares están distribuidos por unidades académicas como consta a continuación:

<b>Unidad Académica</b>	<b>Titular Principal</b>	<b>Titular Agregado</b>	<b>Titular Auxiliar</b>	<b>Total por Unidad Académica</b>
<a href="#">CELEX</a>	0	0	4	4
<a href="#">EDCOM</a>	3	4	3	10
<a href="#">ESPAE</a>	6	0	0	6
FCNM	31	12	13	56
<a href="#">FEN</a>	21	9	5	35
<a href="#">FICT</a>	16	2	0	18
<a href="#">FIEC</a>	40	12	7	59
<a href="#">FIMCBOR</a>	24	3	4	31
<a href="#">FIMCP</a>	33	9	7	49
<a href="#">INTEC</a>	13	2	1	19
<b>Total por</b>	<b>187</b>	<b>53</b>	<b>54</b>	<b>294</b>

Categoría				
-----------	--	--	--	--

**Fuente: Coordinación de Estadísticas, UPE**

La planta administrativa está conformada por 305 servidores con nombramiento y 68 contratados. En tanto que la planta de trabajadores lo integran 323 personas.

La población estudiantil registrada al 2012 fue de 10.736. Su evolución en los últimos 11 años consta a continuación.

## 2. ANEXO 2 DECODIFICACIÓN MOVES

### Source Type - sourcetypeid

ID	<u>sourcetypeName</u>
11	Motorcycle
21	Passenger Car
31	Passenger Truck
32	Light Commercial Truck
41	Intercity Bus
42	Transit Bus
43	School Bus
51	Refuse Truck
52	Single Unit Short-haul Truck
53	Single Unit Long-haul Truck
54	Motor Home
61	Combination Short-haul Truck
62	Combination Long-haul Truck

### Road Type - roadtypeid

ID	<u>roadDesc</u>
1	Off-Network
2	Rural Restricted
3	Rural Unrestricted
4	Urban Restricted
5	Urban Unrestricted
6	Rural Restricted w/o ramps
7	Urban Restricted w/o ramps
8	Rural Restricted Ramps
9	Urban Restricted Ramps

### Process - processid

ID	<u>processName</u>
1	Running Exhaust
2	Start Exhaust
9	Brakewear
10	Tirewear
11	Evap Permeation
12	Evap Fuel Vapor Venting
13	Evap Fuel Leaks
15	Crankcase Running Exhaust
16	Crankcase Start Exhaust
17	Crankcase Extended Idle Exhaust
18	Refueling Displacement Vapor Loss
19	Refueling Spillage Loss
90	Extended Idle Exhaust
91	Auxiliary Power Exhaust
99	Well-to-Pump

### Activity - activityTypeID

ID	<u>Activity Description</u>
1	Distance traveled
2	Source Hours
3	Extended Idle Hours
4	Source Hours Operating
5	Source Hours Parked
6	Population
7	Starts
9	Average Horsepower
10	Fraction Retrofitted
11	Number Units Retrofitted
12	Load Factor
13	Hotelling Diesel Aux
14	Hotelling Battery or AC
15	Hotelling All Engines Off

### Fuel Type - fuelTypeID

ID	<u>regClassName</u>
1	gas
2	diesel
3	CNG
4	LPG
5	E-85
9	electricity

### Operating Mode - OpMode ID

101	Soak Time <6 minutes
102	6 minutes <= Soak Time < 30 minutes
103	30 minutes <= Soak Time < 60 minutes
104	60 minutes <= Soak Time < 90 minutes
105	90 minutes <= Soak Time < 120 minutes
106	120 minutes <= Soak Time < 360 minutes
107	360 minutes <= Soak Time < 720 minutes
108	720 minutes <= Soak Time
200	Extended Idling
201	Auxiliary Power Units Use
203	Battery Power
204	Engine Off

