



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

**Universidad del Azuay
Facultad de Ciencia y Tecnología
Escuela de Ingeniería Automotriz**

**Inventario de emisiones de la ciudad de Cuenca, mediante MOVES
(Motor Vehicle Emission Simulator).**

Trabajo previo a la obtención del grado académico de:
Ingeniero Automotriz

Autor:

Alan Josué Zhuin Morocho

Director:

Ing. Daniel Guillermo Cordero Moreno, PhD

Cuenca – Ecuador

2024

Dedicatoria.

A mi querido padre.

Tu cariño incondicional, sacrificio y enseñanzas han sido la guía que me ha llevado hasta aquí. Siempre has creído en mí, incluso en los momentos en los que yo mismo dudaba. Tu fortaleza y perseverancia me han inspirado a seguir adelante y a nunca rendirme. Esta tesis es tan tuya como mía, porque sin tu apoyo, nada de esto hubiera sido posible.

A mis hermanos.

Gracias por ser mi refugio y mi fuerza. Su apoyo inquebrantable y sus palabras de aliento han sido un pilar fundamental en este viaje. Cada uno de ustedes ha contribuido de manera especial a mi crecimiento personal y académico. Sus risas, consejos y compañía han hecho que los momentos difíciles sean más llevaderos.

Agradecimientos.

Al concluir esta tesis, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todas aquellas personas y entidades que, de diversas maneras, han contribuido a la realización de este trabajo. Agradezco a mi director de tesis, Ing. Daniel Guillermo Cordero Moreno, PhD, por su invaluable guía, paciencia, y apoyo constante. Sus conocimientos y experiencia han sido fundamentales para el desarrollo de esta investigación. Su dedicación y compromiso con mi formación académica han dejado una huella imborrable en mi trayectoria. Cabe mencionar a todos mis profesores durante mi vida académica, gracias a ellos, he podido cambiar mi perspectiva del funcionamiento del mundo.

Resumen.

El inventario de emisiones de fuentes móviles es una herramienta que registra la cantidad de contaminantes emitidos por los vehículos en una región y tiempo determinados. Para desarrollar los inventarios se requiere del uso de factores de emisión (FE), los cuales se obtienen a través de medición de emisiones en laboratorio o en condiciones reales. También se puede obtener el FE, a través de los modelos de emisiones, tal como es el caso del modelo MOVES. En la ciudad de Cuenca, se han desarrollado cuatro inventarios, el último emitido en el 2021, el cual usa factores de emisión recomendados por la Agencia Europea de Medioambiente. Sin embargo, el uso de estos factores resta representatividad de las condiciones locales. Por tal motivo, se implementó el modelo de emisiones MOVES para generar FE de la zona urbana de la ciudad, año base 2023, a partir de la adquisición de datos reales que incluye datos de combustibles, clima, parque vehicular año 2021 y ciclos de conducción de cuatro vehículos de diferentes. Como resultado se obtuvo que la ciudad emite 653723.62 toneladas anuales (t/a) de CO₂ con FE de 335.27(g/km); 7899.11(t/a) de CO con FE de 4.05(g/km) ; 59.65(t/a) de CH₄ con FE de 0.0305(g/km); 106.47(t/a) de NO₂ con FE de 0.054(g/km); 821.25(t/a) de NO_x con FE de 0.421(g/km); 56.37(t/a) de PM₁₀ con FE de 0.0289(g/km); 51.52(t/a) de PM_{2.5} con FE de 0.026(g/km); 66.24(t/a) de SO₂ con FE de 0.033(g/km); y 348.95(t/a) de HC con FE de 0.17(g/km).

Palabras clave: emisiones vehiculares, inventario de emisiones, fuentes móviles, factor de emisión modelos para estimar emisiones, MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator).

Abstract.

The mobile source emission inventory is a tool that records the amount of pollution emitted by vehicles in a specific region and time period. Developing these inventories requires the use of emission factors (EF), which are obtained through emission measurements in laboratory or real-world conditions. EF can also be derived from emission models, such as the MOVES model. In the city of Cuenca, four inventories have been developed, the latest one issued in 2021, which uses emission factors recommended by the European Environment Agency. However, these factors may not accurately represent local conditions. Therefore, the MOVES emission model was implemented to generate EF for the urban area of the city, using 2023 as the base year. This implementation involved acquiring real data, including fuel information, climate data, the 2021 vehicle fleet, and the driving cycles of four different vehicles. As a result, it was determined that the city emits 653723.62 tons per year (t/year) of CO₂ with an EF of 335.27 g/km, 7899.11 t/year of CO with an EF of 4.05 g/km, 59.65 t/year of CH₄ with an EF of 0.0305 g/km, 106.47 t/year of NO₂ with an EF of 0.054 g/km, 821.25 t/year of NO_x with an EF of 0.421 g/km, 56.37 t/year of PM₁₀ with an EF of 0.0289 g/km, 51.52 t/year of PM_{2.5} with an EF of 0.026 g/km, 66.24 t/year of SO₂ with an EF of 0.033 g/km, and 348.95 t/year of HC with an EF of 0.17 g/km.

Key words: vehicular emissions, emissions inventory, mobile sources, emission factor, emission estimation models, MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator).

Índice de contenidos.

Abstract.....	v
Índice de contenidos.....	vi
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras.....	viii
Índice de ecuaciones.....	ix
Resumen.....	1
Abstract.....	1
Introducción.....	1
Materiales y métodos.....	3
Revisión del modelo.....	3
Entradas.....	3
Run Specification (RunSpec).....	3
Administrador de datos.....	5
Archivos de entrada.....	5
Source type population (Población de tipo de fuente).....	5
Age distribución (Distribución de edades).....	6
Road type Distribution (Distribución de tipo de carretera).....	6
Average Speed Distribution (Distribución de velocidad promedio).....	6
Meteorology (Meteorología).....	7
Start (Arranques).....	7
Vehicle miles traveled (millas recorridas por el vehículo).....	7
Fuel (Combustible).....	8
Fuelformulation (Formulación de combustibles).....	8
FuelSupply (Suministro de combustible).....	9
FuelusageFraction (Fracción de combustible usado).....	9
AVFT (Tipo de combustible y tecnología del vehículo).....	9
Ejecución de corrida.....	9
Resultados.....	9
Conclusiones.....	10
Recomendaciones.....	11
Referencias.....	11

Índice de tablas

Tabla 1. Datos requeridos por MOVES4.	5
Tabla 2. Información recopilada. Fuente: Autor.	5
Tabla 3. Homologación de categorías vehiculares. Fuente: Autor.	5
Tabla 4. Rangos de velocidad (US EPA, 2023).	6
Tabla 5. Millas diarias generadas para cada fuente. Fuente: Autor.	7
Tabla 6. Combustibles en MOVES (US EPA, 2023).	8
Tabla 7. Codificación de combustibles. Fuente: Autor.	8
Tabla 8. Propiedades de los combustibles aplicados. Fuente: Autor.	8
Tabla 9. Volumen de combustibles consumidos por el sector automotriz en el Cantón Cuenca (Alcaldía de Cuenca & Red de Monitoreo de Calidad del Aire de la EMOV EP, 2021)	9
Tabla 10. Tecnologías de motor MOVES (US EPA, 2023)	9
Tabla 11. Resultados con MOVES. Fuente: Autor.	9
Tabla 12. Factor de emisión estimado con MOVES. Fuente: Autor.	10

Índice de figuras.

