



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO

AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL

TÍTULO DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO

AUTOMOTRIZ

TEMA: INVENTARIO DE EMISIONES DE LA FLOTA VEHICULAR

DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO CON EL USO DE

VEIN.

AUTORES: CUAICAL ERAZO BYRON ANDRES

GALLEGOS ESPINOSA RICARDO JAVIER

DIRECTOR: ING. FREDY ALEXANDER ROSERO OBANDO, PHD.

Ibarra, 2023

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es “Inventario de emisiones de la flota vehicular del Distrito Metropolitano de Quito con el uso de VEIN” presentado por el señor: Byron Andres Cuaical Erazo con número de cédula 04020423962 y por el señor: Ricardo Javier Gallegos Espinosa con número de cedula 100435718-0 , doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 28 días del mes febrero del 2023.

Atentamente



Ing. Fredy Rosero.PhD

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	040204396-2		
APellidos y Nombres:	CUAICAL ERAZO BYRON ANDRES		
DIRECCIÓN:	CARCHI- TULCAN- CDLA. ATAHUALPA		
EMAIL:	bacuaicale@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	06-3014648	TELÉFONO MÓVIL:	0981295318

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	INVENTARIO DE EMISIONES DE LA FLOTA VEHICULAR DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO CON EL USO DE VEIN
AUTOR (ES):	ANDRES CUAICAL / RICARDO GALLEGOS
FECHA: DD/MM/AAAA	28/02/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. FREDY ROSERO. PhD

2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 14 días del mes de junio de 2023

EL AUTOR:

Nombre: Byron Andres Cuaical



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100435718-0		
APELLIDOS Y NOMBRES:	GALLEGOS ESPINOSA RICARDO JAVIER		
DIRECCIÓN:	URB BOSQUES DE SAN PEDRO		
EMAIL:	rjgallegose@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	06-2903183	TELÉFONO MÓVIL:	0982920880

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	INVENTARIO DE EMISIONES DE LA FLOTA VEHICULAR DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO CON EL USO DE VEIN
AUTOR (ES):	ANDRES CUAICAL / RICARDO GALLEGOS
FECHA: DD/MM/AAAA	28/02/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. FREDY ROSERO. PhD

2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 14 días del mes de junio de 2023

EL AUTOR:

Firma: 

Nombre: Ricardo Javier Gallego Espinosa

DEDICATORIA

A mi mamá Miryam,
por ser la razón de mi vida, por enseñarme que por más difícil que sea la situación siempre se puede seguir adelante, por ser mi ejemplo e inspiración.

A mi hermano Edwin,
por ser el ejemplo a seguir, por enseñarme que no hay que vivir con miedo, por motivarme a cada día ser mejor.

A mi familia,
a cada uno por ofrecerme su amor, por enseñarme que aun que seamos pocos siempre estaremos para ayudarnos en cada momento.

Ricardo Gallegos E.

Esto va dedicado a todas esas personas que de formas distintas hicieron que esto fuera posible, en especial a mi mamá Rosa Erazo y a mi hermana Alejandra Cuaical, que desde el inicio me apoyaron moral económicamente de manera incondicional, serán siempre parte de mi vida, que a pesar de las circunstancias eternamente supieron acompañarme gracias a eso y a todo el esfuerzo que hicimos podemos decir ¡lo logramos!

Andres Cuaical.

AGRADECIMIENTO

De manera especial quiero agradecer a Dios por permitirme disfrutar de mi familia un día más, y disfrutar de los momentos maravillosos que tiene la vida.

Quiero agradecer a mi tutor el PhD. Freddy Rosero por representar ese ejemplo y dedicación que es en servicio de los estudiantes y por guiarnos en esta experiencia, de igual manera agradecer al MsC Ramiro Rosero por ayudarnos a entender y apoyarnos siempre en este camino.

A demás extender el sincero agradecimiento al PhD. Zamir Mera por confiar en mi para hacernos cargo de este estudio de investigación, de igual manera al PhD Sergio Ibarra por brindarnos un poco de su conocimiento y darnos accesibilidad a VEIN, así también como expresar un fraterno agradecimiento a Valeria Diaz por las herramientas que permitieron llevar a cabo este trabajo.

Sin más agradecer a cada uno de mis profesores que en este tiempo me han brindado de su conocimiento teórico- practico y sobre todo a través de sus vivencias forjarnos como profesionales, pero esencialmente como buenas personas.

Ricardo Gallegos E.

Gracias a Dios por prestarme la vida y la salud durante todo este tiempo sin el creo nada de esto pudo a ver sido posible, agradezco también a mis padres Hermes y Rosa por inculcarme desde pequeño los valores que a lo largo de mi carrera profesional puse en práctica y me permitieron ser la persona que todos queríamos, a ti Alejandra Cuaical todo el esfuerzo que hicimos durante todo este tiempo por fin rindió frutos, no tengo manera de darte las gracias ya que solo tú sabes cuanto luchamos que entre risas, enojos y llantos me ayudaste en todo lo que te pedía espero un día llegar lejos y devolver en creces todo lo que hiciste por mí, A mis abuelos Vicente, Martha, Bolívar y Teresa, en fin gracias a todas esas personas que estuvieron ahí todos estos años fue un camino complicado que a fin de cuentas se ha terminado.

Andres Cuaical.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN.....	xix
CAPÍTULO I.....	2
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 Objetivo general	2
1.1.2 Objetivos específicos.....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 ALCANCE.....	3
1.4 ANTECEDENTES	4
1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.6 SITUACIÓN ACTUAL.....	6
CAPÍTULO II.....	7
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 CONTAMINACIÓN DEL TRANSPORTE DE CARRETERA EN QUITO.....	7
2.1.1 Descripción de la ciudad de Quito	7
2.1.2 Descripción del parque vehicular de Quito	8
2.2.3 Inventarios de fuentes móviles del DMQ.....	9
2.2.4 Revisión de los inventarios de emisiones del DMQ	9

2.2 FUNDAMENTOS DE EMISIONES DEL TRASPORTE DE CARRETERA.....	11
2.2.1 Emisiones vehiculares	11
2.2.2 Emisiones por el tubo de escape	12
2.2.3 Emisiones evaporativas	13
2.2.4 Emisiones por desgaste	13
2.3 FUNDAMENTO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES	13
2.3.1 Inventario de Emisiones	13
2.3.2 Modelamiento de flujo vehicular (tráfico y emisiones)	14
2.3.3 Elementos del flujo vehicular.....	15
2.3.4 Factores de emisión.....	16
2.3.5 Emisiones mediante análisis bottom up y top down	17
2.4 INVENTARIO DE EMISIONES VEHICULARES	18
2.4.1 Modelos matemáticos de estimación de emisiones.....	18
2.4.2 Lenguaje de programación “r”	18
2.4.3 R- Studio	20
2.4.4 Modelo de emisiones vehiculares – VEIN	20
2.4.5 Historia.....	21
2.4.6 VEIN	21
2.5 ESTADO DEL ARTE.....	24
CAPÍTULO III	26
3. MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA FLOTA VEHICULAR DE QUITO	26
3.1.1 Caracterización por tipo de vehículo.....	27
3.1.2 Caracterización por años de uso.....	30
3.2 CARACTERIZACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE QUITO	31
3.3 CARACTERIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD VEHICULAR.....	32
3.3.1 VKTS	32
3.3.2 Flujo vehicular.....	33
3.4 DEFINICIÓN DE VARIABLES Y PARÁMETROS DE ESTUDIO.....	34
3.4.1 Combustible	34
3.4.2 Ciclos de conducción	36
3.4.3 Tecnología.....	36
3.5 CONFIGURACIÓN DE VEIN PARA QUITO	37
3.5.1 Instalación R y R studio	37
3.5.2 Instalación R studio.....	38
3.5.3 Descarga e instalación de VEIN.....	38

3.5.4 Instalar un paquete	38
3.5.5 Instalación de VEIN	39
3.5.6 Adaptación de VEIN para Quito	40
3.6 PRUEBAS PILOTO DE OBTENCIÓN DE DATOS	43
3.7 CALIBRACIÓN Y AJUSTES FINALES DE VEIN	44
3.8 MODELAMIENTO DE EMISIONES VEHICULARES	45
3.8.1 Configuración.....	45
3.8.2 Simulación de tráfico	46
3.8.3 Estimación de combustible.....	47
3.8.4 Estimación de emisiones por el tubo de escape	47
3.8.5 Estimación de emisiones evaporativas	48
3.8.6 Estimación de emisiones por desgaste	49
3.8.7 Realización de Gráficas.....	51
3.9 ESTIMACIÓN DE EMISIONES PARA EL 2021,2023 y 2025.....	51
3.10 INVENTARIO DE EMISIONES	53
CAPÍTULO IV	54
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
4.1 CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE VEHICULAR DE QUITO	54
4.1.1 Composición por tipo de vehículo	54
4.1.2 Composición vehicular por familia de vehículo	55
4.2 ESTIMACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES ANUALES: 2019.....	57
4.2.1 Emisiones estimadas por categoría de vehículo.....	57
4.2.2 Emisiones estimadas por categoría de emisión	63
4.3 COMPARACIÓN DE EMISIONES DE QUITO CON OTRAS CIUDADES.....	64
4.3.1 Comparativa de población.....	64
4.3.2 Comparativa población- inventarios de emisiones.....	65
4.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LA NORMATIVA ECUATORIANA	67
4.4.1 Comparativa de emisiones en vehículos a gasolina	67
4.4.2 Comparativa de emisiones en vehículos a Diésel	68
4.5 ESTIMACIÓN DE EMISIONES: 2021 a 2025	69
4.5.1 Crecimiento multianual del parque vehicular	70
4.5.2 Emisiones multianuales por familia de vehículo.....	71
CAPÍTULO V.....	77
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77

5.1	CONCLUSIONES	77
5.2	RECOMENDACIONES.....	79
	ANEXOS	85

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
km	Kilometro
EEA	Agencia Europea de Medio Ambiente
DMQ	Distrito Metropolitano de Quito
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO	Monóxido de Carbono
HC	Hidrocarburos
PM	Material Particulado
NOX	Monóxido de Nitrógeno
ppm	Partículas por Millón
msnm	Metros Sobre el Nivel del Mar
cc	Centímetros Cúbicos
PC	Vehículos de Pasajeros
SUV	Vehículos Utilitarios Deportivos
G	Gasolina
D	Diésel
ELEC	Vehículos Eléctricos
HY	Vehículos Híbridos
GLP	Gas Licuado de Petróleo
LCV	Vehículos Comerciales Ligeros
TRUCK RT	Camiones Rígidos
TRUCK AT	Camiones Articulados
BUS UB	Buses Urbanos
BUS COACH	Buses Interprovinciales
MC	Motocicletas
PEMS	Sistema Portátil de Medición de Emisiones
t	Toneladas
VKT	Kilómetros Recorridos por Vehículos
RTV	Revisión Técnica Vehicular
INEC	Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM.		PÁG.
2.1	Cantones de la Provincia de Pichincha	7
2.2	Evolución de los gases primarios producto de fuentes móviles a través de los años.	10
2.3	Tipos de Emisiones Vehiculares	12
2.4	Factores de emisión utilizando diversas metodologías de investigación	17
2.5	Esquema de funcionamiento R	19
2.6	Interfaz de R -Studio	20
2.7	Flujograma de pasos de estimación de emisiones genérico usando VEIN	22
3.1	Flujograma de Metodología para el uso de VEIN	26
3.2	Instaladores R	37
3.3	Interfaz de usuario gráfica, Aplicación	38
3.4	Instalación de VEIN en R Studio	39
3.5	Procedimiento para abrir un proyecto en R Studio	40
3.6	Factores de emisión EEA, implementados en VEIN.	41
3.7	Adaptación de cantidad de vehículos por tipo de vehículo.	41
3.8	Adaptación del consumo de combustible a VEIN Ecuador.	42
3.9	Designación de parámetros de tecnología para VEIN.	42
3.10	Adaptación con parámetros medioambientales del DMQ.	43
3.11	Resultados de pruebas piloto en VEIN	43
3.12	Adaptación de las características del combustible a Ecuador.	44
3.13	Adaptación de kilómetros promedio para Ecuador.	45
3.14	Proceso de configuración para estimación de emisiones.	46
3.15	Proceso de modelamiento de tráfico en VEIN	46
3.16	Proceso de estimación de consumo de combustible en VEIN	47
3.17	Proceso de estimación de emisiones por el tubo de escape en VEIN	48
3.18	Proceso de estimación de emisiones evaporativas en VEIN	49
3.19	Proceso de estimación de emisiones evaporativas en VEIN	50
3.20	Producción de gases de escape por mes en Ecuador	51
3.21	Adaptación de flota vehicular de Quito 2025.	52

4.1	Composición vehicular del DMQ en el año 2019, por tipo de vehículo.	55
4.2	Composición vehicular de parque vehicular de Quito, por familia y tipo de combustible familia	56
4.3	Estimación total de emisiones del parque vehicular de Quito en el año 2019.	57
4.4	Estimación de CO ₂ de la flota vehicular de Quito en el año 2019.	58
4.5	Estimación de monóxido de carbono para la flota vehicular del DMQ en el 2019.	59
4.6	Producción de óxidos de nitrógeno de la flota vehicular de Quito, año 2019.	60
4.7	Concentración de hidrocarburos en de la flota vehicular de Quito en el 2019.	61
4.8	Concentración de material particulado de la flota vehicular de Quito 2019.	62
4.9	Emisiones totales de HC, CO ₂ , NO _x y PM _{2.5} , CO por tipo de vehículo y proceso de emisión en 2019 [t/año].	63
4.10	Comparación del número de habitantes en Quito 2019, Buenos aires 2006 y Santiago de Chile 2005	65
4.11	Comparativa, población-producción de emisiones contaminantes de Quito 2019 y 2011, Santiago de Chile 2005 y Buenos Aires 2006 - parte A.	66
4.12	Comparativa, población-producción de emisiones contaminantes de Quito, Santiago de Chile y Buenos Aires- parte B.	66
4.13	Estimación de emisiones totales para el año 2021, 2023 y 2025.	70
4.14	Estimación del parque vehicular para la flota del DMQ, año 2021, 2023 y 2025.	71
4.15	Estimación de emisiones de CO ₂ para la flota vehicular del DMQ, año 2021, 2023 y 2025.	72
4.16	Estimación de emisiones de CO para la flota vehicular del DMQ, año 2021, 2023 y 2025.	73
4.17	Estimación de emisiones de HC para la flota vehicular del DMQ, año 2021, 2023 y 2025.	74
4.18	Estimación de emisiones de NO _x para la flota vehicular del DMQ, año 2021, 2023 y 2025.	75
4.19	Estimación de emisiones de PM _{2.5} para la flota vehicular del DMQ, año 2021, 2023 y 2025.	76

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NÚM.	PÁG.
2.1 Flota Vehicular del DMQ.	8
2.2 Evolución de la producción de gases contaminantes	9
2.3 Factores de emisión con parámetro principal la altura.	11
2.4 Clasificación de emisiones contaminantes	12
2.5 Modelos matemáticos de estimación de emisiones.	18
2.6 Paquetes necesarios para correr VEIN	24
2.7 Proyectos de VEIN en distintos países.	25
3.1 Vehículos de Quito de acuerdo con su tipo	27
3.2 Vehículos de Quito de acuerdo con su tipo (Continuación)	28
3.3 Vehículos de Quito de acuerdo con su tipo (Continuación)	29
3.4 Vehículos de Quito de acuerdo con su tipo (Continuación)	30
3.5 Cantidad de Vehículos Definidos por año de matriculación.	30
3.6 Cantidad de Vehículos Definidos por año de matriculación (Continuación).	31
3.7 Información general del DMQ	31
3.8 Kilometraje promedio del DMQ (2015)	33
3.9 Tabla de modificación de combustibles para Ecuador.	34
3.10 Tabla de modificación de combustibles para Ecuador (Continuación).	35
3.11 Parámetros del combustible en Ecuador, en disposición de consumo anual.	35
3.12 Funciones de velocidad	36
3.13 Tasa de crecimiento promedio de flota vehicular de DMQ.	52
4.1 Comparativa de emisiones vehiculares VEIN- INEN 2204 y EEA 2021.	68
4.2 Comparativa de emisiones vehiculares VEIN- INEN 2207.	69

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM.		PÁG.
1	Evolución de en el DMQ producto de fuentes móviles.	85
2	Proyecto VEIN en R-studio.	85
3	Especificaciones de VEIN.	86
4	Estimación de emisiones vehiculares PM ₁₀ , VEIN.	86
5	Tabla de comparación de inventario de emisiones, Quito 2019 y 2011, Santiago de Chile 2005 y Buenos Aires 2006.	87
6	Tabla de crecimiento de estimación de VEIN para el DMQ en los años 2021, 2023 y 2025.	87
7	Tabla comparativa de emisiones vehiculares de Santiago de Chile, Buenos Aires y Quito expresada en la producción de emisiones por cada 100 000 habitantes.	88
8	Especificaciones de R-Studio.	88
9	Factores de expansión del flujo vehicular de Quito.	89

ÍNDICE DE ECUACIONES

ANEXO NÚM.		PÁG.
3.1	Ecuación Básica de VEIN	32
3.2	Ecuación Flujo de Tráfico	33
3.3	Ecuación para emisiones en caliente	48
3.4	Ecuación para emisiones en frío	48
3.5	Ecuación para emisiones evaporativas	49
3.6	Ecuación para emisiones por abrasión (neumáticos y frenos)	50
3.7	Ecuación para emisiones por abrasión (suspensión de partículas)	50

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se ubica en la línea de investigación de emisiones vehiculares, siendo un proyecto derivado del estudio de “Mejoramiento de la predicción de emisiones de vehículos livianos”, tiene como objetivo la fabricación de un inventario de emisiones vehiculares de la ciudad de Quito-Ecuador, donde se recopiló y se adaptó información de la flota vehicular. Además, se configuró el modelo de la ecuación de VEIN (también reconocida como la ecuación de flujo de tráfico de Greenshields) con información de la ciudad de estudio, con el objetivo de establecer un inventario de emisiones vehiculares desde el año 2019 hasta el 2025. Para la modificación de VEIN, se consideró información medio ambiental (temperatura, altitud), consumo de combustible, la flota vehicular de varios años anteriores al 2019. Los resultados son expresados en la caracterización del parque automotor de Quito mediante la composición vehicular por tipo y familia; kilometraje recorrido, también la estimación de emisiones en el año 2019 donde se expone el consumo de combustibles y las emisiones vehiculares de CO₂, CO, HC, NO_x, PM_{2.5}. Se determinó la estimación de emisiones multianual con intervalos de dos años, presente en la estimación de las emisiones entre los años 2019 a 2025, esto expresado en porcentajes de toneladas año de contaminación. Se encuentra que las emisiones en el año 2019 presentan un incremento del 14% en comparativa con el año 2011 y que para el 2025 se espera que la flota vehicular de Quito aumente 40%, igual que las emisiones contaminantes.

Palabras clave: Emisiones Vehiculares – VEIN – Quito – Caracterización – Emisiones Multianuales.

ABSTRACT

The present research work is located in the line of investigation of vehicle emissions, being a project derived from the study of "Improving the prediction of emissions of light vehicles", it has as objective the elaboration of an inventory of vehicle emissions of the city of Quito-Ecuador, where information on the vehicle fleet was collected and adapted. In addition, the VEIN equation model (also known as the Greenshields traffic flow equation) was configured with information from the study city, with the objective of establishing a vehicle emissions inventory from the year 2019 to 2025. In the modification of VEIN, environmental information (temperature, altitude), fuel consumption, and the vehicle fleet from several years prior to 2019 were considered. The results are expressed in the characterization of the Quito vehicle fleet through the vehicle composition by type and family; mileage traveled, also the estimate of emissions in the year 2019 where fuel consumption and vehicle emissions of CO₂, CO, HC, NOX, PM_{2.5} are exposed. The estimate of multi-year emissions was determined with two-year intervals, present in the estimate of emissions between the years 2019 and 2025, expressed in percentages of tons of pollution per year. It is found that emissions in 2019 present an increase of 14 % in comparison with the year 2011 and that by 2025 it is expected that the Quito vehicle fleet will increase 40%, the same as polluting emissions.

Keywords: Vehicle Emissions – VEIN – Quito – Characterization – Multi-year Emissions.

INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación posee como finalidad establecer un inventario de emisiones vehiculares en la ciudad de Quito. La idea del proyecto se basa reconocer el estado de contaminación vehicular en el año 2019 y establecer una estimación a futuro a través del uso de VEIN, con la modificación de parámetros elementales y adaptarla a Ecuador. El proyecto es conformado de cinco capítulos:

El primer capítulo corresponde al problema de investigación, donde se presenta la problemática del proyecto, el historial previo, el planteamiento del problema, justificación, situación actual y alcance, los cuales son la base de los objetivos a seguir.

El segundo capítulo corresponde a la revisión bibliográfica, donde se presenta el marco teórico y se divide en cinco partes, siendo constituidas por temas de contaminación de transporte en carretera, así también como los fundamentos de emisiones de transporte en carretera, fundamentos de estimación de emisiones, inventario de emisiones y para finalizar el estado del arte.

El tercer capítulo presenta los materiales y métodos empleados. También, se encuentra detalles del software con el cual se desarrollará el trabajo de investigación, además se da a conocer la clasificación de la flota vehicular de Quito (tipo y año de uso), caracterización medioambiental y de actividad vehicular, seguido de la configuración de VEIN, además de la ejecución de pruebas piloto, finalmente se pasa a calibraciones finales y establecer el inventario de emisiones para el año 2019 y 2025.

El capítulo cuatro hace referencia a los resultados y discusión representados en cinco fases que son: la caracterización del parque vehicular, la estimación de emisiones vehiculares anuales: 2019, la comparación de emisiones de Quito con otras ciudades, la comparativa de resultados con la norma INEN 2207, 2204 y RTE 136, para finalizar con la estimación de emisiones: 2021 a 2025.

El quinto capítulo corresponde a conclusiones y recomendaciones que se determinaron después de la estimación de emisiones emitidas por VEIN para Quito.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Establecer un inventario de emisiones de gases contaminantes de la flota vehicular del Distrito Metropolitano de Quito.

1.1.2 Objetivos específicos

- Adaptar la información sobre la flota vehicular en el DMQ a los requerimientos del modelo VEIN.
- Configurar el modelo VEIN a la ciudad de Quito, para implementar el modelo estadístico de emisiones vehiculares.
- Implementar el Modelo VEIN en el Distrito Metropolitano de Quito para conseguir un inventario de emisiones.
- Estimar la emisión de gases contaminantes en un lapso de 6 años posterior a la actualización de datos del 2019.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación busca crear y evaluar los inventarios sobre emisiones vehiculares utilizando el modelo VEIN, el cual facilita la estimación de emisiones de gases a futuro y también examinar la producción de emisiones si se introdujera o se retira un determinado modelo de vehículo del parque automotor (Inei, 2006). Se pretende tener resultados detallados de los posibles escenarios que se obtendrían, producto de gases contaminantes en el Distrito Metropolitano, haciendo que las variables que se obtengan puedan modificar un determinado parámetro y de esta manera se permita obtener exactitud y una mejor estructura del inventario de emisiones, esto con la intención de que este estudio tenga impacto en el control con respecto a emisiones de Quito, brindando una herramienta que permita cumplir con el objetivo 12 del Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025: “ Fomentar modelos

de desarrollo sostenibles aplicando medidas de adaptación y mitigación al cambio climático”(Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

Crear un inventario de emisiones de gases contaminantes de la flota vehicular del DMQ se justifica por algunas razones:

Conocimiento de la situación actual: Un inventario de emisiones permite tener un conocimiento detallado de la cantidad y tipo de gases contaminantes que están siendo emitidos por los vehículos de la flota del DMQ. Esto puede ayudar a entender la magnitud del problema base de contaminación y a su vez permite identificar las fuentes más importantes de emisiones.

Identificación de áreas de mejora: Conociendo el factor de contaminación de la flota vehicular, se consigue identificar áreas de mejora y tomar medidas para reducir las emisiones. Esto puede incluir la implementación de tecnologías más limpias y eficientes, la promoción de vehículos eléctricos o de combustible alternativo.

Cumplimiento de normativas: La creación de un inventario de emisiones también puede ayudar a cumplir con las normativas ambientales y los compromisos internacionales que el DMQ haya adquirido con el fin de reducir las emisiones. Además, puede ayudar a monitorear y evaluar el impacto de las políticas y medidas implementadas en el tema de emisiones.

Beneficios para la salud: La disminución de las emisiones puede tener beneficios significativos para la salud de la población, ya que la exposición a estos gases puede causar enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Un inventario de emisiones permite identificar los sectores con mayor afectación permitiendo priorizar las medidas para reducirla.

En resumen, el crear un inventario de emisiones contaminantes de la flota vehicular del DMQ puede ayudar a entender la situación actual, identificar áreas de mejora, cumplir con normativas y compromisos ambientales, y mejorar la salud de la población.

1.3 ALCANCE

La investigación considera a la flota vehicular registrada por el DMQ(Distrito Metropolitano de Quito), y toma en consideración los gases producidos como son, CO₂, CO, NO_x, HC y PM_{2.5} mediante el modelo de estimación de gases contaminantes VEIN (Ulloa, 2016), de tal

modo que se pueda hacer comparaciones estadísticas y proyecciones en los siguientes seis años tomando como base la última actualización del inventario del DMQ en 2019 (Nowak, 2019, p. 26), así se podría saber cuál sería el impacto en las emisiones de gases contaminantes; si se introdujera o eliminara un modelo específico de vehículo, esto se lo realizó utilizando la herramienta de entorno de software libre RStudio. La herramienta utiliza el lenguaje R, que “es un lenguaje de computación formal diseñado para ser utilizado en la manipulación y análisis de datos con una serie de facilidades gráficas” (Borges, 2005,p. 12), esto es elemental para el análisis y creación del inventario de emisiones en el DMQ.

1.4 ANTECEDENTES

En la actualidad, el tema de contaminación ambiental ha arraigado en las ciudades. Según el programa de ONU, que estudia los contaminantes del medio ambiente, considera que existe un alto peligro para la salud humana, producida por un elevado porcentaje en la cantidad de automotores, fabricas, entre otros. “A lo largo de las últimas décadas la importancia del tema respecto a la contaminación del aire ha crecido de manera exorbitante con una focalización en temas ambientales y de salud humana” (Londoño, 2011)

La contaminación del aire puede provenir de dos tipos como son de origen natural o antropogénico como indica Arguello (2020), donde los contaminantes de origen natural son aquellos que se derivan de la naturaleza como pueden de erupciones volcánicas, descomposición de la materia orgánica, etc. Es así como, el segundo tipo de contaminación (antropogénica) es producida por el uso de combustibles de origen fósil. Además, a los últimos contaminantes se los puede diferenciar por ser de origen primario o secundario Siendo aquellos que son expuestos de manera directa con la atmósfera (primarios). Por otra parte, aquellos que son productos de una reacción química son catalogados como secundarios.

Por otro lado, para cuantificar la producción de gases contaminantes de una región se utiliza los inventarios de emisiones. “Un inventario de emisiones hace referencia a una serie de números que tienen la representación de varios contaminantes que son expuestos a la atmósfera; siendo producida por diversos factores con límites zonales y en un determinado lapso de tiempo” (Tapia, 2010). Siendo este el método por el cual los gobiernos pueden efectuar estudios más profundos que ayuden a la formación de leyes de control de emisiones.

En los últimos años, los gases contaminantes producidos por fuentes vehiculares han sido tema de discusión, para mitigar los gases contaminantes se ha optado por la implementación de fuentes de energía renovable como la electrificación del vehículo. La finalidad es optar por otro método de propulsión cambiando así el uso de combustibles fósiles. Hoy en día, debido a mejoras en el vehículo eléctrico, su popularidad ha aumentado considerablemente en países como Reino Unido, Francia y Estados Unidos, estos países implementaron vehículos eléctricos, para prestar servicios de taxi, sin embargo, las limitaciones básicas relacionadas con la autonomía, la batería y el tiempo de carga de estas ha sido la principal limitante, impidiendo que estos vehículos compitan con los que ocupan combustibles fósiles.

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La problemática actual se centra en que los inventarios de emisiones que se hacen anualmente de acuerdo con el programa de Control y Vigilancia de Emisiones, por parte del Ministerio del Ambiente del Ecuador, no son un sistema de recolección y manejo de datos apropiado. Si bien este análisis se lo hace para ciudades con más de 150 000 habitantes existe una desactualización en los últimos años, con lo que hace referencia al aumento de población y del parque automotor. A falta de un inventario de emisiones vehiculares en Ecuador puede tener varias consecuencias negativas, tales como:

La carencia de una investigación precisa acerca de calidad del aire: El inventario de emisiones vehiculares es un instrumento importante que permite calcular la calidad de aire en una ciudad o región. Sin esta información, las autoridades pueden no tener una idea clara de cuánto contribuyen las emisiones de los vehículos a la contaminación del aire y no podrán implementar medidas adecuadas para reducirlas.

Dificultad para establecer políticas y regulaciones efectivas: Un inventario de emisiones vehiculares también es fundamental para desarrollar políticas y regulaciones que reduzcan las emisiones de los vehículos. Sin una evaluación precisa de las emisiones actuales, es difícil determinar qué medidas son necesarias y cómo se pueden implementar de manera efectiva.