### Day - dayID

ID	<u>dayName</u>
2	Weekend
5	Weekdays

### Regulatory Class - regClassID

ID	<u>regClassName</u>	<u>regClassDesc</u>
0	Doesn't Matter	Doesn't Matter
10	MC	Motorcycles
20	LDV	Light Duty Vehicles
30	LDT	Light Duty Trucks
40	LHD <= 10K	Class 2b Trucks w/ 2 Axles & 4 Tires (8,500 lbs < GVWR <= 10,000 lbs)
41	LHD<=14k	Class 2b Trucks w/ 2 Axles & at least 6 Tires or Class 3 Trucks (8,500 lbs < GVWR <= 14,000 lbs)
42	LHD45	Light Heavy Duty (14K lbs < GVWR <= 19.5K lbs)
46	MHD	Medium Heavy Duty (19.5K lbs < GVWR <= 33K lbs)
47	HHD	Heavy Heavy Duty (GVWR > 33K lbs)
48	Urban Bus	Urban Bus (see CFR Sec. 86.091_2)

## Pollutant - pollutantid

ID	pollutantname	ID	pollutantname
1	Total Gaseous Hydrocarbons	79	Non-Methane Hydrocarbons
2	Carbon Monoxide (CO)	80	Non-Methane Organic Gases
3	Oxides of Nitrogen (NOx)		
5	Methane (CH4)	81	Fluorene particle
6	Nitrous Oxide (N2O)	82	Indeno(1,2,3,c,d)pyrene particle
		83	Phenanthrene particle
20	Benzene	84	Pyrene particle
21	Ethanol		
22	MTBE	86	Total Organic Gases
23	Naphthalene particle	87	Volatile Organic Compounds
24	1,3-Butadiene	88	NonHAPTOG
25	Formaldehyde		
26	Acetaldehyde	90	Atmospheric CO2
27	Acrolein	91	Total Energy Consumption
		92	Petroleum Energy Consumption
30	Ammonia (NH3)	93	Fossil Fuel Energy Consumption
31	Sulfur Dioxide (SO2)	98	CO2 Equivalent
32	Nitrogen Oxide (NO)	99	Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)
33	Nitrogen Dioxide (NO2)		
34	Nitrous Acid (HONO)	100	Primary Exhaust PM10 - Total
35	Nitrate (NO3)	106	Primary PM10 - Brakewear Particulate
36	Ammonium (NH4)	107	Primary PM10 - Tirewear Particulate
		110	Primary Exhaust PM2.5 - Total
40	2,2,4-Trimethylpentane	111	Organic Carbon
41	Ethyl Benzene	112	Elemental Carbon
42	Hexane	115	Sulfate Particulate
43	Propionaldehyde	116	Primary PM2.5 - Brakewear Particulate
44	Styrene	117	Primary PM2.5 - Tirewear Particulate
45	Toluene	118	Composite - NonECPM
46	Xylene	119	H2O (aerosol)
		120	Primary PM2.5 - NonECNonSO4PM
51	Chloride	121	CMAQ5.0 Unspeciated (PMOTHR)
52	Sodium	122	Non-carbon Organic Matter (NCOM)
53	Potassium		
54	Magnesium	168	Dibenzo(a,h)anthracene gas
55	Calcium	169	Fluoranthene gas
56	Titanium	170	Acenaphthene gas
57	Silicon	171	Acenaphthylene gas
58	Aluminum	172	Anthracene gas
59	Iron	173	Benz(a)anthracene gas
60	Mercury Elemental Gaseous	174	Benzo(a)pyrene gas
61	Mercury Divalent Gaseous	175	Benzo(b)fluoranthene gas
62	Mercury Particulate	176	Benzo(g,h,i)perylene gas
63	Arsenic Compounds	177	Benzo(k)fluoranthene gas
65	Chromium 6+	178	Chrysene gas
66	Manganese Compounds		
67	Nickel Compounds	181	Fluorene gas
68	Dibenzo(a,h)anthracene particle	182	Indeno(1,2,3,c,d)pyrene gas
69	Fluoranthene particle	183	Phenanthrene gas
70	Acenaphthene particle	184	Pyrene gas
71	Acenaphthylene particle	185	Naphthalene gas
72	Anthracene particle		
73	Benz(a)anthracene particle		
74	Benzo(a)pyrene particle		
75	Benzo(b)fluoranthene particle		
76	Benzo(g,h,i)perylene particle		
77	Benzo(k)fluoranthene particle		
78	Chrysene particle		