Figura 1. Vehículos matriculados per cápita en Ecuador (INEC, 2022).	2
Figura 2. Funcionamiento de MOVES (US EPA, 2020)	3
Figura 3. Ficheros del RunSpec. Fuente: Autor.	3
Figura 4. Parámetros en la ficha Scale. Fuente: Autor.	3
Figura 5. Parámetros en la ficha Time Spans. Fuente: Autor.	4
Figura 6. Parámetros en la ficha Geographic Bounds. Fuente: Autor.	4
Figura 7. Parámetros en la ficha Onroad vehicles. Fuente: Autor.	4
Figura 8. Parámetros en la ficha Road type. Fuente: Autor.	4
Figura 9. Contaminantes seleccionados. Fuente: Autor.	4
Figura 10. Parámetros en la ficha General Output. Fuente: Autor.	4
Figura 11. Parámetros en la ficha Output emissions detail. Fuente: Autor.	5
Figura 12. Flota vehicular Cuenca 2021 (VehículosCuencaEMOV, 2021).	6
Figura 13. Distribución de edades para la categoría passenger car. Fuente: Autor.	6
Figura 14. Distribución de velocidad de passenger car, de 6 a 7 am, en los fines de semana. Fuente: Autor.	7
Figura 15. Temperatura por hora del día, año 2023 (DatosClimaVUE50_UDA_IERSE, 2023).	7
Figura 16. Humedad relativa por hora del día, año 2023 (DatosClimaVUE50_UDA_IERSE, 2023). ...	7
Figura 17. Número de arranques diarios por categoría. Fuente: Autor.	7
Figura 18. Distribución en porcentaje de millas generadas para la categoría passenger car, en días laborables. Fuente: Autor.	8
Figura 19. AVFT para passenger truck .Fuente: Autor.	9
Figura 20. Ejecución de corrida. Fuente: Autor.	9

Índice de ecuaciones.

Ecuación 1. E200 gasolina sin etanol (US EPA, 2020, p. 11) .	9
Ecuación 2. E300 gasolina sin etanol (US EPA, 2020, p. 11).	9
Ecuación 3. E200 gasolina con etanol (US EPA, 2020, p. 11).	9
Ecuación 4. E200 gasolina con etanol (US EPA, 2020, p. 11).	9

Inventario de emisiones de la ciudad de Cuenca, mediante MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator)

Daniel Guillermo Cordero Moreno

Alan Josué Zhuin Morocho

Escuela de Ingeniería Automotriz, Universidad del Azuay

Cuenca, Ecuador

dacorderom@uazuay.edu.ec

alanjosuezm@es.uazuay.edu.ec

Resumen.

El inventario de emisiones de fuentes móviles es una herramienta que registra la cantidad de contaminantes emitidos por los vehículos en una región y tiempo determinados. Para desarrollar los inventarios se requiere del uso de factores de emisión (FE), los cuales se obtienen a través de medición de emisiones en laboratorio o en condiciones reales. También se puede obtener el FE, a través de los modelos de emisiones, tal como es el caso del modelo MOVES. En la ciudad de Cuenca, se han desarrollado cuatro inventarios, el último emitido en el 2021, el cual usa factores de emisión recomendados por la Agencia Europea de Medioambiente. Sin embargo, el uso de estos factores resta representatividad de las condiciones locales. Por tal motivo, se implementó el modelo de emisiones MOVES para generar FE de la zona urbana de la ciudad, año base 2023, a partir de la adquisición de datos reales que incluye datos de combustibles, clima, parque vehicular año 2021 y ciclos de conducción de cuatro vehículos de diferentes. Como resultado se obtuvo que la ciudad emite 653723.62 toneladas anuales (t/a) de CO₂ con FE de 335.27(g/km); 7899.11(t/a) de CO con FE de 4.05(g/km) , 59.65(t/a) de CH₄ con FE de 0.0305(g/km), 106.47(t/a) de NO₂ con FE de 0.054(g/km), 821.25(t/a) de NO_x con FE de 0.421(g/km), 56.37(t/a) de PM₁₀ con FE de 0.0289(g/km), 51.52(t/a) de PM_{2.5} con FE de 0.026(g/km), 66.24(t/a) de SO₂ con FE de 0.033(g/km) y 348.95(t/a) de HC con FE de 0.17(g/km).

Palabras clave: contaminantes, inventario de emisiones, fuentes móviles, factor de emisión, modelos de emisiones, MOVES.

Abstract.

The mobile source emission inventory is a tool that records the amount of pollution emitted by vehicles in a specific region and time period. Developing these inventories requires the use of emission factors (EF), which are obtained through emission measurements in laboratory or real-world conditions. EF can also be derived from emission models, such as the MOVES model. In the city of

Cuenca, four inventories have been developed, the latest one issued in 2021, which uses emission factors recommended by the European Environment Agency. However, these factors may not accurately represent local conditions. Therefore, the MOVES emission model was implemented to generate EF for the urban area of the city, using 2023 as the base year. This implementation involved acquiring real data, including fuel information, climate data, the 2021 vehicle fleet, and the driving cycles of four different vehicles.

As a result, it was determined that the city emits 653723.62 tons per year (t/year) of CO₂ with an EF of 335.27 g/km, 7899.11 t/year of CO with an EF of 4.05 g/km, 59.65 t/year of CH₄ with an EF of 0.0305 g/km, 106.47 t/year of NO₂ with an EF of 0.054 g/km, 821.25 t/year of NO_x with an EF of 0.421 g/km, 56.37 t/year of PM₁₀ with an EF of 0.0289 g/km, 51.52 t/year of PM_{2.5} with an EF of 0.026 g/km, 66.24 t/year of SO₂ with an EF of 0.033 g/km, and 348.95 t/year of HC with an EF of 0.17 g/km

Key words: pollutants, emission inventory, mobile sources, emission factor, emission models, MOVES.

Introducción.

El transporte es uno de los principales contribuyentes a la contaminación atmosférica en zonas urbanas. Las emisiones vehiculares, combinadas con al aumento del número de vehículos per cápita (número de vehículos por cada mil habitantes), representan una amenaza significativa para la calidad del aire y la salud pública (Celi, 2018)

Las emisiones vehiculares son generadas por la combustión que se produce en el motor, lo que a su vez produce los gases de escape. En los gases de escape existen los gases de efecto invernadero (GEI), contaminantes criterio y tóxicos (Gaffney & Marley, 2009).

Los gases de efecto invernadero absorben y retienen el calor en la atmósfera, contribuyendo al calentamiento global. Los principales son el vapor de agua, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (NO_x) y gases fluorados (Griffin, 2006).

El dióxido de carbono es el gas que menor capacidad tiene para retener energía, en comparación con el metano o los gases fluorados, pero su permanencia en la atmósfera es mucho más larga (Understanding Global Warming Potentials | US EPA, n.d.).

Los contaminantes criterio y tóxicos son sustancias reguladas por su impacto nocivo en la salud y el ambiente. Los principales son partículas suspendidas (PM10 y PM2.5), óxidos de nitrógeno y azufre (NOx y SOx), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV) y plomo (Calidad Del Aire Fronterizo | CICA | CATC | TTN | Air & Radiation | US EPA, n.d.).

En Ecuador, el transporte fue responsable del 52% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el año 2021, siendo en el principal causante de la huella de carbono del país (MAATE, 2022).