Retrasos en la implementación de soluciones: La carencia de un inventario de contaminación vehicular puede retrasar la implementación de soluciones para reducir las emisiones, ya que las autoridades no tendrán una comprensión clara del problema y de las soluciones posibles.

Esto podría resultar en una mayor contaminación del aire y un mayor riesgo para la salud pública.

Dificultad para medir el impacto de las políticas y medidas: Una vez que se implementan medidas para reducir las emisiones vehiculares, es importante medir su efectividad. Sin un inventario de emisiones vehiculares, es difícil determinar si las medidas están funcionando y si se cumplen con la reducción de emisiones.

Por lo que la implementación de este sistema abarcaría todas estas variantes y permitiría tener una visión más amplia de las emisiones vehiculares en el Ecuador. Obteniendo que los legisladores regulen de contaminación a nivel nacional, con la ayuda de dicho inventario realice un análisis exhaustivo con la finalidad de reformular las leyes públicas de control de emisiones vehiculares, con la misión de brindar calidad de vida a los ecuatorianos y la conservación del medio ambiente.

1.6 SITUACIÓN ACTUAL

El tráfico vehicular genera grandes toneladas de gases contaminantes y partículas en forma de desperdicios que se incorporan a la atmósfera (Taufiq Rohman, S.Pd.I, 2019). En Ecuador, el Ministerio del Ambiente mediante el programa “Control y Vigilancia de Emisiones”, tiene como fin implementar inventarios de emisiones en metrópolis es decir ciudades que superen los 150 000 habitantes, este es el caso del DMQ (Distrito Metropolitano de Quito), su primer inventario fue elaborado en 2003 y seguidamente en 2005, 2007, 2009, etc. (Arguello, 2020) y la última actualización de estos datos en el año 2011, si bien, existe poca información disponible sobre el nivel de contaminación que permita el desarrollo de políticas que brinden un control de la contaminación producida.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONTAMINACIÓN DEL TRANSPORTE DE CARRETERA EN QUITO

2.1.1 Descripción de la ciudad de Quito

Quito se encuentra como la ciudad número dos con mayor altura del mundo, encontrándose a 2 830 metros sobre el nivel del mar, por otra parte, como indica FLACSO (2015) . Donde Quito contiene una superficie de 4 183 [m²]con aproximadamente 2.2 millones de pobladores, además el clima es muy variable, con temperaturas que varían entre los 10° C, característicos en la noche como también los 25° C durante el día, cabe recalcar que estos valores fluctúan dependiendo de la fecha(Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2017,p .13).



Figura 2.1 Cantones de la Provincia de Pichincha

Fuente: (Núñez et al., 2009)

La temperatura es un factor elemental, en dónde; donde los límites de altitud establecido según la teoría, expresa que por cada 180 metros de altitud se obtiene una disminución de 1° C (AEMET, 2019), por este motivo basándose en la teoría las parroquias que se encuentran en el norte y diversos valles (Tumbaco y Chillós) del cantón Quito, como se presenta en la figura 2.1, tienen más temperatura que aquellas que se encuentran ubicadas en la urbe.

2.1.2 Descripción del parque vehicular de Quito

FLACSO, (2015) , menciona que esta ciudad al ser una metrópoli nacional, cuenta con un sistema masivo de movilización denominado “red de líneas paralelas” ya que estas se encuentran conectadas entre sí por diversas estaciones y paradas, las cuales abarcan Trolebús, Eco vía y el Metrobús-Q, constituyendo un total de 134 líneas de servicio, además de la existencia del proyecto del Metro el cual hasta el día de la realización de este proyecto aún no entra en funcionamiento, de esta forma constituye el transporte masivo de pasajeros.

Sin embargo, el transporte privado y público (taxis), representa un gran porcentaje de la movilidad de Quito, por lo cual es importante conocer el número del parque automotor siendo estos datos proporcionados por INEC 2019 como se presencia en la tabla 2.1, por lo cual se realizará una estimación del parque automotor hasta el 2025, que será obtenida mediante un cálculo de tasa de crecimiento, esto debido a la pandemia que haría tener datos erróneos.

Tabla 2.1 Flota Vehicular del DMQ.

FLOTA VEHICULAR DE QUITO	
AÑO 2019	515 813 [vehículos]

Fuente: (INEC, 2019)

Estos datos son elementales para la ejecución del proyecto debido a que de aquí parte la información para realizar el estimado de emisiones para los años 2021, 2023 y 2025. Debido a que, en el último tiempo, Ecuador ha sentido expansión en el tema urbano-demográfico. Como consecuencia, la producción de gases contaminantes ha sido cada vez más evidente, con la creación de nuevas fuentes de transporte, industria y consumo de energía, para satisfacer todas estas necesidades. La contaminación por gases contaminantes ha sido la principal causa de riesgo ambiental en el mundo, siendo la fuente de mortalidad de una de cada nueve muertes (INECC-SEMARNAT, 2013).

En Sudamérica, los inventarios de emisiones no presentan consistencia ni exactitud con respecto a las condiciones de nuestro entorno (INECC-SEMARNAT, 2013), ya que estos inventarios de emisiones procesan datos provenientes de diferentes localidades y no reflejan las condiciones específicas de cada zona. El crecimiento de muchas capitales en América

Latina trae consigo un acrecentamiento exponencial de las emisiones contaminantes, lo que constituye una fuente de alarma para la medición de la air quality.

2.2.3 Inventarios de fuentes móviles del DMQ

El DMQ es considerado un caso especial de fuentes de emisión, esto debido a sus características de altitud y topografía, teniendo una altitud promedio de 2 800 metros (mar), hace que Quito tenga menos oxígeno en comparación con otras ciudades, de tal manera que afecta el rendimiento del proceso químico en los combustibles (fósiles) con respecto a la topografía.

Las fuentes de emisión móviles de Quito no son fáciles de estimar debido a los factores de emisión para el tráfico vehicular (contaminante emitido por distancia recorrida), para la altura, temperatura y presión se toman de inventarios efectuados en la Ciudad de México (Vega et al., 2016), por otro lado, la movilidad dentro de la ciudad se toma como referencia utilizando las tendencias de movilidad.

2.2.4 Revisión de los inventarios de emisiones del DMQ

La realización de estas herramientas se inicia desde el año 2003 por esto se realiza inventarios desde en los años 2003, 2005, 2007, 2011, en la tabla 2.2 se muestran la producción de gases contaminantes por el año de estudio cabe destacar que en estos siguen la misma metodología de estudio y también se toma en cuenta las fuentes fijas de emisiones.

Tabla 2.2 Evolución de la producción de gases contaminantes

t/año	2003	2005	2007	2009	2011
Contaminantes primarios					
CO	94593				
NO _x	114	182	197	245	249
Gases de efecto invernadero					
CO ₂	2382299	33940598	3472327	3709944	3733559

Fuente: (Baca, 2014a)

La producción de gases contaminantes en el DMQ depende de factores como el uso del vehículo, la normativa vigente (control de emisiones), los sistemas de post tratamiento, así como el año de fabricación del vehículo, como se observa en la figura 2.2.

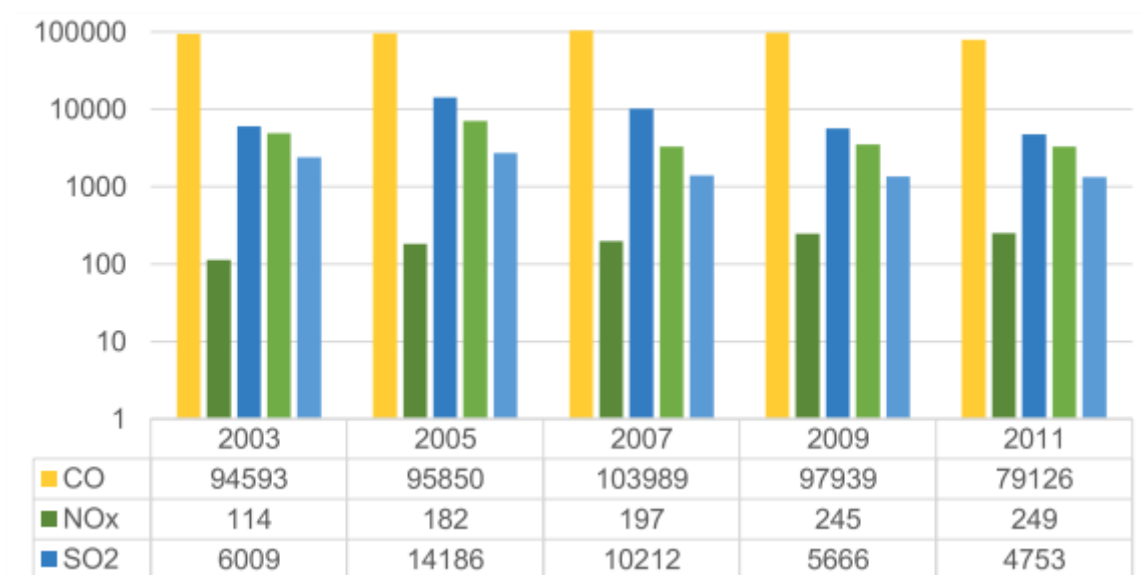


Figura 2.2 Evolución de los gases primarios producto de fuentes móviles a través de los años.

Fuente: (Baca, 2014b)

La figura 2.2 y Anexo 1 muestran una disminución de emisiones como NO_x y CO, debido a la implementación de medidas de control de emisiones por parte de la RTV y también porque los vehículos se han ido actualizando año tras año; hay que tener en cuenta que los vehículos más actuales disponen de sistemas de eficiencia y, por tanto, de sistemas de tratamiento de emisiones.

En lo que respecta a emisiones de CO₂, también existe una reducción en la producción de este gas que va asociada a la calidad del combustible (un combustible de peor calidad genera más emisiones y costos en el mantenimiento). En 2011 Petroecuador empezó la campaña de mejora de combustibles.

Esta mejora permite un mayor rendimiento de los motores y también disminución de emisiones producto de la combustión. Siendo la información recopilada tomada de factores como presión, temperatura y calidad del combustible.

El deterioro de las bases de datos de emisiones vehiculares por problemas de factores improprios de la zona, ha hecho que se opten por realizar investigaciones en donde se puedan reflejar los mismos.

Tabla 2.3 Factores de emisión con parámetro principal la altura.

Vehículo de prueba	Altitud (m.s.n.m)	CO (g/km)	HC (g/km)	NO_x (g/km)
Chevrolet vitara Cilindraje 1600cc	0	10,04	0,1830	0,1410
	500	11,04	0,3330	0,1910
	1000	12,04	0,4830	0,2410
	1500	13,04	0,6330	0,2910
Año de fabricación 2002	Altitud (m.s.n.m)	CO (g/km)	HC (g/km)	NO_x (g/km)
	2000	14,04	0,7830	0,3090
	2500	15,04	0,9330	0,2640
	3000	16,04	1,0830	0,2190
	3500	17,04	1,2330	0,1740

Fuente: (Vega et al., 2016)

La tabla 2.3 muestra los EF tomados sobre el nivel del mar y también para diferentes altitudes, las pruebas reflejaron que los NO_x aumentan un 35% por cada 500 [m.s.n.m] después de esta altitud disminuye un 23% con cada aumento de 500 [m.s.n.m], en el caso del carbono aumenta un 10% cada vez que se eleva 500 [m], los hidrocarburos un 82% cada 500 [m.s.n.m]. De esta manera, son muchas las diferencias encontradas en los inventarios de emisiones con factores de emisión mexicanos, ya que las condiciones de uso y calidad del combustible varían.

2.2 FUNDAMENTOS DE EMISIONES DEL TRASPORTE DE CARRETERA.

2.2.1 Emisiones vehiculares

García, (2017) menciona que la contaminación por emisiones producidas por vehículos, en específico los que son propulsados por MCI representan el 13% de la contaminación mundial, y estos generan tres clases de contaminantes como se observa en la figura 2.3:

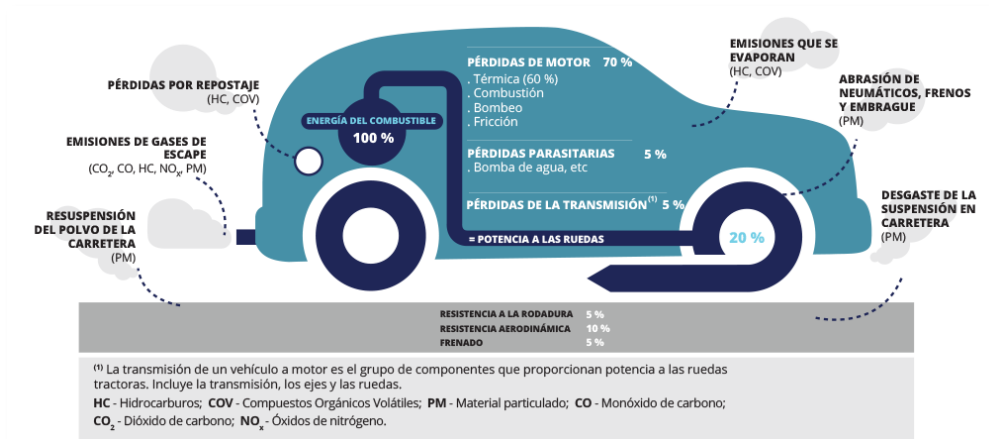


Figura 2.3 Tipos de Emisiones Vehiculares
Fuente: (Agencia Europea de Medio Ambiente, n.d.)

2.2.2 Emisiones por el tubo de escape

Representan el mayor porcentaje de emisiones producidas por el vehículo, se causan por procesos químicos luego de la quema de un combustible realizada dentro del cilindro. INEC (2006), indica que estos gases comprenden el dióxido de carbono (CO₂), así también como óxidos de nitrógeno (NO_x), además de monóxido de carbono (CO), también hidrocarburos (HC) y material particulado (PM). Además, hace algunos años se liberaban contaminantes producto del azufre y el plomo que se encontraban en los combustibles, lo que generaba emisiones evaporativas como se mira en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Clasificación de emisiones contaminantes

Clases de emisiones de gases de escape	
Emisiones “por el tubo de escape”	Dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos.
Emisiones evaporativas	Gases producto de la evaporación de combustibles.

Fuente: (INECC, 2006)

La generación de contaminantes por el tubo de escape es producida por varios aspectos como la clase del vehículo, tipo de combustible y la tecnología de tratamiento, de manera que un vehículo con más años de antigüedad puede producir más emisiones contaminantes que uno que tenga sistemas electrónicos. Por otro lado, la caracterización de vehículos y combustibles que se utilizan son un parámetro determinante en el tipo de gases

contaminantes que produce, por ejemplo, como indica la web especializada CAR AND DRIVER (2020): los motores de combustión que provocan la producción de CO₂, representan el 47% de la producción de los gases, al contrario, en los motores de autoencendido, el aprovechamiento del combustible (Diésel) permite producir entre un 20 y 25 % menos de CO₂.

2.2.3 Emisiones evaporativas

Son aquellas provocadas por el cambio de estados del combustible, en el trayecto del tanque de combustible hasta la cámara de combustión, son diversos parámetros que tienen incidencia para la evaporación del combustible como la temperatura, las características del vehículo y la presión de vapor de combustible (INECC, 2006), este último mide la presión de los vapores de los derivados del petróleo en un sistema cerrado a una temperatura de 38° C.

2.2.4 Emisiones por desgaste

Grigoratos & Martini, (2015), mencionan las emisiones pueden generarse por abrasión de frenos, los neumáticos, el embrague y la superficie de la carretera, además de que ya existen en forma de material depositado al borde de la carretera volviendo a suspenderse debido a la turbulencia producida por el tráfico, llamándolas como emisiones por desgaste.

2.3 FUNDAMENTO DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES

2.3.1 Inventario de Emisiones

Inventario se denomina aquella recopilación de diversos datos que brindan características que, a través de una sumatoria brindan información determinada, las emisiones contaminantes se presentan de acuerdo a la cantidad y tipo de contaminantes que son expuestos en una localidad determinada en un período de tiempo establecido (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), 2017, p. 18)

Todos los inventarios son distintos entre sí, al existir parámetros como la cantidad y calidad de información, tienen una variación dependiendo de aquellos recursos que disponen. Desde ese punto de vista la planificación de un inventario se trata sobre la identificación de diversas

variables, las cuales interesen y a su vez toda la recopilación de información, para que sea analizada de manera congruente, de esta forma se logra cumplir el inventario.(INECC-SEMARNAT, 2013)

Las principales variables de los inventarios de emisiones abarcan diferentes aspectos como el propósito, que se cataloga como la gestión de direccionamiento que se planea dar, a fin de establecer el grado de detalle que tendrá la información, además de definir la guía para el proceso de levantamiento de datos, brindando avance en el desarrollo, evitando de esta forma la pérdida de tiempo y esfuerzo en parámetros que no sean accesibles (falta de recursos, información, etc.).

Otro aspecto importante es la caracterización de manera temporal, en la que se consideran períodos de tiempo, así también como la variabilidad temporal, debido a esto, al período de tiempo se lo considera como un rango, en el cual se van efectuar los cálculos de emisiones, identificadas por cumplir un año base, es decir estimaciones realizadas por años calendario.

La variabilidad temporal se refiere a la medida de los cambios o fluctuaciones que ocurren en un fenómeno o evento a lo largo del tiempo. Esta variabilidad temporal puede estar influenciada por factores como las condiciones ambientales, la actividad humana, la estacionalidad y otros factores que afectan el fenómeno en cuestión.(Arguello, 2020)

En ese sentido, otro elemento fundamental es la caracterización de manera espacial, la cual se la puede encontrar de dos maneras que son: el dominio y la resolución espacial, que brindan importancia al momento de realizar el levantamiento de los datos de emisiones.

2.3.2 Modelamiento de flujo vehicular (tráfico y emisiones)

Se denomina tránsito vehicular al resultado producido por el flujo de vehículos que transitan a través de una calle, carretera o autopista. El flujo vehicular permite conocer de qué forma circula una determinada flota de vehículos en cualquier tipo de escenario de viabilidad, mediante la lectura de parámetros (flujo, velocidad, densidad), de tal manera que se puede estudiar factores como: el comportamiento del tránsito y el porcentaje de eficiencia de operación.

Smith (2020) señala que, en términos de modelamiento de flujo vehicular, existen dos tipos principales: los modelos macroscópicos y microscópicos. Donde los macroscópicos son

modelos de alto nivel que se utilizan para analizar el flujo de tráfico a nivel de la red. Estos modelos se basan en ecuaciones matemáticas y proporcionan información sobre el flujo de tráfico, la velocidad y la densidad en diferentes puntos de la red. Los modelos macroscópicos también se pueden utilizar para predecir las emisiones de los vehículos en la red.

Los modelos microscópicos, por otro lado, son modelos de nivel de vehículo que simulan el comportamiento de cada vehículo individualmente. Estos modelos proporcionan información más detallada sobre el flujo de tráfico, incluyendo la aceleración y el frenado de cada vehículo. Los modelos microscópicos también se utilizan para predecir las emisiones de los vehículos y son especialmente útiles para analizar el impacto del tráfico y las emisiones del vehículo.

En general, el modelamiento de flujo vehicular es una herramienta importante para entender el comportamiento del tráfico y las emisiones en una ciudad o región, y para desarrollar soluciones para reducir la congestión y las emisiones de los vehículos. Sin embargo, es importante tener en consideración que los modelos de simulación una caracterización de la “realidad” y siempre deben ser validados y verificados utilizando datos reales.

2.3.3 Elementos del flujo vehicular

El flujo vehicular presenta tres elementos principales que buscan la relación entre sí (flujo, velocidad, densidad), de tal manera que se pueda determinar las corrientes de tránsito y así estimar diferentes escenarios en los cuales se opere el proyecto. También se las puede conocer como asociación de variables al volumen, intervalo, etc (Mozo Sánchez, 2012a).

La velocidad se define como una unidad de desplazamiento por unidad de tiempo y se expresa en [km/h], se utiliza los VKTS para cálculos y otras observaciones, ya que su modo de cálculo es fácil y destaca que esta variable estadística es más relevante en comparación a otras, ya que existe diferente producción de gases contaminantes en determinadas velocidades de conducción.

Los VKTS son considerados como cantidad de vehículos que transitan a lo largo de una distancia (Mozo Sánchez, 2012b). El factor hora pico hace referencia a la cumbre de la variación en la circulación vehicular dentro de un determinado intervalo de tiempo, esto ocurre en entornos urbanos y suburbanos, donde la afluencia de vehículos se incrementa en

determinadas horas del día, dando como resultado variaciones en los volúmenes de producción de gases contaminantes. El cálculo de la densidad determina cuantos vehículos existen en un área dada, en este caso carretera o carril esta se expresa en [veh/km], este es un parámetro que relaciona la demanda de tránsito.

2.3.4 Factores de emisión

Un factor de emisión representa la producción de contaminantes liberados por vehículos en función de la actividad realizada por los mismos. Un ejemplo de factores de emisión son las mediciones de producción de gases contaminantes tomadas en los laboratorios antes de lanzar un vehículo a circulación, también se puede determinar factores de emisión a partir de mediciones en túneles, como las realizadas en la ciudad de São Paulo, Brasil (Gavidia-Calderón et al., 2021).

Además, existen factores que se basan en las guías de emisión europeas (Ntziachristos & Samaras, 2016b), otro tipo de factores de emisión incorpora sondeo de datos segundo a segundo como es el caso del modelo PHEM, esta se basa en la potencia específica vehicular(Zallinger et al., 2008).

Estos modelos de emisiones tienen varias limitantes que hacen que su uso sea restringido, por el tipo de operación o los costos. El programa VEIN es un código de fuente abierta y es versátil por el uso del lenguaje de programación R, de tal manera que puede funcionar en casi cualquier sistema operativo como Windows, MAC, Fedora, debían entre otros (Ibarra-Espinosa, Zhang, Xiu, et al., 2021).

El código abierto VEIN incorpora factores de emisiones de diferentes clases como la forma China de inventarios, guía europea de emisiones (Ntziachristos et al., 2009). En la imagen 2.3 se encuentra la representación de los diferentes EF generados en VEIN, el texto por Rmakdown y el gráfico por el paquete ggplot2 en donde se ven expresados estos factores en g/km en función de la velocidad km/h (Wickham, 2016).

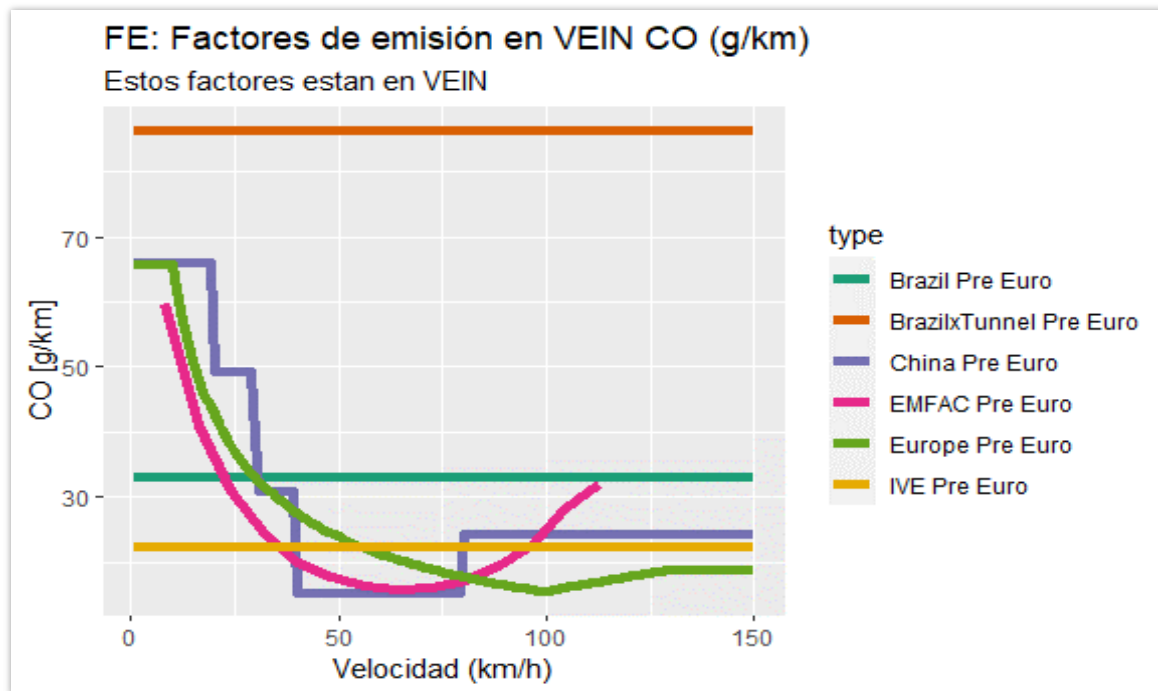


Figura 2.4 Factores de emisión utilizando diversas metodologías de investigación
Fuente: (Ibarra-Espinosa & Ropkins, 2021)

2.3.5 Emisiones mediante análisis bottom up y top down

Para evaluar los datos de un determinado estudio, se emplean dos tipos de estrategias que muestran como varían estos valores dentro de un sistema, como son:

Top Down es el tipo de procesamiento de datos, se basa en la toma de datos de manera global (por ejemplo, a escala país) hasta abordar variables más pequeñas o que están más detalladas, en la fabricación de los inventarios de emisiones se toma toda la producción de gases contaminantes de un determinado parque automotor como información de análisis, hasta llegar al análisis de los tipos de vehículos o las variables que intervienen en este proceso.

Bottom up es el modelo de análisis que estudia la información de forma individual hasta abordar todos los datos de forma global, enfocado al análisis de emisiones que parte de valores que sean pequeños con un mayor nivel de cálculo, por ejemplo: volúmenes vehiculares, vectores de línea espaciales, entre otros.

2.4 INVENTARIO DE EMISIONES VEHICULARES

2.4.1 Modelos matemáticos de estimación de emisiones

Los inventarios son catalogados como herramientas para la gestión de calidad de aire, ya que cuantifican la masa de contaminantes que son liberados a la atmósfera, por lo cual los inventarios su pueden usar como indicadores para rastrear y monitorear objetivos ambientales en la calidad del aire, utilizando modelos matemáticos que permiten realizar dichos inventarios como son:

Tabla 2.5 Modelos matemáticos de estimación de emisiones.

	COPERT	HBEFA	MOVES	VEIN
Coordinación	EEA	Centro europeo de investigación de la comisión europeo	EPA	Independiente
Área de Estudio	EUROPA	EUROPA	USA	ASIA AMERICA EUROPA
Tipo de Emisiones	Arranque en caliente, en frío. Emisiones por desgaste.	Emisiones en caliente, en frío, evaporativas.	Emisiones en caliente, en frío, evaporativas.	Emisiones en caliente, en frío, por desgaste, evaporativas.
PRECIO	VALOR ALTO	VALOR ALTO	VALOR ALTO	GRATIS

Fuente: (Kapadia et al., 2017)

La mayoría de software que se dedican a realizar modelos matemáticos como son MOVES en Estados Unidos, COPERT o HBFA en Europa, tienen un alto valor y son desarrollados para lugares en específico, por lo cual se eligió VEIN al ser desarrollado por un paquete de R, con subrutinas de Fortran, siendo dirigido a los países en desarrollo y es gratuito, además de tener librerías de América que permite adaptarse al entorno. (Ibarra-Espinosa, Mera, et al., 2021)

2.4.2 Lenguaje de programación “r”

A R se lo cataloga como una expresión destinada para programar y como “hábitat” utilizado para estudios estadísticos, teniendo similitud con el lenguaje y entorno de S, sin embargo,

existen diferencias significativas en gran porcentaje del código S y puede ser utilizado sin cambio en R. El entorno de R posee una caracterización de sistema que cuenta con dos cualidades fundamentales como son la planificación y la coherencia, a diferencia de otros softwares empleados para simulación de datos.

R lleva las iniciales de los nombres de los creadores el motivo de su denominación. R fue diseñado con bases en lenguaje informático, brindando accesibilidad adicional a los usuarios a través del establecimiento de nuevas funciones, catapultando esta herramienta para la realización de nuevas formas en las que se pueda simular datos con un sin número de librerías o paquetes.

Debido a que es un entorno de programación, tiene ventanas de trabajo, donde el objetivo es el ingreso de diversas instrucciones con la finalidad de establecer funciones de análisis que se ejecutan sobre datos cargados de manera previa, denominado como script, con formato *. R. Además de la multifuncionalidad de R, se tiene una interfaz amigable que permite ejecutar algunas ventanas en simultaneo, también establecer procesos de guardado, facilidad de visualización con graficas presentadas en ventanas independientes y la facilidad de la exportación de dichos resultados en varios formatos (. jpeg, .xls, .pdf, etc.).

El lenguaje de R proyecta a objetos, esto significa que todos sus componentes como (datos, funciones, etc.), son alojados en la memoria activa, brindando la facilidad de evitar el uso de archivos temporales, en donde se logra la manipulación o modificación de operadores y funciones con la ayuda de comandos definidos(Díaz, 2015) como presencia en la imagen 2.5.