<b>MOVES Test Standards ID</b>	<b>MOVES Test Description</b>	<b># Counties</b>	<b>Counties with Heavy-Duty Vehicle Testing</b>
11	Unloaded Idle Test	76	54
12	Two-mode, 2500 RPM/Idle Test	75	42
13	Loaded / Idle Test	5	2
21	ASM 2525 Phase-in Cutpoints	5	0
22	ASM 5015 Phase-in Cutpoints	0	0
23	ASM 2525/5015 Phase-in Cutpoints	28	0
24	ASM 2525 Final Cutpoints	15	0
25	ASM 5015 Final Cutpoints	5	0
26	ASM 2525/5015 Final Cutpoints	11	1
31	IM240 Phase-in Cutpoints	2	0
33	IM240 Final Cutpoints	43	33
41	Evaporative Gas Cap Check	178	78
42	Evaporative System Pressure Check	0	0
43	Evaporative System OBD Check	246	90
44	Evaporative Gas Cap and Pressure Check	6	0
45	Evaporative Gas Cap and OBD Check	131	55
46	Evaporative Pressure and OBD Check	0	0
47	Evaporative Gas Cap, Pressure and OBD Check	0	0
51	Exhaust OBD Check	368	124
61	HDDV Engine Reflash Program	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>Any Test Type</b>	<b>397</b>	<b>172</b>

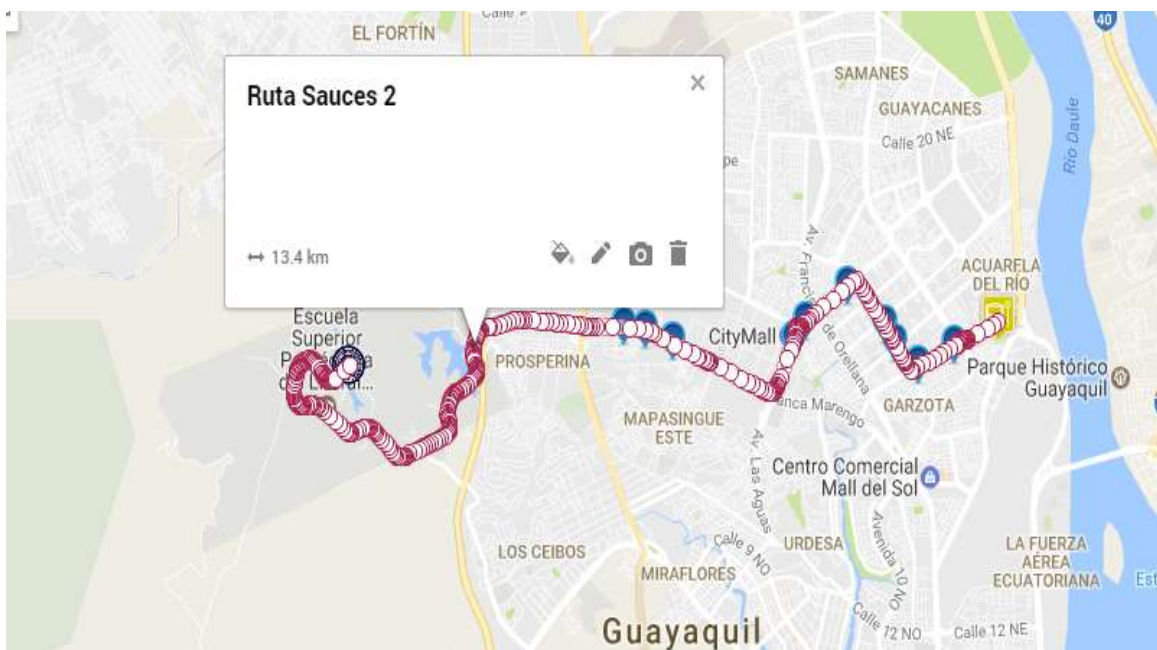
### 3. ANEXO 3. EJECUCIÓN DE MODELO MOVES