Lo mencionado en el párrafo anterior se ve reflejado en el crecimiento del parque vehicular en el Ecuador. Como se observa en la figura 1, la provincia del Azuay figura entre las dos provincias con mayor tasa de vehículos per cápita superando la media nacional de 143 (INEC, 2022).

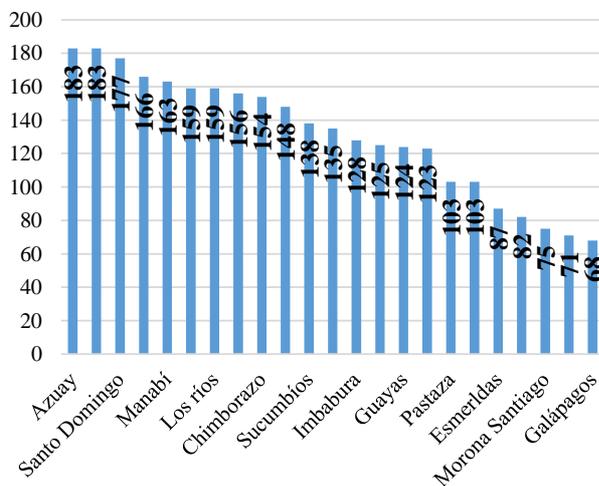


Figura 1. Vehículos matriculados per cápita en Ecuador (INEC, 2022).

En años recientes en Cuenca, ha habido un aumento del 4 al 5% en el número de vehículos, superando el ritmo de crecimiento de la población que alcanza el 2% (Beltrán, 2023)

La ciudad está experimentando un aumento del tráfico y contaminación debido al incremento de vehículos. Por lo tanto, es vital cuantificar las emisiones de fuentes móviles (vehículos), a través de un inventario de emisiones. Esta herramienta es crucial para controlar la calidad del aire e identificar las fuentes de contaminación.

Un inventario de emisiones es el registro de la cantidad de contaminantes emitidos en una región y periodo de tiempo específicos. Para entender cómo la actividad de los vehículos se relaciona con las emisiones de un tipo específico de fuente se requieren de factores de emisión (Pulles & Heslinga, 2007).

Los factores de emisión provienen de mediciones de emisiones de vehículos que se realizan en diferentes entornos, ya sea en laboratorios mediante pruebas de motores y chasis en dinamómetros; o en carretera con el

sistema portable de medición de emisiones PEMS (Franco et al., 2013).

Una opción para conseguir los factores de emisión es a través del uso de modelos de emisiones que emplean información sobre las condiciones de operación del vehículo, como el ciclo de conducción, tiempo de reposo, número de arranques, etc. Hay diversos modelos que difieren en los datos de entrada, algunos requieren la velocidad media (como COPERT o EMFAC), mientras que otros requieren las condiciones de conducción (como HBEFA) o información sobre el estado del motor o del vehículo (como PHEM o MOVES). Es importante destacar que la validación de estos modelos de emisiones se lleva a cabo con los métodos de medición de emisiones mencionados en el párrafo anterior (Smit et al., 2010).

En situaciones donde la información y los recursos son limitados, se recurre a los factores de emisión de bases de datos como el Manual de Inventario de Emisiones del Programa Europeo de Monitoreo y Evaluación/Agencia Europea de Medioambiente (EMEP/EEA), la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA), Clearing for Inventories & Emissions Factors, etc (Pulles & Heslinga, 2007).

Sin embargo, la adopción de factores de emisión recomendados le resta representatividad al inventario de emisiones de la región de estudio, generando incertidumbre en los resultados.

En la ciudad de Cuenca, la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire funciona desde 2008 y se encarga de elaborar los inventarios de emisiones atmosféricas del Cantón Cuenca. Hasta ahora, se han realizado cuatro inventarios, siendo el último publicado en 2021. Los factores de emisión utilizados para este inventario se basaron en los del inventario de 2014 y de la EMEP/EEA. Este último informe destaca la necesidad de crear factores de emisión específicos para el cantón. Por ello, se recomienda usar el modelo computacional MOBILE, conocido actualmente como MOVES (Alcaldía de Cuenca & Red de Monitoreo de Calidad del Aire de la EMOV EP, 2021)

De lo mencionado anteriormente radica la importancia de este estudio, con el cual se generó un entendimiento del funcionamiento de este modelo computacional para obtener factores de emisión y generar un inventario de emisiones cuyos resultados reduzcan la incertidumbre producida por el uso de factores de emisión recomendados.

MOVES es un modelo computacional de emisiones desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) para estimar las emisiones de fuentes móviles y fijas; para contaminantes atmosféricos criterio, gases de efecto invernadero y tóxicos atmosféricos. El modelo toma en cuenta una variedad de información, como el tipo de vehículo, antigüedad, propiedades del combustible, el clima, el ciclo de conducción (relación velocidad tiempo del vehículo), etc. Al utilizar esta información, el programa estima las emisiones de contaminantes en unidades de masa o como un factor de emisión. Se puede usar datos por defecto o se puede introducir nuevos datos, lo que genera la posibilidad de adaptarlo fuera del territorio estadounidense (US EPA, 2023)

El modelo MOVES, que fue creado originalmente para los Estados Unidos, está siendo utilizado en otros países. En el año 2022, se adaptó la versión MOVES2014a de este modelo para ser usada en las ciudades de Bogotá, Bucaramanga y Cúcuta en Colombia. Durante este estudio, se calcularon los factores de emisión de los vehículos utilizando información sobre las emisiones y la actividad del tráfico en estas ciudades. Al comparar los resultados obtenidos con MOVES con las estimaciones previas de inventarios de emisiones, se encontraron diferencias significativas. Esto podría deberse al tratamiento de los datos y al uso de modelos diferentes (Puentes et al., 2022)

En Ecuador, se realizó un estudio en el año 2015 utilizando el modelo MOVES2014a en la ciudad de Santo Domingo. El objetivo de este estudio fue estimar las emisiones de los vehículos en la Universidad Tecnológica Equinoccial de Santo Domingo. Como resultado del estudio, se encontró que se emiten anualmente 1.864.753 gramos de CO, 221.473 gramos de COVs, 245.108 gramos de NOx, 5.550 gramos de PM10, 5.051 gramos de PM2,5 y 6.370 gramos de SO2 (Gómez & Garzón, 2016)

Materiales y métodos.

La investigación se concentra en la parte urbana de Cuenca, situada en el centro-sur de los Andes a una altura media de 2550 metros sobre el nivel del mar (Alcaldía de Cuenca & Red de Monitoreo de Calidad del Aire de la EMOV EP, 2021)

El período de modelado varía entre las 5 de la mañana hasta la medianoche del año 2023. El análisis se enfoca en los vehículos matriculados en la ciudad. Para llevar a cabo este estudio, se empleó el software gratuito MOVES 4.0.1 y el procesador de datos HEIDESQL que se instaló de forma conjunta. Para el análisis de datos se utilizaron los programas Excel, Python y Visual Studio Code.

Revisión del modelo.

Como punto de partida, se estudió el manual técnico del software conjuntamente con la manipulación del mismo, para determinar la información requerida por el modelo y la forma en la que se ingresa. La Figura 2 presenta la forma en la que se ingresa la información y obtener los resultados en el software de modelación MOVES4.0.1.