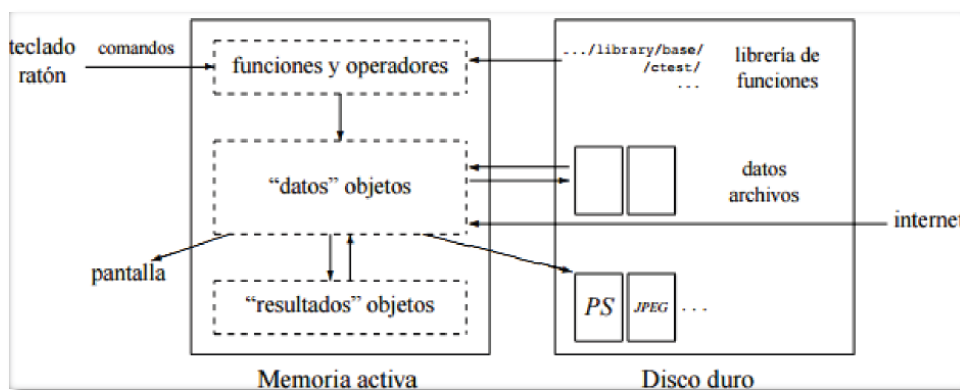


Figura 2.5 Esquema de funcionamiento R

Fuente: (Díaz, 2015).

Teniendo como ventajas de R, la gratuidad del software, posee el aval de comunidad científica, permite programación, sus librerías pueden ser descargadas y manejadas libremente y es catalogada como GNU en su estado fuente.

2.4.3 R- Studio

Debido a que el script de R representaba dificultades para la operatividad representando un motivo para la inclusión de la interfaz conocida como R-Studio como se presencia en la figura 2.6, esta herramienta tiene un entorno de desarrollo integrado (IDE), permite tener algunas herramientas como un editor (ejecución directa), historial, depuración y ploteo establecidos.

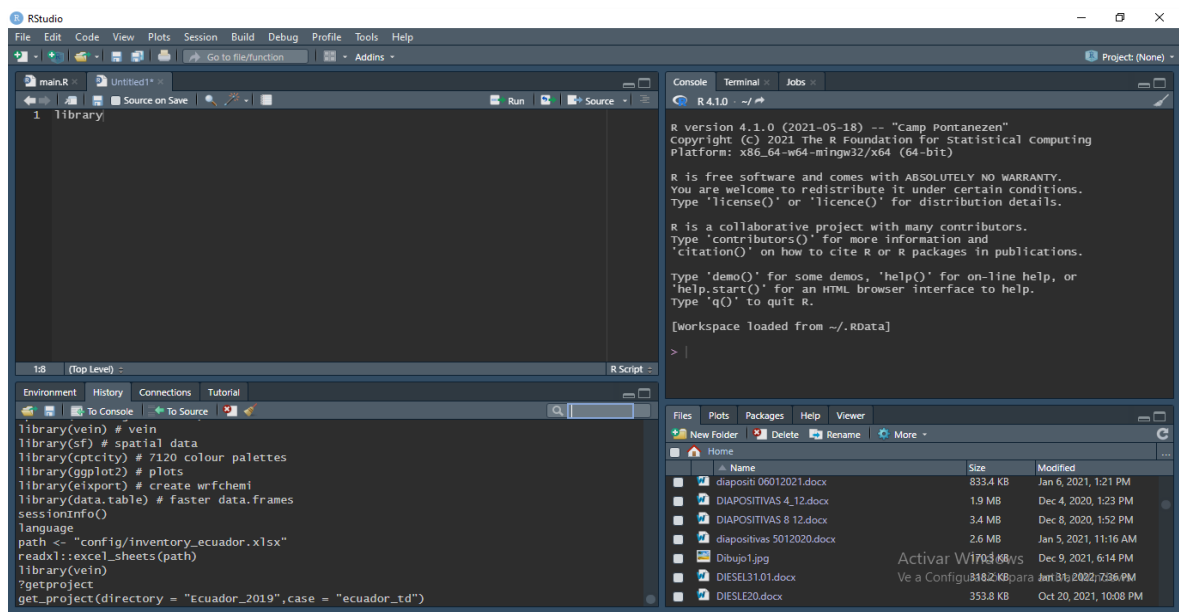


Figura 2.6 Interfaz de R -Studio
Fuente: (VEIN)

R-studio brinda complemento a la herramienta R, logrando tener aumento en campos como la productividad y análisis de datos, cuenta con una gran comunidad de científicos, permite que sus librerías sean instaladas y actualizadas con mayor facilidad, brindando interactividad en el conocimiento de detalles de las librerías sin la necesidad de usar un navegador Web.

2.4.4 Modelo de emisiones vehiculares – VEIN

La contaminación es un realidad de importancia mundial, reflejando la escala del estudio de emisiones vehiculares, siendo el objetivo cuantificar la producción elaborada por los

automóviles, derivando en el motivo por el cual Sergio Ibarra (Autor VEIN), ideó la posibilidad de diseñar escenarios los cuales permitan encontrar caminos óptimos con la finalidad de reducir la contaminación atmosférica, describiendo a VEIN como “Vehicular Emissions INventorios”.

2.4.5 Historia

VEIN tuvo su creación en octubre de 2016, sin embargo, antes de pertenecer a la librería de R, estuvo catalogado como una colección de scripts (remIAG), luego fue presentado en un congreso, como un trabajo titulado “Vehicular bottom-up” para después de un tiempo tomar el nombre de TAP y posterior a dicho nombre se presentó como “REMI model”(Ibarra-Espinosa & Ynoue, 2017), representando el trabajo previo a la obtención de VEIN.

2.4.6 VEIN

“Es un paquete de R, que posee rutinas de Fortran y procesos que son paralelos con OpenMp”(Ibarra-Espinosa, Schuch, et al., 2018), en donde al ser utilizado con el lenguaje de programación estadístico, permite importar las siguientes librerías:

- **sf** **Provee Simple Features para R** (Pebesma, 2018): Representa una forma estandarizada de representar datos de vectores espaciales.
- **data.table**: Representa una extensión de data frame, permite la tabulación de datos además de brindar la característica de rapidez y se encuentra escrita en C.
- **Units** (Pebesma et al., 2016): Permite realizar conversiones entre diferentes unidades de manera fácil, gracias al acceso a la librería UCAR (udunits) en R.
- **dotCall64** (Gerber et al., 2017): Funciona como un mecanismo que evita copia de los objetos gracias a subrutinas de Fortran.

La versatilidad de VEIN permite incluir clases y funciones que estiman las emisiones, por lo cual dependiendo del caso se puede usar factores de emisión fijos (local_ef), los cuales pueden ser transformados en diversas funciones como son deterioración por años de uso (emis-det), velocidad (speed_ef), conformando el factor de emisión final (scaled_ef).

Las actividades de tráfico son procesadas, ingresando a la función “emis” y posterior procesamiento a la función emis_post, lugar donde se generan basas de datos (df_emi), como

también emisiones de calle (street_emis), siendo presentados por la figura 2.6 donde se mira el proceso de como estimar emisiones.

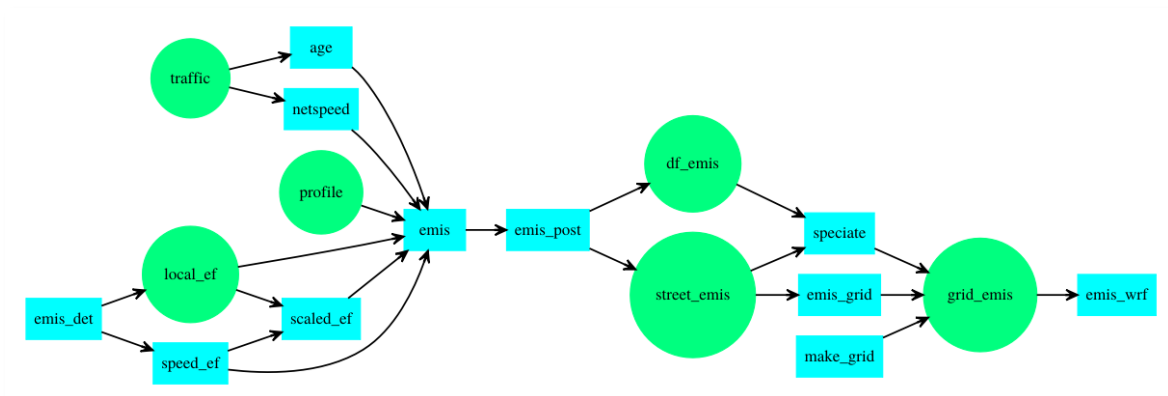


Figura 2.7 Flujograma de pasos de estimación de emisiones genérico usando VEIN

Fuente: (Sergio Ibarra,2019)

Las emisiones entran en proceso de separación mediante compuestos específicos y a su vez las emisiones de calle tienen distribución de grilla, según el autor tiene un proceso conservativo, finalmente genera un archivo NetCDF con la finalidad de correr WRF Chem, que es un proceso genérico el cual dependiendo de la ciudad debe tener su respectiva peculiaridad.

El proceso predeterminado del VEIN trata de generar un flujo espacial de emisiones, donde la distribución de las grillas (objeto espacial de calles que contienen datos calidad de aire, masa/ área/ tiempo), tiene una conservación de la masa y una posterior división del área en kilómetros, dando como resultante en $[g/ km^2/h]$. A pesar de su versatilidad y beneficios, al momento de correr VEIN puede ser complejo, por este motivo Sergio Ibarra, desarrollo diversos proyectos los cuales permiten efectuar un inventario de emisiones de manera completa, con todas las facilidades como son la generación de gráficas, además de generar archivos NetCDF, con el uso de Excel. El archivo inventory.xlsx tiende a variar en diversos proyectos por lo cual es fundamental centrarse en Ecuador, para conocer las diversas informaciones como las siguientes:

- **metadata.** – Contiene información de la composición vehicular, aspectos fundamentales como el tipo de familia, de vehículo, de combustible que utiliza, tamaño, categoría de la Agencia Europea de Medioambiente (EEA), tipo de combustible “EEA”, segmentación

EEA, además contiene el ciclo de conducción, kilómetros promedio recorridos, todo esto correspondiente al proyecto dedicado a ECUADOR.

- **fleet_age, veh.** – Corresponde a los vehículos por año de uso, teniendo en consideración datos reales proporcionados por el INEC, los cuales brindan el año 2019, tomando en consideración que posterior existen variaciones debido a la pandemia.
- **tfs.** - Trata de los factores de expansión del flujo vehicular en donde se considera los tipos de vehículos, además de la estimación de fecha y un lapso de 24 horas.
- **mileage.** – Hace referencia al kilometraje recorrido por año de uso, por lo cual se toma los tipos de vehículos y los años de uso los cuales abarcan 40 años de uso como capacidad máxima.
- **fuel.** – Hace alusión al consumo de combustible, para lo cual, mediante la obtención de datos por parte de la Secretaría de Medio Ambiente de Quito, se estableció la densidad del combustible tanto para gasolina como para diésel en $[t/m^3]$, además del consumo de combustible establecido en las 25 provincias del Ecuador determinado en [1] y a continuación en $[m^3]$, todo esto respecto al año 2019.
- **td.** – Se trata de la suma de combustible que fue consumido tanto en gasolina y en diésel en el año 2019 a lo largo de las 25 provincias del Ecuador, expresado en $[m^3]$.
- **fuel_month.** – Es el consumo de combustible mensual de cada una de las provincias del Ecuador, en la cual cuenta con la densidad en $[t/m^3]$, tipo de combustible, el país, región (provincia), la cantidad de combustible desde enero a diciembre del 2019 en $[m^3]$.
- **euro.** – Es la normativa correspondiente a cada tipo de vehículo, en lo cual se establece los años desde el 2004 hasta 2019 y su respectiva ubicación en las “Normativas Europeas sobre Emisiones”.
- **met.** – Es la información meteorológica media por mes para la región de estudio, en donde se tiene como datos la fecha de dicha información y la temperatura media de cada provincia.

Para poder acceder a VEIN es necesario instalar el programa de programación estadística R, además de R-studio. Posterior a dicho paso es necesario colocar el siguiente texto en el script de R-studio, **remotes::install_git_hub (“atmoschem/vein”)** en conjunto con **library (vein)**, todo esto con la finalidad de descargar desde git_hub el sistema VEIN, además es importante que se realice la descarga de varios paquetes lo cuales son requeridos para su ejecución.

Tabla 2.6 Paquetes necesarios para correr VEIN

install.packages (“remotes”)
install.packages (c(“ggplot2”, “swirl”, “lattice”, “car”, “fImport”, “tseries”))
install.packages (“readxl”)
install.packages (“eixport”)
install.packages (“writexl”)
install.packages (“cptcity”)
install.packages (“remotes”)

Fuente: (Ibarra, 2022)

Posterior a la instalación de estos paquetes se realiza el siguiente paso que se trata de la descarga de un proyecto del sistema VEIN para esto se inserta el siguiente código:

```
vein:: get_project ( directory= “ nueva_carpeta”, case= “brazil_bu_chem”)
```

Como se observa en el texto se tiene que usar la función denominada `get_project` correspondiente a VEIN, para luego implementar el uso de la función “`directory`” que representa el nombre que llevara la carpeta que contiene el proyecto de VEIN, la función `case` hace alusión a el tipo de proyecto, ya que en la actualidad VEIN cuenta con 23 proyectos, donde se encuentra la representación de banco de datos de emisiones de Brasil, Colombia, Ecuador, etc.

2.5 ESTADO DEL ARTE

VEIN cuenta con un total de 25 proyectos destinados a la estimación de emisiones, desarrollados para diferentes lugares del mundo como Europa, China, Brasil, Colombia y Ecuador, con una descripción top down del 35% de representación y bottom up con un 65% de proyectos.

Los factores de emisión son diferentes en función de cada lugar, con cuatro tipos de EF, como los de la Compañía de Medio Ambiente del Estado de Sao Paulo (CETESB), la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y el Ministerio de Ecología y Medio Ambiente de China (MEE). Donde los proyectos más relevantes son los de Sao Paulo y China, como se ejemplifica en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Proyectos de VEIN en distintos países.

País	Caso	Descripción	EF
China	china_bu_chem	Top Down	MEE
Brasil	brazil_td_chem	Bottom Up	CETESB

Fuente: (Ibarra, 2022)

El inventario de emisiones desarrollado en China se focalizó para la región noreste, concretamente para las provincias de Jilin, Liaoning y Heilongjiang. Se utilizó la metodología Top Down (estadísticas de flotas), con la incorporación de factores de emisión MEE ajustados en función de la temperatura, humedad, altitud, velocidad, calidad del combustible y la actividad. Además, los EF se dividieron para obtener compuestos contaminantes específicos como datos de las directrices europeas sobre emisiones, donde los contaminantes obtenidos fueron CO, HC, NO_x, PM_{2.5}, BC, CO₂ y NO_x (Ibarra-Espinosa, Zhang, & Xiu, 2021).

El inventario elaborado para Brasil se centró en la ciudad de Sao Paulo, con metodología Bottom Up, incorporando factores de emisión CETESB que se determinaron a partir de mediciones en túneles. Los datos de tráfico se obtuvieron de dos fuentes: 120 millones de observaciones GPS y simulación de demanda de viajes en vehículos, dando como resultado los siguientes contaminantes: CO, HC, NMHC, NO_x, CO₂, RCHO, PM, NO₂, NO (Ibarra-Espinosa et al., 2020).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Este capítulo muestra la metodología, herramientas y materiales implementados para el desarrollo del inventario de emisiones del parque automotor del DMQ.

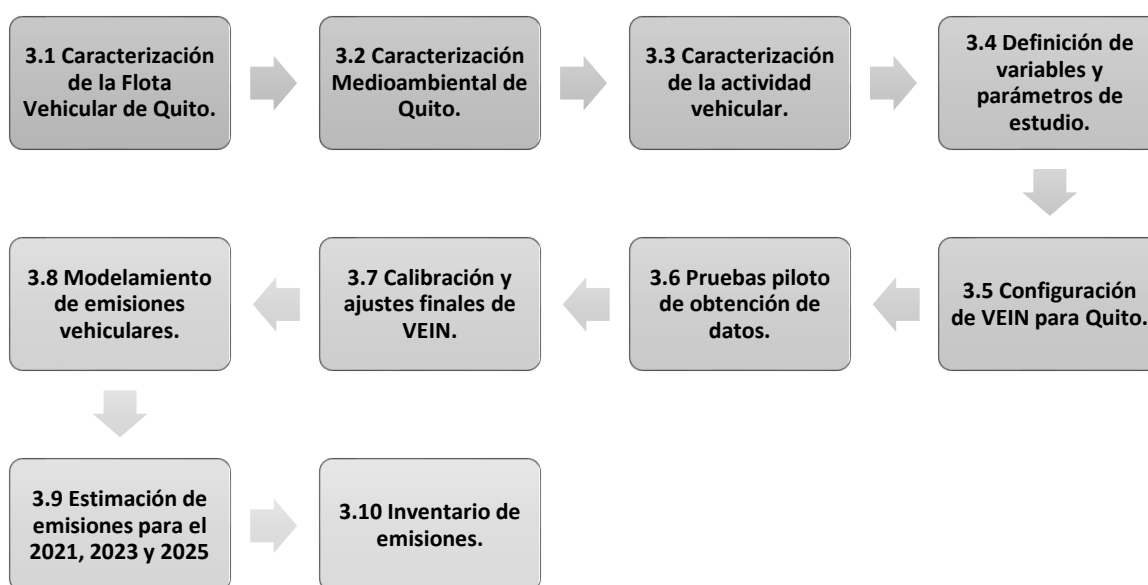


Figura 3.1 Flujograma de Metodología para el uso de VEIN
Fuente: (Autores)

La figura 3.1 presenta una guía con la cual se estableció el proceso a seguir con el cual se realizó el inventario de emisiones, tal y como se detalla a continuación.

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA FLOTA VEHICULAR DE QUITO

Un aspecto fundamental para la caracterización de VEIN, fue la delimitación del parque vehicular, con esto fue posible conocer aspectos de los contaminantes, obteniendo los datos del "Instituto Nacional de Estadística y Censos"(INEC, 2019), por esta razón la caracterización del parque vehicular se obtuvo a través de dos métodos que son:

3.1.1 Caracterización por tipo de vehículo

Mediante la recopilación efectuada se obtuvo un total de 62 tipos de automóviles presentados a continuación.

Tabla 3.1 Vehículos de Quito de acuerdo con su tipo

Nomenclatura	Nombre	Combustible	Tamaño
PC_MINI_G	Vehículos de pasajeros (mini) a gasolina.	G	<1400cc
PC_SMALL_G	Vehículos de pasajeros (pequeños) a gasolina.	G	1400-2000cc
PC_MEDIUM_G	Vehículos de pasajeros (medianos) a gasolina.	G	>2000cc
PC_SUV_G	Vehículo utilitario deportivo a gasolina.	G	>1400cc
PC_MINI_D	Vehículos de pasajeros (mini) a diésel.	D	<1400cc
PC_SMALL_D	Vehículos de pasajeros (pequeños) a diésel.	D	1400-2000cc
PC_MEDIUM_D	Vehículos de pasajeros (medianos) a diésel.	D	>2000cc
PC_SUV_D	Vehículo utilitario deportivo a diésel.	D	>1400cc
PC_ELEC	Vehículos de pasajeros eléctricos.	ELEC	Todos
PC_SMALL_HY	Vehículos de pasajeros (pequeños), híbridos.	HY	1400-2000cc
TAXI_SMALL_G	Taxis (pequeños) a gasolina.	G	1400-2000cc
TAXI_SMALL_GLP	Taxis (pequeños), gas licuado de petróleo.	GLP	1400-2000cc
LCV_NI_G	Vehículo comercial ligero N1 a gasolina.	G	<=1.305t

Fuente: (Ibarra, 2022)

Tabla 3.2 Vehículos de Quito de acuerdo con su tipo (Continuación)

Nomenclatura	Nombre	Combustible	Tamaño
LCV_NII_G	Vehículo comercial ligero N2 a gasolina.	G	1.305-1.76t
LCV_NIII_G	Vehículo comercial ligero N3 a gasolina.	G	>=1.76t
LCV_NI_D	Vehículo comercial ligero N1 a diésel.	D	<=1.305t
LCV_NII_D	Vehículo comercial ligero N2 a diésel.	D	1.305-1.76t
LCV_NIII_D	Vehículo comercial ligero N3 a diésel.	D	>=1.76t
LCV_ELEC	Vehículo comercial ligero eléctrico.	ELEC	todos
LCV_HY	Vehículo comercial ligero híbrido.	HY	todos
TRUCKS_RT_7_D	Camiones rígidos a diésel <=7.5t	D	<=7.5t
TRUCKS_RT_7_12_D	Camiones rígidos a diésel 7.5-12t	D	7.5-12t
TRUCKS_RT_12_14_D	Camiones rígidos a diésel 12-14t	D	12-14t
TRUCKS_RT_14_16_D	Camiones rígidos a diésel 14-16t	D	14-16t
TRUCKS_RT_16_20_D	Camiones rígidos a diésel 16-20t	D	16-20t
TRUCKS_RT_20_26_D	Camiones rígidos a diésel 20-26t	D	20-26t
TRUCKS_RT_26_28_D	Camiones rígidos a diésel 26-28t	D	26-28t
TRUCKS_RT_28_32_D	Camiones rígidos a diésel 38-32t	D	38-32t
TRUCKS_RT_32_D	Camiones rígidos a diésel >=32t	D	>=32t
TRUCKS_RT_7_G	Camiones rígidos a gasolina <=7.5t	G	<=7.5t
TRUCKS_RT_7_12_G	Camiones rígidos a gasolina 7.5-12t	G	7.5-12t
TRUCKS_RT_12_14_G	Camiones rígidos a gasolina 12-14t	G	12-14t
TRUCKS_RT_14_16_G	Camiones rígidos a gasolina 14-16t	G	14-16t
TRUCKS_RT_16_20_G	Camiones rígidos a gasolina 16-20t	G	16-20t
TRUCKS_RT_20_26_G	Camiones rígidos a gasolina 20-26t	G	20-26t
TRUCKS_RT_26_28_G	Camiones rígidos a gasolina 26-28t	G	26-28t
TRUCKS_RT_28_32_G	Camiones rígidos a gasolina 38-32t	G	38-32t
TRUCKS_RT_32_G	Camiones rígidos a gasolina >=32t	G	>=32t

Fuente: (Ibarra, 2022)

Tabla 3.3 Vehículos de Quito de acuerdo con su tipo (Continuación)

Nomenclatura	Nombre	Combustible	Tamaño
TRUCKS_AT_16_20_D	Camiones articulados a gasolina 16-20t	D	16-20t
TRUCKS_AT_20_28_D	Camiones articulados a gasolina 20-28t	D	20-28t
TRUCKS_AT_28_34_D	Camiones articulados a gasolina 28-34t	D	28-34t
TRUCKS_AT_34_40_D	Camiones articulados a gasolina 34-40t	D	34-40t
TRUCKS_AT_40_50_D	Camiones articulados a gasolina 40-50t	D	40-50t
TRUCKS_AT_50_60_D	Camiones articulados a gasolina 50-60t	D	50-60t
TRUCKS_ELEC	Camiones eléctricos	ELEC	todos
BUS_UB_15_D	Buses urbanos a diésel <=15t	D	<=15t
BUS_UB_15_18_D	Buses urbanos a diésel 15-18t	D	15-18t
BUS_UB_18_D	Buses urbanos a diésel >=18t	D	>=18t
BUS_UB_15_G	Buses urbanos a gasolina <=15t	G	<=15t
BUS_UB_15_18_G	Buses urbanos a gasolina 15-18t	G	15-18t
BUS_UB_18_G	Buses urbanos a gasolina >=18t	G	>=18t
BUS_COACH_17_D	Buses interprovinciales a diésel <=18	D	<=18
BUS_COACH_18_D	Buses interprovinciales a diésel >18t	D	>18t
BUS_COACH_17_G	Buses interprovinciales a gasolina <=18	G	<=18
BUS_COACH_18_G	Buses interprovinciales a gasolina >18t	G	>18t
BUS_UB_15_HY	Buses híbridos	HY	todos
BUS_ELEC	Buses eléctricos	ELEC	todos

Fuente: (Ibarra, 2022)

Tabla 3.4 Vehículos de Quito de acuerdo con su tipo (Continuación)

Nomenclatura	Nombre	Combustible	Tamaño
MC_2S_50_G	Motocicletas 2 tiempos ≥ 50 cc gasolina	G	50cc
MC_4S_50_250_G	Motocicletas 4 tiempos ≤ 250 cc gasolina	G	50_250
MC_4S_250_750_G	Motocicletas 4 tiempos 250-750 cc gasolina	G	250- 750cc
MC_4S_750_G	Motocicletas 4 tiempos ≥ 750 cc gasolina	G	≥ 750 cc
MC_ELEC	Motocicletas eléctricas	ELEC	todos

Fuente: (Ibarra, 2022)

Las tablas 3.1 a 3.4, muestran los tipos de vehículos existentes en Ecuador, que fueron clasificados en función de los factores de la EEA, clasificándolos en vehículos de pasajeros (PC) mini, pequeños medianos, vehículos utilitarios deportivos (SUV), taxis, vehículos pesados, camiones rígidos, articulados, eléctricos, buses urbanos, buses interprovinciales, las motocicletas de dos, cuatro tiempos y eléctricas. Además, otro parámetro para la caracterización fue la clasificación por tipo de combustible, que en Ecuador son el DIÉSEL y la GASOLINA ("Súper", "Extra" y "Eco país"). Finalmente, como último parámetro fue la clasificación de acuerdo a la cilindrada [cc] y el tonelaje de cada vehículo, con el fin de establecer los patrones de cálculo.

3.1.2 Caracterización por años de uso

Otra forma en la que se identificó el parque de vehículos es a través del número de vehículos que se matricularon durante un año, obteniendo así un parámetro de vehículos de 2004 a 2019, como se presencia a continuación.

Tabla 3.5 Cantidad de Vehículos Definidos por año de matriculación.

AÑO	PC_MINI_G	PC_SMALL_G	PC_MEDIUM_G	PC_SUV_G	PC_MINI_D
2019	18575	37789.1	1572	14447	116
2018	8602	24402.65	891	39723	25
2017	5522	15650.3	106	24392	1

Fuente: (INEC, 2018)(INEC, 2019)

Tabla 3.6 Cantidad de Vehículos Definidos por año de matriculación (Continuación).

AÑO	PC_MINI_G	PC_SMALL_G	PC_MEDIUM_G	PC_SUV_G	PC_MINI_D
2016	4030	13349.4	201	14707	1
2015	9792	23799.4	36	12476	1
2014	15449	17061.05	78	24529	1
2013	20796	19845.5	64	21361	3
2012	17643	25065.75	64	23514	6
2011	16182	32241.1	172	22476	18
2010	11486	16687.7	11	25762	15
2009	16179	16883.4	9	18996	46
2008	13810	12139.1	5	19637	91
2007	16222	13208.8	13	11998	125
2006	13552	16204.15	51	12471	104.4
2005	11321.5	24537.55	10	8744	87.2
2004	9458.0	16937.55	10	7739	72.9

Fuente: (INEC, 2018)(INEC, 2019)

En ciertos casos el porcentaje de crecimiento del parque vehicular de algunos tipos de vehículos aumentaba, pero también había casos en los que el porcentaje del parque vehicular disminuía, siendo el punto de inflexión para el establecimiento de los parámetros y las modificaciones que se realizaron en VEIN como se muestra en la Tabla 3.5 y 3.6.

3.2 CARACTERIZACIÓN MEDIOAMBIENTAL DE QUITO

En este apartado se presenta información medioambiental, que se utilizó como datos (IN) para la realización de la simulación de emisiones vehiculares en Quito.

Tabla 3.7 Información general del DMQ

INFORMACIÓN GENERAL DE QUITO	
Extensión	422 802 hectáreas
Altitud	2 850 m.s.n.m
Temperatura Ambiente	(10-22) °C
País/ Provincia	Ecuador/Pichincha

Fuente: (FLACSO, 2015)

Quito al ser la ciudad capital del Ecuador, tiene un crecimiento físico en sentido direccional norte –sur, adicional a esto se encuentra en la Cordillera de los Andes, esto permite que su geografía sea irregular como se observa en la tabla 3.7, así se empezó con una hoja de Excel que contaba con la temperatura ambiente de 15°C, para luego adaptarlo a VEIN donde realizó el primer proyecto piloto denominado QUITO-ECUADOR.(FLACSO, 2015)

3.3 CARACTERIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD VEHICULAR

Para conocer la actividad vehicular es necesario conocer la ecuación básica con la que VEIN funciona:

$$E_{\text{contaminante}} = \sum_{\text{actividad}} (AR_{\text{actividad}} \cdot EF_{\text{contaminante}}) \quad [3.1]$$

Donde:

$E_{\text{contaminante}}$ = Emisión de contaminante para cualquier tipo.

$AR_{\text{actividad}}$ = Hace referencia a la actividad vehicular, es decir al número de autos que transitan por una calle, multiplicado por el largo de la calle.

$EF_{\text{contaminante}}$ = Se refiere a los factores de emisión, es decir representa cual es el número de contaminante por cada unidad de actividad.

En la Ecuación 3.1, se observa la forma para determinar la actividad vehicular, en este caso de Quito y así elaborar el inventario. Por lo cual AR se la conocerá como VKM, de esta manera se identificó los kilómetros promedio de la flota de Quito, así también como la cantidad de vehículos del parque automotor, que se encuentra en la sección 3.1.2 y finalmente el tráfico vehicular, como se observa a continuación.