1. Ingreso de datos
  - 1.1. En Descripción:
    - Se ingresa el Escenario
  - 1.2. En Escala:
    - Se selecciona Onroad e Inventario
  - 1.3. En Time Span:
    - Se selecciona Time Agregation Level en horas
    - Se selecciona todos los meses del año
    - Se selecciona el año del escenario
    - Se selecciona días laborables
  - 1.4. En tipo de Vehículos:
    - Se selecciona el tipo de combustible (Diésel)
    - Se selecciona como tipo de vehículos buses de tránsito.
  - 1.5. En Road Type:
    - Se selecciona carretera urbana
  - 1.6. En Pollutants and Processes:
    - Se selecciona Primary Exhaust PM2.5-Species
    - Se selecciona Elemental Carbon
    - Se selecciona Running Exhaust, Start Exhaust
  - 1.7. En Manage Input Data Sets
    - Ingresamos el nombre de la base de datos
  - 1.8. En Strategies
    - Asegurase que este desmarcado “Compute Rate-of-Progress No Clean Airt Act Amendment Emissions”
  - 1.9. En Output:
    - Se selecciona como unidad de masa (g)
  - 1.10. Se ingresa la distancia anual recorrida, correspondiente al escenario
  - 1.11. Se ingresa fracción de distancia recorrida por año tecnológico para escenario 2005
  - 1.12. Se ingresa la fracción mensual de distancia recorrida
  - 1.13. Se ingresan los atributos del combustible
  - 1.14. Ingresar la información meteorológica
2. Estimación de CN

- 2.1. Ir a Menu Action
- 2.2. Hacer click en Execute
- 2.3. Esperar mientras se realiza el procesamiento los datos ingresados
- 2.4. Hacer clic en el botón Aceptar una vez que el procesamiento ha terminado
- 2.5. Ir a Menú Post Processing
- 2.6. Hacer clic en Produce Summary Report
- 2.7. En el cuadro de dialogo Emission Process Report, seleccionar All Process
- 2.8. Seleccionar el ultima ejecución realizada
- 2.9. En Categorías seleccionar MonthId
- 2.10. En Data Items seleccionar Elemental Carbon
- 2.11. Hacer clic en OK
- 2.12. Realizar la suma de las estimaciones mensuales para obtener la estimación total anual