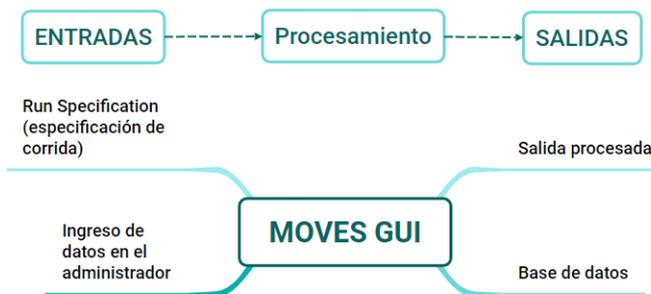


Figura 2. Funcionamiento de MOVES (US EPA, 2020)

Entradas.

Como se pudo observar en la figura 2 para ingresar la información en el software MOVES 4.0.1 esta se divide en dos etapas: Run Specification (Especificación de corrida) y el administrador de datos.

Run Specification (RunSpec).

Archivo donde se establecen los parámetros de simulación como: la escala geográfica, período de tiempo, tipos de vehículos y carreteras, contaminantes y unidades. Se administra en la interfaz gráfica de MOVES, tal como se muestra en la figura 3.

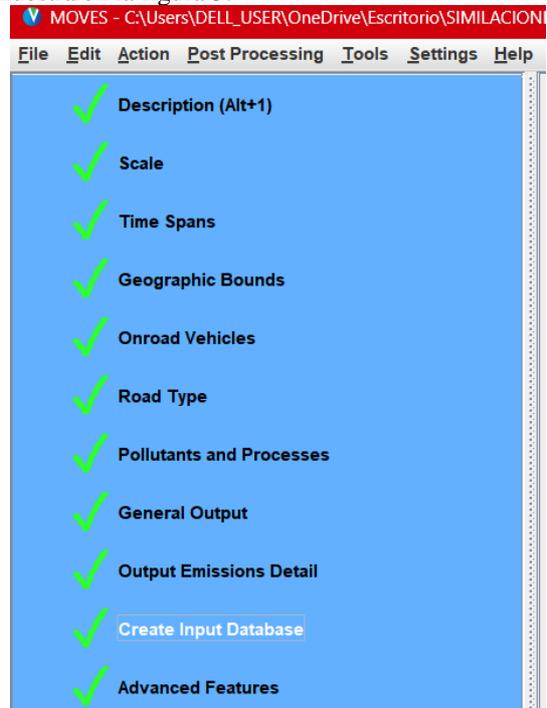


Figura 3. Archivos del RunSpec. Fuente: Autor.

En la figura 4 se presentan los parámetros seleccionados en la ficha “Scale (escala)”.

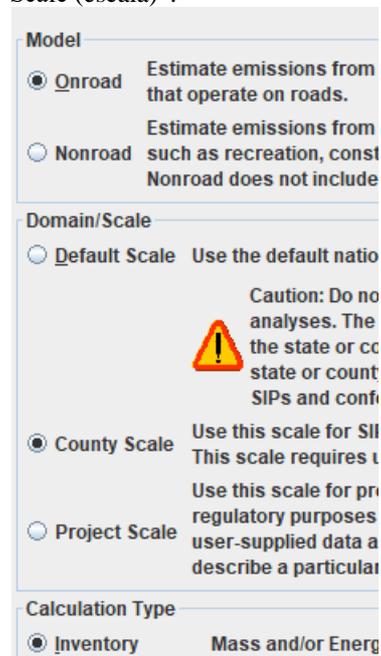


Figura 4. Parámetros en la ficha Scale. Fuente: Autor.

En la figura 5 se presentan los parámetros seleccionados en la ficha “Time Spans (intervalo de tiempo)”.

Figura 5. Parámetros en la ficha Time Spans. Fuente: Autor.

En la figura 6 se presentan los parámetros seleccionados en la ficha “Geographic Bounds (Límites geográficos)”. Es importante resaltar que se seleccionó un Estado y Condado, arbitrario y a través del procesador de datos HEIDISQL, y se cambió el nombre de las variables por Azuay y Cuenca, y se ingresó la presión atmosférica.

Figura 6. Parámetros en la ficha Geographic Bounds. Fuente: Autor.

En la figura 7 se presentan los parámetros seleccionados en la ficha “Onroad vehicles (Vehículos en carretera)”.

Figura 7. Parámetros en la ficha Onroad vehicles. Fuente: Autor.

En la figura 8 se presentan los parámetros seleccionados en la ficha “Road type (tipo de carretera)”.

Figura 8. Parámetros en la ficha Road type. Fuente: Autor.

En la figura 9 se presentan los contaminantes seleccionados en la ficha “Pollutants and processes (contaminantes y los procesos)”.

Selected	Pollutant
<input type="checkbox"/>	Total Gaseous Hydrocarbons
<input type="checkbox"/>	Non-Methane Hydrocarbons
<input type="checkbox"/>	Non-Methane Organic Gases
<input type="checkbox"/>	Total Organic Gases
<input type="checkbox"/>	Volatile Organic Compounds
<input checked="" type="checkbox"/>	Methane (CH4)
<input checked="" type="checkbox"/>	Carbon Monoxide (CO)
<input checked="" type="checkbox"/>	Oxides of Nitrogen (NOx)
<input type="checkbox"/>	Nitrogen Oxide (NO)
<input checked="" type="checkbox"/>	Nitrogen Dioxide (NO2)
<input checked="" type="checkbox"/>	Primary Exhaust PM2.5 - Total
<input checked="" type="checkbox"/>	[+] Primary Exhaust PM2.5 - Species
<input type="checkbox"/>	Primary PM2.5 - Brakewear Particulate
<input type="checkbox"/>	Primary PM2.5 - Tirewear Particulate
<input checked="" type="checkbox"/>	Primary Exhaust PM10 - Total
<input type="checkbox"/>	Primary PM10 - Brakewear Particulate
<input type="checkbox"/>	Primary PM10 - Tirewear Particulate
<input checked="" type="checkbox"/>	Sulfur Dioxide (SO2)
<input checked="" type="checkbox"/>	Total Energy Consumption
<input checked="" type="checkbox"/>	Atmospheric CO2
<input checked="" type="checkbox"/>	CO2 Equivalent

Figura 9. Contaminantes seleccionados. Fuente: Autor

En la figura 10 se presentan los parámetros seleccionados en la ficha “General Output (resultado general)”.

Figura 10. Parámetros en la ficha General Output. Fuente: Autor.

En la figura 11 se presentan los parámetros seleccionados en la ficha “Output emissions detail (detalle de resultados)”.

The screenshot shows a web-based interface for 'Output Aggregation'. It includes a 'Time' dropdown set to 'Hour' and a 'Geographic' dropdown set to 'COUNTY'. There are three main sections of filters: 'for All Vehicle/Equipment Categories' with options like 'Model Year', 'Fuel Type' (checked), 'Fuel Subtype', 'Emission Process', and 'SCC'; 'Onroad' with 'Road Type' and 'Source Use Type' (checked); and 'Nonroad' with 'Sector', 'Engine Tech.', and 'HP Class'.

Figura 11. Parámetros en la ficha Output emissions detail. Fuente: Autor.

Una vez que se completan de forma correcta los ficheros mencionados anteriormente, se habilita el fichero “Create Input database”, el cual nos permite acceder al administrador de datos, donde cargamos y editamos la base de datos entrada.

Administrador de datos.

En la tabla se presentan los datos requeridos por el administrador.

Tabla 1. Datos requeridos por MOVES4.