3.3.1 VKTS

Se implementó el kilometraje promedio de los vehículos ecuatorianos, en específico de Quito, gracias a un estudio de VKTS de vehículos que se realizó en el año 2015 en el DMQ, permitiendo realizar la modificación los datos de literatura de Brasil que se encontraban de manera predeterminada en VEIN, encontrando la proyección de VKTS como se puede presenciar en la tabla 3.8 a continuación:

Tabla 3.8 Kilometraje promedio del DMQ (2015)

Kilometraje Medio	
Tipo de Vehículo	Kilometraje / año
PC	33 398
TAXIS	83 494
LCV	36 500
CAMIONES	55 298
AUTOBUSES	81 669
MOTOCICLETAS	8 213

Fuente: (Sierra, 2016)

En la tabla se presenta el kilometraje promedio distribuidos en seis familias de vehículos, como lo establece los factores de la EEA y modificados a la realidad obtenida en el estudio de (Sierra, 2016), donde posteriormente se realizaron cambios en la configuración predeterminada de VEIN, con los datos de la tabla 3.8.

3.3.2 Flujo vehicular

Para el cálculo de emisiones en VEIN es necesario identificar el flujo vehicular:

$$F = Q \cdot VC \cdot TF \cdot Age \quad [3.2]$$

Donde, **F** es el flujo vehicular en el enlace de la calle para el tipo de vehículo, dispuesto por la edad de uso. **Q**, es la fracción vehicular por tipo de combustible, cilindrada y tonelaje en una calle. **VC**, es la fracción de vehículos que van variando de acuerdo al tipo de auto, además de dividir el flujo vehicular total. **TF**, son los factores de expansión temporal (flujo vehicular en diferentes horas) y **Age**, es la identificación de los vehículos por año de uso (Ibarra-Espinosa, Ynoue, et al., 2018). De esta manera la caracterización por tipo y año de uso se encuentra en la sección 3.1, el enlace de la calle se lo obtiene de los kilometrajes promedios obtenidos para las familias de vehículos y los factores de expansión se presentan a continuación.

3.3.2.1 Factores de expansión del flujo vehicular

VEIN dispone los factores de expansión, donde se presenta como varía el flujo vehicular en el lapso de 24 horas, de esta forma se observa en el anexo 9, que las horas en la que mayor

cantidad de flujo vehicular existe en Quito, son a las 08:00 am y de 17:00 pm siendo estos horarios en los cuales inicia y termina la jornada laboral, es importante mencionar que se tomó el mismo factor de expansión para los 62 tipos de vehículos (Ibarra-Espinosa, Ynoue, et al., 2018).

3.4 DEFINICIÓN DE VARIABLES Y PARÁMETROS DE ESTUDIO

Se clasificaron en dos aspectos: actividad vehicular y factores de emisión, donde la actividad vehicular abarca, caracterización vehicular en la sección 3.1, y la actividad sección 3.3, por otro lado, los factores de emisión encuentran variables y parámetros medioambientales (temperatura promedio) sección 3.2 y los factores como el consumo y características del combustible, las funciones de velocidad y la tecnología, siendo estos los parámetros necesarios para encontrar los factores de emisiones reales (CO₂, CO, NO_x, HC, PM_{2.5}).

3.4.1 Combustible

3.4.1.1 Composición del combustible

“Se utilizó los factores de emisión que relacionan un compuesto emitido a la atmósfera y una actividad de proceso”(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), 2017), en este caso se tomó información de la EEA, debido a que aquellos factores de emisión tienen importancia en varios tipos de vehículos, combustibles y configuraciones, sin embargo, debido a la realidad del Ecuador se realizaron modificaciones en la composición química del combustible y algunas variables medio ambientales como es la temperatura promedio presentados en el literal anterior (Ibarra-Espinosa, Mera, et al., 2021).

Tabla 3.9 Tabla de modificación de combustibles para Ecuador.

COMBUSTIBLE	PARÁMETRO	DEFINICIÓN	VALOR
DIESEL		Número de Cetano	53
	[kg/m ³]	Densidad a 15°C	840
	%[V]	Contenido de Aromáticos	20
	°C	Punto de Inflamación	55
	[mg/kg]	Contenido de Azufre	50

Fuente: (INEN, 2021b, 2021a)

Tabla 3.10 Tabla de modificación de combustibles para Ecuador (Continuación).

COMBUSTIBLE	PARÁMETRO	DEFINICIÓN	VALOR
EXTRA	RON	Número de Octanaje	85
	%[V]	Contenido de Olefinas	18
	%[V]	Contenido de Aromáticos	30
	°C	Punto de Inflamación	220
	[mg/kg]	Contenido de Azufre	0,065

Fuente: (INEN, 2021b, 2021a)

En donde por las normativas vigentes de contaminación que en Europa corresponden a euro 6, exige a las petroleras enviar combustibles de mejor calidad, sin embargo, en Ecuador se aplica la normativa NTE INEN 935 para la gasolina y NTE INEN 1489 para el diésel, permite que en el Ecuador se tenga una exigencia euro 2 y 3, con cambios estructurales en las especificaciones de combustible, siendo factores que se modificaron en VEIN como se observa en las Tablas 3.9 y 3.10.

3.4.1.2 Consumo de Combustible

En el Distrito Metropolitano de Quito se obtuvo mediante la recopilación de venta de combustible en gasolineras y se expresó en metros cúbicos, donde el consumo de combustible se clasificó a través de la disposición mensual y anual; sin embargo, para el presente proyecto se tomó una estimación del consumo anual.

Tabla 3.11 Parámetros del combustible en Ecuador, en disposición de consumo anual.

Consumo de Combustible del Ecuador, año 2019			
Región	Combustible		Total [m³]
	Diésel [m³]	Gasolina [m³]	
Quito	603 558.047	1 036 514.076	1 640 072.123

Fuente: (Secretaria de Ambiente DMQ, 2022),(ARC, 2020)

La tabla 3.11 presenta la recopilación de información de consumo de combustible en Quito, obtenida de la Agencia de Medio Ambiente de Quito (Ibarra-Espinosa, Mera, et al., 2021) y

Agencia de Regulación y Control de la Energía ARC(ARC, 2020) , que fue incluido en VEIN.

3.4.2 Ciclos de conducción

Los factores de emisión encontrados en el sistema VEIN corresponden a TIER 3, que pertenece a las funciones de velocidad, donde se eligió algunos ciclos de prueba de emisiones para tomar la velocidad promedio e implementarla en VEIN, para lo cual se hizo una clasificación en tres categorías de vehículos que son:

- Vehículos Livianos.
- Vehículos Pesados.
- Motocicletas.

En donde la velocidad promedio realizada para cada uno es la siguiente.

Tabla 3.12 Funciones de velocidad

Funciones de velocidad		
Tipo de vehículos	Ciclo de Conducción	Velocidad Promedio (km/h)
Vehículos Livianos	FTP-75	34.2
Vehículos Pesados	CSHVC	22.8
Motocicletas	WMTC	54.7

Fuente: (Ibarra-Espinosa, Mera, et al., 2021)

En la tabla 3.12 se presencia tres tipos de ciclos de conducción, para vehículos ligeros se utilizó el ciclo de conducción urbano de EEUU (FTP-75) con una velocidad promedio de 34,2 [km/h], además de la utilización del Ciclo City Suburban (CSHVC), que es específico para vehículos pesados y se realiza a través de una prueba dinamoétrica, en el que se tiene una velocidad promedio de 22.8 [km/h] y el Ciclo Mundial de Pruebas de Motocicletas (WMTC) donde se realiza en dinamómetros con la facilidad de simular tres etapas, sin embargo en este caso el uso de la urbana, teniendo un valor de 54,7 [km/h] de velocidad media (Ibarra-Espinosa, Mera, et al., 2021).

3.4.3 Tecnología

Implementado en 2017, el último estándar de emisiones para nuevos vehículos fue euro III, por lo cual toda la flota existente de 2017 hacia adelante llevan esta norma, además los

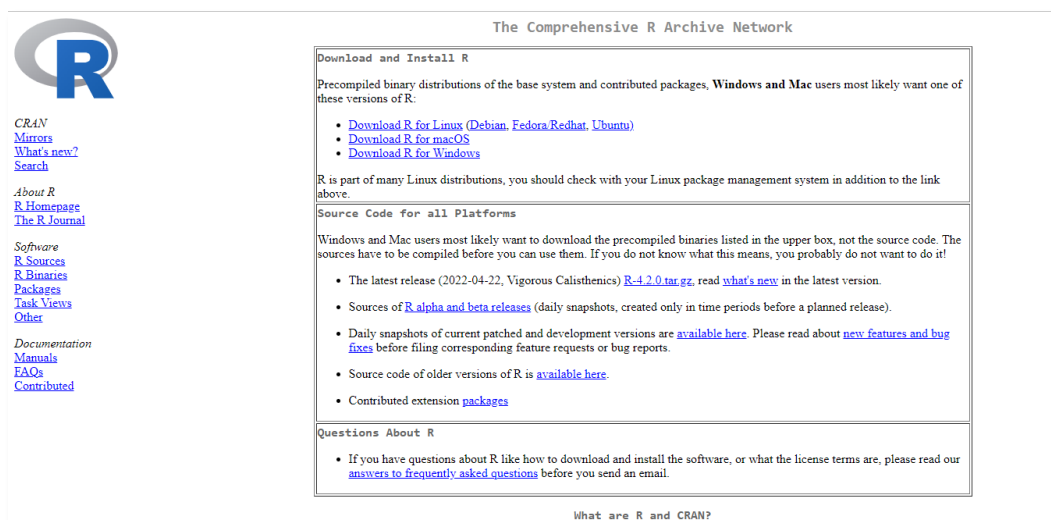
vehículos de 2016 a 2004 pertenecen a euro II, así estos parámetros fueron implementados en la hoja “euro” del archivo inventory.xls, y distribuidos para los 62 tipos de vehículos(Ibarra-Espinosa, Mera, et al., 2021).

3.5 CONFIGURACIÓN DE VEIN PARA QUITO

La configuración de VEIN se realizó con características de Quito, donde se incluyó las variables y parámetros que se encuentran en el anterior literal, así también como datos medio ambientales y vehiculares, realizando así las modificaciones en el archivo inventory_ecuador.xls que pertenece al proyecto de VEIN (Ibarra-Espinosa, Mera, et al., 2021).

3.5.1 Instalación R y R studio

El modelo “VEIN” se desenvuelve en R con la interfaz de desarrollo para el usuario en R studio, R es posible instalar en los sistemas operativos, incluidos Linux, Windows, Mac y Solaris. La página web <https://cran.r-project.org/> donde se encuentran los instaladores para las diferentes versiones de sistemas operativos figura 3.2 y con sus características de software expuestas en el anexo 8.



The screenshot displays the CRAN (Comprehensive R Archive Network) website. On the left, there is a navigation menu with links for CRAN, Mirrors, What's new?, Search, About R, R Homepage, The R Journal, Software, R Sources, R Binaries, Packages, Task Views, Other, Documentation, Manuals, FAQs, and Contributed. The main content area is titled "Download and Install R" and provides instructions for users. It states that precompiled binary distributions are available for Windows and Mac users. A list of download links is provided: Download R for Linux (Debian, Fedora, Redhat, Ubuntu), Download R for macOS, and Download R for Windows. Below this, it notes that for Linux distributions, users should check with their package management system. A section titled "Source Code for all Platforms" explains that Windows and Mac users should download precompiled binaries rather than source code. It lists several options: the latest release (R-4.2.0 tar.gz), sources of R alpha and beta releases, daily snapshots of current patched and development versions, and source code of older versions. A "Questions About R" section at the bottom suggests reading frequently asked questions before sending an email.

Figura 3.2 Instaladores R

Fuente: (Hornik, 2012)

3.5.2 Instalación R studio

RStudio, se lo encuentra de forma libre para su descarga en la página <https://www.rstudio.com/products/connect/>, este contiene muchas opciones integradas útiles. Sin embargo, puede ejecutar R en la terminal y usar cualquier texto editor para escribir y guardar scripts en R. Aún más, puede ejecutar scripts R en la terminal escribiendo Rscript -e "YourScript.R" una vez instalado los dos programas R y R studio la interfaz final en donde se desarrollará todo el modelo VEIN se obtuvo de la siguiente forma figura 3.3.

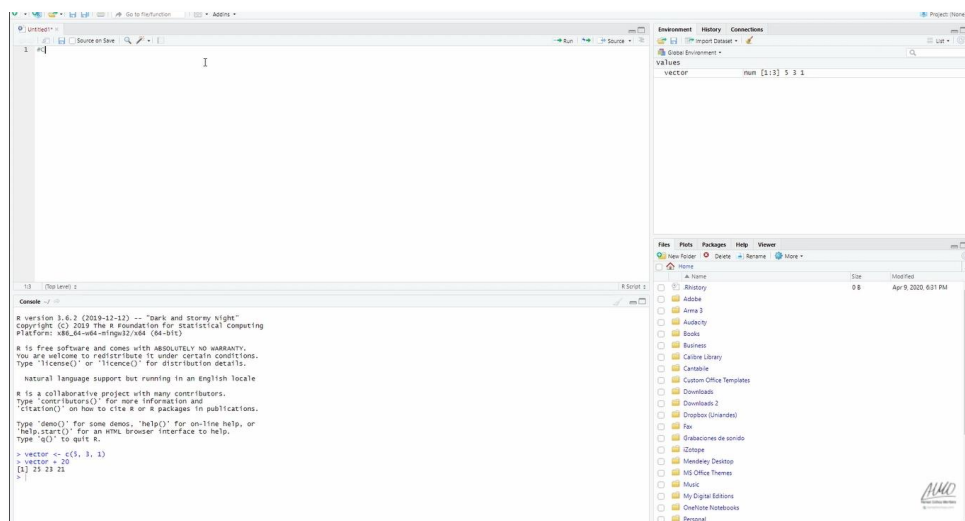


Figura 3.3 Interfaz de usuario gráfica, Aplicación
Fuente: (Hornik, 2012)

3.5.3 Descarga e instalación de VEIN

Para poder correr este programa se instaló algunas librerías en R. estas, son funciones de datos que tiene una tarea específica, trabajar en entornos específicos potenciando el alcance de R en diversos campos de interpretación de información como: estudios psicométricos, minería de datos lectores de archivos csv o generadores de gráficas entre otros, mejorando las funcionalidades base en R.

3.5.4 Instalar un paquete

Se instaló algunos paquetes usando **install.packages()** y además del título del script entre comillas ubicado en el argumento.

Ejemplo: para instalar el paquete de lectura de archivos de Excel se usa:

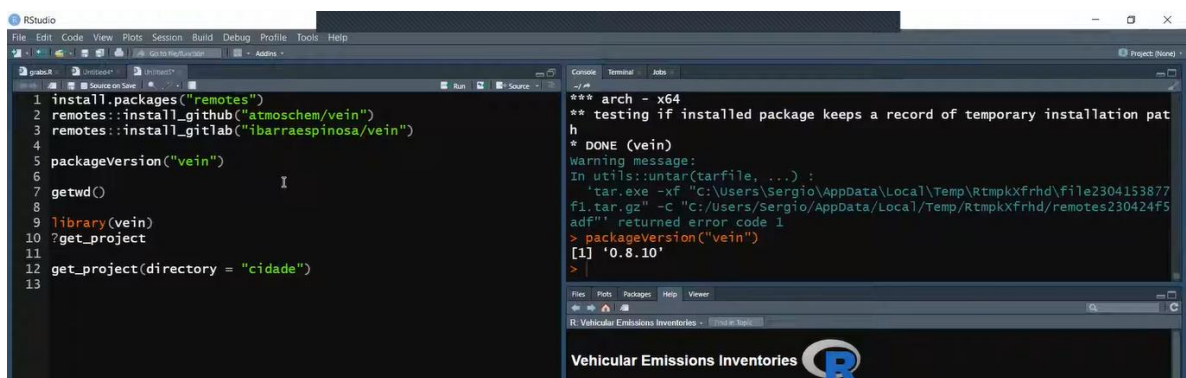
`install.packages("readxl")`

Una vez escrito el código en la consola de R studio se compila y espera hasta que el paquete se descargue y se instale, en el presente proyecto se utilizó las siguientes librerías:

- **`install.packages("readxl")`**: como lector de archivos csv.
- **`install.packages("ggplot2")`**: ggplot2 genera gráficos, en función de cómo se asigne variables a ggplot2 a la estética, gráficas a usar y se encarga de los detalles.
- **`install.packages("eixport")`**: Este paquete de r tiene funciones para leer las emisiones de modelos en diferentes formatos como en este caso VEIN.
- **`get`**: Las funciones R `write.xlsx ()` se utilizan para exportar datos del lenguaje R a un libro de Excel fuera del programa.

3.5.5 Instalación de VEIN

VEIN se encuentra en el repositorio donde se aloja el código de la aplicación en este caso se encuentra en GitHub, para instalar VEIN se introdujo el paquete **`install.packages("remotes")`** posterior a esto se instaló la librería de GitHub-VEIN con el comando **`remotes::install_github("atmoschem/vein")`**, luego r-studio empezó a compilar el códigos como se indica en la imagen 3.4.



```

1 install.packages("remotes")
2 remotes::install_github("atmoschem/vein")
3 remotes::install_github("ibarraespinoza/vein")
4
5 packageVersion("vein")
6
7 getwd()
8
9 library(vein)
10 ?get_project
11
12 get_project(directory = "cidade")
13

```

```

arch - x64
***
** testing if installed package keeps a record of temporary installation path
h
* DONE (vein)
Warning message:
In utils::untar(tarfile, ...) :
'tar.exe -xf "C:/Users/Sergio/AppData/Local/Temp/Rtmpkxfrhd/file2304153877
fl.tar.gz" -C "C:/Users/Sergio/AppData/Local/Temp/Rtmpkxfrhd/remotes230424f5
adf"' returned error code 1
> packageVersion("vein")
[1] '0.8.10'
>

```

Figura 3.4 Instalación de VEIN en R Studio

Fuente: (Technology, 2022)

También, se añadió la función **`getproject`** “esta función tiene dos argumentos el directorio y el nombre del proyecto, se presentó con el siguiente nombre.

`get project (directory = "Ecuador_2019", case = "ecuador_td")`

Donde, **Ecuador_ 2019**, hace referencia a la carpeta creada para todo el proyecto y **Ecuador_ td**, corresponde a los archivos del proyecto. Una vez descargado este proyecto se lo ejecuto de forma manual en el directorio indicado en la carpeta de Ecuador_2019 como se presencia en la figura 3.5, donde se abre el archivo denominado R Project.

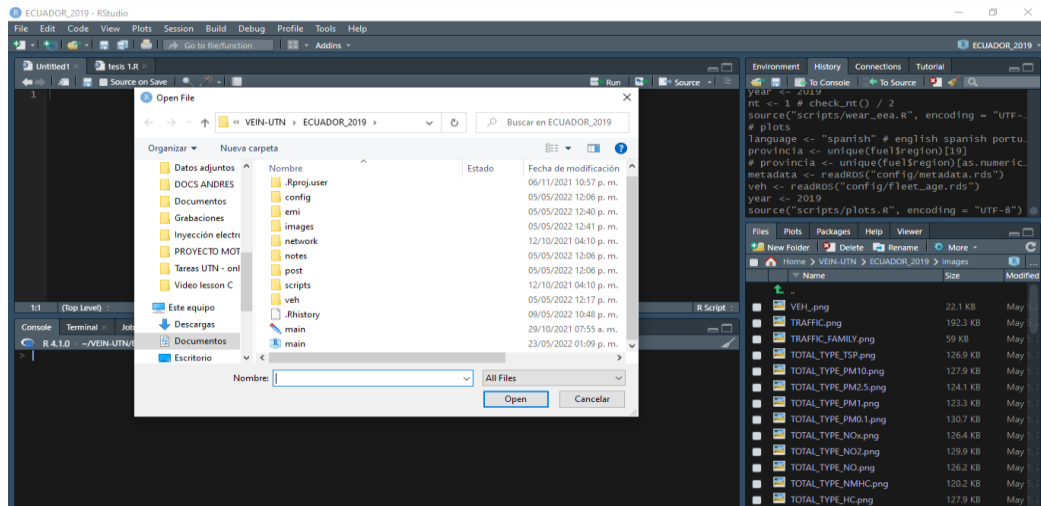


Figura 3.5 Procedimiento para abrir un proyecto en R Studio

Fuente: (Technology, 2022)

Además, en la pantalla principal de R studio se presentó una serie de archivos donde se seleccionó el archivo denominado Main. R, finalmente se obtuvo el script del programa VEIN como se muestra en el anexo 2.

3.5.6 Adaptación de VEIN para Quito

VEIN se caracteriza por generar proyectos para usuarios no expertos en R, pero con experiencia en uso de MS Excel, de esta forma la modificación en el documento inventory.xls, se realizó como se observa a continuación:

El archivo “inventory” en su primera fase, ya contaba con los parámetros como EF de la EEA (tipo de vehículo, y familia 3.1, tipo de combustible 3.4, tamaño, combustible, ciclos de conducción 3.4) en la hoja denominada “metadata”, como se observa en la gráfica 3.6.

family	vehicles	Category_EEA	Fuel_EEA	Segment_EEA	Mode_EEA	Slope_EEA	Load_EEA	speed	driving_cycle	km_cycle	note
PC	PC_MINI_G	Passenger Cars	Petrol	Small					34.2 FTP-75		17,787
PC	PC_SMALL_G	Passenger Cars	Petrol	Small					34.2 FTP-75		17,787
PC	PC_MEDIUM_G	Passenger Cars	Petrol	Medium					34.2 FTP-75		17,787
PC	PC_SUV_G	Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive					34.2 FTP-75		17,787
PC	PC_MINI_D	Passenger Cars	Diesel	Small					34.2 FTP-75		17,787
PC	PC_SMALL_D	Passenger Cars	Diesel	Small					34.2 FTP-75		17,787
PC	PC_MEDIUM_D	Passenger Cars	Diesel	Medium					34.2 FTP-75		17,787
PC	PC_SUV_D	Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive					34.2 FTP-75		17,787
PC	PC_ELEC	Passenger Cars	ELEC	Small					34.2 FTP-75		17,787
PC	PC_SMALL_HY	Passenger Cars	Petrol Hybrid	Small					34.2 FTP-75		17,787
PC	TAXI_SMALL_G	Passenger Cars	Petrol	Small					34.2 FTP-75		17,787
PC	TAXI_SMALL_GLP	Passenger Cars	LPG Bifuel - LPG	Small					34.2 FTP-75		17,787
LCV	LCV_MIN_G	Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-I					34.2 FTP-75		17,787
LCV	LCV_MIN_G	Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II					34.2 FTP-75		17,787
LCV	LCV_MIN_G	Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-III					34.2 FTP-75		17,787
LCV	LCV_MIN_D	Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-I					34.2 FTP-75		17,787
LCV	LCV_MIN_D	Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II					34.2 FTP-75		17,787
LCV	LCV_MIN_D	Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-III					34.2 FTP-75		17,787
LCV	LCV_ELEC	Light Commercial Vehicles	ELEC	N1-I					34.2 FTP-75		17,787
LCV	LCV_HY	Light Commercial Vehicles	Petrol Hybrid	N1-I					34.2 FTP-75		17,787
TRUCKS	TRUCKS_RT_7_D	Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7.5 t		0	0.5		22.8 City Suburban cycle		10,752
TRUCKS	TRUCKS_RT_7_12_D	Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7.5 - 12 t		0	0.5		22.8 City Suburban cycle		10,752
TRUCKS	TRUCKS_RT_12_14_D	Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t		0	0.5		22.8 City Suburban cycle		10,752
TRUCKS	TRUCKS_RT_14_16_D	Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t		0	0.5		22.8 City Suburban cycle		10,752
TRUCKS	TRUCKS_RT_16_20_D	Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t		0	0.5		22.8 City Suburban cycle		10,752
TRUCKS	TRUCKS_RT_16_20_D	Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t		0	0.5		22.8 City Suburban cycle		10,752
TRUCKS	TRUCKS_RT_20_26_D	Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t		0	0.5		22.8 City Suburban cycle		10,752
TRUCKS	TRUCKS_RT_26_28_D	Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t		0	0.5		22.8 City Suburban cycle		10,752
TRUCKS	TRUCKS_RT_28_32_D	Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 28 - 32 t		0	0.5		22.8 City Suburban cycle		10,752
TRUCKS	TRUCKS_RT_32_D	Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid >32 t		0	0.5		22.8 City Suburban cycle		10,752
TRUCKS	TRUCKS_RT_7_G	Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive					22.8 City Suburban cycle		10,752 tratados como PC para inco

Figura 3.6 Factores de emisión EEA, implementados en VEIN.

Fuente: (Ibarra-Espinosa, Ynoue, et al., 2018)

El segundo consistió en crear la hoja denominada “fleet age”, con datos obtenidos del INEC de la flota vehicular desde 2004 hasta 2019, clasificados en los 62 tipos de vehículos como se presencia en la figura 3.7.

MODELO	PC_MEDIUM_DIESEL	PC_MEDIUM_ELECTRICO	PC_MEDIUM_GASOLINA	PC_MEDIUM_HIBRIDO	PC_MINI_DIESEL	PC_MINI_ELECTRICO	PC_MINI_GASOLINA	PC_MINI_GLP	PC_MINI_HIBRIDO	PC_SMALL_DIESEL	PC_SMALL_ELECTRICO	PC_SMALL_GASOLINA
2019	1		1572	5	116	1	18575		142		505	3
2018	15		891	7	25		8602		124		281	
2017		25	106	13	1	6	5522		9		10	56
2016	1		201	2	1	3	4030		1		193	33
2015	2		36		1		9792		8		15	2
2014	2		78		1		15449		3		25	
2013	2		64				20796	1	73		30	
2012	1		64	14	6		17843		119		36	
2011	1		172	5	18	1	16182		40		100	
2010	3		11	1	15		11486	3	259		116	
2009	2		9		46		16179	2	2		125	
2008	1		5		91	1	13810		1		216	1
2007	2		13		125	1	16222	9			196	
2006	2		51		27		13552	17			87	
2005	1		10		2		1620	1			63	
2004			10				322				46	

Figura 3.7 Adaptación de cantidad de vehículos por tipo de vehículo.

Fuente: (INEC, 2019)

El tercer paso consistió en introducir el dato de consumo de combustible, para lo cual se lo realizó en la hoja denominada “fuel”, con la información de la secretaria de Medio Ambiente

de Quito y la ARC, estableciendo el consumo de combustible mensual que se expresa en [m³] tanto para la gasolina como para el diésel como se presencia en la figura 3.8.

	density_tm3	consumption_It	UF	region	FUEL_M3	Year	Month	MES	FUEL2	tera_joules_It	tera_joul
1	0,84	51921112,25	EC	QUITO	51921,1122	2019	12	DIC	DIESEL	0,00014652	7607,48137
2	0,84	51110890,23	EC	QUITO	51110,8902	2019	11	NOV	DIESEL	0,00014652	7488,76764
3	0,84	44818642,13	EC	QUITO	44818,6421	2019	10	OCT	DIESEL	0,00014652	6566,82745
4	0,84	50622799,21	EC	QUITO	50622,7992	2019	9	SEP	DIESEL	0,00014652	7417,25254
5	0,84	51280056,51	EC	QUITO	51280,0565	2019	8	AGO	DIESEL	0,00014652	7513,55388
6	0,84	52095786,3	EC	QUITO	52095,7863	2019	7	JUL	DIESEL	0,00014652	7633,07461
7	0,84	49923345,92	EC	QUITO	49923,3459	2019	6	JUN	DIESEL	0,00014652	7314,76864
8	0,84	52464205,31	EC	QUITO	52464,2053	2019	5	MAY	DIESEL	0,00014652	7687,05536
9	0,84	50831292,13	EC	QUITO	50831,2921	2019	4	ABR	DIESEL	0,00014652	7447,80092
10	0,84	50555714,14	EC	QUITO	50555,7141	2019	3	MAR	DIESEL	0,00014652	7407,42324
11	0,84	47289092,85	EC	QUITO	47289,0929	2019	2	FEB	DIESEL	0,00014652	6928,79788
12	0,84	50645110,43	EC	QUITO	50645,1104	2019	1	ENE	DIESEL	0,00014652	7420,52158

Figura 3.8 Adaptación del consumo de combustible a VEIN Ecuador.

Fuente: (Secretaria de Ambiente DMQ, 2022),(ARC, 2020)

El cuarto paso consistió en adaptar la tecnología de cada vehículo, de acuerdo a la Normativa Europea sobre Emisiones, donde se establece que todos los vehículos cuentan con EURO 3, III y EURO 2, II, como se presencia en la figura 3.9.

	Year	TRUCKS_RT_20_26_G	TRUCKS_RT_26_28_G	TRUCKS_RT_28_32_G	TRUCKS_RT_32_G	TRUCKS_AT_16_20_D	TRUCKS_AT_20_28_D	TRUCKS_AT_28_34
1	2019	Euro 3	Euro 3	Euro 3	Euro 3	Euro III	Euro III	Euro III
2	2018	Euro 3	Euro 3	Euro 3	Euro 3	Euro III	Euro III	Euro III
3	2017	Euro 3	Euro 3	Euro 3	Euro 3	Euro III	Euro III	Euro III
4	2016	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro II	Euro II	Euro II
5	2015	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro II	Euro II	Euro II
6	2014	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro II	Euro II	Euro II
7	2013	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro II	Euro II	Euro II
8	2012	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro II	Euro II	Euro II
9	2011	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro II	Euro II	Euro II
10	2010	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro II	Euro II	Euro II
11	2009	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro II	Euro II	Euro II
12	2008	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro II	Euro II	Euro II
13	2007	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro II	Euro II	Euro II
14	2006	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro II	Euro II	Euro II
15	2005	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro II	Euro II	Euro II
16	2004	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro II	Euro II	Euro II
17	2003	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro II	Euro II	Euro II
18	2002	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro 2	Euro II	Euro II	Euro II
19	2001	Euro 1	Euro 1	Euro 1	Euro 1	Euro I	Euro I	Euro I

Figura 3.9 Designación de parámetros de tecnología para VEIN.