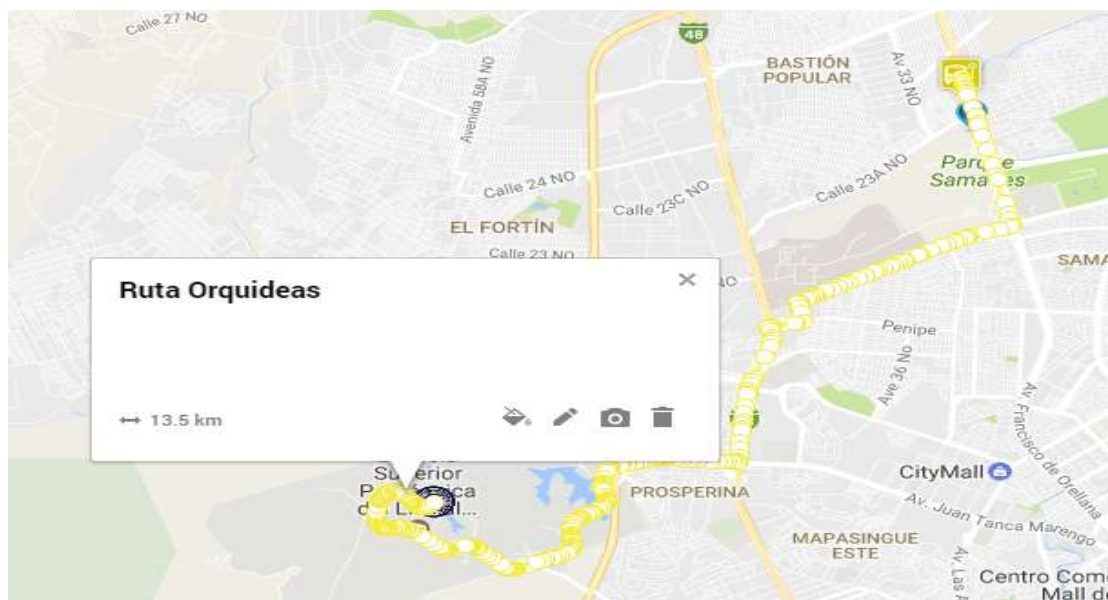
#### 4. ANEXO 4 RUTAS TRANSESPOL EP



Ruta Saucos 2, Distancia 13.4 Km



Ruta Pollos El Encanto, Distancia 12.1 Km



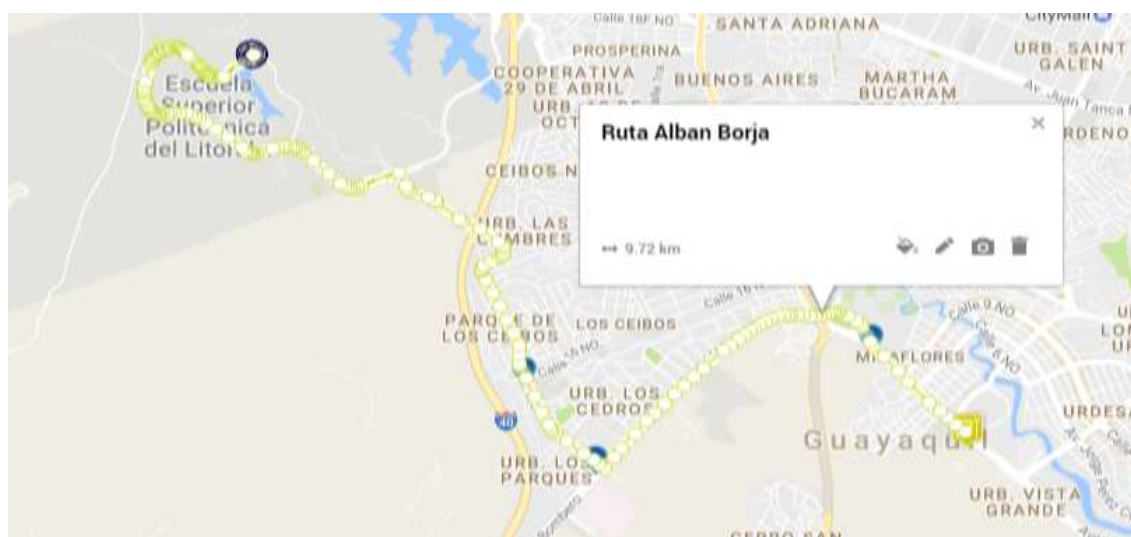
Ruta Orquídeas, Distancia 13.5 Km



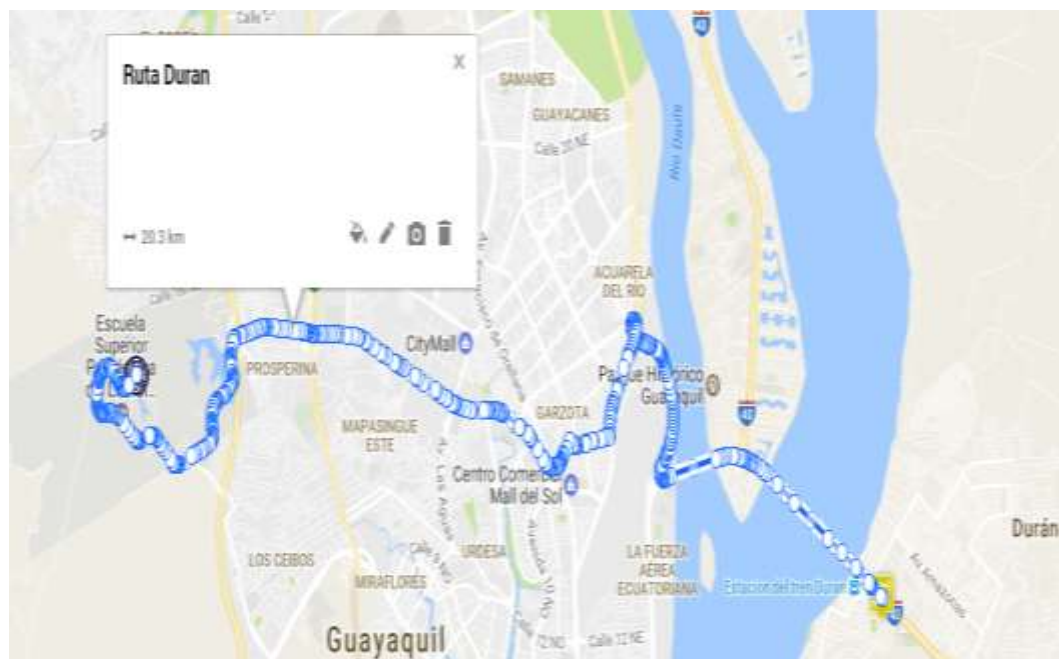
Ruta Acacias, Distancia 21.7 Km



Ruta Portete, Distancia 14.2 Km



Ruta Albán Borja, Distancia 9.72 Km



Ruta Duran, Distancia 20.3 km

## 5. ANEXO 5 CALENDARIO ACADÉMICO DE LA ESPOL AÑO 2015

El calendario académico es obtenido del sitio web de la ESPOL

<http://www.ESPOL.edu.ec/es/vida-estudiantil/calendario-academico>,

### Resumen de Calendario Académico

Descripción	Cantidad de Días
Actividades Formativas	155
Legalización de matrícula	2
Periodos de consejerías	20
Periodos de Inscripción	20
Evaluación	40
<b>Total</b>	<b>237</b>

### Calendario Académico detallado

Fecha	Actividad
05-09 Enero	Actividades formativas y PERÍODO DE CONSEJERÍAS ACADÉMICAS
12-16 Enero	Actividades formativas y PERÍODO DE CONSEJERÍAS ACADÉMICAS
19-23 Enero	Actividades formativas y PERÍODO DE CONSEJERÍAS ACADÉMICAS
26-30 Enero	Actividades formativas y PERÍODO DE CONSEJERÍAS ACADÉMICAS
02-06 Febrero	Actividades formativas y PERÍODO DE CONSEJERÍAS ACADÉMICAS
09-13 Febrero	Actividades formativas y PERÍODO DE CONSEJERÍAS ACADÉMICAS
16-20 Febrero	<b>SEGUNDA EVALUACIÓN</b> (16 y 17 Carnaval) y PERÍODO DE CONSEJERÍAS ACADÉMICAS
23-27 Febrero	<b>SEGUNDA EVALUACIÓN</b> (23 y 24) y Actividades formativas y PERÍODO DE CONSEJERÍAS ACADÉMICAS
02-06 Marzo	<b>TERCERA EVALUACIÓN</b> (desde el 4)

