

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y ARTES**

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE

**MAGÍSTER EN URBANISMO CON MENCIÓN EN  
PROYECTOS URBANOS CON ENFOQUE AL CAMBIO  
CLIMÁTICO**

TÍTULO

**Incidencia del transporte pesado de carga en la  
contaminación del aire en la zona norte  
de la ciudad de Tulcán**

Presentado por:

**Arq. Juan Francisco Egas Hernández**

Director:

**Arq. Jorge Javier Andrade Benítez MSc.**

Tulcán - Ecuador

2023

## **Presentación**

El presente Trabajo de Titulación, surge por la necesidad de determinar cuál es la incidencia del transporte pesado de carga en la contaminación del aire en la zona norte de la ciudad de Tulcán, a través del uso del software IVE (Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares) que cuantifica las emisiones contaminantes, que son las responsables del calentamiento global y las afectaciones a la salud. De esta manera, se busca contribuir al conocimiento de la problemática de la contaminación del aire y aportar a la construcción de las Políticas Públicas que, en concordancia con los ODS, establezcan los parámetros básicos del uso del suelo para la implantación de los centros OCE (Operador de Comercio Exterior) en las ciudades de frontera.

## **Dedicatoria**

A mis hijos Juan Alejandro, Paula Sofía y Sara Martina, gracias por ser la razón de mis alegrías y el motivo de mis luchas.

## **Agradecimiento**

Gracias a Dios, a mis padres por su amor y apoyo incondicional, a mi esposa Vicky compañera de mil y un batallas, a mis suegros por su ayuda y amistad, a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, a los profesores de la Maestría y al Arq. Jorge Andrade por compartir su valioso conocimiento.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	6
INTRODUCCIÓN .....	7
ANTECEDENTES .....	9
JUSTIFICACIÓN .....	12
OBJETIVOS .....	15
OBJETIVO GENERAL .....	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
HIPÓTESIS.....	15
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	15
CAPÍTULO 1 - MARCO TEÓRICO .....	16
1.1 La contaminación del aire y su repercusión en la salud .....	16
1.2 Los Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	19
1.3 La dinámica comercial de la ciudad de Tulcán .....	20
1.4 El transporte pesado de carga en Tulcán .....	21
1.5 La Decisión 399 en el transporte internacional de mercancías .....	22
1.6 Los centros OCE en la ciudad de Tulcán.....	24
1.7 La logística urbana .....	26
1.8 Modelo IVE (Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares) .....	27
CAPÍTULO 2 - MARCO METODOLÓGICO .....	28
2.1 Enfoque de la investigación.....	28
2.2 Diseño de la investigación .....	28
2.3 Técnicas de la investigación.....	29
2.3.1 Entrevista semiestructurada .....	29

2.3.2 Encuesta .....	30
2.4 Metodología IVE (IVE Model, 2008). .....	31
2.4.1 Proceso de cálculo .....	31
2.4.2 Factores de corrección para localidades .....	32
2.4.3 Factores de emisión de la flota vehicular.....	32
2.4.4 Categorías vehiculares.....	33
2.4.5 Gases que estima el software IVE.....	34
2.4.6 Parámetro de localidad .....	35
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	36
3.1 Afectaciones a la salud.....	36
3.2 Flota vehicular .....	38
3.2.1 Composición de la flota vehicular .....	39
3.3 Localidad .....	41
3.3.1 Características del recorrido.....	42
3.3.2 Otros parámetros de localidad .....	44
3.4 Estimación de los contaminantes con el software IVE .....	46
3.4.1 Contaminantes Criterio.....	46
3.4.2 Gases Tóxicos .....	48
3.4.3 GEI Gases de Efecto Invernadero.....	50
4. DISCUSIÓN .....	52
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
BIBLIOGRAFÍA .....	58

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	Centro OCE en el año 1978. ....	25
Ilustración 2	Centro OCE en el año 2020 .....	25
Ilustración 3	Área de aplicación de la primera encuesta.....	36
Ilustración 4	Percepción de afectaciones a la salud. ....	37
Ilustración 5	Prevalencia del cáncer .....	37
Ilustración 6	Vehículos de transporte pesado de carga. ....	38
Ilustración 7	Porcentaje de participación en la flota.....	39
Ilustración 8	Creación de la Flota Tulcán. ....	40
Ilustración 9	Ingreso de datos en la Flota Tulcán. ....	40
Ilustración 10	Similitud del recorrido de ingreso y salida .....	41
Ilustración 11	Recorrido de ingreso al centro OCE.....	42
Ilustración 12	Recorrido de salida del centro OCE. ....	43
Ilustración 13	Ingreso de datos de localidad Ciudad de Tulcán. ....	45
Ilustración 14	Cálculo de los Contaminantes Criterio con el software IVE. ....	46
Ilustración 15	Emisión de Contaminantes Criterio. ....	47
Ilustración 16	Cálculo de los gases Tóxicos con el software IVE.....	48
Ilustración 17	Emisión de Gases Tóxicos.....	49
Ilustración 18	Cálculo de los Gases de Efecto Invernadero con el software IVE. ....	50
Ilustración 19	Emisión de Gases de Efecto Invernadero. ....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Los contaminantes y su repercusión en la salud. ....	18
Tabla 2	Factores de corrección del software IVE. ....	32
Tabla 3	Categorías vehiculares del software IVE. ....	33
Tabla 4	Contaminantes estimados por el software IVE. ....	34
Tabla 5	Parámetros de localidad. ....	35
Tabla 6	Tipos de vehículos de transporte pesado de carga. ....	39
Tabla 7	Otros parámetros de localidad. ....	45
Tabla 8	Contaminantes Criterio emitidos mensualmente en gramos. ....	47
Tabla 9	Gases Tóxicos emitidos mensualmente en gramos. ....	49
Tabla 10	Gases de Efecto invernadero emitidos mensualmente en gramos. ....	51
Tabla 11	La generación de CO <sub>2</sub> y su captura. ....	56

## **SIGLAS Y ACRÓNIMOS**

OCE	Operador de Comercio Exterior
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IVE	Modelo Internacional de Emisiones
CAN	Comunidad Andina
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
SENAE	Servicio Nacional de Aduanas del Ecuador
ATPC	Asociación de Transporte Pesado del Carchi
OMS	Organización Mundial de la Salud
MTOP	Ministerio de Transporte y Obras Públicas

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación surge por la necesidad de conocer cuál es la incidencia del transporte pesado de carga en la contaminación del aire en la zona norte de la ciudad de Tulcán. Para lo cual se han identificado los trayectos, las distancias y la cantidad de vehículos de transporte pesado de carga, que tienen como destino los centros OCE (Operador de Comercio Exterior), que se ubican en la zona norte de la urbe y que generan recorridos innecesarios.

Estos datos han sido analizados con el software IVE (Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares), que realiza estimaciones de los contaminantes criterio, gases tóxicos y GEI (Gases de Efecto Invernadero), que son los responsables del calentamiento global y las afectaciones a la salud.

Con la información obtenida, se busca contribuir al conocimiento de la problemática de la contaminación del aire y aportar a la construcción de las Políticas Públicas que, en concordancia con los ODS, establezcan los parámetros básicos del uso del suelo para la implantación de los centros OCE (Operador de Comercio Exterior) en las ciudades de frontera.

Palabras clave: Calentamiento global, contaminación, incidencia, transporte pesado de carga, Operador de Comercio Exterior, Contaminantes Criterio, Gases Tóxicos, Gases de Efecto Invernadero, Políticas Públicas.

## INTRODUCCIÓN

Se estima que la contaminación del aire tuvo su origen cuando el hombre dominó el fuego, pero se agudizó con la llegada de la revolución industrial. La industrialización marcó un punto de inflexión en la modificación del entorno natural debido a las repercusiones que las actividades humanas generan en el medio ambiente. El desarrollo industrial trajo consigo el crecimiento de la economía, por este motivo se incrementaron los procesos de urbanización, a la par que se hizo extensivo el uso de combustibles fósiles como fuentes de energía y para el transporte (Romero, Diego, & Álvarez, 2006).

En este sentido, Landrigan et al. (2018) determina que la quema de combustibles fósiles es la principal fuente de contaminación del aire, ya que representa el 95% de las fuentes de energía que se emplean para el transporte.

La contaminación del aire se ha definido como la emisión a la atmósfera de sustancias peligrosas, en una cantidad que excede a la capacidad propia de la naturaleza para su transformación, precipitación, depósito y eliminación. (Yassi et al., 2002)

Según Watts et al. (2019) se estima que para el año 2050, dos tercios de la población mundial habitará en áreas urbanas, en donde nueve de cada diez personas, respirará aire contaminado. Lo que incide significativamente en la salud, trayendo consigo enfermedades cardiovasculares, infarto de miocardio, insuficiencia cardiaca, accidente cerebrovascular, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, cáncer de pulmón, muerte súbita, demencia, entre otros.

Además, la quema de combustibles fósiles y la deforestación son la causa principal del desequilibrio de los gases de efecto invernadero, que han incrementado en 1,0°C la temperatura del planeta, con respecto a la temporalidad preindustrial, pudiendo llegar a 1,5°C para el año 2030 (IPCC, 2018).

Los impactos del cambio climático podrían generar inundaciones, huracanes, sequías, erosión del suelo, aumento del nivel del mar, entre otros fenómenos naturales, los cuales se pueden manifestar con mayor frecuencia e intensidad (CEPAL & ACNUDH, 2019).

En este contexto, la presente investigación se ha centrado en la ciudad de Tulcán, la más septentrional del Ecuador, la misma que es considerada como un puerto seco, cuya dinámica comercial se encuentra marcada por el comercio fronterizo, donde cumple un papel fundamental el transporte pesado de carga para la movilización de las mercancías; el intercambio por vía terrestre se realiza a través del Puente Internacional de Rumichaca, por donde circula el 98% de las importaciones y exportaciones en la zona (SENAE, 2015).

Además, cabe resaltar que Colombia es el mayor socio comercial del Ecuador, ya que hacia el vecino país se destina el 54% de las exportaciones no petroleras (Banco Central del Ecuador, 2021).

Los estudios de tráfico realizados por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) del Ecuador, por esta zona de frontera circulan a diario un aproximado de 11371 vehículos, de los cuales, 4000 corresponden al transporte pesado de carga (Cevallos, Andrade, & Jaimes, 2022).

Para Mendieta y Perdomo (2008), el transporte internacional de mercancías por carretera (TIMC) se ha convertido en un importante instrumento para la consolidación del espacio económico de integración de la Comunidad Andina (CAN), y por lo tanto se encuentra regulado por la Decisión 399, que establece las directrices para el TIMC y fue aprobada el 17 de enero de 1997.

La aplicación de la Decisión 399, a decir de Carrión (2011) ha presentado varios obstáculos en el comercio fronterizo entre Ecuador y Colombia, ya que los transportistas de los dos países se oponen al paso directo de los camiones sin realizar transbordo, ya que esto afectaría considerablemente las fuentes de trabajo de los actores involucrados en el transporte pesado de carga.

Además, Orbes (2014) determina que el valor promedio de la tonelada transportada por medio terrestre en sentido Colombia-Ecuador, es cuatro veces mayor que el valor promedio en sentido Ecuador-Colombia.

En el marco de un convenio de carácter privado realizado entre la Asociación de Transporte Pesado del Carchi (ATPC) y la Asociación Colombiana de Camioneros (ACC), el transporte directo se realiza únicamente para cargas especiales como tanqueros, refrigerados y niñeras.