Fuente: (INEN, 2017)

El último paso fue adaptar la información medioambiental de Quito, para lo cual se modificó la hoja “met”, con la temperatura promedio como se observa en la figura 3.10.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	capitals	variable	value	region	Estados	Temperatur	date	Year	Month
2	QUITO	X2015.01.01	10,8276819	QUITO	PICHINCHA	14,98	2019-01-01	2019	1
74									
146									
218									
290									

Figura 3.10 Adaptación con parámetros medioambientales del DMQ.
Fuente:(FLACSO, 2015)

3.6 PRUEBAS PILOTO DE OBTENCIÓN DE DATOS

Las primeras pruebas fueron hechas con información de los kilómetros promedio recorridos, así como la composición del combustible, pertenecientes a la ciudad de Sao Paulo en Brasil, obteniendo varios valores que excedían la realidad del DMQ, de manera de que el proyecto obtenga resultados con concordancia se realizaron cambios en el archivo inventory.xls con información propia de Ecuador.

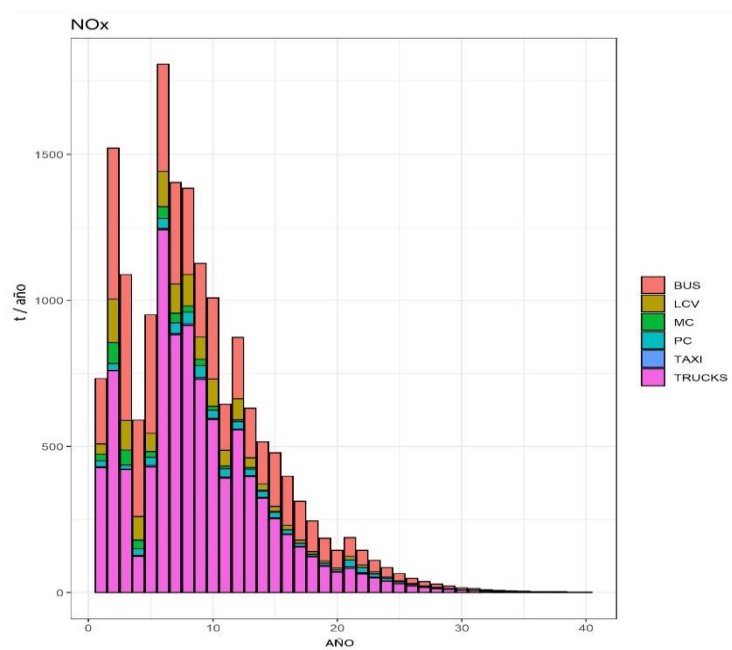


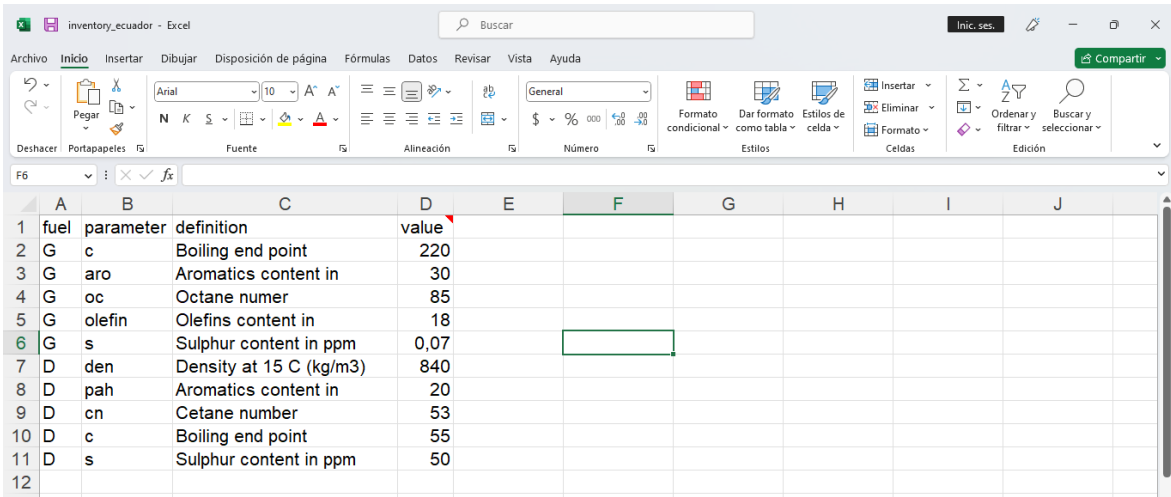
Figura 3.11 Resultados de pruebas piloto en VEIN
Fuente: (VEIN- Ecuador)

En la imagen 3.11 se presencia la producción de NO_x con respecto a la ciudad de Sao Paulo-Quito de manera que en los datos de entrada indican, que el 40% de la flota vehicular pertenece a buses de transporte de pasajeros, carga y vehículos que utilizan un motor Diésel para su funcionamiento.

3.7 CALIBRACIÓN Y AJUSTES FINALES DE VEIN

Los ajustes finales se obtuvieron ingresando datos de kilometraje promedio recorrido por familias de vehículos, de la tabla 3.6 son datos obtenidos de un proyecto de kilómetros recorridos (VKT) en la ciudad de Quito (Sierra, 2016), además de la composición de combustibles, que de igual manera contaba datos de Brasil y remplazándolos por los datos de la tabla 3.7, reduciendo así la probabilidad de errores en el inventario de emisiones, como se observa a continuación.

El primer paso consistió en modificar la hora “fuel_spec”, con la información de la normativa NTE INEN 935 y 1489, como se presencia en la figura 3.12.



fuel	parameter	definition	value
G	c	Boiling end point	220
G	aro	Aromatics content in	30
G	oc	Octane numer	85
G	olefin	Olefins content in	18
G	s	Sulphur content in ppm	0,07
D	den	Density at 15 C (kg/m3)	840
D	pah	Aromatics content in	20
D	cn	Cetane number	53
D	c	Boiling end point	55
D	s	Sulphur content in ppm	50

Figura 3.12 Adaptación de las características del combustible a Ecuador.
Fuente:(INEN, 2021b, 2021a)

El segundo paso consistió en modificar la información del kilometraje promedio recorrido para lo cual fue necesario modificar la hoja “metadata y mileage”, específicamente en la sección “S” de la hoja meta data, con el dato de kilometraje de Quito como se mira en la figura 3.13, además en la hoja mileage se realizó una actualización automática de los kilómetros por año de uso, en comparativa con los kilómetros de Sao Paulo.

	A	B	S	T
1	family	vehicles	km/año	note
2	PC	PC_MINI_G	33,398	
3	PC	PC_SMALL_G	33,398	
4	PC	PC_MEDIUM_G	33,398	
5	PC	PC_SUV_G	33,398	
6	PC	PC_MINI_D	33,398	
7	PC	PC_SMALL_D	33,398	
8	PC	PC_MEDIUM_D	33,398	
9	PC	PC_SUV_D	33,398	
10	PC	PC_ELEC	33,398	
11	PC	PC_SMALL_HY	33,398	
12	PC	TAXI_SMALL_G	83,494	
13	PC	TAXI_SMALL_GLP	83,494	

Figura 3.13 Adaptación de kilómetros promedio para Ecuador.

Fuente: (Sierra, 2016)

3.8 MODELAMIENTO DE EMISIONES VEHICULARES

VEIN permitió estimar los principales tipos de gases contaminantes como NO_x, CO₂, CO, HC, PM_{2.5}, con datos de Quito, para lo cual fue necesario realizar el proceso de modelamiento en VEIN, para esto se cuenta con siete fases, como se observa a continuación:

3.8.1 Configuración

En este paso se lee todas las hojas del archivo inventory.xls, obteniendo así la primera lectura de factores de emisiones de la EEA, son los ciclos de conducción, kilometraje promedio recorrido (metadata), los vehículos por año de uso (mileage), los factores de expansión del flujo vehicular (tfs), consumo de combustible (fuel), la tipología de los combustibles (fuel_spec), la temperatura ambiente (met), la tecnología de los vehículos (euro), como se presencia en la figura 3.14, añadiendo el proceso (network) que se trata de la lectura de documentos que VEIN necesita para correr el programa.

```

19 # 0 Configuración
20 language <- "spanish" # spanish portuguese english
21 path <- "config/inventory_ecuador.xlsx"
22 readxl::excel_sheets(path)
23
24 metadata <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "metadata")
25 mileage <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "mileage")
26 tfs <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "tfs")
27 veh <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "fleet_age")
28 fuel <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "fuel")
29 fuel_spec <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "fuel_spec")
30 met <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "met")
31 euro <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "euro")
32 year <- 2019
33 agemax <- 40
34 ciudad <- unique(fuel$region)[1]
35 # ciudad <- unique(fuel$region)[as.numeric(baseName(getwd()))]
36 col_region <- "region" # esta columna debe estar presente en fuel y met
37
42:1 Network

```

```

R 4.2.2 - ~/Ecuador_2019/
> mileage <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "mileage")
> tfs <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "tfs")
> veh <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "fleet_age")
> fuel <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "fuel")
> fuel_spec <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "fuel_spec")
> met <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "met")
> euro <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "euro")
> year <- 2019
> agemax <- 40
> ciudad <- unique(fuel$region)[1]
> # ciudad <- unique(fuel$region)[as.numeric(baseName(getwd()))]
> col_region <- "region" # esta columna debe estar presente en fuel y met
> scale <- "none"
> theme <- "black" # dark clean ino

```

Figura 3.14 Proceso de configuración para estimación de emisiones.
Fuente: (VEIN)

3.8.2 Simulación de tráfico

En esta fase se calcula cuantos vehículos hay en la flota para lo cual se implementa los factores de emisión de EEA, los kilómetros promedio recorrido, además de los ciclos de conducción en la hoja (“metadata”), así también como la cantidad de vehículos (“veh”), como se mira en la figura 3.15.

```

45 source("scripts/net.R", encoding = "UTF-8")
46
47 # 2) Traffic ####
48 language <- "spanish" # english spanish portuguese
49 net <- readRDS("network/net.rds")
50 metadata <- readRDS("config/metadata.rds")
51 categories <- c("pc", "lcv", "trucks", "bus", "mc") # in network/net.gpkg
52 veh <- readRDS("config/fleet_age.rds")
53 verbose <- FALSE
54 year <- 2019
55 theme <- "black" # dark clean ink
56 k_d <- 1
57 k_g <- 1
58 source("scripts/traffic.R", encoding = "UTF-8")
59
60 # 3) Estimation ####
61 language <- "spanish" # english spanish portuguese
62 metadata <- readRDS("config/metadata.rds")
63 mileage <- readRDS("config/mileage.rds")
64
65:1 Estimation

```

```

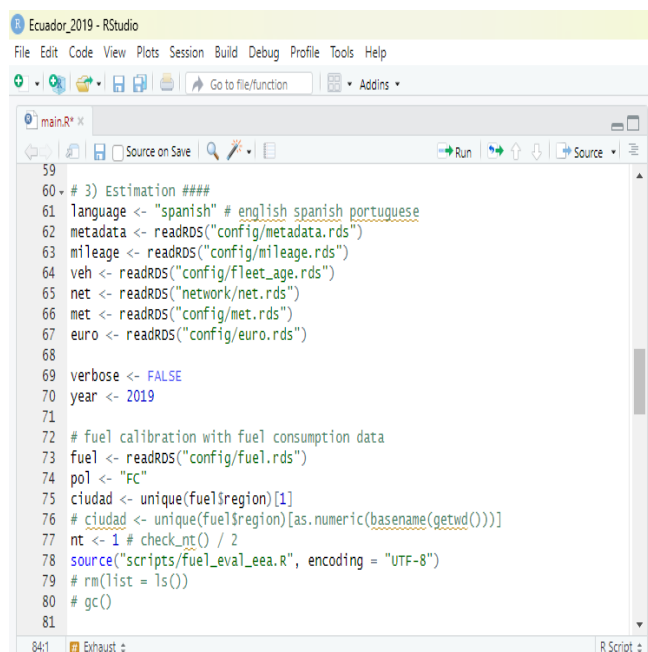
R 4.2.2 - ~/Ecuador_2019/
Plotando flujos
PC_MINI_G is 0.2322791 of PC
PC_SMALL_G is 0.3765197 of PC
PC_MEDIUM_G is 0.004096124 of PC
PC_SUV_G is 0.3421906 of PC
PC_MINI_D is 0.0007784761 of PC
PC_SMALL_D is 0.002576552 of PC
PC_MEDIUM_D is 4.352287e-05 of PC
PC_SUV_D is 0.009398679 of PC
PC_ELEC is 0.0002804063 of PC
PC_SMALL_HV is 0.01148235 of PC
TAXI_SMALL_G is 0.02028843 of PC
TAXI_SMALL_GLP is 6.607994e-05 of PC
sum: 1

```

Figura 3.15 Proceso de modelamiento de tráfico en VEIN
Fuente: (VEIN)

3.8.3 Estimación de combustible

En esta fase se realiza la estimación de cuanto combustible se consume, para lo cual se hace un proceso de modelación inversa, esto significa que se busca un número, para que la estimación sea la misma que los datos de la venta de combustible, para lo cual VEIN, lee las hojas de (metadata), la flota por años de uso (mileage), el parque automotor (veh), y la tecnología de los autos (euro), observándolas en la figura 3.16.



```

59
60 # 3) Estimation ###
61 language <- "spanish" # english spanish portuguese
62 metadata <- readRDS("config/metadata.rds")
63 mileage <- readRDS("config/mileage.rds")
64 veh <- readRDS("config/fleet_age.rds")
65 net <- readRDS("network/net.rds")
66 met <- readRDS("config/met.rds")
67 euro <- readRDS("config/euro.rds")
68
69 verbose <- FALSE
70 year <- 2019
71
72 # fuel calibration with fuel consumption data
73 fuel <- readRDS("config/fuel.rds")
74 pol <- "pc"
75 ciudad <- unique(fuel$region)[1]
76 # ciudad <- unique(fuel$region)[as.numeric(basename(getwd()))]
77 nt <- 1 # check_nt() / 2
78 source("scripts/fuel_eval_eea.R", encoding = "UTF-8")
79 # rm(list = ls())
80 # gc()
81

```

Figura 3.16 Proceso de estimación de consumo de combustible en VEIN
Fuente: (VEIN)

3.8.4 Estimación de emisiones por el tubo de escape

Se realiza la estimación de emisiones como son: CO, HC, NO_x, CO₂, PM, etc, para lo cual VEIN, lee las hojas (metadata), la cantidad de vehículos por año de uso (mileage), la flota vehicular (veh), temperatura ambiente (met), la tecnología (euro) y las características del combustible (fuel_spec), dando resultados de emisiones para cada tipo de vehículo, así también como una clasificación que es en caliente y en frío como se observa en la figura 3.17.

```

82 - # Exhaust ####
83 language <- "spanish" # english spanish portuguese
84 ciudad <- unique(fuel$region)[as.numeric(basename(getwd()))]
85 metadata <- readRDS("config/metadata.rds")
86 mileage <- readRDS("config/mileage.rds")
87 veh <- readRDS("config/fleet_age.rds")
88 net <- readRDS("network/net.rds")
89 met <- readRDS("config/met.rds")
90 euro <- readRDS("config/euro.rds")
91 fuel_spec <- readRDS("config/fuel_spec.rds")
92 verbose <- FALSE
93 year <- 2019
94 nt <- 1 # check_nt() / 2
95
96 po1 <- c(
97   "CO", "HC", "NMHC", "NOx", "CO2",
98   "PM", "NO2", "NO"
99 )
100 source("scripts/hot_exhaust_eea.R", encoding = "UTF-8")
101
102 po1 <- c(
103   "CO", "NOx", "NMHC", "HC", "NO2", "NO"
104 )
105 source("scripts/cold_start_eea.R", encoding = "UTF-8")
106 # rm(list = ls())
107 # gc()
108
111:1 Evaporatives

```

Figura 3.17 Proceso de estimación de emisiones por el tubo de escape en VEIN
Fuente: (VEIN)

Estas emisiones se dividen en caliente y en frío para lo cual las emisiones en caliente son producto de la siguiente ecuación:

$$EH = F \cdot L \cdot EF(V) \cdot DF \quad [3.3]$$

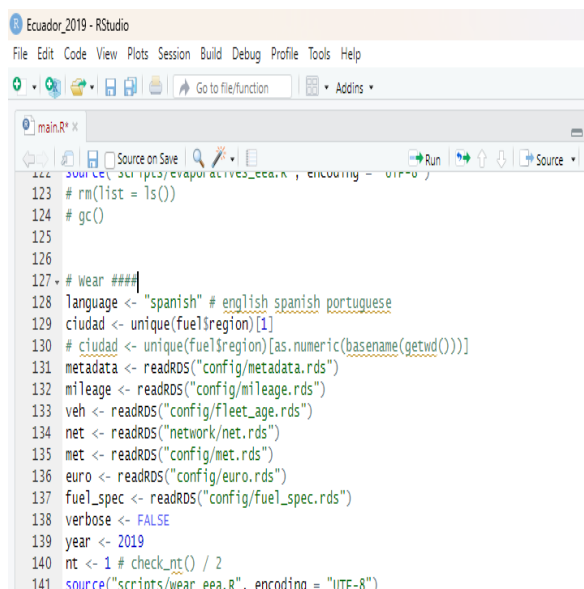
Donde **EH** hace referencia a la emisión para cada tipo de vehículo, contaminante, **F** es el flujo vehicular calculado en la ecuación 3.3, **L** es la distancia recorrida (vkts), **EF** es el factor de emisión de cada contaminante, **DF** es el factor de deterioro de cada vehículo por edad (Ntziachristos & Samaras, 2016a). Por otra parte, el método para la estimación de emisiones en frío se lo estima mediante la ecuación 3.4.

$$EC = F \cdot L \cdot EF(V) \cdot DF \cdot (EF_{cold}(ta, V) - 1) \cdot \beta \quad [3.4]$$

Donde la primera parte hace referencia a la ecuación 3.3, $(EF_{cold}(ta, V) - 1)$ se trata de los EF para el inicio en frío para cada familia de vehículo, composición, contaminante y temperatura media y β se refiere a la fracción de kilometraje conducido por un motor en condición de frío / caliente siendo parámetros obtenidos de (Ntziachristos & Samaras, 2016a).

3.8.5 Estimación de emisiones evaporativas

Realiza la estimación para cada tipo de vehículos, para lo cual lee los datos de las hojas "metadata", "mileage", "veh", "met", "euro", "fuel_spec", de esta forma se obtiene



```

Ecuador_2019 - RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Profile Tools Help
Go to file/function Addins
main.R
122 source("scripts/evaporativas_eea.R", encoding = "UTF-8")
123 # rm(list = ls())
124 # gc()
125
126
127 # Wear ###
128 language <- "spanish" # english spanish portuguese
129 ciudad <- unique(fuel$region)[1]
130 # ciudad <- unique(fuel$region)[as.numeric(basename(getwd()))]
131 metadata <- readRDS("config/metadata.rds")
132 mileage <- readRDS("config/mileage.rds")
133 veh <- readRDS("config/fleet_age.rds")
134 net <- readRDS("network/net.rds")
135 met <- readRDS("config/met.rds")
136 euro <- readRDS("config/euro.rds")
137 fuel_spec <- readRDS("config/fuel_spec.rds")
138 verbose <- FALSE
139 year <- 2019
140 nt <- 1 # check_nt() / 2
141 source("scripts/wear_eea.R", encoding = "UTF-8")

```

Figura 3.19 Proceso de estimación de emisiones evaporativas en VEIN
Fuente: (VEIN)

Las emisiones por desgaste representan la segunda fuente de partículas más grandes de Europa, por lo cual VEIN utilizó los factores de cálculo proveniente de Ntziachristos y Boulter (2009), donde se incluye el uso de “neumáticos”, “frenos” y “carretera” (Ibarra-Espinosa, 2018). De esta manera se divide en dos los métodos para las emisiones por desgaste que son emisiones por suspensión de partículas de la carretera además de abrasión en frenos y neumáticos como se observa en las ecuaciones 3.6 y 3.7.

$$TE = \sum N \times M \times EF \times f \times S(V) \quad [3.6]$$

Donde **TE** corresponde a las emisiones totales definidas en un período de tiempo, **N** es el número de autos por familia (fleetage), **M** es el kilometraje recorrido por cada vehículo, **EF** hace referencia al material particulado por cada vehículo, **f** corresponde a la fracción de masa atribuido al tamaño de la partícula y **S(V)** es el parámetro que permite la corrección (Ntziachristos & Boulter, 2009). Por otra parte, el segundo método corresponde a las emisiones por suspensión de partículas en carretera como se observa en la ecuación 3.5.

$$TE = \sum N \times M \times EF \times fR \quad [3.7]$$

Donde **TE** corresponde al total de emisiones de desgaste en un período de tiempo, **N** es el número de vehículos por tipo, **M** son los kilómetros recorridos, **EF** es el factor de emisión de la masa (PM) y **fR** hace referencia a la fracción de masa por el tamaño de la partícula.

3.8.7 Realización de Gráficas

En la última fase VEIN, plotea todos los resultados y los transforma en gráficas, evidenciándose en la figura 3.20

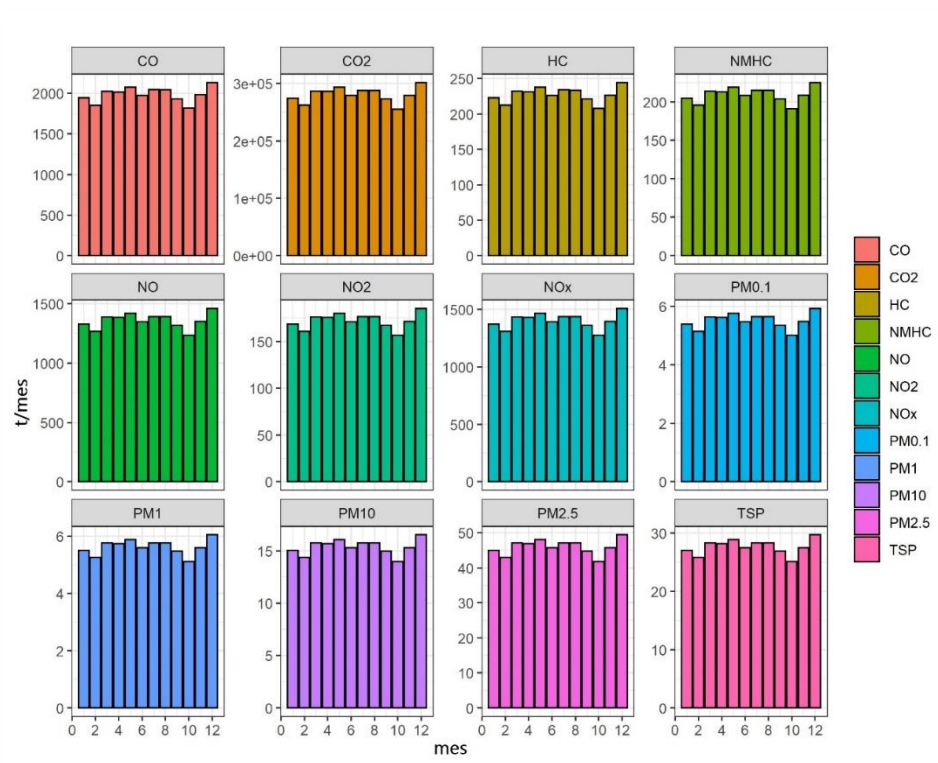


Figura 3.20 Producción de gases de escape por mes en Ecuador
Fuente: (VEIN-Ecuador)

La figura 3.17 presenta la clasificación de los gases de escape para cada mes; sin embargo, en este proyecto se decidió presentar un resultado expresando de contaminación anual, expresada en [t/año], como puede verse en la sección 4.2 del capítulo siguiente, donde se presenta esta disposición.

3.9 ESTIMACIÓN DE EMISIONES PARA EL 2021,2023 y 2025

La estimación multianual de emisiones tomó como límite el año 2025, con intervalos de un año a partir de 2019, siendo el objetivo los años 2021, 2023 y 2025. El presente proyecto se realizó con una estimación prospectiva, en la que se tomó prioritariamente la información de los cinco años anteriores a 2019 con respecto al parque de vehículos. Utilizando el promedio de crecimiento, obteniendo datos futuros.

Tabla 3.13 Tasa de crecimiento promedio de flota vehicular de DMQ.

TIPO VEHÍCULO	PC_MEDIUM_G		PC_SUV_G	
AÑO				
2015	36		12476	
2016	201	458%	14707	18%
2017	106	-47%	24392	66%
2018	891	741%	39723	63%
2019	1572	76%	14447	-64%
2020	6398		17443	
2021	26042		21061	
2022	105996		25429	
2023	431421		30702	
2024	1755956		37070	
2025	3080490		43437	
		307.02%		20.74%

Fuente: (Ibarra-Espinosa, Mera, et al., 2021)

La tabla 3.13 indica el crecimiento medio de los tipos de autos del parque automotor hasta el año 2025, no obstante, se toma en consideración la información de 2019 como último año, ya que la información de 2021 presenta carencias debido a la pandemia y a la no obligación de matriculación de vehículos en ese año, una vez realizados los cálculos se efectuó la modificación en la hoja “fleetage”, evidenciándose en la figura 3.21.

MODELO	PC_MEDIUM_DIESEL	PC_MEDIUM_ELECTRICO	PC_MEDIUM_GASOLINA	PC_MINI_ELECTRICO	PC_MINI_GASC
2025	1		3080490	1	1
2024	1		1755956	1	
2023	1		431421	1	
2022	1		105996	1	
2021	1		26042	1	
2020	1		6398	1	1
2019	1		1572	1	2
2018	15		891		1
2017		25	106	6	1
2016	1		201	3	1
2015	2		36		1
2014	2		78		1
2013	2		64		1

Figura 3.21 Adaptación de flota vehicular de Quito 2025.

Fuente: (VEIN-Ecuador)

De esta manera se realizó el mismo procedimiento para la estimación de emisiones en VEIN, como se observa en la sección 3.8. Además, los VKTS se mantienen sin modificación porque representan el promedio de un año, obteniendo así una estimación de cuánto variará la producción de contaminantes.

3.10 INVENTARIO DE EMISIONES

Con la ayuda de VEIN se realizó un inventario de emisiones de cara a 2019, siendo el último año regular (pre pandemia), evidenciando los siguientes contaminantes como: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (HC) y material particulado de 2,5 [µm] (PM_{2,5}). Además de la estimación de emisiones con miras al año 2025, donde se presentó los resultados en forma porcentual, de esta forma se proporciona una guía que permita dar a conocer la producción de gases contaminantes y como pueden aumentar con el tiempo. Con esto las autoridades podrán tener los elementos necesarios para tomar la iniciativa e implementar leyes más rigurosas con la finalidad de evitar el alto crecimiento de contaminación.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo, evidencia los resultados del estudio para la ciudad de Quito, se presentan en cinco fases: (i) caracterización del parque vehicular, (ii) estimación de emisiones vehiculares anuales: 2019, (iii) comparación de emisiones anuales [t/año] de Quito con otras ciudades, (iv) comparación de resultados [g/km] con límites nacionales establecidos en la Normativa Ecuatoriana, (v) estimación de emisiones: 2021 a 2025.

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE VEHICULAR DE QUITO

Presenta los datos de entrada que fueron modificados en VEIN, como la composición vehicular por categorías, el kilometraje promedio de recorrido, como se observa a continuación.

4.1.1 Composición por tipo de vehículo

Se presenta la composición vehicular de la flota del DMQ por tipo. En la figura 4.1 se indica los tres tipos de vehículos que lideran el parque automotor, siendo propulsados por gasolina, seguido de los vehículos propulsados a diésel, existiendo una diferencia de aproximadamente el 10% entre sí.

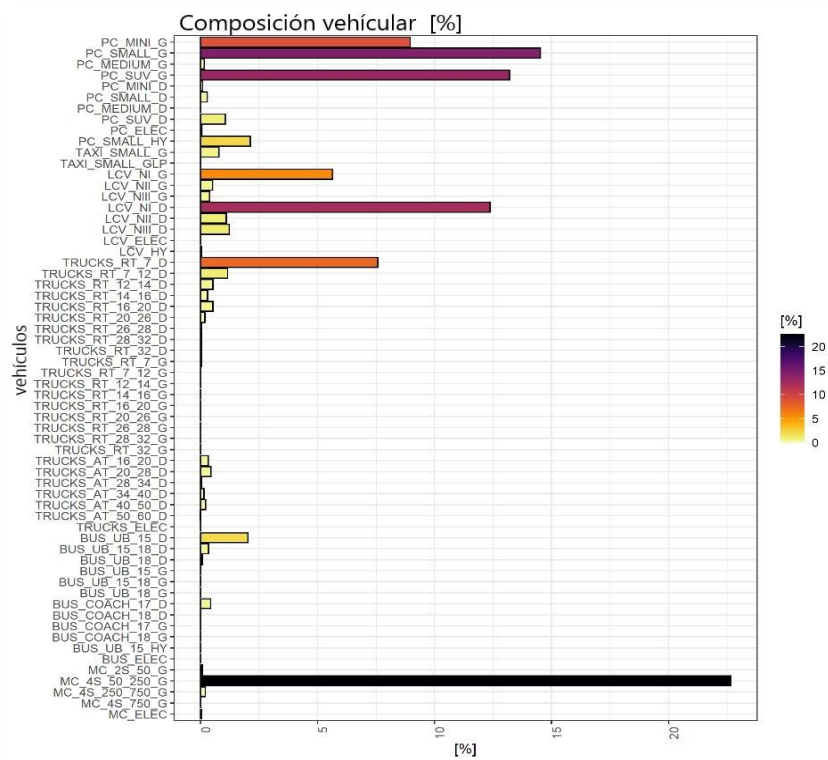


Figura 4.1 Composición vehicular del DMQ en el año 2019, por tipo de vehículo.