Requisitos	Observación
Age distribución (distribución de edades)	Obligatorio
Meteorology (meteorología)	Obligatorio
Fuel (combustible)	Obligatorio
Source type population (población de tipo de fuente)	Obligatorio
Vehicle miles traveled (millas recorridas por el vehículo)	Obligatorio
Average Speed Distribution (distribución de velocidad promedio)	Obligatorio
Road type Distribution (distribución de tipo de carretera)	Obligatorio
Idle (ralentí)	Opcional
Start (arranques)	Opcional
Hotelling	Opcional
Inspection/Maintenance (inspección/mantenimiento)	Opcional
Retrofit data (datos de modernización)	Opcional

Obtención de datos.

La obtención de la información requerida en la tabla 1, se realizó a través de una solicitud formal de datos a instituciones pertinentes, encuestas y recopilación de datos de proyectos previos y en desarrollo. En la tabla 2 se detalla la información recopilada.

Tabla 2. Información recopilada. Fuente: Autor.

Institución o proyecto	Descripción
Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC EP).	Flota de recolectores 2024, conjuntamente con su peso bruto vehicular.

Institución o proyecto	Descripción
Análisis de gasolinas Cuenca 2024.	Propiedades químicas y físicas de gasolinas eco país y super, con muestras tomadas de 21 estaciones (GasolinasCuenca,2024).
Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador, IERSE.	Temperatura y humedad relativa de febrero a noviembre del año 2023 (DatosClimaVUE50_UDA_IERSE, 2023).
Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca (EMOV EP).	Vehículos matriculados 2021 (VehículosCuencaEMOV, 2021)
Proyecto DIPOR.	Registro de ciclo de conducción y RPM de cuatro camiones comerciales livianos, durante 159 días en total.
Proyecto telemetría con la plataforma MYGEOTAB.	Registro de ciclo de conducción, RPM, número de arranques, etc. De un bus, dos recolectores y un vehículo liviano . Durante 14, 49 y 35 días respectivamente.

Archivos de entrada.

El ingreso de la información requerida en la tabla 2 se realiza mediante archivos Excel, cuyos formatos son suministrados por el mismo software, a continuación, se describe cada uno de ellos.

Source type population (Población de tipo de fuente).

Ingreso del total de vehículos en la región de estudio, esto debe clasificarse en categorías permitidas en MOVES, tal como se indica en la tabla 4.

Tabla 3. Homologación de categorías vehiculares. Fuente: Autor.

MOVES-Estados Unidos.	EMOV
Motorcycles (11).	Motocicletas(US EPA, 2023). Motocicleta.
Passenger car (21).	Vehículo ligero, peso bruto vehicular menor o igual a 10000 lb (US EPA, 2023) Automóvil cuatro tiempos. Vehículos híbridos.

MOVES-Estados Unidos.		EMOV
Passenger truck (31).	Camioneta para transportar pasajeros, peso bruto vehicular entre 8500lb y 14000lb y cuatro neumáticos(US EPA, 2023)	Camionetas.
Light comercial truck (32).	Camión de uso comercial, peso bruto vehicular 8500-14000lb y cuatro neumáticos (US EPA, 2023).	Camión particular liviano, furgoneta y carga liviana.
Transit bus (42).	Bus de pasajeros con peso bruto vehicular mayor a 14000lb (US EPA, 2023).	Bus urbano.
School bus (43).	Bus escolar con peso bruto vehicular mayor de 8500lb (US EPA, 2023).	Bus escolar. Furgoneta escolar. Microbús escolar.
Refuse truck (51).	Camión de basura con peso bruto vehicular mayor a 8500lb (EPA, 2023).	Recolectores de basura.

En base a los datos de la EMOV EP y EMAC EP se identificaron 104721 vehículos, sin tomar en cuenta a los vehículos de carga pesada. Estos se dividieron en 7 categorías vehiculares, tal como se observa en la figura 12.

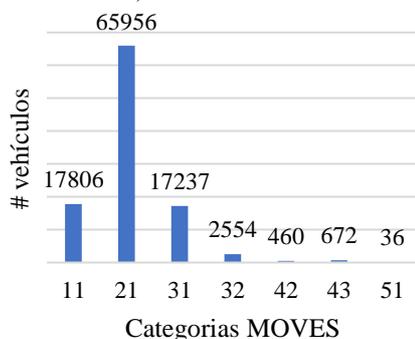


Figura 12. Flota vehicular Cuenca 2021 (VehículosCuencaEMOV, 2021).

Es importante resaltar que, para completar la información de los modos de operación de las categorías vehiculares, se compartió información entre categorías grupo uno (11, 21 y 31) y grupo dos (42 y 43).

Age distribución (Distribución de edades)

En base a los datos de la EMOV EP y EMAC EP se determinó la antigüedad del parque vehicular para cada una de las categorías vehiculares. En la figura 13 se puede observar la distribución para la categoría passenger car.

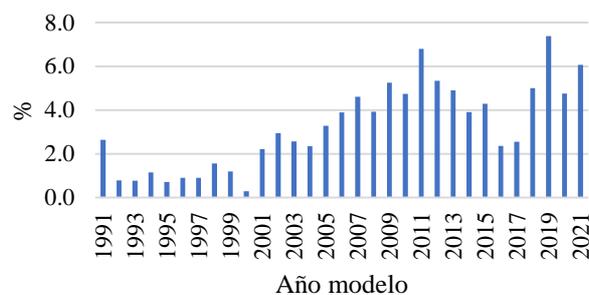


Figura 13. Distribución de edades para la categoría passenger car. Fuente: Autor

Road type Distribution (Distribución de tipo de carretera).

Registro de la distribución de millas recorridas por cada categoría vehicular, en los cinco tipos de carretera determinados por MOVES.

“Fuera de la red (1): Todos los lugares donde la actividad predominante es el arranque, estacionamiento y ralentí de vehículos (estacionamientos, paradas de camiones, áreas de descanso, terminales de carga o autobuses)” (US EPA, 2023, p. 19).

“Acceso restringido rural (2): Carreteras rurales a las que solo se puede acceder mediante una rampa de acceso” (US EPA, 2023, p. 19).

“Acceso rural sin restricción (3): Todos los demás caminos rurales (arteriales, conectores y calles locales)” (US EPA, 2023, p. 19).

“Acceso restringido urbano (4): Autopistas urbanas a las que solo se puede acceder mediante una rampa de acceso” (US EPA, 2023, p. 19).

“Acceso urbano sin restricciones (5): Todas las demás vías urbanas (arteriales, conectores y calles locales)” (US EPA, 2023, p. 19).

Para simplificar los datos necesarios para la modelación se consideró que las millas recorridas se producen en su totalidad en el “Acceso urbano sin restricciones”.

Average Speed Distribution (Distribución de velocidad promedio).

Los ciclos de conducción se ingresan a través de distribuciones de velocidad en 16 rangos establecidos por el modelo MOVES, como se observa en la tabla 8. Se determina para cada categoría vehicular, en cada hora del día y para cada tipo de camino, tanto en días laborables como el fin de semana.

Tabla 4. Rangos de velocidad (US EPA, 2023).

SpeedBinID	SpeedBinDesc
1	speed < 2.5mph
...	...
15	67.5mph <= speed < 72.5mph
16	72.5mph <= speed

Para completar este archivo se emplearon los ciclos de conducción de la base de datos, que fueron corregidos (mediante interpolación lineal) y procesados en Excel y Python. En la figura 14 se puede observar la distribución de una hora para la categoría passenger car.