<b>Fecha</b>	<b>Actividad</b>
09-13 Marzo	<b>TERCERA EVALUACIÓN (9 y 10) y PROCESO FINAL</b>
02-06 Marzo	<b>PERÍODO DE CONSEJERÍAS ACADÉMICAS</b>
09-13 Marzo	<b>PERÍODO DE CONSEJERÍAS ACADÉMICAS</b>
16-14 Marzo-Abril	<b>Vacaciones Institucionales</b>
15-17 Abril	<b>Retorno de actividades de profesores</b>
20-24 Abril	<b>PERÍODO DE CONSEJERÍAS ACADÉMICAS</b>
27-29 Abril	<b>PERÍODO DE CONSEJERÍAS ACADÉMICAS</b>
30-03 Abril-Mayo	<b>PERÍODO DE INSCRIPCIÓN</b>
04-09 Mayo	<b>PERÍODO DE INSCRIPCIÓN e INDUCCIÓN A NOVATOS (excepto 9)</b>
10 Mayo	<b>Legalización de la matrícula ordinaria</b>
11-15 Mayo	<b>Actividades formativas y MATRÍCULA EXTRAORDINARIA</b>
18-22 Mayo	<b>Actividades formativas y MATRÍCULA ESPECIAL</b>
25-29 Mayo	<b>Actividades formativas y MATRÍCULA ESPECIAL</b>
01-05 Junio	<b>Actividades formativas y MATRÍCULA ESPECIAL (hasta el 1 de Julio)</b>
08-12 Junio	<b>Actividades formativas</b>
15-19 Junio	<b>Actividades formativas</b>
22-26 Junio	<b>Actividades formativas</b>
29-03 Junio-Julio	<b>Actividades formativas</b>
06-10 Julio	<b>PRIMERA EVALUACIÓN</b>
13-17 Julio	<b>Actividades formativas</b>
20-24 Julio	<b>Actividades formativas y PERÍODO DE CONSEJERÍAS ACADÉMICAS</b>
27-31 Julio	<b>Actividades formativas y PERÍODO DE CONSEJERÍAS ACADÉMICAS</b>



<b>Fecha</b>	<b>Actividad</b>
03-07 Agosto	Actividades formativas
10-14 Agosto	Actividades formativas (excepto 10)
17-21 Agosto	Actividades formativas
24-28 Agosto	Actividades formativas
31-04 Agosto-Septiembre	Actividades formativas
07-11 Septiembre	SEGUNDA EVALUACIÓN
14-18 Septiembre	SEMANA DE PREPARACIÓN
21-25 Septiembre	TERCERA EVALUACIÓN y PERÍODO DE CONSEJERÍAS ACADÉMICAS
28-02 Septiembre-Octubre	PROCESO FINAL y PERÍODO DE CONSEJERÍAS ACADÉMICAS
06-11 Octubre	PERÍODO DE INSCRIPCIÓN
13-18 Octubre	PERÍODO DE INSCRIPCIÓN
19 Octubre	Legalización de la matrícula
20-24 Octubre	Actividades formativas Y MATRÍCULA EXTRAORDINARIA
27-31 Octubre	Actividades formativas Y MATRÍCULA ESPECIAL
03-07 Noviembre	Actividades formativas (excepto 3)
10-14 Noviembre	Actividades formativas
17-21 Noviembre	Actividades formativas
24-28 Noviembre	Actividades formativas
01-05 Diciembre	Actividades formativas
08-12 Diciembre	PRIMERA EVALUACIÓN
15-19 Diciembre	Actividades formativas
22-24 Diciembre	Actividades formativas

Fecha	Actividad
25-02 Dic-Ene	VACACIONES ESTUDIANTILES



## 6. ANEXO 6 CALIBRACIÓN DE MODELO MOVES

Tabla A6.1 Influencia de las condiciones Meteorología en la estimación de CN

Condición Meteorológica Fija	Condición Meteorológica Variable	CN (g)
Humedad = 58%	Temperatura (°F)	
	32	597
	64	597
	77	597
	100	597
Temperatura =100 °F	Humedad (%)	
	25	597
	58	597
	100	597

Tabla A6.2. Influencia de la velocidad del autobús en la emisión de CN

Banda MOVES	Velocidad Max (km/h)	Velocidad Min (km/h)	Velocidad Med (km/h)	Carbono Negro (g)
1	0.00	4.05	2.03	689
2	4.05	12.07	8.06	710
3	12.07	20.12	16.10	632
4	20.12	28.17	24.15	505
5	28.17	36.22	32.20	539
6	36.22	44.27	40.25	566
7	44.27	52.32	48.30	589
8	52.32	60.37	56.35	597
9	60.37	68.42	64.40	604
10	68.42	76.47	72.45	611
11	76.47	84.52	80.50	546
12	84.52	92.57	88.55	488