Los datos proporcionados por la ATPC, demuestran que el 70% de la carga es seca, mientras que el 30% corresponde a carga especial, en este sentido Orbes (2014) manifiesta que el 70% de la carga transportada es trasbordada de dos formas, la primera es antes del paso por la frontera, lo cual es normativo y decidido por la autoridad, y la segunda es después del paso por la frontera, bajo la presión de los transportistas locales.

Debido a la necesidad de realizar transbordo, existe en la ciudad de Tulcán una serie de bodegas privadas para el almacenamiento temporal, a quienes el Servicio Nacional de Aduanas del Ecuador denomina OCE (Operador de Comercio Exterior). En la resolución SENAE-SENAE-2017-0407-RE se establece que los centros OCE ubicados en las fronteras terrestres, deben implantarse a un máximo de 10 kilómetros del punto de control aduanero, sin que se especifiquen otras condicionantes del uso del suelo.

La problemática de estudio se genera por la falta de planificación urbana, que ha permitido la implantación de algunas OCE, en zonas densamente pobladas, alejadas de la red vial estatal, generando recorridos innecesarios que inciden en la contaminación del aire. A decir de Mendoza y Salazar (2014), los efectos de la contaminación del aire pueden ser cuantificados en función de las toneladas que se moviliza. En este sentido, el presente trabajo de investigación busca analizar la incidencia del transporte pesado de carga en la contaminación del aire, con el uso del software IVE (Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares).

## **ANTECEDENTES**

El transporte pesado de carga es uno de los principales causantes de la contaminación del aire, por lo que resulta urgente y necesario realizar las estimaciones de los contaminantes que se emiten a la atmósfera, como punto de partida para la toma de decisiones encaminadas a su reducción.

A nivel mundial se han realizado estudios acerca de la incidencia del transporte pesado de carga en la contaminación del aire, a través de la relación entre la cantidad de los contaminantes emitidos a la atmósfera y la longitud del recorrido, generalmente expresado en gramos de contaminantes por cada kilómetro g/km (Mendoza & Salazar, 2014).

Para este fin, el software IVE (Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares), es uno de los principales instrumentos para la estimación de las emisiones contaminantes, fue desarrollado en el Centro Internacional de Investigación en Sistemas Sustentables (ISSRC) con financiamiento de la Agencia de Protección del Medioambiente de los Estados Unidos (EPA). El uso del software está dirigido a los países en vías de desarrollo, para realizar las estimaciones de los contaminantes criterio, gases tóxicos y GEI (Gases de Efecto Invernadero) (IVE Model, 2008).

Como parte de la investigación, se ha estudiado el trabajo realizado por Mendoza y Salazar (2014) denominado Inventario de Emisiones en los Principales Corredores de Transporte Carretero, desarrollado en las ciudades de Nuevo Laredo, Ciudad Juárez y Nogales, en la frontera norte de México, debido a que su principal socio comercial son los Estados Unidos, y el transporte pesado de carga representa un importante generador de riqueza y de contaminantes del aire.

Se pretende determinar las principales rutas, las distancias y la cantidad de vehículos de transporte pesado de carga, para proceder a ingresar los datos al software IVE y estimar la cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera.

Los resultados de la investigación permitieron conocer la realidad de la calidad del aire en las rutas, lo cual sirvió para establecer una línea base para que los tomadores de decisiones realicen un análisis de la incidencia de la contaminación del aire provocada por el transporte pesado de carga, con la finalidad de adoptar Políticas Públicas encaminadas a reducir la emisión de GEI (Gases de Efecto Invernadero) y otros contaminantes que afectan la salud.

En el Ecuador no existen suficientes datos acerca de la calidad del aire, ya que el tema no ha sido tratado a profundidad por las entidades encargadas de su vigilancia y control, los estudios se han limitado a una decena de ciudades entre las que se encuentran Quito, Guayaquil y Cuenca.

Por este motivo, como parte de un trabajo académico presentado por Castro y Proaño (2023), denominado Análisis de Concentración de Emisiones Gaseosas Vehiculares Mediante el Modelo IVE en el Cantón Riobamba, se ha realizado el acercamiento a la problemática de la calidad del aire en esta ciudad intermedia donde el transporte pesado de carga cumple un papel fundamental por su dinámica comercial.

El objetivo principal de la investigación fue la determinación de las emisiones gaseosas de los vehículos aplicando el software IVE. Para este fin se seleccionaron las rutas usadas con mayor frecuencia, la distancia, el tiempo empleado en el desplazamiento y el parque automotor.

Los resultados obtenidos indicaron que el principal contaminante en la ciudad, es el CO<sub>2</sub> con un 72,19%, mientras que el CO aporta con un 22,56% de la totalidad de las emisiones analizadas.

El aporte de la investigación se centró en el conocimiento de la calidad del aire en la ciudad de Riobamba, para la generación de una línea base encaminada a contribuir en la resolución de los problemas de la contaminación atmosférica, de igual manera se puede analizar la calidad del aire de la ciudad de Tulcán.

## JUSTIFICACIÓN

Para Romero et al. (2006) la contaminación del aire es uno de los principales problemas medioambientales que enfrenta el planeta, afecta a todas las naciones sin importar el nivel de desarrollo social, económico y tecnológico, con una incidencia particular sobre la salud y el calentamiento global.

Es así como en las últimas décadas, se ha puesto un especial interés en las emisiones de contaminantes criterio, gases tóxicos y GEI (Gases de Efecto Invernadero) que genera el transporte pesado de carga, debido a que es uno de los principales responsables. Además, al ser una causa antropogénica, puede ser revertida y modificada por el ser humano.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que cada año mueren de manera prematura nueve millones de personas en el mundo, a causa de la contaminación del aire (ONU, 2022).

En este sentido, como parte de las estrategias para la reducción de la contaminación del aire, el Ecuador se ha integrado a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), con el objetivo de estabilizar de las concentraciones de los GEI (Gases de Efecto Invernadero) (Reinoso & Veintimilla, 2022).

Además, el Ecuador ha suscrito importantes convenios, protocolos y acuerdos internacionales, referentes a la contaminación del aire y el calentamiento global, entre los que se destacan (Reinoso & Veintimilla, 2022):

- Convenio de Viena, que busca proteger a la capa de ozono (1990).
- Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, para la reducción de los contaminantes a la atmósfera (1992).
- Protocolo de Kioto, para la reducción de las emisiones de GEI que causan el calentamiento global (2000).
- Acuerdo de París, con la finalidad de mantener por debajo de los 2°C el aumento de la temperatura (2016).

Así también, en el año 2015, el Ecuador se unió a la denominada Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. La agenda se compone de 17 objetivos, cada uno con metas específicas para su cumplimiento. Los temas incluyen la erradicación de la pobreza, salud, educación, igualdad, seguridad alimentaria, acción por el clima, agua, energía, desarrollo económico, cuidado del medio ambiente, infraestructura, entre otros (Andrade & Peña, 2018). En concordancia con lo mencionado, una mejor calidad del aire que respiramos, está intrínsecamente ligada al cumplimiento de todos los objetivos de la agenda.

El presente estudio se ha enfocado en la ciudad de Tulcán, debido a que presenta una dinámica marcada por el comercio fronterizo, donde el transporte pesado de carga cumple un papel fundamental, ya que el intercambio por vía terrestre corresponde al 98% de las importaciones y exportaciones en la zona (SENAE, 2015).

De acuerdo con los estudios de tráfico realizados por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) del Ecuador, por esta zona de frontera circulan a diario un aproximado de 11371 vehículos, de los cuales, 4000 corresponden al transporte pesado de carga (Cevallos, Andrade, & Jaimes, 2022).

Debido a un convenio de carácter privado, entre la Asociación de Transporte Pesado del Carchi (ATPC) y la Asociación Colombiana de Camioneros (ACC), el transporte directo se realiza únicamente para cargas especiales como tanqueros, refrigerados y niñeras.

Por este motivo el 70% de las mercancías deben ser transbordadas, para lo cual se hace uso de bodegas privadas para el almacenamiento temporal aduanero, denominadas OCE (Operador de Comercio Exterior).

Los centros OCE ubicados en las zonas fronterizas, acorde con la resolución SENAE-SENAE-2017-0407-RE, deben ubicarse a 10 kilómetros como máximo del punto de control aduanero, sin que para esto se especifiquen otras condicionantes o normativas del uso del suelo.

Los centros OCE de la ciudad de Tulcán, fueron construidos décadas atrás, sin que exista la planificación urbana a través de instrumentos como el Plan de Uso y Gestión del Suelo, lo cual generó un modelo de desarrollo espontáneo, recién en el año 2019 se establecieron los usos de suelo Logístico e Industrial. Los lugares donde se construyeron los centros OCE en la zona norte de la ciudad correspondían a la periferia, donde los propietarios del suelo consideraban que se podría implementar grandes bodegas, por la lejanía del centro, la falta de procesos de urbanización y a la consolidación de otros sectores de la urbe(PDOT-Tulcán, 2019).

Pero con el devenir del tiempo, estas zonas se fueron consolidando como residenciales con una gran densidad poblacional, alejadas del eje vial estatal, con un diseño vial que no fue concebido para el transporte pesado de carga, generando a su vez, recorridos que inciden de manera directa en la contaminación del aire, ya que, por cada tonelada movilizada innecesariamente, existe un determinado número de emisiones contaminantes.

En este sentido, el presente trabajo de investigación, se enfoca en el análisis de la incidencia del transporte pesado de carga en la contaminación del aire de la zona norte de la ciudad de Tulcán, mediante la aplicación del software especializado IVE (Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares) que estima las emisiones contaminantes, en función de dos parámetros: el primero es el recorrido que inicia en el Puente Internacional de Rumichaca y termina en el centro OCE de la zona norte de la ciudad, con un tramo de ida y uno de regreso; y el segundo es la cantidad de vehículos que se movilizan por período de tiempo.

Con los resultados obtenidos, se busca contribuir al conocimiento de la problemática de la contaminación del aire, ocasionada por el transporte pesado de carga, y aportar a la construcción de las Políticas Públicas que, en concordancia con los ODS, establezcan los parámetros básicos del uso del suelo para la implantación de los centros OCE en las ciudades de frontera; ya que una adecuada planificación urbana permite el desarrollo sostenible del territorio a nivel ambiental, económico y social.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Analizar la incidencia del transporte pesado de carga en la contaminación del aire de la zona norte de la ciudad de Tulcán.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los trayectos, las distancias, el tipo y la cantidad de vehículos de transporte pesado de carga, que tienen como destino los centros OCE (Operador de Comercio Exterior), que se ubican en la zona norte de la ciudad de Tulcán.
- Cuantificar la contaminación del aire producida por los vehículos de transporte pesado de carga, a través del uso de software IVE (Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares) para estimar las emisiones de gases contaminantes.
- Establecer los parámetros básicos de uso de suelo para la implantación de los centros OCE (Operador de Comercio Exterior) en las ciudades de frontera, como parte de las Políticas Públicas encaminadas a promover el desarrollo sostenible del territorio.

### **HIPÓTESIS**

El transporte pesado de carga contribuye a la contaminación del aire en la ciudad de Tulcán.

### **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuál es la incidencia del transporte pesado de carga en la contaminación del aire en la zona norte de la ciudad de Tulcán?