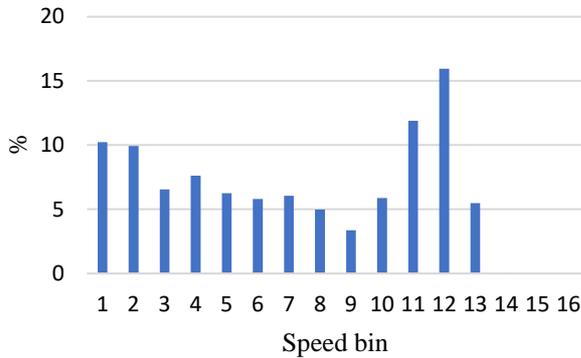


Figura 14. Distribución de velocidad de passenger car, de 6 a 7 am, en los fines de semana. Fuente: Autor.

Meteorology (Meteorología)

Registro del perfil de temperaturas y humedades relativas de la ciudad. Para obtener esta información se empleó la base de datos del IERSE, con el cual se obtuvo la temperatura y humedad relativa promedio para cada hora del día y para cada mes del año. Por falta de datos del mes de enero, se representó este mes con el promedio las variables de todo el año. En las figuras 15 y 14 se observa el perfil de temperatura y humedad relativa por horas en el año 2023.

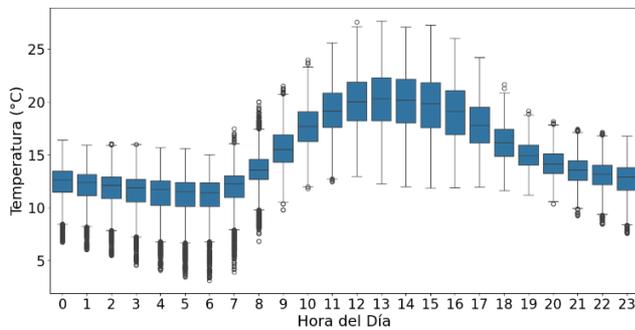


Figura 15. Temperatura por hora del día, año 2023 (DatosClimaVUE50_UDA_IERSE, 2023).

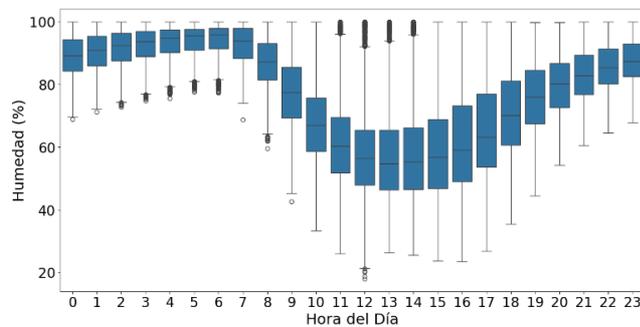


Figura 16. Humedad relativa por hora del día, año 2023 (DatosClimaVUE50_UDA_IERSE, 2023).

Start (Arranques).

Número de arrancadas diarias (para los días laborables y el fin de semana), para cada una de las categorías de vehículos. Para completar información se analizó y promedió el número de arranques identificables en la velocidad del motor de los ciclos de conducción, en el caso de datos de MYGEOTAB se registra directamente el número de arranques. En la figura 15 se observa el número de arranques para cada categoría.

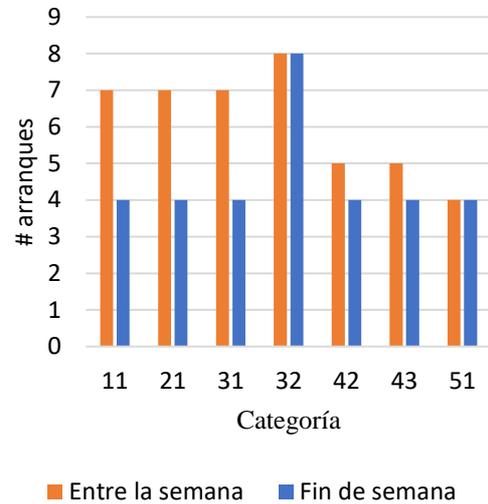


Figura 17. Número de arranques diarios por categoría. Fuente: Autor.

Vehicle miles traveled (millas recorridas por el vehículo).

Registro de las millas recorridas por número total de fuentes de cada categoría vehicular para cada mes del año, tanto en días laborables como en fines de semana. Además, se determinó la distribución de millas generadas en cada hora del día. Para completar esta información, se emplearon los ciclos de conducción, con los cuales se obtuvo el promedio de millas diarias recorridas y las horas en las que se generan. En la tabla 5 se observa el promedio de millas diarias generadas por cada categoría, y en la figura 18 la distribución de millas generadas para la categoría passenger car en un día entre la semana.

Tabla 5. Millas diarias generadas para cada fuente. Fuente: Autor.

Fuente	Un día entre la semana	Un día en el Fin de semana
11	31 mi (49.87km)	28 mi (45.052km)
21	31 mi (49.87km)	28 mi (45.052km)
31	31 mi (49.87km)	28 mi (45.052km)
32	44 mi (70.79km)	44 mi (70.79km)
42	141 mi (226.86km)	137 mi (220.43km)
43	141 mi (226.86km)	137 mi (220.43km)
51	108 mi (173.77km)	124 mi (199.51km)

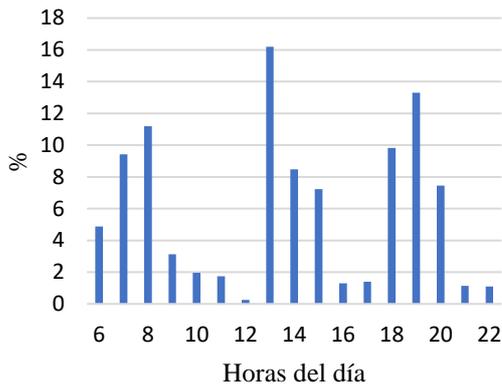


Figura 18.Distribución en porcentaje de millas generadas para la categoría passenger car, en días laborables. Fuente: Autor.

Fuel (Combustible)

Registro de los combustibles suministrados en la ciudad, en MOVES se dispone de cinco tipos de combustibles y de 14 clases de subtipos combustibles, de los cuales nos enfocaremos en tres, los cuales son presentados en la tabla 6.

Tabla 6.Combustibles en MOVES (US EPA, 2023).

Tipo (ID)	Descripción	Subtipo (ID)	Descripción
1	Gasolina	10	Gasolina convencional
1	Gasolina	14	Gasohol (E5)
2	Diesel	21	Mezcla biodiesel

Para completar este archivo se requiere de cuatro fichas: FuelSupply, Fuel formulation, FuelusageFraction y AVFT.

Fuelformulation (Formulación de combustibles).

Propiedades físicas y químicas de los combustibles suministrados en la región de estudio. Se debe asignar un código arbitrario que el identificador del combustible en el modelo, tal como se observa en la tabla7 .

Tabla 7.Codificación de combustibles. Fuente: Autor.

Combustible	Código	Subtipo (ID)
Gasolina super	101	10
Eco país	62000	14
Diesel mezclado	112001	21

Al establecer la codificación de los combustibles se procede a ingresar los parámetros físicos y químicos requeridos por el modelo. Para desarrollar esta ficha se empleó la base de datos (GasolinasCuenca,2024), y se complementa con valores de las normas técnicas ecuatorianas (Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 935. Productos Derivados de Petróleo. Gasolina. Requisitos,

2021) y (Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 1489. Productos Derivados de Petróleo. Diésel. Requisitos, 2021). En la tabla 8 se presentan las propiedades ingresadas.