Tabla A6.3 Influencia de Nivel de Azufre en las emisiones de CN

<b>Nivel de Azufre (ppm)</b>	<b>CN (g)</b>
15	597
50	597
150	597
500	597

Tabla A6.4 Influencia del porcentaje de BioDiesel % en la emisión de CN

<b>BioDiesel (%)</b>	<b>CN (g)</b>
5	597
10	573
20	524

## 7. ANEXO 7 UN CONTROL DE CALIDAD AL AIRE DE GUAYAQUIL

**Ocho estaciones se instalarán hasta el año 2018. La primera estará en el km 13 de la vía a la costa. Funcionará en diciembre**

KARINA SILVERA /GUAYAQUIL /26 SEP 2016 / 00:02/ HTTP://WWW.EXPRESO.EC/GUAYAQUIL/UN-CONTROL-DE-CALIDAD-AL-AIRE-DE-GUAYAQUIL-HA714889



Los gases que emanan los sistemas de escapes de los vehículos así como otro tipo de material particulado serán medidos por un sistema de monitoreo de la calidad del aire que hasta 2018 completará una red de ocho estaciones.

El proyecto denominado ‘Red de monitoreo de la calidad del aire para Guayaquil’ está a cargo del Departamento de Ambiente Municipal y servirá, en palabras del director Bolívar Coloma, para “en primer lugar, tener una línea base actualizada de las condiciones de la calidad del aire y ambiente de la ciudad, y segundo para tomar medidas de control correctivas si fuera el caso”, indica.

¿Cómo funcionará? Se instalarán ocho estaciones de monitoreo en total, las que estarán ubicadas en el perímetro urbano de Guayaquil. La primera será colocada en las próximas semanas, en el kilómetro 13 de la vía a la costa, en las instalaciones de la Universidad de los Hemisferios, con la que la autoridad municipal suscribió un convenio de cooperación mutua. Ellos permiten la instalación y el acceso a los técnicos enviados por el Municipio y a cambio la entidad aprueba que los estudiantes puedan hacer observaciones del funcionamiento de este sistema.

Coloma indica que la red medirá material particulado. “Que es el que se genera, por ejemplo, por una combustión inadecuada o por el polvo de las actividades de minería; el hollín de los carros; gases de combustión a nivel general”.

También medirá los gases de combustión: los que se generan por emisión de tubos de escape o chimeneas, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y ozono (O<sub>3</sub>); gases relacionados con el efecto invernadero que más compromete por el tema del calentamiento global.

El radio de acción que tendrá cada una de las estaciones es de 25 km y al implementar toda la red habrá cubierto más del 85 % del perímetro urbano de la ciudad. Junto con las estaciones para monitorear al aire, se va a considerar el monitoreo de ruido ambiente, acota Coloma.

Esto es parte de la estrategia cantonal ambiental que ha definido la Municipalidad. La red que medirá la calidad del aire brindará información para la ciudadanía y permitirá a las autoridades tomar las mejores decisiones para garantizar un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

“Por ejemplo, si determinamos que cierta zona está teniendo altos niveles de material particulado por los vehículos podremos dar lineamientos a la ATM para que establezca líneas de acción, como definir nuevas rutas de buses”, explica el funcionario.

Otro ejemplo que cita es en las avenidas Quito y Machala, por donde anteriormente circulaban buses y ahora solo vehículos livianos. “Igual vamos a monitorear allí para ver la variación y la incidencia, para saber si se hizo lo correcto o tengo que proponer otras alternativas”, dice Coloma.

El proyecto, enfatiza Coloma, va a estar muy relacionado con el tema tránsito, ordenamiento territorial también y con el tema de la cultura ciudadana “porque vamos a proteger el bienestar ciudadano con estas medidas”.