## **CAPÍTULO 1 - MARCO TEÓRICO**

### **1.1 La contaminación del aire y su repercusión en la salud**

De acuerdo con el registro histórico de la evolución del hombre, la contaminación del aire se originó cuando la humanidad dominó el fuego, empeorándose con el advenimiento de la revolución industrial. El desarrollo de la industria trajo consigo el crecimiento económico, por lo cual se incrementaron los desarrollos urbanísticos, haciéndose extensivo el uso de combustibles fósiles para su uso como fuentes de energía. La industrialización marcó un antes y un después en las modificaciones del entorno natural producidas por las diferentes actividades humanas.

(Romero, Diego, & Álvarez, 2006).

A nivel mundial, la quema de combustibles fósiles es la principal causa de contaminación del aire, Landrigan et al. (2018) afirma que representa el 95% de la energía empleada para la movilidad y el transporte.

Para Yassi et al. (2002) la contaminación del aire se define como la emisión de sustancias peligrosas a la atmósfera, en una cantidad que rebasa la capacidad que posee la naturaleza para hacerle frente a la contaminación, de manera que ésta sea transformada, precipitada, depositada y eliminada.

Para el año 2050, dos tercios de los habitantes del planeta tierra, ocuparán áreas urbanas, donde nueve de cada diez personas, tendrá acceso únicamente a aire contaminado. La contaminación del aire incide en la salud de la población, trayendo consigo cáncer de pulmón, enfermedades cardiovasculares, infarto de miocardio, demencia, insuficiencia cardíaca, accidente cerebrovascular, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, muerte súbita, entre otros. (Watts et al., 2019)

La contaminación del aire puede producir complicaciones graves en la salud, incluso puede causar la muerte, los principales contaminantes son:

<b>Contaminante</b>	<b>Complicaciones a la salud</b>
Monóxido de Carbono	Reduce la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, lo cual puede afectar al corazón y el cerebro. Provoca intoxicaciones graves e incluso la muerte.
Compuestos Orgánicos Volátiles	Irritación de los ojos, garganta y nariz. Dolor de cabeza, mareos, vómito. Daños del hígado y riñones. Manchas en la piel. Fatiga y daños del sistema nervioso central.
Emisiones Evaporativas de los Compuestos Orgánicos Volátiles	Son precursoras de diversos tipos de cáncer.
Óxido de Nitrógeno	Puede producir dilatación, espasmos y quemaduras de los tejidos en las vías respiratorias superiores y la garganta, reduciendo la oxigenación de los tejidos del cuerpo, produciendo acumulación de líquido en los pulmones y la muerte.
Óxido de azufre	La alta exposición puede irritar el sistema respiratorio, bronquitis, asma, congestionar los conductos bronquiales en los asmáticos y producir paro respiratorio.
Material Particulado < a 10 micrones	Puede causar irritación en el tracto respiratorio, bronquitis, reacciones asmáticas y paro cardio respiratorio.
Plomo	Puede producir anemia. Los altos niveles pueden dañar el cerebro y los riñones en adultos y en niños, además pueden causar la muerte.
1,3-Butadieno	Puede aumentar el riesgo de desarrollar cáncer de la sangre y el sistema linfático. Produce alteraciones en los tejidos de los pulmones, el sistema reproductivo, el corazón, causa defectos neurológicos y alteraciones en la sangre.
Acetaldehído	Es tóxico, mutagénico y carcinógeno por sus efectos inhibe la reparación del ADN.
Formaldehído	Causa la irritación de los ojos, la piel, la garganta y la nariz. La exposición a altos niveles provoca varios tipos de cáncer.
Amonio	Es irritante el líquido y el gas producen quemaduras en la piel, los ojos, la boca y los pulmones.
Benceno	Puede producir mareo, somnolencia y la pérdida del conocimiento. La exposición prolongada produce

---

	efectos sobre la médula ósea y también puede causar leucemia y anemia.
Dióxido de carbono	Altas concentraciones de CO <sub>2</sub> disminuye la concentración de oxígeno en la sangre, lo cual produce una sensación de malestar y de fatiga generalizada, llegando a ser mortal.
Dióxido de nitrógeno	Actúa principalmente como un irritante que afecta a la mucosa de los ojos, la nariz, la garganta y las vías respiratorias. La exposición a dosis extremadamente altas puede provocar edema pulmonar y una lesión pulmonar difusa, con consecuencias catastróficas.
Metano	Provoca varias enfermedades cardiovasculares, respiratorias y pulmonares, incluyendo el cáncer de pulmón.

---

*Tabla 1 Los contaminantes y su repercusión en la salud.  
Fuente: (Oyarzún, 2010).*

En el Ecuador existen pocos estudios acerca de los impactos de la contaminación del aire en la salud. Los escasos estudios se han centrado en las grandes ciudades como Quito, donde se ha determinado que una de las principales fuentes de contaminación es la quema de combustibles fósiles, especialmente el diésel.

De acuerdo con los estudios realizados por el Ministerio de Salud Pública, se estima que en el país alrededor de 1770 personas mueren cada año por complicaciones en la salud causadas por la contaminación del aire, entre las que se encuentran afecciones pulmonares y cardíacas (UNICEF, 2019).

Además, la deforestación y la quema de combustibles fósiles, son la principal causa del desequilibrio de los gases de efecto invernadero, que han propiciado el incremento de la temperatura del planeta en 1,0°C, con respecto a la época preindustrial, pudiendo incrementarse a 1,5°C para el año 2030 (IPCC, 2018).

Los impactos del cambio climático podrían generar inundaciones, huracanes, sequías, erosión del suelo, aumento del nivel del mar, entre otros fenómenos naturales, los cuales se pueden manifestar con mayor frecuencia e intensidad (CEPAL & ACNUDH, 2019).

## 1.2 Los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Como una de las estrategias para la reducción de la contaminación del aire y la estabilización de las concentraciones de los GEI (Gases de Efecto Invernadero), el Ecuador forma parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

Así también, el Ecuador forma parte de importantes convenios, protocolos y acuerdos internacionales, que tienen que ver con la reducción de la contaminación del aire y el calentamiento global, destacándose (Reinoso & Veintimilla, 2022):

- Acuerdo de París, con el objetivo de mantener por debajo de los 2°C el aumento de la temperatura (2016).
- Convenio de Viena, para proteger a la capa de ozono (1990).
- Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, para reducir la emisión de los contaminantes a la atmósfera (1992).
- Protocolo de Kioto, para la reducción de las emisiones de GEI que generan el calentamiento global (2000).

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible se compone de 17 objetivos, cada uno con metas específicas para su cumplimiento. Los temas incluyen la acción por el clima, la erradicación de la pobreza, salud, educación, igualdad, seguridad alimentaria, agua, energía, desarrollo económico, cuidado del medio ambiente, infraestructura, entre otros (Andrade & Peña, 2018). Como parte de las acciones para reducir la contaminación, en el año 2015 el Ecuador se integró a la Agenda 2030, ya que una mejor calidad del aire que respiramos, está intrínsecamente ligada al cumplimiento de todos los objetivos de la agenda.

El objetivo 11 Ciudades y Comunidades Sostenibles y el objetivo 13 Acción por el Clima, guardan estrecha relación entre sí, debido a que su principal preocupación es el aseguramiento de la calidad de vida de la población, en nuestro quehacer profesional mediante una adecuada planificación del territorio.

### **1.3 La dinámica comercial de la ciudad de Tulcán**

Los nexos comerciales de la zona norte del Ecuador y el sur de Colombia se remontan a la época prehispánica, donde pequeños grupos de comerciantes del pueblo Pasto, se desplazaban a las tierras bajas del valle del Chota, por productos como la sal, el algodón, el ají y chaquiras, los cuales se intercambiaban por productos provenientes de Túquerres e Ipiales, como mantas de algodón y oro (Salomón, 1980).

Para Carrión & Pinto (2019) los asentamientos humanos en la zona de frontera pasaban desapercibidos, tornándose visibles únicamente cuando sus dinámicas territoriales, hacían tambalear la seguridad interna, la economía y la cohesión social. En las primeras décadas del siglo XIX, los pueblos en las zonas de frontera de los países latinoamericanos, se desarrollaron como “espacios vacíos” que eran resguardados desde los principales núcleos urbanos, con fines políticos, militares y económicos.

La conurbación binacional Tulcán-Ipiales, presenta un dinamismo fronterizo derivado de las prácticas comerciales, culturales y sociales comunes, anteriores a las delimitaciones territoriales modernas (Rincón, Silva, & Herrera, 2016).

De acuerdo con los estudios realizados por Viveros (2020), la frontera norte se constituye como el medio de intercambio de mercancías en gran volumen, que se dirigen hacia los centros industriales y de comercio de los países limítrofes.

El principal puerto seco del Ecuador es la ciudad de Tulcán, cuya dinámica se encuentra marcada por el comercio fronterizo, donde el transporte pesado de carga cumple un papel fundamental para la movilización de las mercancías; el intercambio por vía terrestre se realiza a través del Puente Internacional de Rumichaca, por donde circula el 98% de las importaciones y exportaciones que se realizan en la zona (SENAE, 2015).

## 1.4 El transporte pesado de carga en Tulcán

En la era de la globalización, el transporte se ha convertido en el principal facilitador para la realización de las distintas actividades de los consumos intermedios. Además, es un elemento que aporta a la integración de los mercados de capitales, bienes y servicios, contribuyendo de esta manera al bienestar de la sociedad (Mendieta J. C. y Perdomo J. A., 2005).

En el censo realizado en el Ecuador (INEC, 2010), se determina que en la ciudad de Tulcán, el transporte pesado de carga ocupa el tercer lugar en importancia dentro de la economía local, seguido en segundo lugar por el comercio y en primer lugar por la agricultura y ganadería.

Por el Puente Internacional de Rumichaca circulan diariamente un aproximado de 11371 vehículos, de los que, 4000 corresponden al transporte pesado de carga según los estudios de tráfico del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) del Ecuador (Cevallos, Andrade, & Jaimes, 2022).

En el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Tulcán, se establece que en la ciudad existen 100 empresas dedicadas al transporte pesado de carga, con 864 socios agrupados en la Asociación de Transporte Pesado del Carchi (ATPC), generando un promedio de 2336 empleos (PDOT-Tulcán, 2019).

Tulcán posee el parque automotor de transporte pesado de carga más grande del país, el mismo que se compone de 1500 vehículos aproximadamente, entre los que se encuentran tractocamiones C2S2 de dos ejes con semirremolque de dos ejes y tractocamiones C3S3 de dos ejes con semirremolque de tres ejes, con una capacidad aproximada de carga de 50 toneladas cada uno (PDOT-Tulcán, 2019).

En torno a la actividad del transporte pesado de carga y el comercio exterior, se desarrolla otra actividad complementaria que es la del almacenamiento temporal, como un equipamiento que surge por la falta de aplicación de la Decisión 399, que determina el paso directo de los vehículos (Cevallos, Andrade, & Jaimes, 2022).

## **1.5 La Decisión 399 en el transporte internacional de mercancías**

Según Mendieta y Perdomo (2008), para la consolidación del espacio económico de integración de la Comunidad Andina (CAN) el transporte internacional de mercancías por carretera (TIMC) se ha convertido en un importante instrumento, y por lo tanto se encuentra regulado por la Decisión 399, que establece las directrices para el TIMC y fue aprobada el 17 de enero de 1997.