Fuente: (VEIN- Ecuador),(INEC, 2019)

Los vehículos que mayor representatividad tienen en el parque automotor, son las motocicletas de cuatro tiempos (50cc-250cc) ocupando un 22.6% de la composición total, por otro lado, los dos tipos de vehículos con mayor representatividad que le siguen son, el tipo PC SMALL G (< 1400 cc) y el PC SUV G, todos propulsados por gasolina. Sin embargo, en comparativa con el vehículo LCV NI D (1.305t-1.76t), representa la mitad de la flota que las motocicletas, pero a la vez es siete veces más grande que el PC SMALL HY (1400cc-2000cc) con propulsión híbrida. Siendo estos datos recopilados por el INEC y permiten ser el punto de partida del estudio de investigación.

4.1.2 Composición vehicular por familia de vehículo

VEIN identifica cinco familias principales en donde se tiene vehículos comerciales livianos (LCV), camiones (TRUCKS), motocicletas (MC), además se observa una fusión entre taxis y vehículos de pasajeros (PC), expresando el resultado en porcentaje [%] además del tipo de propulsión de cada familia.

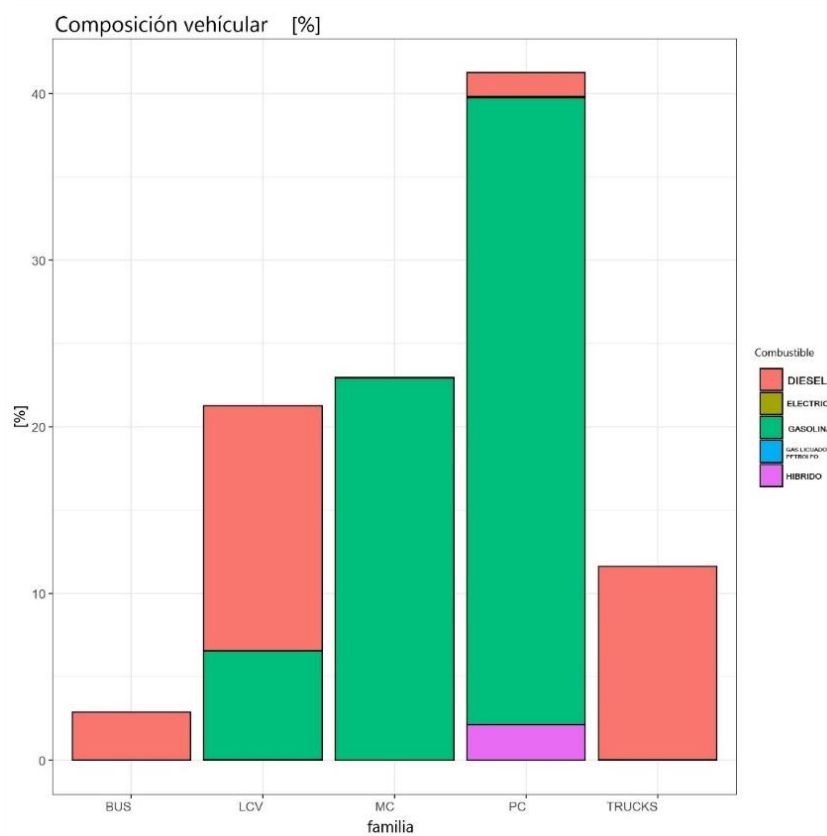


Figura 4.2 Composición vehicular de parque vehicular de Quito, por familia y tipo de combustible familia

Fuente: (VEIN- Ecuador),(INEC, 2019)

La figura 4.2, ilustra la composición vehicular que existe en el DMQ que se encuentran por tipo de familia y el combustible que estos utilizan para movilizarse. Se observa que la familia de vehículos que ocupa el mayor porcentaje del parque automotor que son los vehículos de pasajeros (PC), representando el 45% aproximado del parque automotor. Seguido por la familia de motocicletas (MC) y vehículos comerciales ligeros (LCV) que representan dos veces menos el parque que la familia PC, sin embargo, esta familia, posee dos veces más flota que los camiones (TRUCK) y tres veces más vehículos que la familia de buses (BUS). Los vehículos PC representa el mayor número de flota vehicular ya que en esta ciudad existe movimiento de comercio y movilidad de personas, esto representa el uso de automotores que se relaciona con la población y sus necesidades, al ser la segunda ciudad con mayor cantidad de habitantes del Ecuador (Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2017).

4.2 ESTIMACIÓN DE EMISIONES VEHICULARES ANUALES: 2019

Presenta los resultados producidos por el software VEIN, en 2019, con una interfaz modificada a las condiciones de Quito. Además de un total de cinco tipos principales de contaminantes como son: dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO,) óxido de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (HC) y material particulado de 2.5[μm] ($\text{PM}_{2.5}$) siendo la estimación presentada en el lapso de un año calendario como se observa en la figura 4.3.

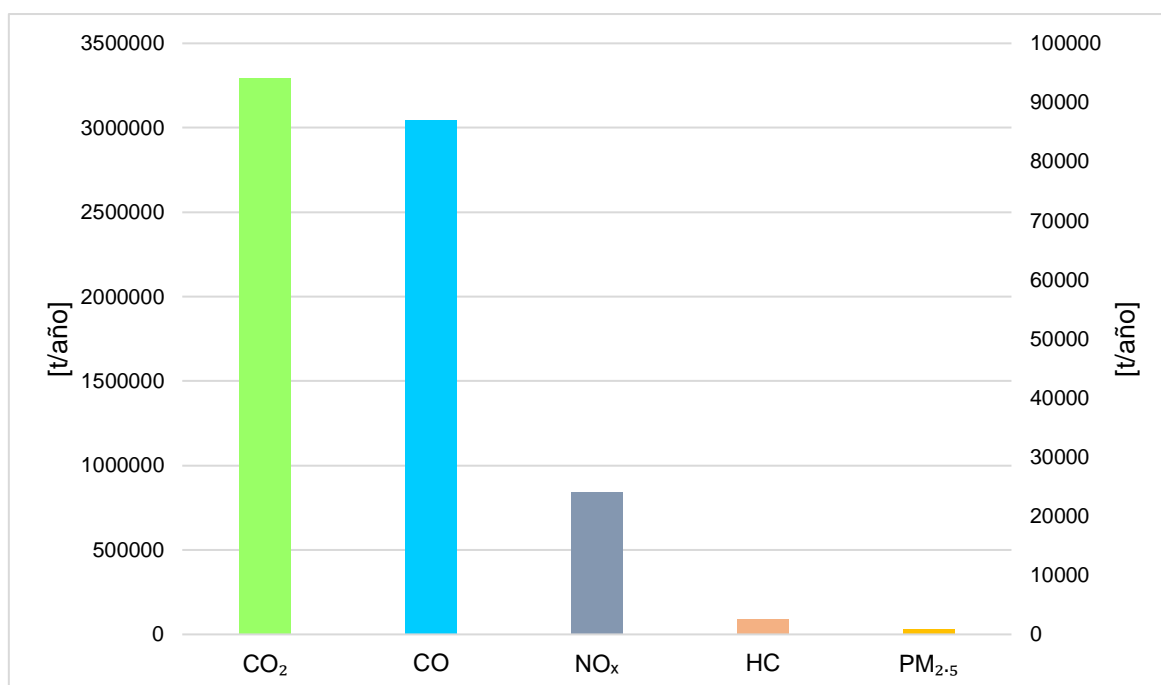


Figura 4.3 Estimación total de emisiones del parque vehicular de Quito en el año 2019.

Fuente: (VEIN-Ecuador)

La figura muestra que las emisiones de CO_2 son los mayores contaminantes del parque automotor de Quito con aproximadamente 33×10^5 [t/año], seguido de las emisiones de CO con una producción de 87 000 [t/año], por otra parte, la producción de NO_x es de 24 000 [t/año] y representa cuatro veces menos que las emisiones de CO. Las emisiones de HC y $\text{PM}_{2.5}$ son las que menos contaminantes producen con 2.600 [t/año] y 970 [t/año] respectivamente.

4.2.1 Emisiones estimadas por categoría de vehículo

Es la estimación del parque automotor de Quito, representando la producción de emisiones de los cinco tipos de contaminantes (CO_2 , CO, HC, NO_x , $\text{PM}_{2.5}$) y expresadas en [%] y en toneladas por año [t/año].

4.2.1.1 Emisiones de dióxido de carbono

El resultado detalla la cantidad de CO₂ emitida por el parque automotor de Quito, por lo cual VEIN presenta la estimación expresada en toneladas por año [t/año], además de una estimación porcentual [%], para el año 2019 evidenciándolo en la figura 4.4.

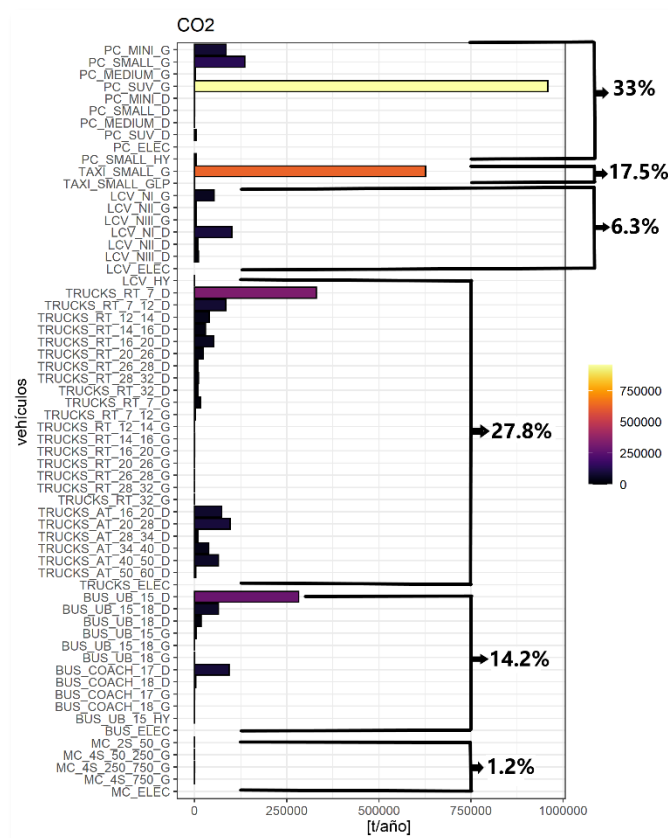


Figura 4.4 Estimación de CO₂ de la flota vehicular de Quito en el año 2019.

Fuente: (VEIN-Ecuador)

Esta figura muestra que las dos familias con mayor producción de emisiones son, los vehículos de pasajeros (PC) con un 33%, seguido de la familia de camiones (TRUCKS), que representa tres cuartos de la producción de emisiones de la primera familia, sin embargo, los camiones son de uso interprovincial, lo que permitirá un análisis en profundidad en un futuro proyecto. Además, aunque el 61.3% de los habitantes de Quito se transportan en medios públicos (Lucero, 2020), la producción de emisiones de los buses representa solo el 14.2%. También los vehículos tipo BUS UB 15 D y TRUCK RT 7 D producen dos veces menos que los TAXI SMALL G y tres veces menos que el mayor productor de emisiones PC SUV G, siendo estos dos tipos de vehículos propulsados a gasolina. Además, las emisiones de CO₂

tienen una producción aproximada de 33×10^5 [t/año] en el año 2019, en comparación con la producción aproximada de 25.96×10^5 [t/año] en el año 2011 (Baca, 2014b), con un crecimiento del 21% de producción de emisiones en 8 años.

4.2.1.2 Emisiones de monóxido de carbono

Las emisiones de CO, son presentadas mediante la estimación porcentual realizada según las categorías de vehículos, además de presentar los resultados en unidades de [t/año], siendo un resultado obtenido por VEIN se evidencia en la figura 4.5.

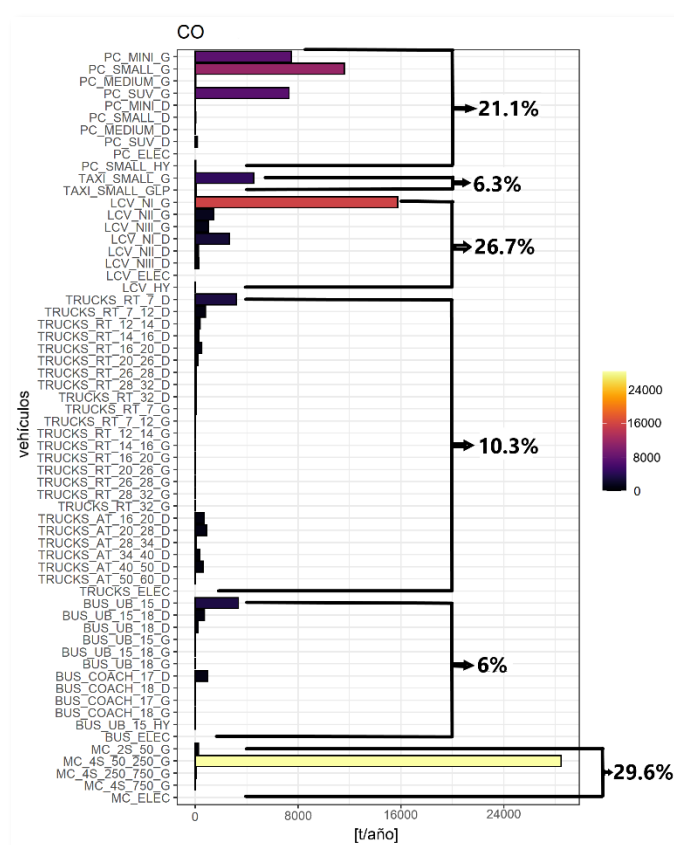


Figura 4.5 Estimación de monóxido de carbono para la flota vehicular del DMQ en el 2019.

Fuente: (VEIN-Ecuador)

En esta figura se destacan tres familias de vehículos que superan el 20% de las emisiones, siendo las familias de motocicletas (MC), vehículos comerciales livianos (LCV) y vehículos de pasajeros (PC), donde se observa que todas estas familias son mayoritariamente a gasolina. Además, los vehículos de la familia TAXI, que representan menos del 2,5% de la flota de Quito, producen tres veces más emisiones que el resto de su flota. Sin embargo, se

observa variación entre las tres familias de mayor producción y las familias de TRUCKS y BUS es que éstas producen entre dos y tres veces menos emisiones, al ser propulsadas por diésel. También se puede observar que la producción de CO como se presenta en la figura 4.2, es la mayor del parque automotor y corresponde a los vehículos que usan gasolina, representando el 56% del total de emisiones en la ciudad de Quito(El Comercio, 2015) . Esto produce 87 000 [t/año] aproximadamente en el año 2019, existiendo un incremento del 11% en el lapso de ocho años (Baca, 2014b) desde el último inventario realizado en Quito.

4.2.1.3 Emisiones de óxido de nitrógeno

El resultado expresa la estimación de NO_x realizada por VEIN, según la categoría de vehículos y expresada en unidades de cantidad [t/año] y [%] respectivamente como se mira en la figura 4.6.

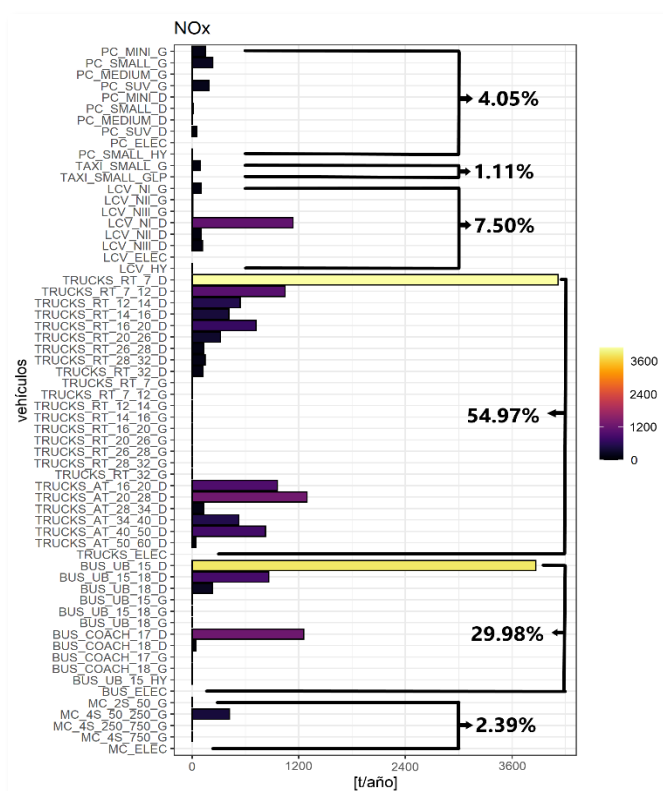


Figura 4.6 Producción de óxidos de nitrógeno de la flota vehicular de Quito, año 2019.

Fuente: (VEIN-Ecuador)

Esta figura muestra que la familia con mayor producción de NO_x es la familia TRUCK con 54.97%, sin embargo, la siguiente familia BUS produce la mitad de las emisiones que la primera, siendo el diésel el combustible propulsor de ambas categorías. Aunque las familias

de vehículos mayoritariamente propulsadas a gasolina producen 10 veces menos emisiones de NO_x, ya que no llegan al 10% de las emisiones de forma individual, esto se debe a que las condiciones de combustión en los vehículos propulsados por diésel son ideales para el factor de producción de emisiones de NO_x. Además, es importante mencionar que las condiciones de uso de la familia de camiones (TRUCKS) representan en su mayoría viajes interprovinciales, siendo este un factor para un futuro estudio donde se evaluará esta situación. Finalmente se estimó que en 2019 se produjeron aproximadamente 24 000 [t/año] de emisiones de NO_x, mostrando un incremento del 28% respecto a 2011 en la ciudad de Quito(Baca, 2014b).

4.2.1.4 Emisiones de hidrocarburos

El resultado presenta la estimación de emisiones de HC realizada por VEIN para el parque automotor de Quito en el año 2019, evidenciándolo en la figura 4.7.

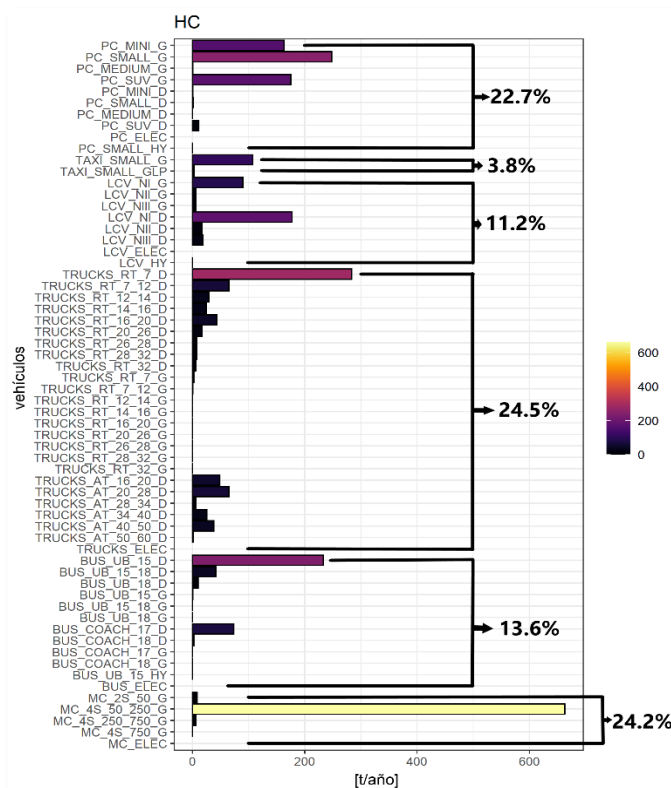


Figura 4.7 Concentración de hidrocarburos en de la flota vehicular de Quito en el 2019.

Fuente: (VEIN-Ecuador)

En esta figura se observan tres familias con la mayor producción de emisiones, como son las familias de motocicletas (MC), camiones (TRUCKS) y vehículos de pasajeros (PC), los

cuales superan el 20% de emisiones. Se puede observar que las familias BUS y LCV producen la mitad de las emisiones de las tres familias mencionadas anteriormente. Sin embargo, la familia TRUCK es un factor a estudiar con más detenimiento, y es evidente que en el transcurso de 10 años el aumento de motocicletas se multiplicó por siete, liderando la producción de HC y CO(Andrea Medina-el comercio, 2020). VEIN estima una producción de 2 600 [t/año] en 2019, ejemplificando el 19% de la producción total de Ecuador en ese año(Ibarra-Espinosa, Mera, et al., 2021).

4.2.1.5 Emisiones de material particulado 2.5

El resultado muestra mediante un gráfico de barras la estimación de PM_{2.5} [µm] producida por VEIN, presentada en función de los tipos de autos [t/año] y [%], para el año 2019, como se evidencia en la figura 4.8.

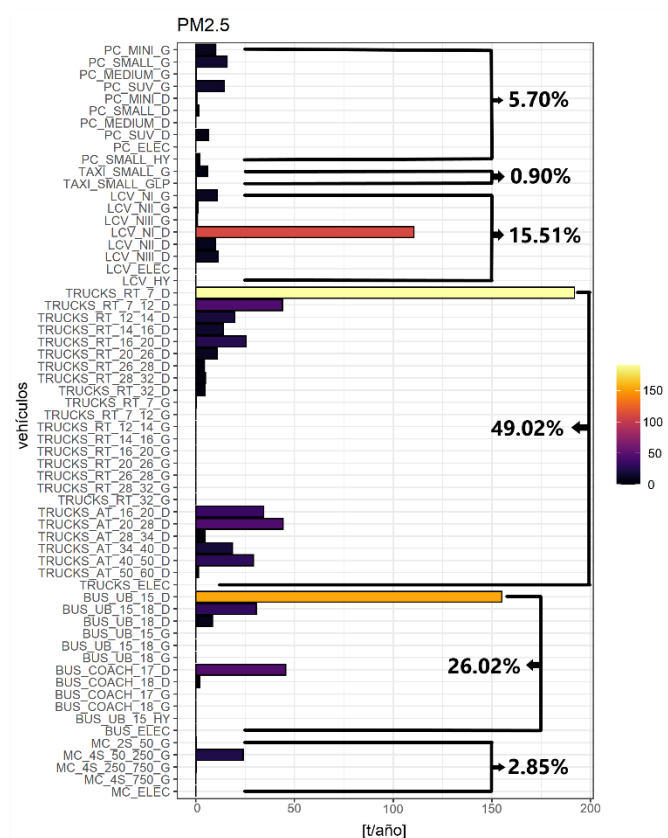


Figura 4.8 Concentración de material particulado de la flota vehicular de Quito 2019.
Fuente: (VEIN-Ecuador)

En esta figura se observa que la familia con mayor producción de emisiones es la de camiones (TRUCKS), con un 49,02%, la cual tiene dos veces más producción que la familia

La figura 4.9 presenta que aproximadamente el 95% de la producción se producen en caliente, frente al 5% restante que comparten las emisiones en frío y el desgaste. Además, las emisiones más elevadas se producen en caliente debido al poco tiempo que tarda el refrigerante en alcanzar la temperatura óptima, que representa aproximadamente 5 minutos (Conducción Eficiente, 2021), lo que refleja el prolongado tiempo de uso a temperatura ideal. Aunque las emisiones por desgaste producen mil veces más que las del tubo de escape, estas se dividen en PM_{10} con el 70% y $PM_{2.5}$ con el 30% (Emissions Analytics, 2020), reflejando estos porcentajes en la figura 4.9 y en el anexo 4, existiendo una correlación. Ya que las partículas $PM_{2.5}$ son altamente nocivas y tienen gran poder de penetración al sistema respiratorio (Gutierrez, 2020), siendo un caso de estudio para otra investigación.

4.3 COMPARACIÓN DE EMISIONES DE QUITO CON OTRAS CIUDADES

Se presenta la comparativa de la estimación de emisiones de Quito usando VEIN (Ibarra-Espinosa, Mera, et al., 2021), con estudios realizados a ciudades de Santiago de Chile (2005), Buenos Aires (2006) y Quito (2011) siendo capitales de países de Latinoamérica. La comparativa relaciona la producción de gases contaminantes con la población existente, así se puede determinar la proporcionalidad de contaminación por cada cien mil habitantes.

4.3.1 Comparativa de población

El resultado refleja el número de habitantes de las ciudades de Quito 2019 (Ecuador), Santiago de Chile 2005 (Chile), Buenos Aires 2006 (Argentina) y Quito 2011 de acuerdo al año en el que se realizaron los inventarios de emisiones, como se observa en la figura 4.10.

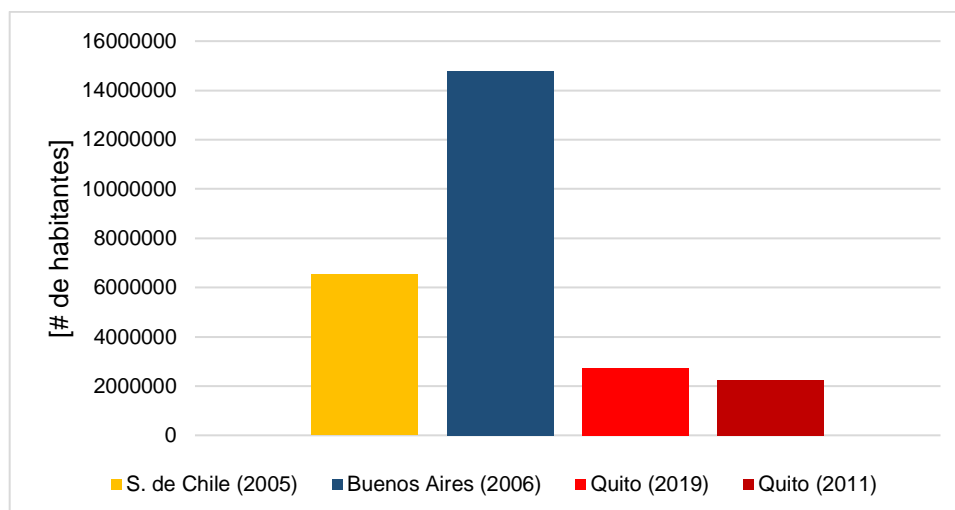


Figura 4.10 Comparación del número de habitantes en Quito 2019, Buenos Aires 2006 y Santiago de Chile 2005

Fuente: (INEC, 2010), (Chile, 2008), (INDEC, 2007), (INEC, 2011)

La figura anterior muestra la comparación entre las tres ciudades, donde se puede observar que la ciudad de Quito en 2019 (INEC, 2010), tiene el dos veces menos habitantes que la ciudad de Santiago de Chile en 2005 (Chile, 2008). Además, la ciudad de Buenos Aires en 2006 (INDEC, 2007), tiene cinco veces más población que la ciudad de Quito en 2019, además de representar tres veces más población que Santiago de Chile en 2005. Por otro lado, Quito tuvo un crecimiento del 18% en comparación con el año 2011 desde el 2011. Todas estas ciudades, al ser capitales de países y, por tanto, ejes centrales del comercio, justifican un mayor número de habitantes por metro cuadrado en comparación con otras ciudades de sus respectivos países.

4.3.2 Comparativa población- inventarios de emisiones

Se presenta la comparación de los inventarios realizados a las tres ciudades, con el inventario de emisiones estimado por VEIN, donde las emisiones se expresan en toneladas por cien mil habitantes [t /100 000 hab].

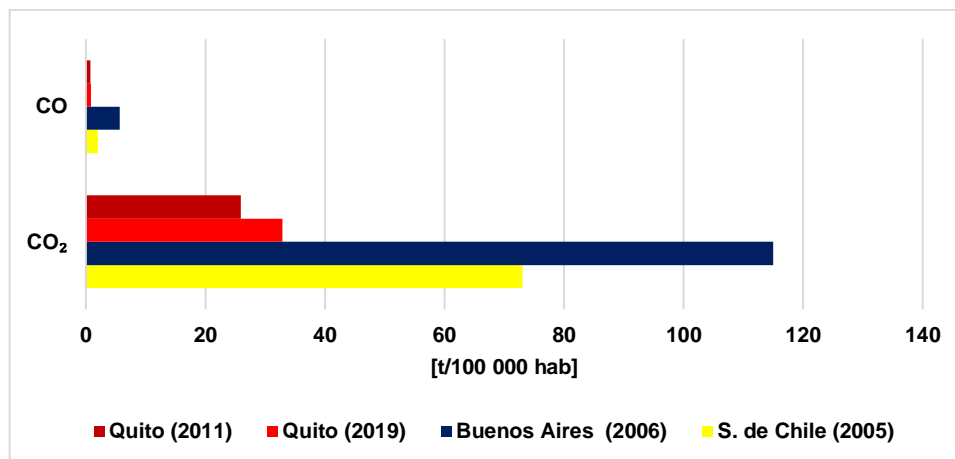


Figura 4.11 Comparativa, población-producción de emisiones contaminantes de Quito 2019 y 2011, Santiago de Chile 2005 y Buenos Aires 2006 - parte A.