Tabla 8.Propiedades de los combustibles aplicados. Fuente: Autor.

Parámetros	Gasolina super	Eco país	Diesel premium
RVP (psi)	7.1 (Gasolinas Cuenca,2024).	8.3 (Gasolinas Cuenca,2024).	
sulfurLevel (ppm)	37.17 (Gasolinas Cuenca,2024).	49.14 (Gasolinas Cuenca,2024).	Max 450 (NTE INEN 1489)
ETOH Volume (%vol)		3.94 (Gasolinas Cuenca,2024).	
Aromatic Content (%wt)	35 (NTE INEN 935)	35 (NTE INEN 935)	
Olefin Content (%wt)	25 (NTE INEN 935)	25 (NTE INEN 935)	
Benzene Content (%wt)	2 (NTE INEN 935)	2 (NTE INEN 935)	
E200 (°F)	40.533 (Ecuación 1)	47.11 (Ecuación 3)	
E300 (°F)	84.74 (Ecuación 2)	82.36 (Ecuación 4)	
bioDieselEst er Volume (%vol)			10 (NTE INEN 1489)
Cetane Index			Mín. 45 (NTE INEN 1489)
T50 (°F)	219.1388 (Gasolinas Cuenca,2024).	213.062 (Gasolinas Cuenca,2024).	

Parámetros	Gasolina super	Eco país	Diesel premium
T90 (°F)	321.48 (Gasolinas Cuenca,20 24).	333.47 (Gasolinas Cuenca,20 24).	Max. 680 (NTE INEN 1489)

Para obtener E200 y E300 se utilizó con las ecuaciones 1 y 2 para gasolinas sin etanol, y con las ecuaciones 3 y 4 para gasolinas con etanol.

Ecuación 1. E200 gasolina sin etanol (US EPA, 2020, p. 11) .

$$E200 = 147.91 - \frac{T50}{2.0408}$$

Ecuación 2. E300 gasolina sin etanol (US EPA, 2020, p. 11).

$$E300 = 155.47 - \frac{T90}{4.5454}$$

Ecuación 3. E200 gasolina con etanol (US EPA, 2020, p. 11).

$$E200 = 87.784 - 0.1909 * T50$$

Ecuación 4. E200 gasolina con etanol (US EPA, 2020, p. 11).

$$E300 = 156.69 - 0.2229 * T90$$

FuelSupply (Suministro de combustible).

Participación de mercado para combustibles de un mismo tipo. En la ciudad se comercializa un tipo de diésel, que es el diésel premium; con respecto a las gasolinas se distribuye dos clases, la gasolina super y el eco país. Para calcular la participación de mercado se tomó en cuenta el volumen de combustibles consumidos durante el año 2021, tal como se presenta en la tabla 9.

Tabla 9. Volumen de combustibles consumidos por el sector automotriz en el Cantón Cuenca (Alcaldía de Cuenca & Red de Monitoreo de Calidad del Aire de la EMOV EP, 2021)

	Super	Eco país	Diesel Premium
Galones	4042517	50232941	31954102
%	8	92	100

FuelusageFraction (Fracción de combustible usado).

Frecuencia con la que vehículos con capacidad de combustible E85, usan este combustible frente a la gasolina convencional (US EPA, 2023). Como no se comercializa este combustible en la ciudad, se consideró que estos vehículos usan gasolinas.

AVFT (Tipo de combustible y tecnología del vehículo).

Distribución de modelos de vehículos que emplean cierto combustible y tecnología de motor. Las tecnologías disponibles se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Tecnologías de motor MOVES (US EPA, 2023)

engTechID	engTechName
1	Internal Combustion
30	Electric
40	Fuel Cell

Para desarrollar esta tabla se clasificó la flota vehicular, de acuerdo al año modelo y el tipo de combustibles que usan (gasolina o diésel). En cuestión a tecnología de motor solo se identificaron motores de combustión, que incluye a los vehículos híbridos. En la figura 19 se puede observar la categorización para passenger truck.

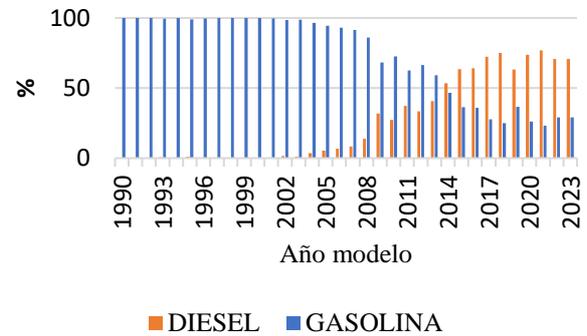


Figura 19. AVFT para passenger truck .Fuente: Autor.

Ejecución de corrida.

Al completar la entrada de datos se habilita la opción para ejecutar el software, tal como se muestra en la figura 20.



Figura 20. Ejecución de corrida. Fuente: Autor.

Resultados.

En la Tabla 11 se presentan los factores de emisión estimados a partir de la simulación. Además, se comparan las toneladas anuales estimadas con MOVES con los resultados de las emisiones producidas por el tráfico vehicular según el inventario del cantón Cuenca para el año 2021.

Tabla 11. Resultados con MOVES. Fuente: Autor.

	FE MOVES Cuenca, 2023 (g/km)	Emisiones toneladas anuales		
		MOVES Cuenca, 2023	Inventario Cantón Cuenca, 2021	Error relativo (%)
CO2	335.27	653723.62	756655.4	13.6
CO	4.05	7899.11	37624.3	79
CH4	0.0305	59.65	203.8	70.7
NO2	0.054	106.47	83	-28.1
NOx	0.421	821.25	6782.4	87.8
PM10	0.0289	56.37	860.1	93.4
PM2.5	0.026	51.52	534.3	90.3
SO2	0.033	66.24	16.8	-294.2
HC	0.17	348.95	-----	-----

En la Tabla 12 se presentan los resultados de los factores de emisión de la simulación por categoría vehicular, comparándolos con los factores de emisión obtenidos en Bucaramanga.

Tabla 12. Factor de emisión estimado con MOVES. Fuente: Autor.

Fuente	Contaminante	Factor de emisión, MOVES Cuenca, 2023 (g/km)	Factor de emisión, MOVES Bucaramanga, 2016 (g/km)	Error relativo (%)	
Motorcycle (11)	CO2	268.99	241.13	11.5	
	CO	10.36	44.07	76.4	
	CH4	0.1	0.041	-143	
	NO2	0.017	0.0039	-335.8	
	NOx	0.45	0.47	4.7	
	PM10	0.018	-----		
	PM2.5	0.016	0.025	36.9	
	SO2	0.0083	-----		
	HC	0.69	-----		
	Passenger car (21)	CO2	249.31	251.84	1.0
		CO	2.82	24.95	88.6
CH4		0.013	0.077	83.2	
NO2		0.012	0.0035	-234.01	
NOx		0.1136	1.35	91.6	
PM10		0.0024	-----		
PM2.5		0.0021	0.021	90.	
SO2		0.0084	-----		
HC		0.055	-----		
Passenger truck (31)		CO2	373.17	410.99	9.20
	CO	3.17	247.61	98.7	
	CH4	0.0233	0.144	83.8	
	NO2	0.066	0.00475	-1288.8	
	NOx	0.47	2.723	82.7	
	PM10	0.019	-----		
	PM2.5	0.017	0.105	83.9	
	SO2	0.049	-----		
Light commercial truck (32)	CO2	656.97	-----		
	CO	2.71	-----		
	CH4	0.034	-----		
	NO2	0.174	-----		
	NOx	1.105	-----		
	PM10	0.077	-----		
	PM2.5	0.0713	-----		
	SO2	0.1245	-----		
	HC	0.196	-----		
Transit bus (42)	CO2	1308.98	1064.79	-22.9	
	CO	2.53	33.049	92.3	
	CH4	0.021	0.26	91.	
	NO2	0.5797	0.018	-3055.6	
	NOx	3.075	12.81	76	
	PM10	0.06125	-----		
	PM2.5	0.056	0.31	82.33	
	SO2	0.328	-----		
HC	0.0681	-----			