La Decisión 399 establece las condiciones para la prestación de los servicios del transporte internacional de mercancías por vía terrestre, entre los países miembros de la CAN (Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia) con los siguientes tipos de tráfico:

- a) El transporte entre dos naciones miembros limítrofes.
- b) El transporte realizado entre dos naciones miembros, con tránsito por uno o más naciones miembros.
- c) El transporte que se realiza desde una nación miembro con destino a una tercera nación, con tránsito por uno o más naciones miembros y distintos de donde se inicia el transporte.
- d) El transporte realizado desde una tercera nación, con tránsito a través de una o más naciones y que son distintos de donde termina el transporte.
- e) El transporte que se realiza a través de dos o más naciones miembros desde y hacia terceros.

El transporte internacional de las mercancías por vía terrestre se puede realizar mediante las siguientes formas de prestación de servicios:

- a) Transporte directo, sin que se realice el cambio del camión o tractocamión y del remolque o semirremolque.
- b) Transporte directo, realizando el cambio del tracto-camión, sin el transbordo de las mercancías.

En todos los casos antes mencionados, no se permite el transbordo.

En el comercio fronterizo se han presentado varios obstáculos entre Ecuador y Colombia, ya que los gremios de transportistas de los dos países se oponen al paso directo de los vehículos de transporte pesado de carga sin realizar transbordo, ya que se afectarían las fuentes de trabajo de los actores involucrados en el transporte pesado de carga (Carrión, 2011).

El valor promedio de la tonelada transportada por medio terrestre en sentido Colombia-Ecuador, es cuatro veces mayor que el valor promedio en sentido Ecuador-Colombia (Orbes, 2014).

De manera arbitraria, la Asociación de Transporte Pesado del Carchi (ATPC) y la Asociación Colombiana de Camioneros (ACC), en el marco de un convenio de carácter privado, permite el tránsito directo del transporte pesado, únicamente para cargas especiales como tanqueros, refrigerados y niñeras.

La ATPC establece que el 70% de la carga es seca, mientras que el 30% corresponde a carga especial, en este sentido el 70% de la carga transportada es trasbordada de dos formas, la primera es antes del paso por la frontera, lo cual es normativo y decidido por la autoridad, y la segunda es después del paso por la frontera, bajo la presión de los transportistas locales. (Orbes, 2014)

En la ciudad de Tulcán los transportistas han creado la necesidad de realizar transbordo, razón por la cual existen una serie de bodegas privadas para el almacenamiento temporal, a quienes el Servicio Nacional de Aduanas del Ecuador denomina OCE (Operador de Comercio Exterior), además se establece que los centros OCE que se encuentran ubicados en las fronteras terrestres, deben implantarse a un máximo de 10 kilómetros del punto de control aduanero, sin que se especifiquen otras condicionantes del uso del suelo, a través de la resolución SENAE-SENAE-2017-0407-RE.

En la ciudad de Tulcán se ubican 8 centros OCE, que prestan el servicio de almacenamiento temporal de las mercancías en tránsito (PDOT-Tulcán, 2019).

## **1.6 Los centros OCE en la ciudad de Tulcán**

La ciudad de Tulcán, para el año 1900 poseía una mancha urbana centralizada de apenas 6 hectáreas, con unas 250 casas construidas en tapiales o bahareque, y cubiertas de paja o teja, de las cuales solo 20 son de 2 plantas. Las calles eran de tierra y únicamente las principales son empedradas (PDOT-Tulcán, 2019).

En las décadas siguientes, el desarrollo urbano se consolidó en la zona central, con una tendencia de crecimiento en sentido longitudinal, debido a la presencia de un límite natural conformado por el río Bobo en el occidente y el río Tajamar en el oriente, lo cual ha determinado que la expansión de la ciudad se realice principalmente hacia los extremos norte y sur de la urbe.

Los lugares donde se construyeron los centros OCE en la zona norte de la ciudad, correspondían a la periferia, donde se consideraban que se podría implementar grandes bodegas para el almacenamiento, debido a la lejanía respecto del centro densamente poblado, a la falta de procesos de urbanización y a la consolidación de otros sectores de la ciudad. Los centros OCE de la ciudad de Tulcán, fueron construidos décadas atrás, en épocas donde no existía la planificación urbana a través de instrumentos como el Plan de Uso y Gestión del Suelo, lo cual generó un modelo de desarrollo espontáneo, recién en el año 2019 se estableció el uso de suelo Logístico e Industrial (PDOT-Tulcán, 2019).

El centro OCE que forma parte del presente estudio se ubica en la zona noroccidental de la ciudad de Tulcán, en la parroquia González Suárez, barrio La Habana, en la avenida San Francisco y calle Pablo Aníbal Vela, a una distancia aproximada de 4,0km del eje vial estatal.

Inició sus actividades comerciales en el año de 1987, con actividades relacionadas con la tramitación aduanera, el almacenaje de mercancías y el transporte. Como parte de sus instalaciones, posee oficinas con un área de 240,00m<sup>2</sup>, bodegas cubiertas con un área de 2.320,00m<sup>2</sup>, patios para contenedores y maniobras con un área de 10,060m<sup>2</sup> y patios cubiertos con un área de 920,00m<sup>2</sup>.

La zona donde se implanta, con el devenir del tiempo, se fue consolidando como residencial con una gran densidad poblacional, alejada del eje vial estatal, con un diseño vial que no fue concebido para el transporte pesado de carga, generando a su vez, recorridos que inciden de manera directa en la contaminación del aire, ya que cada tonelada movilizada genera emisiones contaminantes.



*Ilustración 1 Centro OCE en el año 1978.  
Fuente: Archivo histórico GADM de Tulcán.*



*Ilustración 2 Centro OCE en el año 2020  
Fuente: Archivo histórico GADM de Tulcán.*

## 1.7 La logística urbana

La logística urbana se define como el estudio del movimiento de las mercancías que ocurre en la ciudad. La distribución de las mercancías en el área urbana, es de vital importancia para el movimiento económico de la urbe, influye directamente en el bienestar de la población, la congestión vehicular, la contaminación del aire, el consumo energético, la seguridad vial y la ocupación del suelo (Antún, 2013).

La distribución de mercancías posee tres condicionantes importantes para la realización de sus actividades, las cuales son:

- a) La calidad de la infraestructura vial, por ejemplo, el tipo de recubrimiento de las vías, el ancho de las vías, la presencia de semáforos, entre otros.
- b) La estrategia para la distribución, por ejemplo, los tiempos de carga y descarga, los horarios, el número de destinos, entre otros.
- c) Las características del parque automotor, que deben adaptarse a las condiciones de la infraestructura vial y las estrategias para la distribución de las mercancías (Antún, 2013).

El transporte urbano de las mercancías se realiza principalmente de dos maneras:

- a) Por medio de proveedores de servicios logísticos y del transporte.
- b) Por cuenta propia, a través de vehículos privados.

La tendencia mundial en cuanto a las Políticas Públicas para el transporte pesado de carga, hace referencia a la creación de centros logísticos, ubicados en lugares estratégicos que reducen los costos por medio de la reducción de los desplazamientos innecesarios de la carga.

En las ciudades longitudinales, los centros logísticos tienden a ubicarse en los bordes, con una adecuada conectividad con la trama vial que garantiza la reducción de los desplazamientos hacia las zonas consolidadas, para lo cual se hace uso de vías periféricas (Antún, 2013).

## **1.8 Modelo IVE (Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares)**

En la mayoría de los países, particularmente los países en vías de desarrollo, las emisiones de gases contaminantes de los vehículos motorizados no han sido analizadas en detalle, por lo que en muchos casos no existe la capacidad técnica para estimar las emisiones futuras. Esta problemática ha limitado a los tomadores de decisiones en el diseño de estrategias efectivas para la reducción de la contaminación del aire. (IVE Model, 2008).

Una de las maneras de analizar la contaminación de la atmósfera es relacionar la longitud de los recorridos que realiza el transporte y la cantidad de contaminantes emitidos, expresado en gramos de contaminantes por cada kilómetro g/km (Mendoza & Salazar, 2014).

En relación con esta problemática, el Centro Internacional de Investigación en Sistemas Sustentables (ISSRC) con un financiamiento de la Agencia de Protección del Medioambiente de los Estados Unidos (EPA), ha desarrollado uno de los principales instrumentos para la estimación de las emisiones contaminantes, denominado software IVE (Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares).

El software está dirigido principalmente a los países en vías de desarrollo, con la finalidad de realizar estimaciones de los contaminantes criterio, gases tóxicos y GEI (Gases de Efecto Invernadero) (IVE Model, 2008).

El software IVE ha demostrado ser una herramienta confiable, la cual fue desarrollada en la plataforma informática Java, lo que ha permitido su uso extensivo en países como China, Estados Unidos, Afganistán, México, Colombia, Ecuador, Perú, Chile, entre otros.

El software presenta una gran adaptabilidad a cualquier tipo de territorio o ciudad, sin importar el nivel de desarrollo tecnológico, cultural o económico.

## **CAPÍTULO 2 - MARCO METODOLÓGICO**

### **2.1 Enfoque de la investigación**

La presente investigación se desarrolla a través de una metodología cuantitativa, ya que de acuerdo con Tamayo (2003) dicha metodología se caracteriza por su objetividad. Como parte de la metodología cuantitativa, se ha establecido el uso del método Estudio de Caso, debido a que este método realiza la descripción, explicación y comprensión de una problemática específica (Díaz, Mendoza, & Porras, 2011).

### **2.2 Diseño de la investigación**

El método Estudio de Caso, supone la implementación de un proceso de investigación con una secuencia lógica, basándonos en Monje (2011) la presente investigación se ha estructurado en 6 etapas:

- a) Definición de los objetivos de la investigación.
- b) Revisión documental de las principales teorías relacionadas al objeto de estudio, con la finalidad de elaborar el Marco Teórico que dará sustento a la investigación.
- c) Elaboración de los instrumentos necesarios para las técnicas de investigación y recopilación de información de fuentes primarias, los mismos que serán detallados en la sección 2.3 Técnicas de Investigación.
- d) Recopilación de la información primaria, la cual será ingresada al software IVE (Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares), con la finalidad de estimar las emisiones contaminantes.  
El uso del software IVE requiere de un procedimiento metodológico específico debido a la cantidad de datos que necesita para su funcionamiento, el proceso será descrito en la sección 2.4 Metodología IVE.
- e) Análisis de los resultados obtenidos y discusión.
- f) Elaboración de las conclusiones y recomendaciones.

## **2.3 Técnicas de la investigación**

De acuerdo con Monje (2011) la recolección de datos de fuentes primarias para la realización de la investigación, se lleva a cabo por medio de las técnicas de investigación, las cuales se pueden realizar por medio de procedimientos directos como el uso de la entrevista, y por medio de procedimientos indirectos como el uso de las encuestas.

### **2.3.1 Entrevista semiestructurada**

La entrevista semiestructurada, a decir de Monje (2011) es un diálogo flexible entre el entrevistador y el entrevistado, donde existe un listado de preguntas previamente establecidas que sirven como base del diálogo, y en función de las respuestas que da el entrevistado, se formulan nuevas preguntas para clarificar la problemática de estudio.

En este sentido, una de las entrevistas semiestructuradas se realizó al gerente propietario del centro OCE ubicado en la zona norte de la ciudad de Tulcán, en la avenida San Francisco y calle Pablo Aníbal Vela, con la finalidad de conocer más acerca de la problemática de estudio.

Las principales interrogantes planteadas fueron las siguientes:

- a) ¿Qué problemas ha presentado el centro OCE con respecto a la movilidad?
- b) ¿Cuál es el tipo y la cantidad de vehículos de transporte pesado de carga que ingresan diariamente al centro OCE?