Fuente: (Ibarra-Espinosa, Mera, et al., 2021), (VEIN)

La Figura 4.11 presenta la primera parte de la comparación población-producción de emisiones de los inventarios de Quito, Santiago de Chile y Buenos Aires. La figura muestra que la ciudad con mayor producción de gases contaminantes es la de Buenos Aires 2006 (Ibarra-Espinosa, Mera, et al., 2021), superando en tres veces las emisiones de CO₂ y seis veces la producción de CO en comparación con Quito 2019, además de presenciar un crecimiento del 21% emisiones de CO₂ y 11% emisiones de CO desde el año 2011 hasta el año 2019 en Quito, continuando con el resultado como se muestra en la parte B, a continuación.

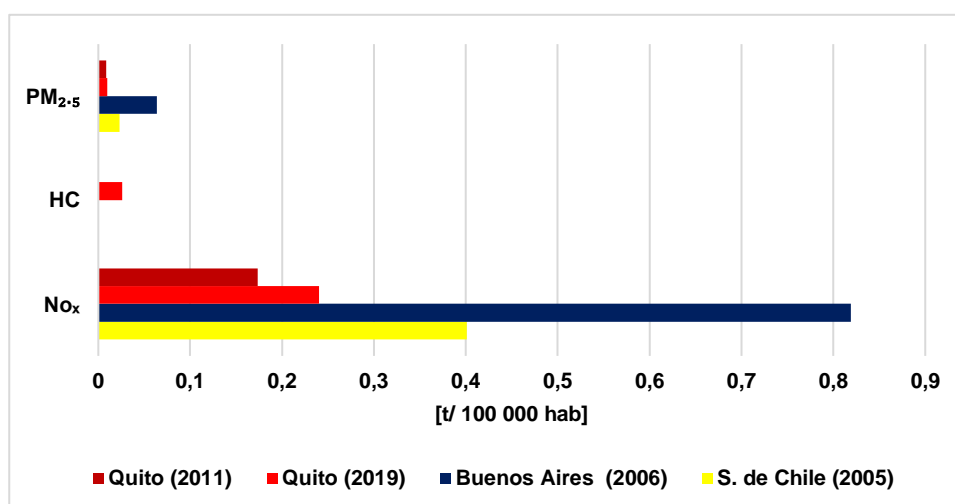


Figura 4.12 Comparativa, población-producción de emisiones contaminantes de Quito, Santiago de Chile y Buenos Aires- parte B.

Fuente:(Ibarra-Espinosa, Mera, et al., 2021), (VEIN)

La Figura 4.12 presenta que la ciudad de Buenos Aires tiene tres veces más la producción de NO_x , y seis veces la producción de $\text{PM}_{2.5}$, en comparación con Quito 2019, además de presenciar que las emisiones de $\text{PM}_{2.5}$ tuvieron el incremento del 14%, así como las emisiones de NO_x aumentaron el 28% desde el 2011 al 2019, como se muestra en el Anexo 7. En términos generales, el promedio de producción de emisiones refleja que la ciudad de Quito (2019) produce dos veces menos emisiones que Santiago de Chile (2005) y cinco veces menos que la ciudad de Buenos Aires (2006), en concordancia con los resultados del ítem 4.3.1 y el Anexo 5, así también como se observa que la Ciudad de Quito tuvo un crecimiento promedio del 18% de emisiones desde el 2011 al 2019, como se observa en el Anexo 7. Las emisiones de HC no contienen información de los inventarios de Santiago y Buenos Aires. Esto concuerda con (Ibarra-Espinosa, Mera, et al., 2021), que afirma que la producción de gases contaminantes está correlacionada al número de habitantes de una determinada zona de estudio, donde se refleja que existe una diferencia similar en el número de habitantes y producción de emisiones.

4.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LA NORMATIVA ECUATORIANA

El resultado muestra la comparación clasificada por el tipo de combustible, entre los resultados obtenidos por VEIN y la normativa vigente en Ecuador. Donde el INEN, clasifica los parámetros para las formaciones de emisiones en fuentes móviles terrestres en la NTE INEN 2207 1ª norma para fuentes diésel y la NTE INEN 2204 2ª norma para fuentes a gasolina. Sin embargo, para los vehículos de dos ruedas se aplica RTE INEN 136 1R.

4.4.1 Comparativa de emisiones en vehículos a gasolina

La comparación se efectúa con los datos obtenidos de VEIN, que fueron transformados a [g/km], y comparados con los parámetros máximos para vehículos a gasolina establecidos por la norma NTE INEN 2204 2ª. Por otro lado, las motocicletas se rigen por el RTE INEN 136 1R donde establece que las emisiones no podrán superar los valores establecidos por el CFR, parte 86.410-2006 o la Directiva Europea 2002/51/EC (INEN, 2018). Aunque la norma ecuatoriana no incluye las emisiones de CO_2 , se utilizó la información de la EEA para compararla con la estimación de VEIN.

Tabla 4.1 Comparativa de emisiones vehiculares VEIN- INEN 2204 y EEA 2021.

Tipo de vehiculó	CO ₂		CO		HC		NO _x	
	VEIN	EEA	VEIN	INEN NTE 2204-2	VEIN	INEN NTE 2204-2	VEIN	INEN NTE 2204-2
	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km
PC_G	302	122,1	2,07	2,3	0,06	0,2	0,09	0,15
TAXI_G			8,55	2,3	0,54	0,2	0,42	0,15
LCV_G			4,70	4,17	0,25	0,25	0,11	0,18
MC_G			22,14	12	0,92	1	-	-

Fuente: (INEN, 2017), (Parlamento Europeo, 2022)

La tabla 4.1 evidencia el resultado de la comparativa de los vehículos entre los datos VEIN, los datos INEN y EEA. En la figura se presencia los cuatro tipos de vehículos con propulsión de gasolina, donde los vehículos de pasajeros (PC) no superan los límites producción de CO, HC y NO_x; sin embargo, los taxis superan en tres veces los límites de la norma en todos los contaminantes debido a la alta contaminación. Los vehículos comerciales ligeros (LCV) cumplen con los límites producción de NO_x y HC, sin embargo, la producción de CO supera la norma en un 13%. También se debe mencionar que las motocicletas (MC) no tienen norma de emisiones de NO_x, pero cumplen el límite de emisiones de HC y superan dos veces el límite de emisiones de CO porque son el tipo de vehículo con mayor producción. VEIN estima que las emisiones de CO₂ serán 2,5 veces más que lo establecido en Europa en 2021 (Parlamento Europeo, 2022), debido a que las exigencias de Ecuador son Euro 3 mientras que Europa se rige por Euro 6. Cotejando esta información con (Qualco, 2021), donde se observa que todos los vehículos superan la norma europea.

4.4.2 Comparativa de emisiones en vehículos a Diésel

La comparación se efectúa con la norma NTE INEN 2207 1ª, que expresa los límites de emisiones de CO, HC y NO_x en vehículos diésel, con los resultados obtenidos de VEIN y expresados en [g/km] como se evidencia en la figura 4.2.

Tabla 4.2 Comparativa de emisiones vehiculares VEIN- INEN 2207.

Tipo de Vehículo	CO		HC		NO _x	
	VEIN	INEN NTE 2207	VEIN	INEN NTE 2207	VEIN	INEN NTE 2207
	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km	g/km
PC_D	1,81	2,1	0,25	0,25	0,58	0,62
LCV_D	6,23	6,2	0,49	0,5	1,06	0,75-1,1
TRUCKS_D	11,68	15,5	0,55	1,3	2,28	5
BUS_D	30,98	15,5	3,15	1,3	15,74	5

Fuente: (INEN, 2002)

La tabla muestra que existen cuatro tipos de vehículos diésel; los vehículos de pasajeros (PC) no superan los límites de emisión propuestos por la norma, y los vehículos comerciales ligeros no superan los límites de emisión de HC y NO_x; además, las emisiones de CO se encuentran dentro de los límites. Mientras que los camiones (TRUCKS) no superan los límites permitidos por la normativa, ya que su principal labor es realizar viajes interprovinciales, sin embargo, los autobuses superan los límites de CO y HC presentando el doble de producción, también la producción de NO_x supera la norma de 5 [g/km] con una producción de tres veces más de lo establecido, causado a los el parque automotor destinado al transporte de pasajeros de manera pública producen altas cantidades de emisiones y su flota es reducida (el Telégrafo, 2018).

4.5 ESTIMACIÓN DE EMISIONES: 2021 a 2025

Bajo la misma estrategia utilizada para estimar las emisiones del año 2019, descrita en el apartado anterior, se modeló las emisiones de los años 2021, 2023 y 2025 en VEIN, donde el resultado se lo presenta en toneladas año [t/ año], como se observa en la figura 4.13.

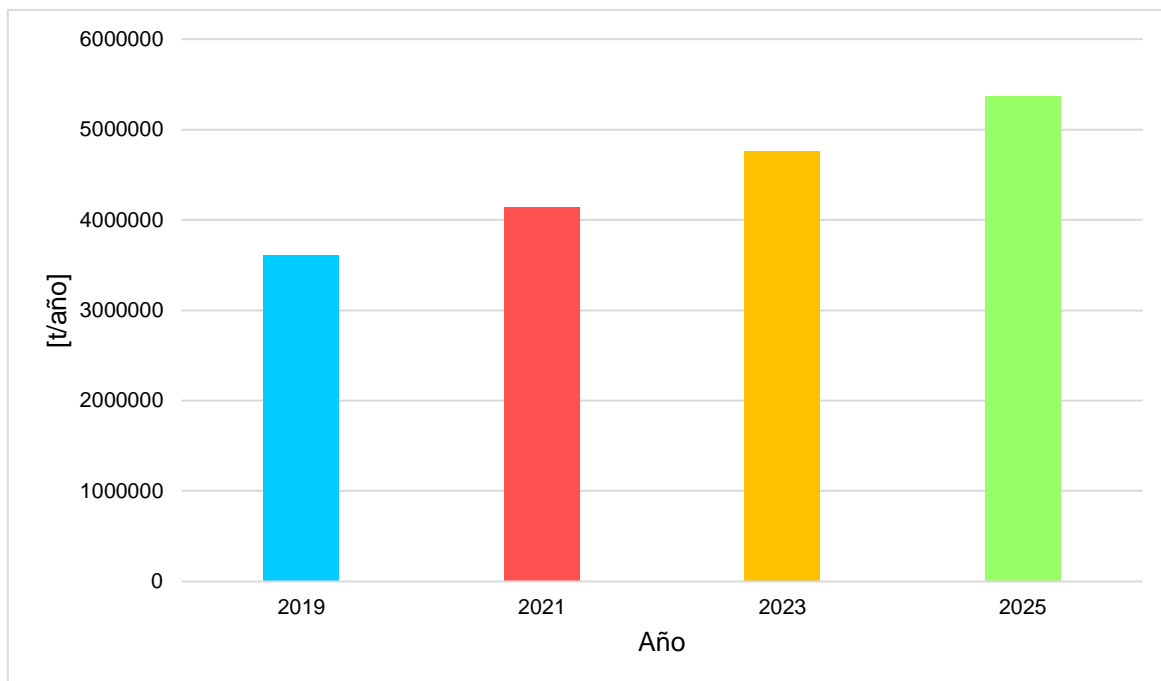


Figura 4.13 Estimación de emisiones totales para el año 2021, 2023 y 2025.

Fuente: (VEIN-Ecuador)

La figura muestra la estimación a futuro de las emisiones vehiculares en Quito con una tendencia creciente hasta el año 2025. El resultado expresa un aumento del 15% de las emisiones para 2021, más un incremento estimado del 32% para el 2023, y finalmente para 2025 se espera un aumento aproximado del 49% en la producción total de emisiones.

4.5.1 Crecimiento multianual del parque vehicular

Indica el crecimiento del parque de vehículos mediante la estimación en VEIN, expresando el crecimiento de vehículos en los años 2021, 2023 y 2025 como se ve en la figura 4.14.

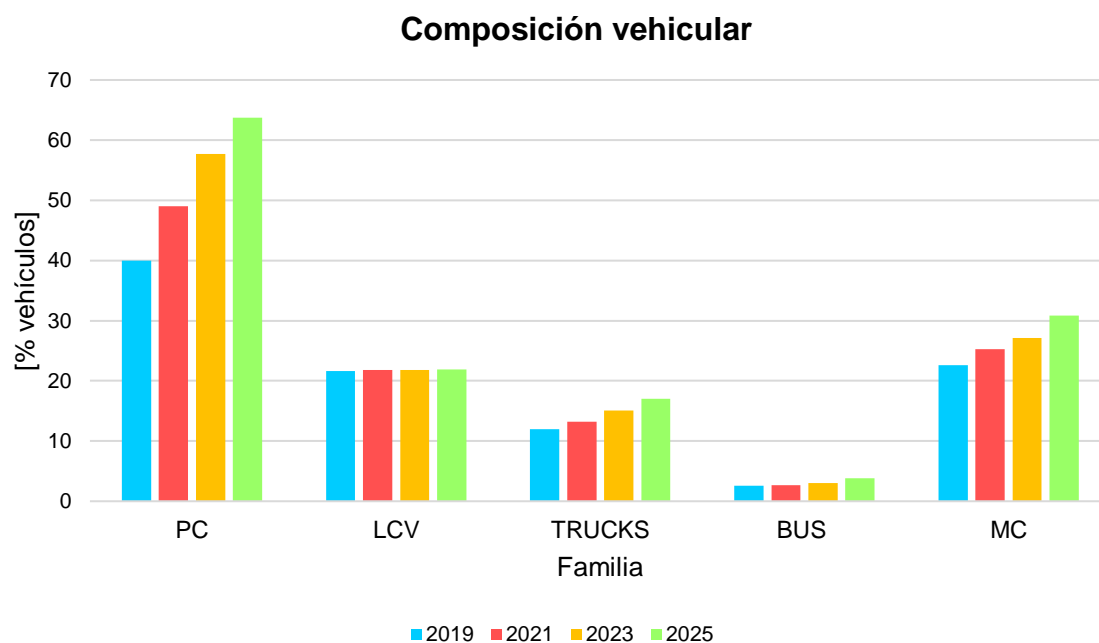


Figura 4.14 Estimación del parque vehicular para la flota del DMQ, año 2021, 2023 y 2025.

Fuente: (VEIN-Ecuador)

Esta figura muestra el crecimiento futuro del parque de vehículos en aproximadamente un 40% para el 2025. Por otra parte, la familia de vehículos de pasajeros (PC) estima el mayor crecimiento de la flota vehicular con el 25% para el 2025, corroborando con la proyección realizada por (Núñez et al., 2009) donde explica que los viajes a realizar son independientes y corresponden al 59% que se realizarán en transporte individual de Quito en el 2025, mientras que la familia (LCV) estima un incremento de flota del 0.6% en el lapso de seis años. También, el crecimiento de la flota vehicular de la familia de buses (BUS) tiene propuesto que a partir de 2025 se inicié el proceso de electrificación de buses hasta el 2050. (Secretaría de Ambiente del Municipio del & Distrito Metropolitano de Quito y C40., 2020)

4.5.2 Emisiones multianuales por familia de vehículo

Exhibe el resultado de la estimación de emisiones para: CO₂, CO, NO_x, HC y PM_{2.5} para los años 2021, 2023 y 2025 en VEIN.

4.5.2.1 Dióxido de Carbono

Enseña la estimación de CO₂ determinadas por VEIN, presentadas para los años 2021, 2023 y 2025, donde los resultados se expresan el crecimiento en [t/año] de producción, reflejándose en la figura 4.15.

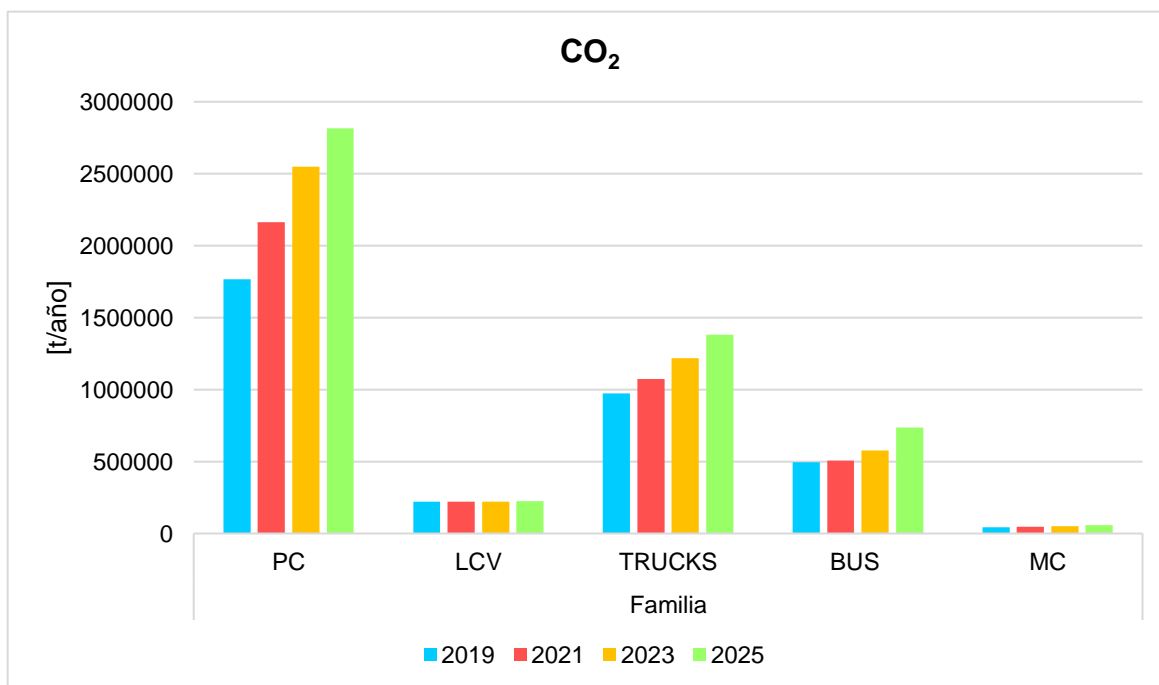


Figura 4.15 Estimación de emisiones de CO₂ para la flota vehicular del DMQ, año 2021, 2023 y 2025.

Fuente: (VEIN-Ecuador)

La figura presenta un aumento aproximado del 45% en producción de CO₂ para el año 2025, comparándola con el 2019. El resultado expresa un incremento de una quinta parte de la producción de emisiones con respecto a la estimación del municipio de Quito para el año 2025 (Secretaria de ambiente, 2015). Además, la familia PC presenta el mayor aumento de emisiones con un 30%, lo que representa el doble de crecimiento que las familias TRUCKS y BUS. También se encuentra que las familias LCV y MC no superan el 1% de crecimiento en el período de 6 años.

4.5.2.2 Monóxido de carbono

Indica la estimación de monóxido de carbono (CO) realizada por VEIN para el DMQ para los años 2021, 2023 y 2025, donde se expresa el crecimiento en [t/año], evidenciándose en la figura 4.16.

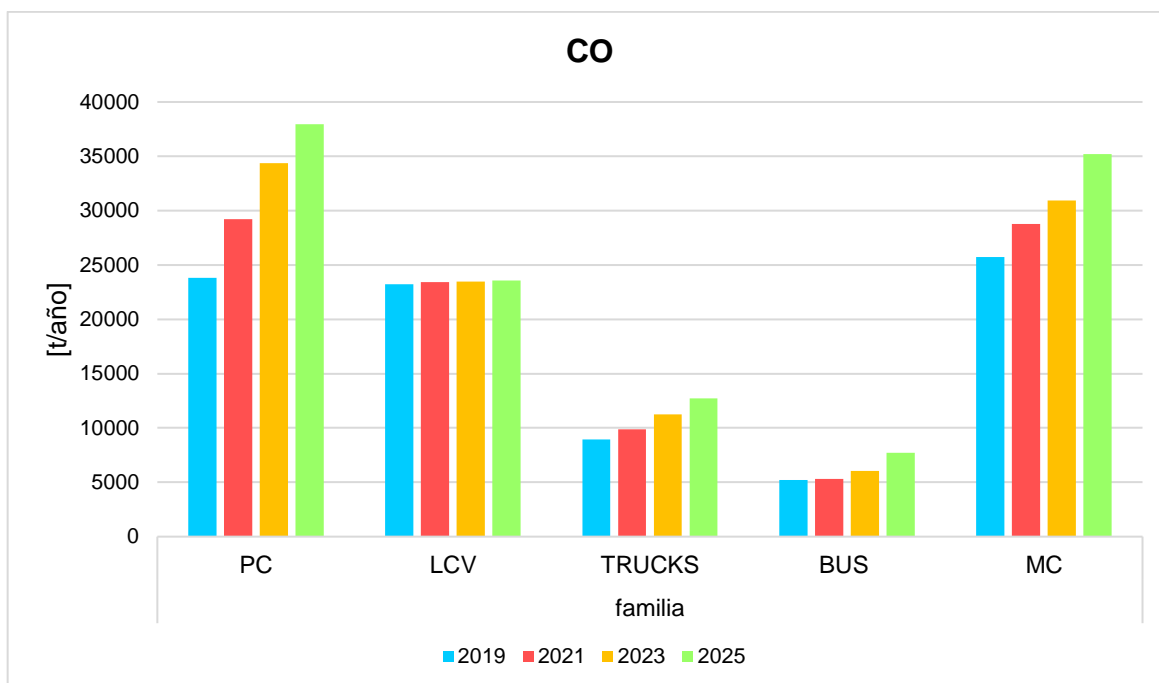


Figura 4.16 Estimación de emisiones de CO para la flota vehicular del DMQ, año 2021, 2023 y 2025.

Fuente: (VEIN-Ecuador)

Esta imagen muestra que el resultado es un aumento del 35% de las emisiones para 2025, donde la familia (PC) tiene un incremento de aproximadamente el 20% de las emisiones, lo que representa el doble de emisiones que la familia MC. Así como, las familias de los (TRUCKS) y (BUS) no superan un crecimiento aproximado del 5% para el 2025; finalmente, la familia LCV tiene un incremento aproximado del 1% hasta 2025.

4.5.2.3 Hidrocarburos

En la estimación de emisiones de HC efectuada por VEIN, para los años 2021, 2023 y 2025, donde se presenta el crecimiento de la producción de emisiones [t/año] como se observa en la figura 4.17.

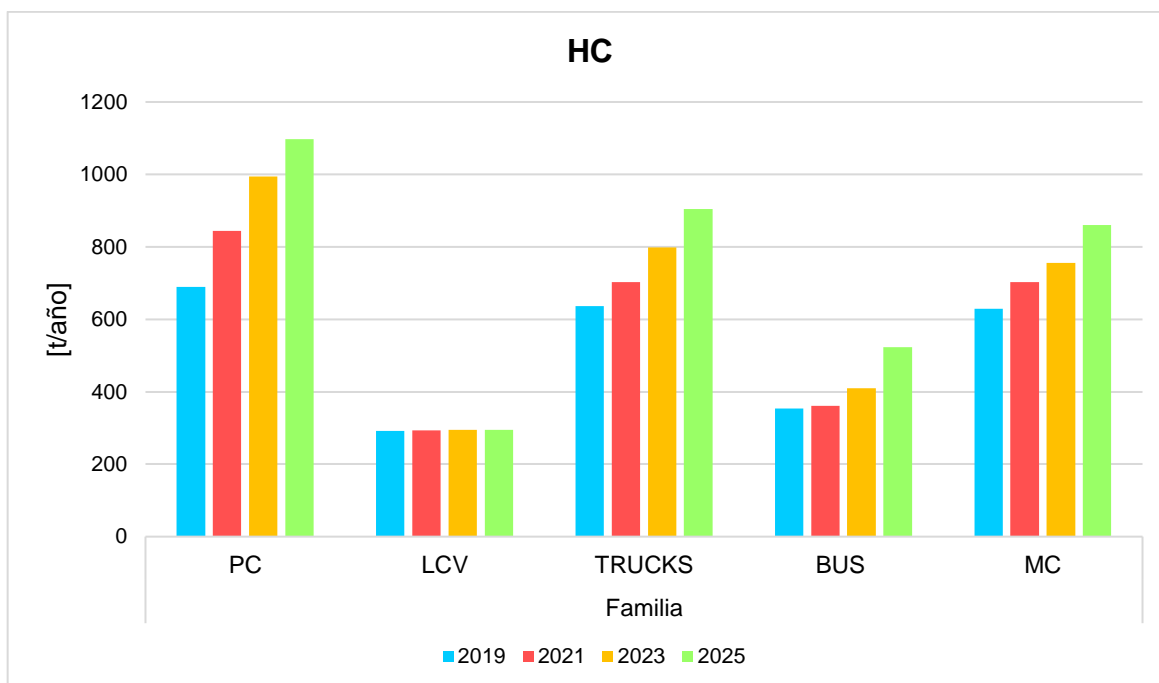


Figura 4.17 Estimación de emisiones de HC para la flota vehicular del DMQ, año 2021, 2023 y 2025.

Fuente: (VEIN-Ecuador)

Esta imagen muestra que la producción de emisiones para el año 2025 tiene un incremento del 42%, siendo la familia PC la que muestra el mayor crecimiento con aproximadamente un 20%. Además, las familias MC y TRUCKS registran la mitad de aumento que la familia PC, mientras que la familia BUS representa un tercio del crecimiento de la familia de vehículos de pasajeros y la familia LCV tiene un incremento aproximado del 1% hasta 2025.

4.5.2.4 Monóxido de nitrógeno

Se muestra la estimación de NO_x realizada en VEIN para los años 2021, 2023 y 2025, donde el crecimiento de las emisiones se expresa en toneladas por año [t/año] y se presenta a través de un gráfico de barras como se observa en la figura 4.18.

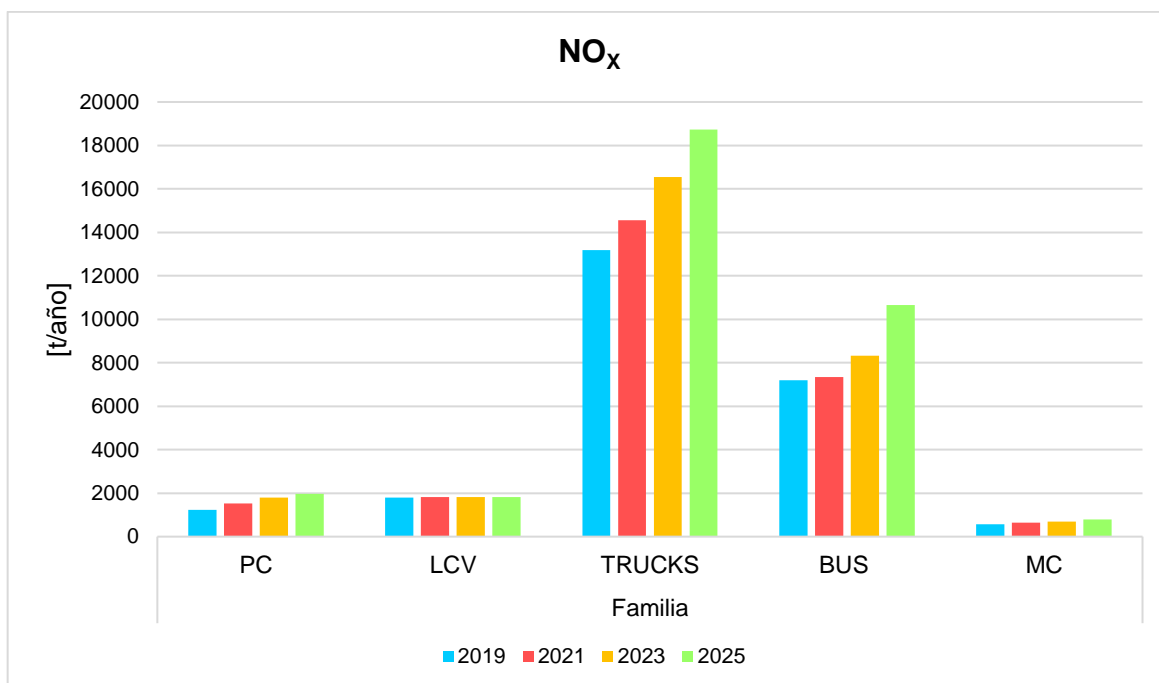


Figura 4.18 Estimación de emisiones de NO_x para la flota vehicular del DMQ, año 2021, 2023 y 2025.

Fuente: (VEIN-Ecuador)

Se presencia en la figura que para el 2025 habrá un aumento del 42% en la producción de monóxido de carbono, siendo la familia TRUCKS la que muestra el mayor incremento de aproximadamente 30%, la familia BUS muestra un tercio más de crecimiento que la familia TRUCKS. Por otra parte, las familias PC, LCV y MC no superan el 10% de aumento en la producción de emisiones en el período de seis años.