Fuente	Contaminante	Facto de emisión, MOVES Cuenca, 2023 (g/km)	Factor de emisión, MOVES Bucaramanga, 2016 (g/km)	Error relativo (%)
School bus (43)	CO2	1224.42	371.81	-229.3
	CO	1.59	8.94	82.215
	CH4	0.043	0.0965	55.76
	NO2	0.55	0.0064	-8538.9
	NOx	3.61	3.66	1.48
	PM10	0.61	-----	
	PM2.5	0.56	0.2059	-173.83
	SO2	0.31	-----	
	HC	0.28	-----	
Refuse truck (11)	CO2	1425.65		
	CO	2.53	-----	
	CH4	0.028	-----	
	NO2	0.8	-----	
	NOx	4.84	-----	
	PM10	0.1	-----	
	PM2.5	0.16	-----	
	SO2	0.36	-----	
HC	0.15	-----		

Conclusiones.

Se recolectaron datos que incluyen los ciclos de conducción de cuatro categorías de vehículos: buses urbanos, recolectores de basura, vehículos de pasajeros y camiones comerciales livianos. Estos datos fueron obtenidos de proyectos previos, como el proyecto DIPOR, y de monitoreos actuales realizados con la plataforma MYGEOTAB. Además, se recopilamos datos climáticos de la ciudad de Cuenca correspondientes al año 2023, proporcionados por el Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE). También se tuvo acceso a los informes de análisis de gasolinas realizados en la ciudad en 2024, abarcando 21 estaciones de servicio. Finalmente, se recopilamos datos de los vehículos matriculados en Cuenca en el año 2021, proporcionados por la EMOV EP, así como información sobre la flota de recolectores de basura, provista por la EMAC EP.

Al realizar corrida en el software de MOVES, se generó un archivo RunSpec (especificaciones del modelado) y nueve archivos Excel de entrada para el administrador de datos en los que se incluye la población de tipo de fuente, distribución de edades, distribución de velocidad promedio, meteorología, arranques, millas recorridas por el vehículo y combustibles; estos archivos son producto del procesamiento de la bases de datos recopilada, en el caso de combustibles se complementa con valores de las normas NTE INEN 935 y 1489. Para la distribución de tipo de carretera, se consideró un tipo de vía, el acceso urbano sin restricciones.

Como resultado se obtuvo que la ciudad emite 653723.62 toneladas anuales (t/a) de CO2 con FE de 335.27(g/km); 7899.11(t/a) de CO con FE de 4.05(g/km) , 59.65(t/a) de CH4 con FE de 0.0305(g/km), 106.47(t/a) de NO2 con FE de 0.054(g/km), 821.25(t/a) de NOx con FE de 0.421(g/km), 56.37(t/a) de PM10 con FE de

0.0289(g/km), 51.52(t/a) de PM_{2.5} con FE de 0.026(g/km), 66.24(t/a) de SO₂ con FE de 0.033(g/km) y 348.95(t/a) de HC con FE de 0.17(g/km).

Recomendaciones.

Se recomienda recopilar datos de los ciclos de conducción para las categorías de camionetas de pasajeros, motocicletas y autobuses escolares, además de aumentar el número de días registrados. También es necesario obtener la base de datos del número de vehículos matriculados en el año 2023.

Asimismo, se sugiere homologar los estratos tecnológicos nacionales con los establecidos en los Estados Unidos, de modo que se represente la antigüedad real de la flota vehicular de la ciudad de Cuenca.

Para comparar los resultados de la simulación, se recomienda la medición de las emisiones vehiculares en carretera.

Referencias.

- Alcaldía de Cuenca, & Red de Monitoreo de Calidad del Aire de la EMOV EP. (2021). Inventario de emisiones atmosféricas del Cantón Cuenca 2021 Cuenca-Ecuador.
- Beltrán, J. (2023, January 1). El próximo alcalde de Cuenca deberá lidiar con el caos vehicular y la inseguridad. <https://www.primicias.ec/noticias/seccionales-2023/retos-proximo-alcalde-cuenca/>
- Calidad del aire fronterizo | CICA | CATC | TTN | Air & Radiation | US EPA. (n.d.). Retrieved May 28, 2024, from https://www3.epa.gov/ttnca1/cica/airq_s.html
- Celi, S. (2018, January 20). Análisis del comportamiento del transporte público a nivel mundial. 39. <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3042>
- Franco, V., Kousoulidou, M., Muntean, M., Ntziachristos, L., Hausberger, S., & Dilara, P. (2013). Road vehicle emission factors development: A review. In *Atmospheric Environment* (Vol. 70, pp. 84–97). <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.01.006>
- Gaffney, J. S., & Marley, N. A. (2009). The impacts of combustion emissions on air quality and climate - From coal to biofuels and beyond. *Atmospheric Environment*, 43(1), 23–36. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.016>
- Gómez, H., & Garzón, J. (2016). Estimación de las emisiones vehiculares del parque automotor que transita en la Universidad Tecnológica Equinoccial sede Santo Domingo, año 2015. Universidad Tecnológica Equinoccial sede Santo Domingo.
- Griffin, R. D. (2006). *Air Quality Management* (CRC Press Taylor & Francis Group, Ed.; Second). Taylor & Francis group.
- INEC. (2022). Anuario de Estadísticas de Transporte 2021.
- MAATE. (2022). Cuarta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. www.jmpublicidad.com.ec
- Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 935. Productos Derivados de Petróleo. Gasolina. Requisitos, Pub. L. No. NTE INEN 935, Décima primera revisión (2021).
- Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 1489. Productos Derivados de Petróleo. Diésel. Requisitos, Pub. L. No. NTE INEN 1489, Octava revisión (2021).
- Puentes, M., Valdés, C., & Pachón, J. (2022). Implementación del modelo de emisiones vehiculares MOVES en las ciudades de Bogotá, Bucaramanga y Cúcuta como herramienta para la gestión de calidad del aire [Civil and Environmental Engineering Commons, Universidad de La Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/2000
- Pulles, T., & Heslinga, D. (2007). The Art of Emission Inventorying. TNO Innovation for life. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2082.8007>.
- Smit, R., Ntziachristos, L., & Boulter, P. (2010). Validation of road vehicle and traffic emission models - A review and meta-analysis. In *Atmospheric Environment* (Vol. 44, Issue 25, pp. 2943–2953). <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.05.022>
- Understanding Global Warming Potentials | US EPA. (n.d.). Retrieved May 16, 2024, from <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- US EPA. (2020). Fuel Supply Defaults: Regional Fuels and the Fuel Wizard in MOVES3.
- US EPA. (2023). MOVES4 Technical Guidance: Using MOVES to Prepare Emission Inventories for State Implementation Plans and Transportation Conformity (EPA-420-B-20-052, November 2020).