Los datos proporcionados corresponden a los informes estadísticos reales elaborados por el centro OCE, y sirven como insumo para el desarrollo de la sección 3.2 Flota vehicular.

- c) ¿Qué tipo de actividades se realizan en el centro OCE?
- d) ¿Cuál es el procedimiento que realiza un vehículo antes de ingresar al centro OCE, durante su permanencia y a la salida?

### 2.3.2 Encuesta

Monje (2011) define a la encuesta como un instrumento básico para obtener información directa y relevante de las personas, respecto de diversos temas que están encaminados a solventar la investigación.

Se desarrollaron dos encuestas, las cuales son:

- a) Encuesta realizada a los vecinos del centro OCE, la población de estudio se compone por 120 personas que habitan frente a la vía por donde circula el transporte pesado de carga en su ingreso al centro OCE. La muestra es de 92 personas, con una confiabilidad del 95%.

Se pretende indagar cuál es la percepción de la población acerca de los problemas de salud relacionados a la movilización de las mercancías, de manera que se establezca una posible relación entre causa y efecto, respecto de la calidad del aire en la zona de estudio y los problemas de salud de los moradores del sector. Los resultados serán analizados en la sección 3.1 Afectaciones a la salud.

- b) Encuesta realizada a los conductores, la población de estudio se compone de los conductores que ingresaron al centro OCE el día 1 de noviembre del año 2022 que son 41 personas. Busca conocer cuál es la ruta más usada por los conductores para el ingreso y salida al centro OCE de la zona norte de la ciudad de Tulcán, con los datos proporcionados se determinarán los parámetros de la sección 3.3 Localidad, entre los datos solicitados en la encuesta y que son parámetros para el uso del software IVE se encuentran:

- El trayecto de ingreso y el trayecto de salida, el cual proporciona la distancia recorrida en km. La distancia será corroborada a través de la medición con GPS.
- El número de paradas realizadas por el vehículo.
- La velocidad promedio y el uso del aire acondicionado.

## 2.4 Metodología IVE (IVE Model, 2008).

El software IVE es una herramienta básica para el apoyo a los países y regiones en el desarrollo de los inventarios de emisiones contaminantes para:

- a) Enfocarse en la elaboración de estrategias efectivas para el control y la planificación del transporte.
- b) Predecir como las diferentes estrategias pueden afectar las emisiones locales de contaminantes.
- c) Medir los avances en la reducción de emisiones contaminantes.

Para el presente trabajo se ha descargado la versión IVE 2.0.2, la cual maneja 3 componentes críticos que son:

- a) Factores de emisión (Base de factores de emisión y corrección).
- b) Actividad de la flota vehicular (Datos de entrada de la Localidad).
- c) Distribución de la flota vehicular (Datos de entrada de la Flota.)

### 2.4.1 Proceso de cálculo

El software IVE desarrolla un proceso para la estimación de las emisiones contaminantes que consiste en la multiplicación de los de factores de emisión por cada uno de los factores de corrección por la distancia recorrida por el vehículo.

El proceso de cálculo interno, se muestra en la ecuación que multiplica la base de factores de emisión (B) por la serie de factores de corrección (K) para los ajustes de los factores de emisión (Q) para cada tipo de vehículo.

$$Q [t] = B [t] * K ( 1 ) [t] * K ( 2 ) [t] * ..... K ( x ) [t]$$

Con esta fórmula el software IVE ajusta las variables de localidad de la ciudad por donde se moviliza la flota vehicular a ser estudiada.

## 2.4.2 Factores de corrección para localidades

Los factores de corrección se pueden organizar en varias categorías. El valor de cada uno de los factores de corrección depende de las entradas de localidad.

<b>Variables locales</b>	Temperatura ambiental K ( Tmp ) [ t ] Humedad del ambiente K ( Hmd ) [ t ] Altitud ( Alt ) [ t ] Programa de mantenimiento K ( IM ) [ t ] Base de factores de corrección K ( Cntry ) [ t ]
<b>Variables diésel</b>	Cantidad ppm de azufre
<b>Variables de potencia</b>	Potencia Especifica Vehicular VSP Pendiente Paradas Uso del aire acondicionado

*Tabla 2 Factores de corrección del software IVE.*

*Fuente: (IVE Model, 2008).*

## 2.4.3 Factores de emisión de la flota vehicular

El software IVE calcula los factores de emisión mediante dos tipos de emisiones: emisiones en ruta y emisiones por partida. Las variables que toma en cuenta para los factores de emisión son las siguientes ecuaciones:

$$Q \text{ en ruta} = \sum t \{ f [ t ] * \sum d [ Q [ t ] * \bar{U}FTP * f [ dt ] * K [ dt ] \} / \bar{U}c$$

$$Q \text{ en partida} = \sum t \{ f [ t ] * Q [ t ] * \sum d [ f [ dt ] * K [ dt ] \}$$

En donde:

Q [ t ] Factores de emisión ajustados para cada tecnología g/km.

f [ t ] Fracción del viaje por cada tecnología específica.

f [ dt ] Fracción del tiempo por el tipo de conducción o fracción del tiempo SOAK.

$\bar{U}FTP$  Velocidad promedio del ciclo de conducción.

$\bar{U}C$  Velocidad promedio de cada ciclo de conducción.

## 2.4.4 Categorías vehiculares

El software IVE estima las emisiones contaminantes de un gran universo de vehículos que opera en la localidad, los cuales son contemplados dentro de las siguientes características tecnológicas y de uso:

- a) Tamaño del vehículo (7 opciones incluyendo camiones).
- b) Tipo de combustible (5 opciones).
- c) Uso del vehículo (3 opciones).
- d) Sistema de entrega de combustible (3 opciones).
- e) Sistema de control emisiones evaporativas (varios).
- f) Sistema / Estándar de control de escape (varios).

<b>Abreviatura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Significado</b>
Pt	Gasolina	Vehículo a gasolina
Ds	Diésel	Vehículo a diésel
Ng	Gas natural	Vehículo a gas natural
Ngrt	Gas natural retrofit	Vehículo a gasolina, modificado a gas
Pr	Propano	Vehículo a propano
Prrt	Propano retrofit	Vehículo a gasolina, modificado a propano
Et	Etanol	Vehículo a etanol
Etrt	Etanol retrofit	Vehículo a gasolina, modificado a etanol
GLN/GLP	Gas natural / licuado	Motocicleta o vehículos de tres ruedas a gas natural o propano
Carb	Carburador	Vehículo equipado con carburador
SgPt FI	Inyección monopunto	Vehículo equipado con un sistema de inyección único al múltiple de admisión
MPFI	Inyección multipunto	Vehículo equipado con un sistema de inyección electrónico múltiple
Pre-Inj	Pre-inyección	Vehículo diésel con un sistema de inyección tradicional
Dir-Inj	Inyección directa	Vehículo diésel con un sistema de inyección electrónica
2eye	2 tiempos	Motores de 2 tiempos de baja cilindrada que operan a gasolina

*Tabla 3 Categorías vehiculares del software IVE.*

*Fuente:* (IVE Model, 2008).

## 2.4.5 Gases que estima el software IVE

El software IVE realiza la estimación de las emisiones de los contaminantes del aire nocivos para la salud de las personas y el medio ambiente, producidos por la quema de combustibles fósiles, utilizados para el transporte principalmente, los cuales se clasifican en 3 grupos de estudio y se detallan en la Tabla 4.

Tipo	Contaminante	Descripción
Contaminante criterio	CO	Monóxido de Carbono
	VOC	Compuestos Orgánicos Volátiles
	VOC evap	Emisiones Evaporativas de los VOC
	NOx	Óxido de Nitrógeno
	SOx	Óxido de Azufre
	PM10	Material Particulado < a 10 micrones
Gases tóxicos	Pb	Plomo
	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	1,3-Butadieno
	CH <sub>3</sub> CHO	Acetaldehído
	CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Formaldehído
	NH <sub>3</sub>	Amonio
	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Benceno
GEI Gases de Efecto Invernadero	CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
	NO <sub>2</sub>	Dióxido de Nitrógeno
	CH <sub>4</sub>	Metano

*Tabla 4 Contaminantes estimados por el software IVE.  
 Fuente: (IVE Model, 2008).*

Los contaminantes criterio corresponden a los contaminantes que han sido normados internacionalmente y se les ha determinado un nivel máximo de concentración en el aire, con el fin de proteger el medio ambiente y la salud.

Los gases tóxicos son compuestos en forma de gas que se encuentran en concentraciones bajas en el aire, presentan toxicidad y representan un peligro para las diferentes formas de vida.

Los Gases de Efecto Invernadero absorben y emiten radiación, son fundamentales para mantener la temperatura estable del planeta, pero en gran concentración son los responsables del calentamiento global, que genera grandes afectaciones al medio ambiente y a la salud (Yassi et al., (2002).

## 2.4.6 Parámetro de localidad

Para la estimación de la contaminación del aire en un área específica, es necesario establecer las condiciones de localidad, con características particulares que se detallan en la Tabla 5.

<b>Patrones de conducción</b>	Distancia Patrones de conducción
<b>Patrones de partida</b>	Cantidad de partidas Patrón SOAK
<b>VARIABLES AMBIENTALES</b>	Altitud Pendiente Temperatura
<b>Características del combustible</b>	Calidad del combustible Cantidad de aditivos

*Tabla 5 Parámetros de localidad.*  
*Fuente: (IVE Model, 2008).*

**Patrones de conducción.** - La distancia, la velocidad, la aceleración y la desaceleración de un vehículo tiene un impacto profundo en la emisión de contaminantes, ya que bajo ciertas condiciones de conducción se pueden incrementar hasta 200 veces más las emisiones.

**Patrones de partida.** - Los diferentes tipos de partidas pueden incrementar las emisiones. El efecto que predomina se denomina SOAK y corresponde al periodo de tiempo en que un motor en caliente ha estado apagado antes de volver a ponerse en marcha.

**VARIABLES AMBIENTALES.** - Las variables ambientales se usan para ajustar las emisiones con condicionantes como la altitud, la pendiente y la temperatura ambiente, lo cual permite una aproximación más real al cálculo.