4.5.2.5 Material particulado 2.5

Se exhibe la estimación de PM_{2.5} en VEIN, con intervalos de cada dos años a partir del 2019 hasta 2025, donde se expresa por el crecimiento de las emisiones en [t/año] evidenciándose en la figura 4.19.

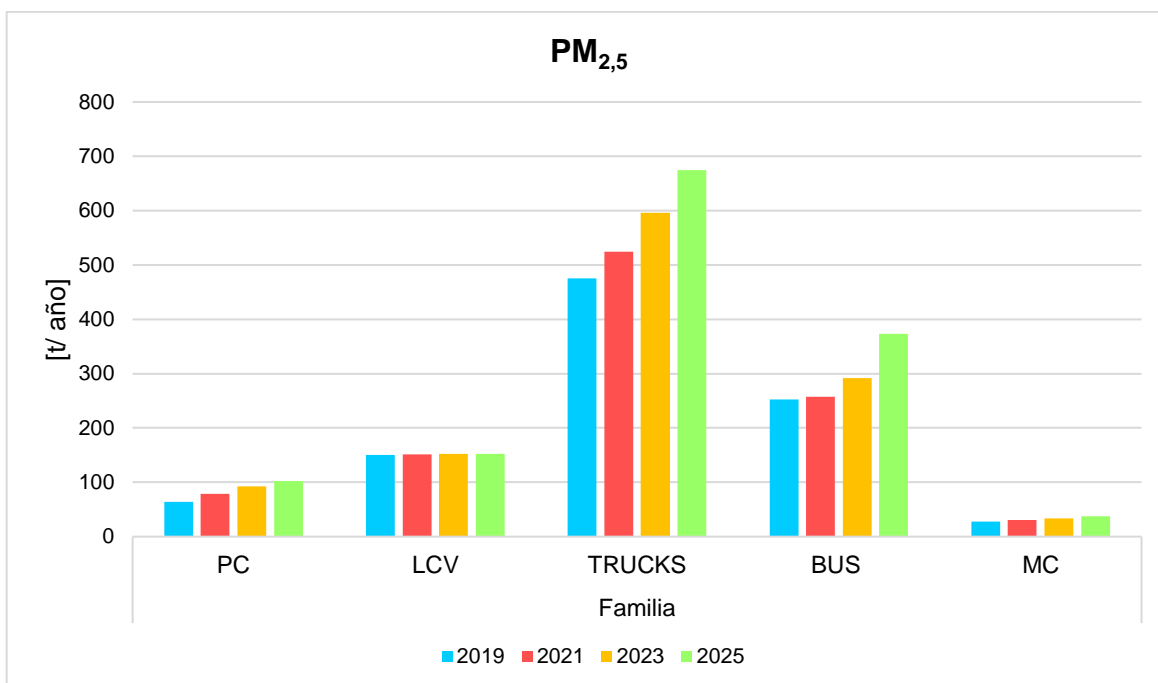


Figura 4.19 Estimación de emisiones de $PM_{2.5}$ para la flota vehicular del DMQ, año 2021, 2023 y 2025.

Fuente: (VEIN-Ecuador)

Se observa en la figura que la familia de camiones (TRUCKS), tiene un aumento del 20% de emisiones para el 2025, lo que representa un tercio más de crecimiento que la familia de buses (BUS). También se observa que las familias PC, MC y LCV presentan un crecimiento de las emisiones inferior al 10% de 2019 a 2025. Así el promedio de la estimación de emisiones refleja el crecimiento del 40% de producción para el año 2025, reflejando de igual manera el crecimiento del 40% aproximado de la flota vehicular de Quito, siendo resultados estimados con VEIN como se observa en el anexo 6 y 7. Para finalizar, la estimación de emisiones muestra que en 2021 habrá un aumento del 14% de la producción y en 2023 del 31%.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Utilizando el modelo VEIN, se efectuó un inventario de emisiones para la ciudad de Quito. Inicialmente este inventario fue desarrollado para el año 2019 e incluyó la estimación de CO₂, CO, NO_x, HC, PM_{2.5} expresados en [t/año].

Para la ejecución de este proyecto fue necesario adaptar los datos del parque automotor de Quito de acuerdo con los requerimientos de VEIN. Categorizando el parque automotor en 62 tipos, los cuales se agruparon en seis familias, también se adaptó los parámetros requeridos por VEIN y estos fueron la cilindrada, el peso y el tipo de propulsión (gasolina, diésel e híbrida) del vehículo.

Para configurar el modelo VEIN a la ciudad de Quito, se adaptó la información con características de la ciudad como la temperatura promedio, consumo de combustible según las normas INEN 935 y 1489, así como también el kilometraje promedio de la flota y los ciclos de conducción.

La implementación de VEIN con las características del DMQ, permitió realizar el inventario de emisiones para el año 2019, con el que se determinó que el promedio de emisiones aumento el 18% siendo directamente proporcional al desarrollo de la población desde 2011. El aumento de las emisiones en orden sería: aumento del 28% de NO_x, el 21% de CO₂, un aumento del 14% de PM_{2.5}, y finalmente un incremento del 11% en producción de CO en comparación con el último inventario de emisiones realizado para Quito en el año 2011.

La estimación de emisiones para Quito en 2019, refleja que no se supera los limitantes formulados por la norma NTE INEN 2204, a excepción de los taxis que producen tres veces más contaminación, de igual forma los vehículos comerciales ligeros sobre pasan con el 13% más de emisiones permitidas y las motocicletas superan en dos veces el límite de emisiones de CO. Tampoco se sobrepasa los términos determinados por la NTE INEN 2207, a excepción de los vehículos tipo BUS, que superan en tres veces los límites establecidos. Finalmente, las emisiones de CO₂ representan 2.5 veces más que los datos de la EEA.

Mediante el uso del modelo VEIN, se identificó los tres tipos de vehículos con mayor contaminación del 2019, y estos son: los vehículos de pasajeros (tipo SUV) a gasolina, con un 30% de producción de CO₂, los camiones rígidos (≤ 7 toneladas) a diésel produjeron un 30% de NO_x y 25% de emisiones de PM_{2.5} y por último las motocicletas de cuatro tiempos (50cc a 250cc) representaron el 29% de producción de CO y el 24% de emisiones de HC en el DMQ.

En base al estudio realizado, se estimó que el promedio de emisiones y el crecimiento del parque automotor del Distrito Metropolitano para el 2025 será del 40%, con la única modificación del parámetro de la flota vehicular. Donde la estimación de emisiones de CO₂ tuvo un crecimiento del 45%, la producción de CO obtuvo un aumento del 35%, además la producción de HC y NO_x aumentaron el 42% y la producción de PM_{2.5} estima un incremento del 20% todo esto en el transcurso del 2019 al 2025.

5.2 RECOMENDACIONES

Establecer un nuevo estudio que involucre la gestión de VEIN con otras ciudades del Ecuador, para conocer la realidad de la contaminación vehicular, según la ubicación y región para determinar factores correlacionales a la problemática de contaminación ambiental.

En estudios futuros se recomienda realizar modificaciones a VEIN, con la finalidad de efectuar un estudio posterior de las localidades más contaminados de Quito, implementando recorridos reales con ayuda de datos reales de sistemas de posicionamiento.

Sería interesante realizar una actualización de datos como: flota vehicular, consumo de combustible, con la finalidad de implementar un nuevo estudio de emisiones post pandemia, para demostrar el impacto causado en la contaminación ambiental en Quito con el uso de VEIN.

Realizar un estudio de investigación sobre la contaminación de los vehículos de la familia TRUCKS (camiones), considerando viajes interprovinciales donde se aportaría con datos valiosos, ya que esta investigación se limitó a la zona urbana.

Generar políticas públicas para evitar el incremento de emisiones vehiculares en vehículos de pasajeros (tipo SUV), camiones rígidos ($\leq 7,5$ toneladas) y motocicletas de cuatro tiempos (50cc a 250cc), con una proyección orientada al mejoramiento de los combustibles, mayores exigencias al momento de realizar RTV, esto con la intención de disminuir el crecimiento esperado para el 2025.

Realizar un estudio de investigación acerca de la diferencia de contaminación entre las capitales de los países de Ecuador, Argentina y Chile, con enfoque de contaminación por número de habitante.

BIBLIOGRAFÍA

- AEMET, (Agencia Estatal de Meteorología). (2019). Elementos y factores del clima -Meteo Navarra. In *Meteorología y climatología de Navarra*.
- Agencia Europea de Medio Ambiente. (n.d.). *Emisiones de vehículos y eficiencia*.
- Andrea Medina-el comercio. (2020). El número de motos aumentó siete veces en 10 años; revise el crecimiento del parque automotor en Ecuador. In *2020*.
- ARC. (2020). *Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables*.
- Arguello, C. (2020). *Actualización Del Inventario De Emisiones Atmosféricas Provenientes De Fuentes Fijas De Combustión Y Del Relleno Sanitario En El Distrito Metropolitano De Quito Año Base 2018*. 22–26.
- Baca, J. C. (2014a). *Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio, DMQ 2011 (Emission Inventory of Key Air Pollutants, DMQ 2011)*. 53.
- Baca, J. C. (2014b). *Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio, DMQ 2011 (Emission Inventory of Key Air Pollutants, DMQ 2011)*. 53.
- CAR AND DRIVER. (2020, November). *Eléctricos, híbridos, diésel y gasolina: ¿cuántas emisiones producen en su vida útil?*
- Chile, U. de. (2008). *Santiago de Chile: antecedentes demográficos, expansión urbana y conflictos*.
- Conducción Eficiente. (n.d.). *Vehículos de Carga - Calentamiento del vehículo - Conducción Eficiente*.
- Díaz, C. (2015). Aplicación de la herramienta informática R para el análisis de datos de contaminación del aire en el distrito metropolitano de Quito. *Escuela Politécnica Nacional*, 1–160.
- El Comercio. (2015). Contaminación del aire de Quito se mantiene en niveles “deseables.” In *El Comercio*.
- el Telégrafo. (2018). *El transporte motorizado es el que más contamina*.
- Emissions Analytics. (2020). *Comunicado de prensa_ La contaminación por el desgaste de los neumáticos es 1000 veces peor que las emisiones de escape_ análisis de emisiones*.
- FLACSO. (2015). Quito ciudad, capital del Ecuador. *Flacso*, 1–3. https://www.flacso.edu.ec/flax15/_upload/etnobiologia/pdfs/QUITO_INFORMACION_GENERAL.pdf
- García, F. (2017, January). *El coche causa el 13% de la contaminación; viviendas, comercios e instituciones, el 56% | motor | EL MUNDO*.
- Gavidia-Calderón, M. E., Ibarra-Espinosa, S., Kim, Y., Zhang, Y., & Andrade, M. D. F. (2021). Simulation of O₃ and NO_x in São Paulo street urban canyons with VEIN

- (v0.2.2) and MUNICH (v1.0). *Geoscientific Model Development*, 14(6), 3251–3268. <https://doi.org/10.5194/gmd-14-3251-2021>
- Gerber, F., Möisinger, K., & Furrer, R. (2017). Extending R packages to support 64-bit compiled code: An illustration with spam64 and GIMMS NDVI3g data. *Computers and Geosciences*, 104(November 2016), 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.11.015>
- Grigoratos, T., & Martini, G. (2015). Brake wear particle emissions: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(4), 2491–2504. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3696-8>
- Gutierrez, D. (2020). *El desgaste de los neumáticos emite 1*. HyE.
- Hornik, K. (2012). The Comprehensive R Archive Network. In *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics* (Vol. 4, Issue 4, pp. 394–398). <https://doi.org/10.1002/wics.1212>
- Ibarra, S. (2022). *Vehicular Emissions INventories VEIN*.
- Ibarra-Espinosa, S. (2018). *VEINBOOK: Estimating vehicular emissions with the R package VEIN*. <https://www.researchgate.net/publication/329656433>
- Ibarra-Espinosa, S., Mera, Z., Rosero, R., & Diaz, M. V. (2021). Spatial and temporal characterization of vehicular emissions in Ecuador using VEIN. *8th Congreso Colombiano y Conferencia Internacional En Calidad de Aire y Salud Publica, CASAP 2021 - Proceedings, Lmic*. <https://doi.org/10.1109/CASAP54985.2021.9703425>
- Ibarra-Espinosa, S., & Ropkins, K. (2021). *respeciate: Speciation profiles for gases and aerosols* (0.2.0).
- Ibarra-Espinosa, S., Schuch, D., & Dias de Freitas, E. (2018). eixport: An R package to export emissions to atmospheric models. *Journal of Open Source Software*, 3(24), 607. <https://doi.org/10.21105/joss.00607>
- Ibarra-Espinosa, S., & Ynoue, R. (2017). REMI model: Bottom-up emissions inventories for cities with lack of data. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 7(1), 277–288. <https://doi.org/10.47260/jesge/7119>
- Ibarra-Espinosa, S., Ynoue, R., O'sullivan, S., Pebesma, E., de Fátima Andrade, M., & Osses, M. (2018). VEIN v0.2.2: an R package for bottom-up vehicular emissions inventories. *Geoscientific Model Development*, 11(6), 2209–2229. <https://doi.org/10.5194/gmd-11-2209-2018>
- Ibarra-Espinosa, S., Ynoue, R. Y., Ropkins, K., Zhang, X., & de Freitas, E. D. (2020). High spatial and temporal resolution vehicular emissions in south-east Brazil with traffic data from real-time GPS and travel demand models. *Atmospheric Environment*, 222. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117136>
- Ibarra-Espinosa, S., Zhang, X., & Xiu, A. (2021). *Emisiones vehiculares espaciales y temporales integrales para el noreste de China*. 44.

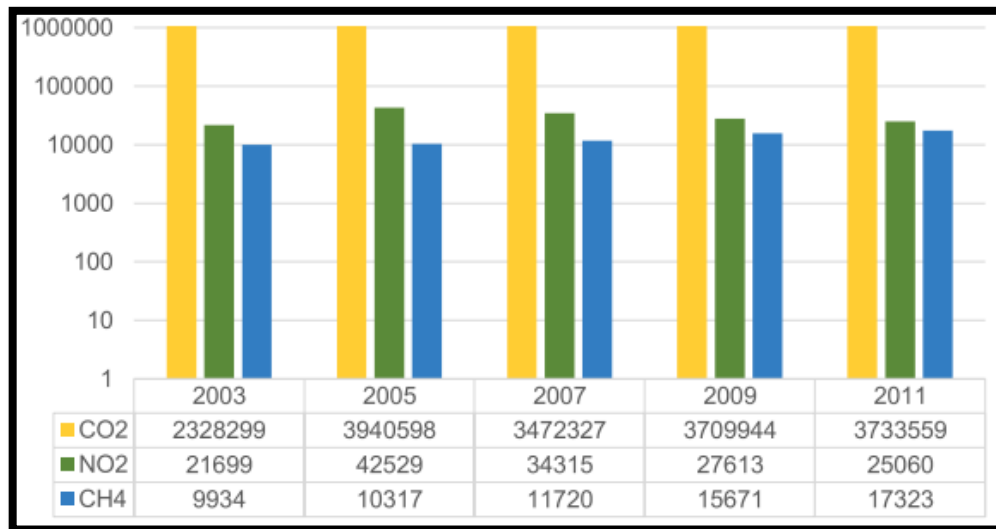
- Ibarra-Espinosa, S., Zhang, X., Xiu, A., Gao, C., Wang, S., Ba, Q., Gao, C., & Chen, W. (2021). A comprehensive spatial and temporal vehicular emissions for northeast China. *Atmospheric Environment*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117952>
- INEC. (2007). *Indicador por Cantidad de Habitantes 2006*.
- INEC. (2010). *Proyección de la población ecuatoriana por años, según cantones y provincias 2010-2020*. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/03/proyeccion_cantonal_total_2010-202012016-v1.pdf
- INEC. (2011). *POBLACIÓN POR ÁREA, SEGÚN PROVINCIA, CANTÓN Y PARROQUIA DE EMPADRONAMIENTO*.
- INEC. (2018). Instituto Nacional de Estadística y Censos. In *Magazine* (Vol. 2, Issue 222, p. 360).
- INEC. (2019, December). *Anuario de Estadísticas de Transporte 2019*.
- INECC. (2006). Fuentes De Emisión. *Inecc*, 25–34.
- INECC-SEMARNAT. (2013). Guía Metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas. *Instituto de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*, 1, 123–142.
- INEN. (2002). *GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE DIESEL*.
- INEN. (2017). *GESTIÓN AMBIENTAL AIRE VEHÍCULOS AUTOMOTORES LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES QUE EMPLEAN GASOLINA*.
- INEN. (2018). *Reglamentación INEN_ RTE INEN 136 (1R) "Motocicletas."*
- INEN. (2021a). *PRODUCTOS DERIVADOS DE PETRÓLEO. DIÉSEL. REQUISITOS*.
- INEN. (2021b). *PRODUCTOS DERIVADOS DE PETRÓLEO. GASOLINA. REQUISITOS*.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2017). *Tras las cifras de Quito*. In *Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC)* (p. 1).
- Kapadia, D. V., Jariwala, N., Vallabhbai, S., Kapadia, D. v., & Jariwala, N. D. (2017). "Comparative Study for Identification of Appropriate Vehicle Emission Model" *Human Health impact View project Domestic wastewater treatment using microalgal bacterial consortia View project*. <https://www.researchgate.net/publication/363272407>
- Londoño, J. (2011). Estimation of the Emissions of Atmospheric Pollutants From Mobile Sources in the Urban Area of Envigado, Colombia. *Revista EIA*, 16, 149–162.
- Lucero, K. (2020). *Quito: ¿por qué privilegiar al transporte privado si la mayoría usa el público?*

- Machado, J. (2019). El aire de Quito supera los límites permitidos de contaminación. In *Primicias* (p. 1).
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2017). *Inventarios de emisiones atmosféricas*.
- Mozo Sánchez, J. (2012a). Teoría de flujo vehicular. *Análisis de Capacidad y Nivel de Servicio de Segmentos Básicos de Autopistas, Segmentos Trenzados y Rampas de Acuerdo al Manual de Capacidad de Carreteras HCM2000 Aplicando MathCad*, 10–29.
- Mozo Sánchez, J. (2012b). Teoría de flujo vehicular. *Análisis de Capacidad y Nivel de Servicio de Segmentos Básicos de Autopistas, Segmentos Trenzados y Rampas de Acuerdo al Manual de Capacidad de Carreteras HCM2000 Aplicando MathCad*, 10–29.
- Ntziachristos, L., & Boulter, P. (2009). *Road vehicle tyre and brake wear & Road surface wear*.
- Ntziachristos, L., Gkatzoflias, D., Kouridis, C., & Samaras, Z. (2009). COPERT: a European road transport emission inventory model. *Information Technologies in Environmental Engineering*, 491–504.
- Ntziachristos, L., & Samaras, Z. (2016a). *Air Pollutant Emission Inventory*.
- Ntziachristos, L., & Samaras, Z. (2016b). EMEP/EEA emission inventory guidebook; Road Transport: Passenger cars, Light commercial trucks, Heavy-duty vehicles including buses and Motorcycles. *European Environment Agency, Copenhagen*.
- Núñez, H., Narváez, M., Arteaga, J., Mena, P., Rojas, K., Wittwer, F., & Hildago, R. (2009). *Plan Maestro de Movilidad para el Distrito Metropolitano de Quito 2009-2025*.
- Parlamento Europeo. (2022). *Emisiones de CO2 de los coches hechos y cifras (infografía)*.
- Pebesma, E. (2018). Simple features for R: Standardized support for spatial vector data. *R Journal*, 10(1), 439–446. <https://doi.org/10.32614/rj-2018-009>
- Pebesma, E., Mailund, T., & Hiebert, J. (2016). Measurement units in r. *R Journal*, 8(2), 490–498. <https://doi.org/10.32614/rj-2016-061>
- Qualco. (2021). *¿CUÁNTO CO2 EMITEN LOS AUTOS MÁS VENDIDOS EN EL ECUADOR_*.
- Secretaría de ambiente. (2015). *Inventario Huella De Carbono Sectores: Energía Estacionaria, Transporte Y Residuos Dmq*.
- Secretaría de Ambiente del Municipio del, & Distrito Metropolitano de Quito y C40. (2020). *Distrito Metropolitano de Quito Plan de Acción de Cambio Climático de Quito*. 1–166. <https://www.www.quitoambiente.gob.ec>
- Secretaría de Ambiente DMQ. (2022). *Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano Quito*. <http://www.quitoambiente.gob.ec/index.php/inicio>

- Secretaria Nacional de Planificación. (2021). *Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025*.
- Sierra, J. C. (2016). Estimating road transport fuel consumption in Ecuador. *Energy Policy*, 92, 359–368. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.02.008>
- Tapia, L. (2010). *Proyecto Calidad del Aire Fase III Año Base 2010 Gobierno Nacional del Ecuador*. 119. <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/Libro-Resumen-Inventario-13-02-2014-prensa.pdf>
- Taufiq Rohman, S.Pd.I, M. P. (2019). Reglamento Para Las Emisiones De Gases. *Psikologi Perkembangan, October 2013*, 1–224.
- Technology, T. (2022). *Software de recuperación de datos de R-STUDIO*.
- Vega, D., Ocaña, L., & Parra, R. (2016). Inventario de emisiones atmosféricas del tráfico vehicular, base 2012. *Avances En Ciencias e Ingenierías*, 7(2).
- Verde y Azul. (2021). La contaminación del aire vuelve a los niveles pre-Covid. In *Verde y Azul*.
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.
- Zallinger, M., Tate, J., & Hausberger, S. (2008). An instantaneous emission model for the passenger car fleet. *16th International Transport and Air Pollution Congress Technical University Graz*.

ANEXOS

Anexo 1 Evolución de en el DMQ producto de fuentes móviles.



Anexo 2 Proyecto VEIN en R-studio.

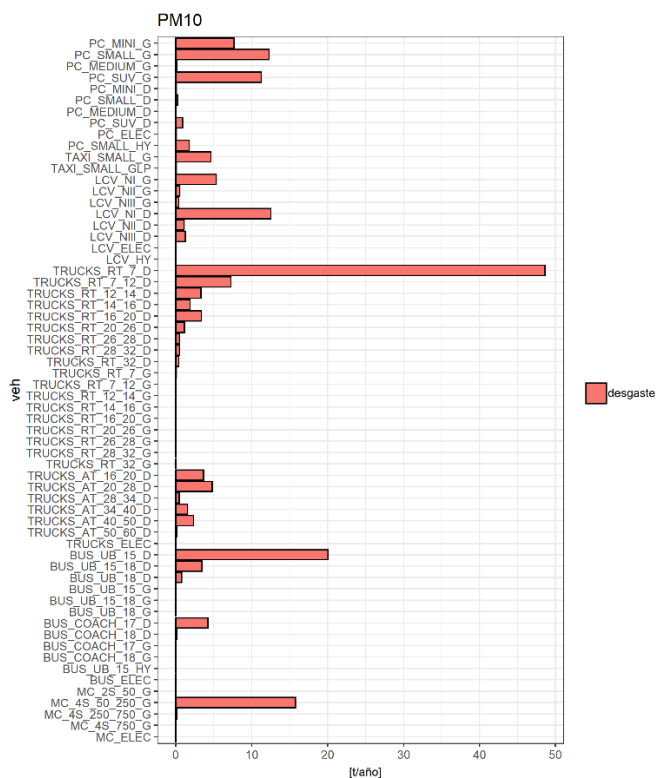
```

6 # options(encoding = "UTF-8")
7 library(vein) # vein
8 library(sf) # spatial data
9 library(cptcity) # 7120 color palettes
10 library(ggplot2) # plots
11 library(export) # create sfbeam
12 library(data.table) # faster data.frames
13 sessionInfo()
14
15 # for fun, install devtools:install_github("joo/bbplot")
16 # devtools:install_github("joo/bbplot")
17
18
19 # 0 configuration
20 language <- "spanish" # spanish portuges spanish
21 path <- "config/inventory_ecuador.xlsx"
22 readxl::excel_sheets(path)
23
24 metadata <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "metadata")
25 mileage <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "mileage")
26 tfs <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "tfs")
27 veh <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "fleet_age")
28 fuel <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "fuel")
29 fuel_spec <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "fuel_spec")
30 pmonth <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "fuel_month")
31 met <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "met")
32 euro <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "euro")
33 tech <- readxl::read_xlsx(path = path, sheet = "tech")
34 year <- 2019
35 month <- 6
36 agemax <- 40
37 provincia <- unique(fuel$region)[1]
38 # provincia <- unique(fuel$region)[as.numeric(basename(getwd()))]
39 col_region <- "region" # esta columna debe estar presente en fuel y met
40 scale <- "none"
41 theme <- "black" # dark clean ing
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
24
```

Anexo 3 Especificaciones de VEIN.

Versión VEIN	
Plataforma	X86_64
arch	X86_64
Sistemas operativos soportados	Windows, macOS, Linux, Fedora
Version superior	0.9.4
Version base	Beta version
Language de programación	R
Version. String	version 0.9.4 (2015-03-12)

Anexo 4 Estimación de emisiones vehiculares PM₁₀, VEIN.



Anexo 5 Tabla de comparación de inventario de emisiones, Quito 2019 y 2011, Santiago de Chile 2005 y Buenos Aires 2006.

Anexo 1 VEIN	[# Hab]	[t/año]				
	POBLACIÓN	CO ₂	CO	NO _x	HC	PM _{2.5}
S. de Chile	6 527 903	7 300 000	199 884	40 126	-	1 275
Buenos Aires	14 784 007	11 500 000	569 000	81 900	-	6 370
Quito (2019)	2 735 987	3 292 000	87 100	24 000	2 600	970
Quito (2011)	2 239 191	2 596 000	77 978	17 344		832

Anexo 6 Tabla de crecimiento de estimación de VEIN para el DMQ en los años 2021, 2023 y 2025.

VEIN		[%]			
		2019	2021	2023	2025
PC	%	40	49	57.7	63.7
	CO	27.4	33.565	39.5245	43.6345
	CO ₂	50.5	61.8625	72.84625	80.42125
	HC	26.5	32.4625	38.22625	42.20125
	NO _x	5.16	6.321	7.4433	8.2173
	PM _{2.5}	6.6	8.085	9.5205	10.5105
LCV	%	21.6	21.77	21.83	21.9
	CO	26.7	26.9101389	26.9843056	27.0708333
	CO ₂	6.3	6.34958333	6.36708333	6.3875
	HC	11.2	11.2881481	11.3192593	11.3555556
	NO _x	7.5	7.55902778	7.57986111	7.60416667
	PM _{2.5}	15.51	15.6320694	15.6751528	15.7254167
TRUCKS	%	12	13.24	15.04	17.03
	CO	10.3	11.3643333	12.9093333	14.6174167
	CO ₂	27.8	30.6726667	34.8426667	39.4528333
	HC	24.5	27.0316667	30.7066667	34.7695833
	NO _x	54.97	60.6502333	68.8957333	78.0115917
	PM _{2.5}	49.02	54.0854	61.4384	69.56755
BUS	%	2.6	2.65	3.01	3.85
	CO	6	6.11538462	6.94615385	8.88461538
	CO ₂	14.2	14.4730769	16.4392308	21.0269231
	HC	13.6	13.8615385	15.7446154	20.1384615
	NO _x	29.98	30.5565385	34.7076154	44.3934615
	PM _{2.5}	26.02	26.5203846	30.1231538	38.5296154
MC	%	22.6	25.24	27.15	30.89
	CO	29.6	33.0576991	35.559292	40.4576991
	CO ₂	1.2	1.34017699	1.44159292	1.64017699
	HC	24.2	27.0269027	29.0721239	33.0769027
	NO _x	2.39	2.66918584	2.87117257	3.26668584
	PM _{2.5}	2.85	3.18292035	3.42378319	3.89542035

Anexo 7 Tabla comparativa de emisiones vehiculares de Santiago de Chile, Buenos Aires y Quito expresada en la producción de emisiones por cada 100 000 habitantes.

	[t/ 100 000 hab]					
	CO ₂	CO	NO _x	HC	PM _{2.5}	
S. de Chile (2005)	73	1,99884	0,40126		0,02281	
Buenos Aires (2006)	115	5,69	0,819		0,0637	
Quito (2019)	32,92	0,871	0,24	0,026	0,0097	TOTAL
Quito (2011)	25,96	0,77978	0,17344		0,00832	
UIO-SC	2%	2%	2%		2%	2%
UIO-BA	3%	7%	3%		7%	5%
UIO19-UIO11	21%	11%	28%		14%	18%

Anexo 8 Especificaciones de R-Studio.

Version R. Studio	
Plataforma	X86_64-w64-ming32
arch	X86_64
Os	ming32
System	X86_64, ming32
Version superior	4
Version base	1.0
Syn rev	80317
Lenguaje	R

Fuente:(Technology, 2022)

Anexo 9 Factores de expansión del flujo vehicular de Quito.

HORA	PC_MINI_G
0:00	0,11939717
1:00	0,0613659
2:00	0,04036205
3:00	0,04711792
4:00	0,11874756
5:00	0,42748257
6:00	0,87428002
7:00	1,01719285
8:00	1
9:00	0,82850461
10:00	0,84028409
11:00	0,81274089
12:00	0,7739379
13:00	0,7764497
14:00	0,77047334
15:00	0,77298515
16:00	0,9167208
17:00	1,01896843
18:00	0,97336625
19:00	0,89567364
20:00	0,64107228
21:00	0,39656143
22:00	0,29297129
23:00	0,17322766