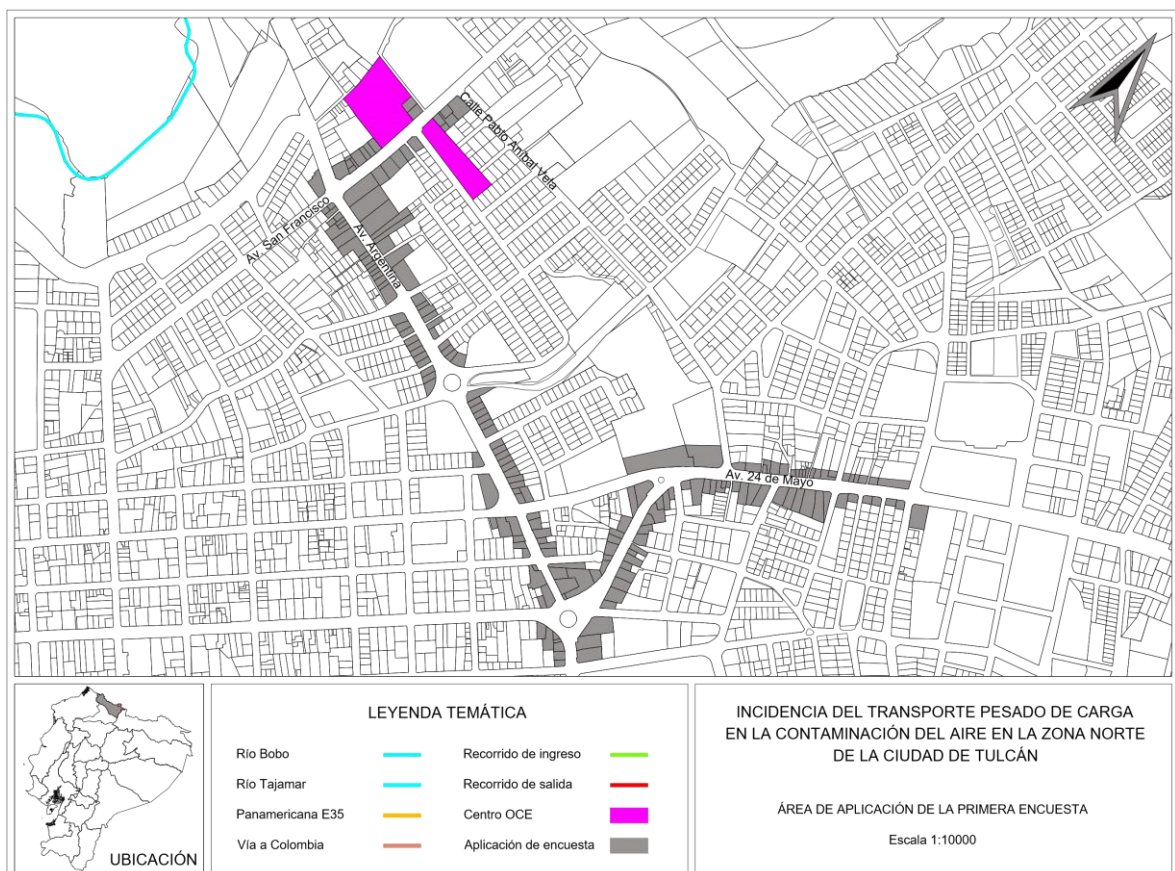
**Características del combustible.** - Las variables de la calidad del combustible en cuanto a la cantidad de azufre, plomo y benceno que contienen está relacionada directamente con la cantidad y características de las emisiones de contaminantes.

## CAPÍTULO 3 – RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Afectaciones a la salud

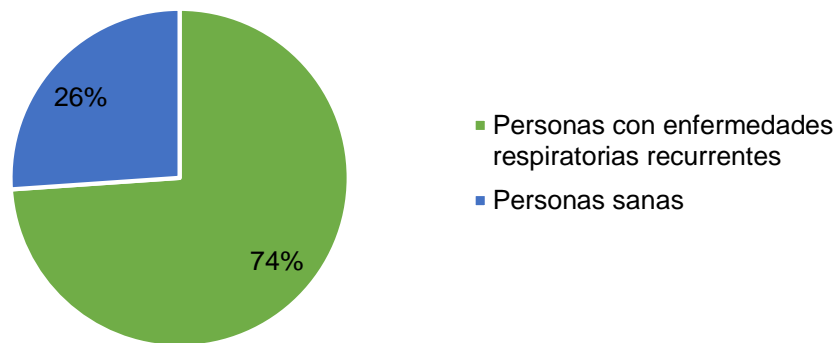
En los sectores residenciales que se encuentran próximos al tramo de ingreso y salida de los vehículos de transporte pesado de carga del centro OCE, se realizaron varias encuestas con la finalidad de medir la percepción de la ciudadanía acerca de las afectaciones a la salud que pueden ser ocasionadas por el paso de los vehículos de transporte pesado de carga.

La población de estudio se compone por 120 personas que habitan frente a la vía por donde circula el transporte pesado de carga en su ingreso al centro OCE, debido a que esta zona se encuentra consolidada como residencial y presenta una alta densidad. La muestra es de 92 personas, con una confiabilidad del 95%.



*Ilustración 3 Área de aplicación de la primera encuesta.  
Fuente: Elaboración propia.*

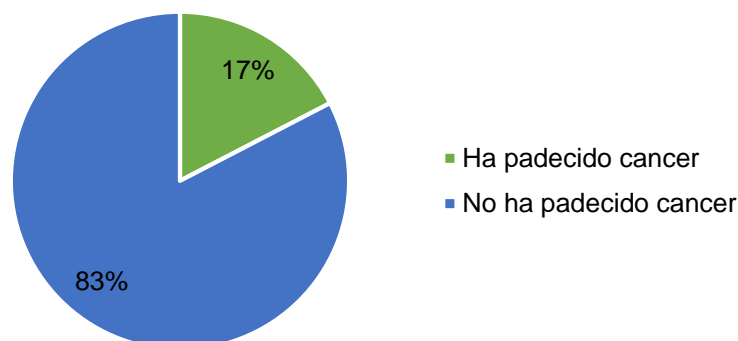
Pregunta 1: ¿Ha presentado enfermedades respiratorias recurrentes?



*Ilustración 4 Percepción de afectaciones a la salud.  
Fuente: Elaboración propia.*

68 personas manifestaron que presentan enfermedades respiratorias recurrentes, y sostienen en su mayoría que la contaminación del aire producida por el transporte pesado de carga es uno de los responsables, mientras que 24 personas manifestaron que se encuentran sanas.

Pregunta 2: ¿Usted o algún miembro de su familia ha padecido algún tipo de cáncer?



*Ilustración 5 Prevalencia del cáncer  
Fuente: Elaboración propia.*

16 personas manifestaron que han padecido algún tipo de cáncer o que algún miembro de la familia que reside en su vivienda lo ha padecido, y lo asocian con la contaminación del aire, mientras que 76 personas informaron que no.

### 3.2 Flota vehicular

La aplicación de la entrevista semiestructurada realizada al gerente propietario del centro OCE ubicado en la zona norte de la ciudad de Tulcán, en la avenida San Francisco y calle Pablo Aníbal Vela, ha permitido la obtención de información primaria relevante, entre la que se destaca el informe estadístico del ingreso de los vehículos del transporte pesado de carga, que corresponde al mes más productivo para el centro OCE, que fue noviembre de 2022, el documento está compuesto por la siguiente información:

- a) Fecha de ingreso del vehículo al centro OCE.
- b) Tipo de vehículo de acuerdo con su capacidad de carga.
- c) Empresa importadora de los bienes movilizados.
- d) Peso bruto, se refiere a la sumatoria del peso del vehículo más el peso de la carga transportada.
- e) Peso tara, corresponde al peso del vehículo y el contenedor.
- f) Peso neto, es el peso de la carga.

De acuerdo con este informe, los vehículos de transporte pesado de carga que ingresaron en el mes de noviembre de 2022 son 743 y utilizan en su totalidad combustible diésel, las mercancías que transportan son electrodomésticos, medicinas, material de construcción, aparatos tecnológicos, muebles, artículos de papelería, repuestos, entre otros.



*Ilustración 6 Vehículos de transporte pesado de carga.*

*Fuente: Elaboración propia.*

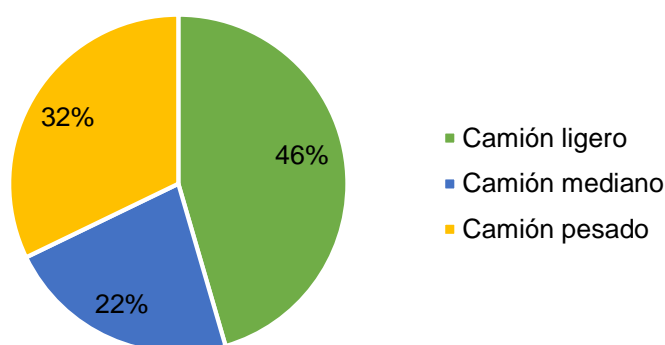
### 3.2.1 Composición de la flota vehicular

Para definir las especificaciones para la flota vehicular del software IVE, se requiere crear una flota la cual se denomina Flota Tulcán, además, para el ingreso de los datos al programa es necesario clasificar los vehículos de transporte pesado de carga, para lo cual se ha formado 3 grupos de acuerdo con su peso bruto:

Grupo	Tipo de vehículo	Tipo de combustible	Peso bruto	Cantidad
1	Camión ligero	Diésel	Menor a 10 toneladas	338
2	Camión mediano	Diésel	Entre 10 y 25 toneladas	166
3	Camión pesado	Diésel	entre 25 y 50 toneladas	239
TOTAL				743

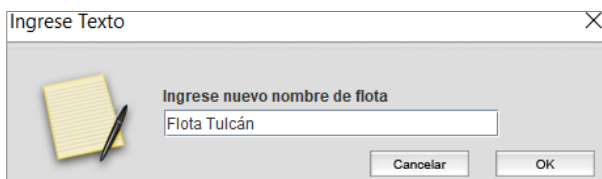
*Tabla 6 Tipos de vehículos de transporte pesado de carga.  
 Fuente: Elaboración propia.*

Dentro de los parámetros para la conformación de la flota vehicular, es necesario establecer el porcentaje de participación de cada uno de los 3 tipos de vehículos que circulan dentro del estudio, la composición total de la flota debe ser el 100%.

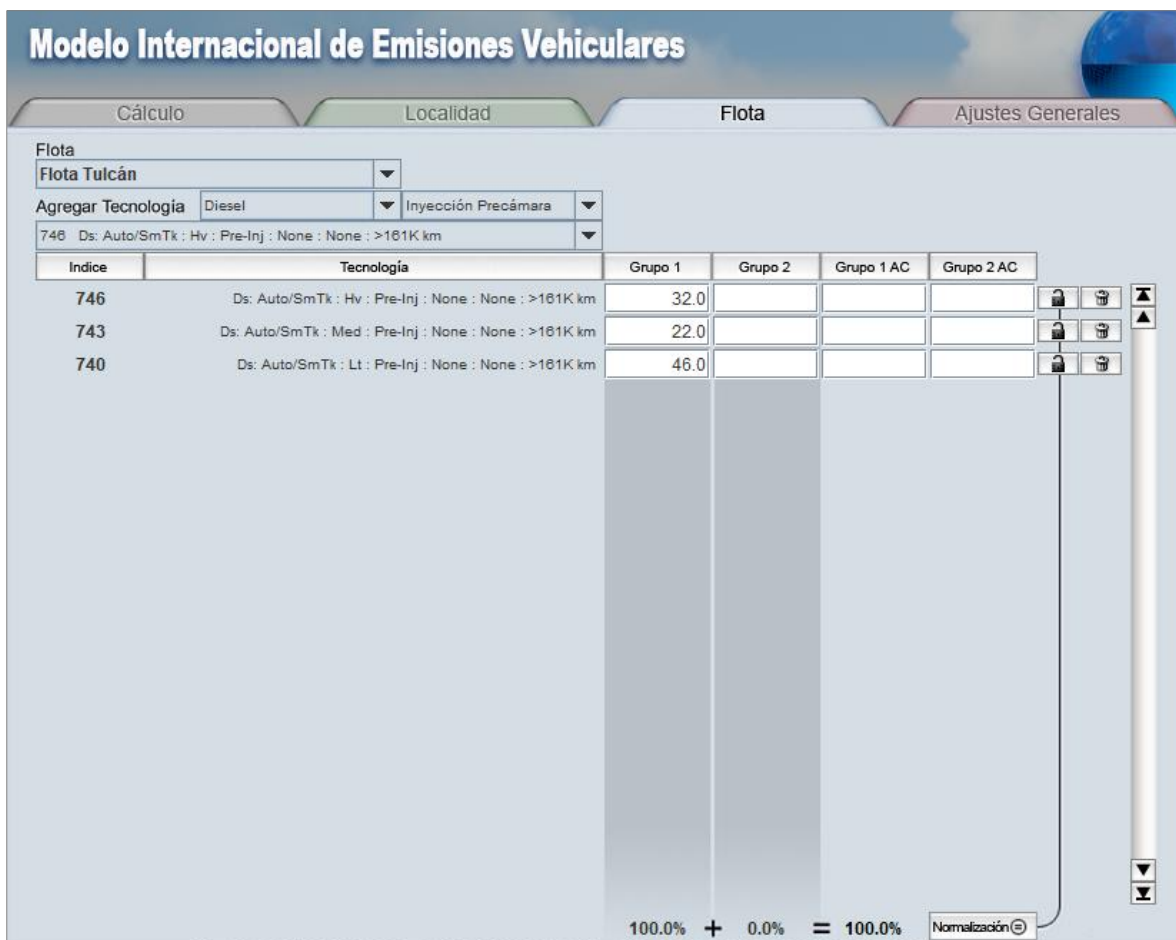


*Ilustración 7 Porcentaje de participación en la flota.  
 Fuente: Elaboración propia.*

Los resultados obtenidos demuestran que la flota de vehículos de transporte pesado de carga se compone en su mayoría por camiones denominados para el presente estudio como ligeros con un 46% de participación, seguida por los camiones pesados con una participación del 32% y por último los camiones medianos con una participación del 22%. Por otra parte, se requiere ingresar el kilometraje histórico que ha realizado el vehículo y consta en el odómetro, como parámetro que permite apreciar el uso y el desgaste de la máquina.



*Ilustración 8 Creación de la Flota Tulcán.  
Fuente: Elaboración propia.*



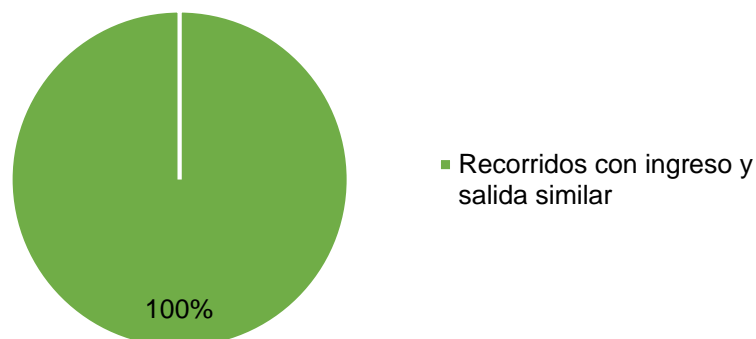
*Ilustración 9 Ingreso de datos en la Flota Tulcán.  
Fuente: Elaboración propia.*

### 3.3 Localidad

Se realizó una encuesta dirigida a los conductores del transporte pesado de carga que realizan sus actividades desde y hacia el centro OCE ubicado en la zona norte de la ciudad de Tulcán, en la avenida San Francisco y calle Pablo Aníbal Vela, con la finalidad de obtener información primaria de la localidad, encontrándose los siguientes datos:

- a) La distancia del recorrido medido en kilómetros (km), considerando que existen un recorrido de ingreso y uno de salida.
- b) El número de paradas que realizan los vehículos, debido a que la cantidad de estas está ligada al consumo de combustible.
- c) La velocidad promedio que tienen los vehículos cuando están cargados y cuando están vacíos.

La población de estudio se compone por los conductores que ingresaron al centro OCE en el mes de noviembre, mientras que la muestra corresponde a los conductores que ingresaron al centro OCE el día 1 de noviembre del año 2022 que son 41 conductores, debido a que los resultados son contundentes y evidencian que el 100% de los conductores realiza un recorrido establecido para el ingreso y la salida de los vehículos, debido a las características de cargar de los vehículos, el diseño vial y la topografía.



*Ilustración 10 Similitud del recorrido de ingreso y salida*  
*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.3.1 Características del recorrido

Recorrido de ingreso:	Distancia GPS	=	4,32 km
	Número de paradas	=	15
	Velocidad promedio	=	40 km/h

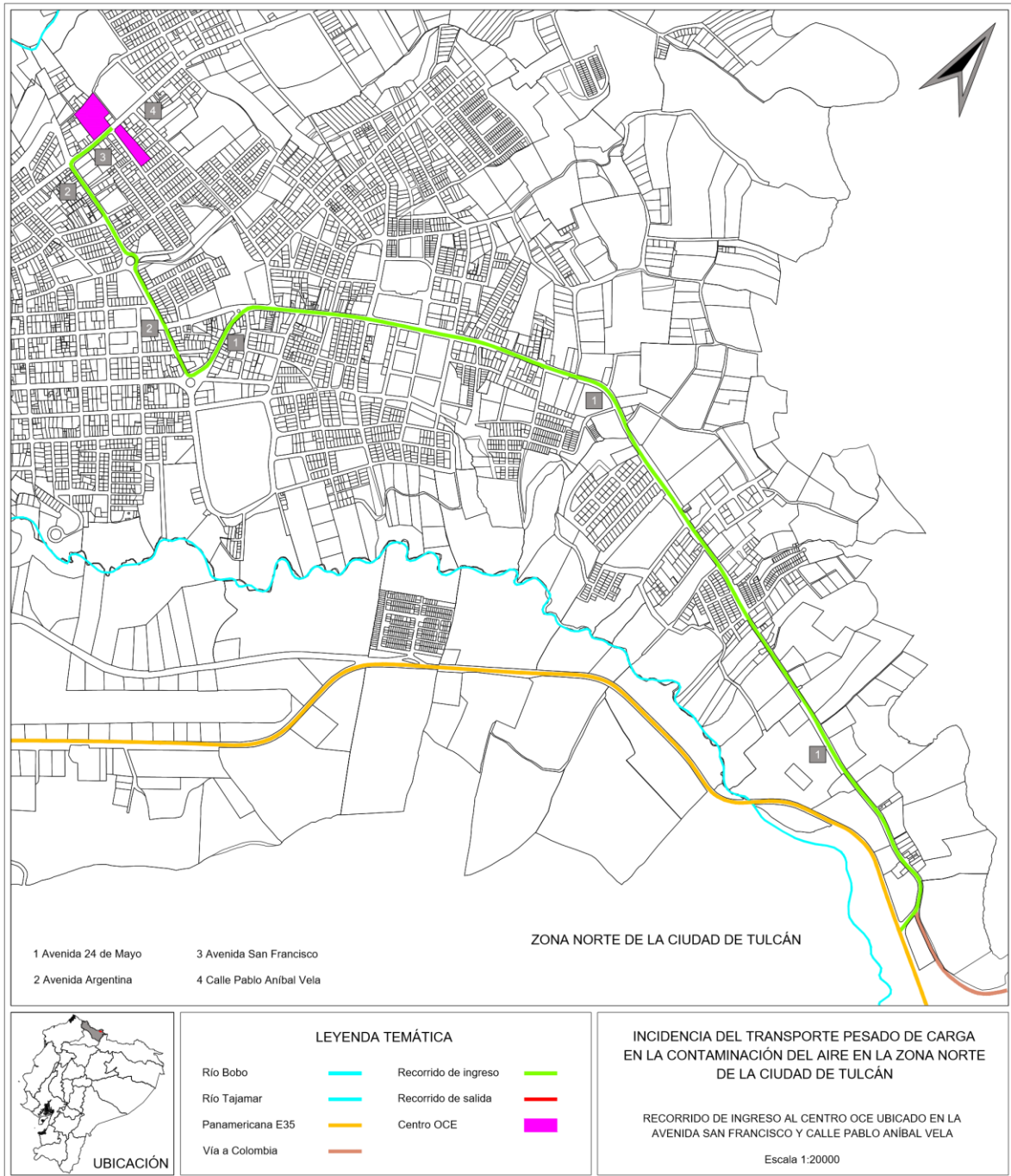


Ilustración 11 Recorrido de ingreso al centro OCE.  
Fuente: Elaboración propia.



### 3.3.2 Otros parámetros de localidad

---

<b>Distancia total</b>	<p>La distancia total a ser ingresada en el software es el resultado de la multiplicación de la flota vehicular, por la distancia de los recorridos de ingreso y salida al centro OCE:</p> <p>Número de vehículos: 743 unidades Distancia 1 de ingreso: 4,32 km Distancia 2 de salida: 4,33 km Distancia 3 total 1 + 2: 8,65 km Distancia total</p> <p>Multiplicación: <math>743 \times 8,65 = 6.426,95</math> km</p> <p>El total de la distancia debe ser multiplicado por 2, debido a que el camión que ingresa a dejar las mercancías al centro OCE, una vez descargado sale vacío, después viene otro camión vacío que debe ser cargado para continuar el viaje, es decir que debido a la no aplicación de la decisión 399, tenemos un incremento de los recursos necesarios para el transporte de las mercancías, dándonos un total de 12.853,90 km.</p>
<b>Paradas totales</b>	<p>Se multiplica el número de vehículos por el número de paradas:</p> <p>Número de vehículos: 743 unidades Número de paradas: 30 paradas</p> <p><math>743 \times 30 = 2.290</math> paradas</p> <p>De igual manera el resultado se debe multiplicar por 2, debido al incremento de los recursos para la movilización, dando un resultado de 4.580 paradas.</p>
<b>Altitud</b>	<p>La ciudad de Tulcán se encuentra a 2980 msnm (PDOT-Tulcán, 2019).</p>
<b>Tipo de ralentí</b>	<p>No se aplica.</p>
<b>Uso del aire acondicionado</b>	<p>Durante todo el recorrido se usa parcialmente el aire acondicionado, por lo tanto el parámetro es 50%.</p>

---

<b>Pendiente del terreno</b>	El terreno es relativamente plano, con 2 pendientes que no superan los 30 grados, por este motivo no se aplica.
<b>Características del combustible</b>	Los parámetros se mantienen por defecto en moderado, debido a que la calidad del combustible diésel varía en el país. Con una media de azufre de 170 ppm. Mientras más azufre contiene el diésel, más contaminantes produce.
<b>Humedad</b>	La ciudad de Tulcán tiene una humedad del 55% (PDOT-Tulcán, 2019).
<b>Temperatura</b>	La temperatura promedio de la ciudad de Tulcán es de 13,5 ° C (PDOT-Tulcán, 2019).
<b>Bines y SOAK</b>	Corresponde a los patrones de conducción del vehículo en cuanto a la potencia empleada, se ha mantenido en bin 1 con el total de la potencia. El SOAK es el tiempo que el motor permanece apagado.

Tabla 7 Otros parámetros de localidad  
 Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 13 Ingreso de datos de localidad Ciudad de Tulcán.  
 Fuente: Elaboración propia.

### 3.4 Estimación de los contaminantes con el software IVE

#### 3.4.1 Contaminantes Criterio

El cálculo de los Contaminantes Criterio se ha realizado considerando la producción de los contaminantes durante todo el mes de noviembre del año 2022. Los contaminantes analizados fueron el Monóxido de Carbono, Compuestos Orgánicos Volátiles, Emisiones Evaporativas de los VOC, Óxido de Nitrógeno, Óxido de Azufre y Material Particulado < a 10 micrones.

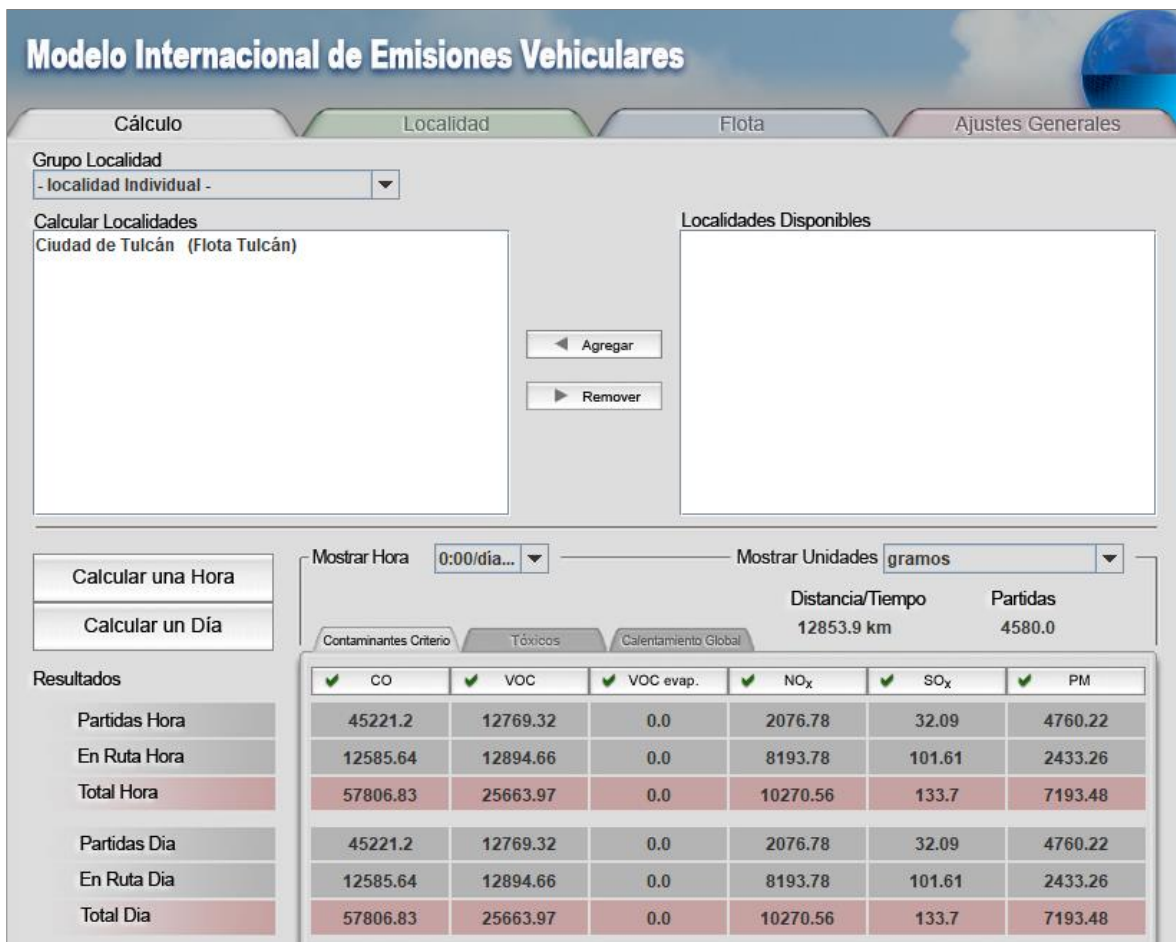
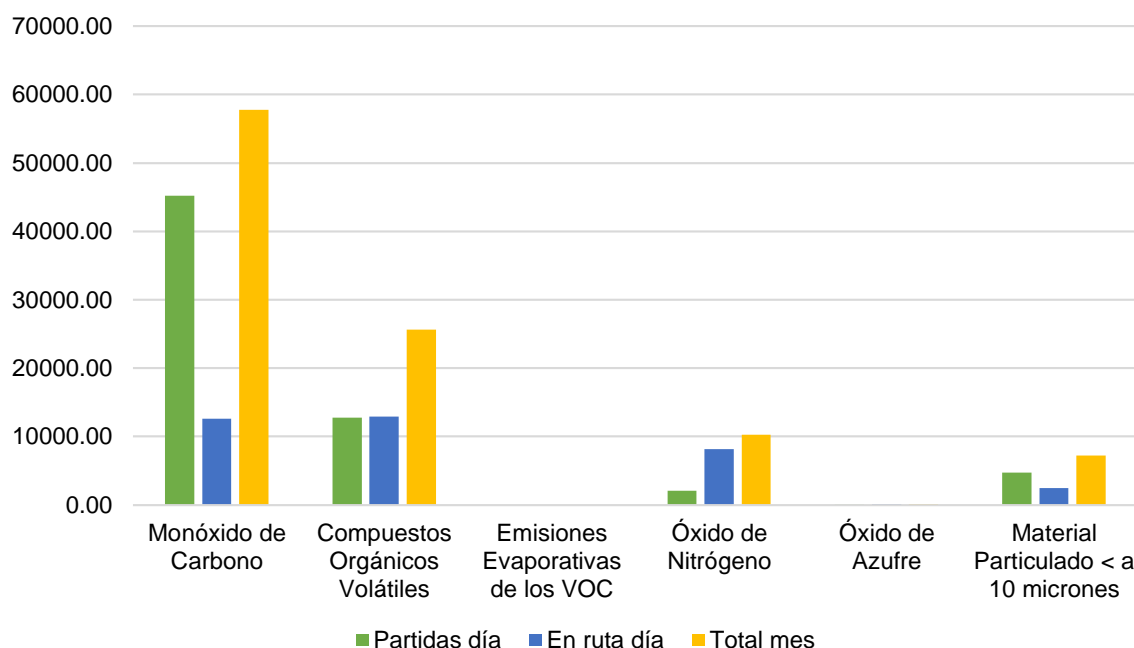


Ilustración 14 Cálculo de los Contaminantes Criterio con el software IVE.  
 Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en gramos evidencian que existe un problema de contaminación del aire, ya que, sin la movilización innecesaria de las mercancías, no se producirían dichos Contaminantes Criterio que afectan la salud.



*Ilustración 15 Emisión de Contaminantes Criterio.  
 Fuente: Elaboración propia.*

La cantidad de Contaminantes Criterio que se emiten a la atmósfera cada mes se ha establecido de la siguiente manera:

Contaminante Criterio	Gramos
Monóxido de Carbono	57.806,83
Compuestos Orgánicos Volátiles	25.663,97
Emisiones Evaporativas de los VOC	0,00
Óxidos de Nitrógeno	10.270,56
Óxido de Azufre	133,70
Material Particulado < a 10 micrones	7.193,48

*Tabla 8 Contaminantes Criterio emitidos mensualmente en gramos.  
 Fuente: Elaboración propia.*

Se ha determinado que el mayor contaminante emitido mensualmente es el Monóxido de Carbono con un aporte de 57.806,83 gramos, lo cual representa una emisión anual de 693.681,96 gramos.

El Monóxido de Carbono reduce la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, lo cual puede afectar al corazón y el cerebro. Provoca intoxicaciones graves e incluso la muerte.

### 3.4.2 Gases Tóxicos

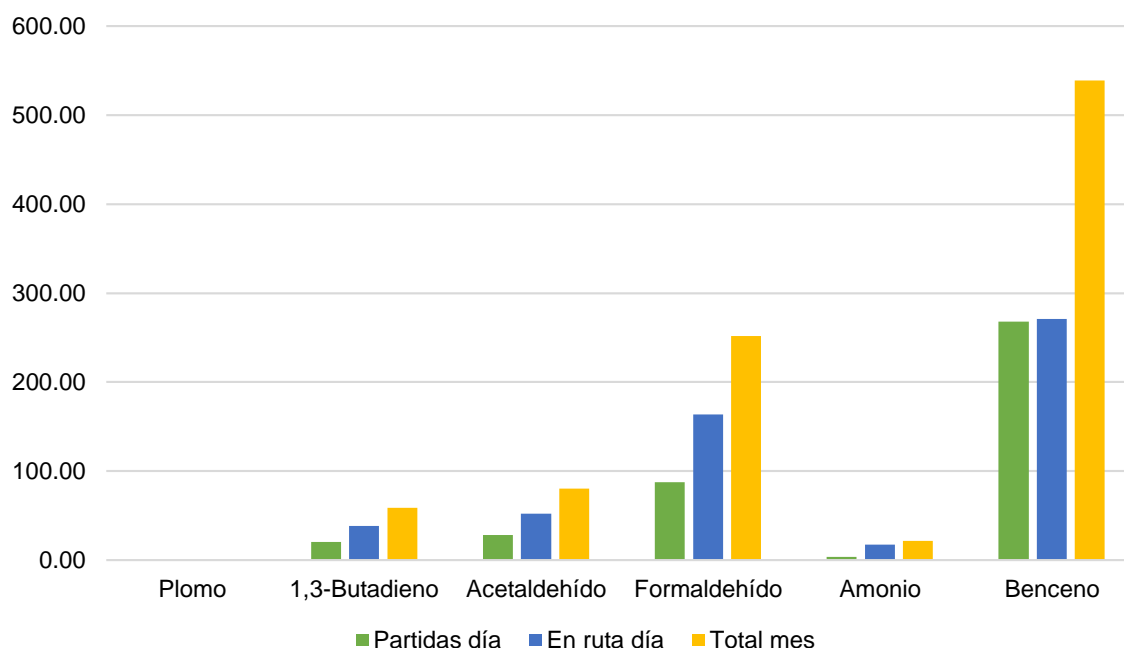
Para el cálculo de las emisiones de los Gases Tóxicos se ha considerado la producción de los contaminantes durante todo el mes de noviembre del año 2022. Los gases contaminantes que fueron analizados con el uso del software IVE son el Plomo, 1,3-Butadieno, Acetaldehído, Formaldehído, Amonio y Benceno.

The screenshot shows the 'Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares' software interface. The 'Localidad' tab is active, showing a dropdown for 'Grupo Localidad' set to '- localidad Individual -'. Below, there are buttons for 'Calcular Localidades' and 'Calcular una Hora' / 'Calcular un Día'. The 'Localidades Disponibles' section is empty. The 'Mostrar Hora' is set to '0:00/día...' and 'Mostrar Unidades' is set to 'gramos'. The 'Distancia/Tiempo' is 12853.9 km and 'Partidas' is 4580.0. The 'Contaminantes Criterio' section is set to 'Tóxicos'. The results table shows emissions for Lead, 1,3 Butadiene, Acetaldehydes, Formaldehydes, NH<sub>3</sub>, and Benzene.

Contaminantes Criterio	Lead	1,3 Butadiene	Acetaldehydes	Formaldehydes	NH <sub>3</sub>	Benzene
Partidas Hora	0.0	20.44	27.94	87.67	3.92	268.16
En Ruta Hora	0.0	38.22	52.24	163.93	17.46	270.79
<b>Total Hora</b>	<b>0.0</b>	<b>58.67</b>	<b>80.17</b>	<b>251.61</b>	<b>21.38</b>	<b>538.94</b>
Partidas Dia	0.0	20.44	27.94	87.67	3.92	268.16
En Ruta Dia	0.0	38.22	52.24	163.93	17.46	270.79
<b>Total Dia</b>	<b>0.0</b>	<b>58.67</b>	<b>80.17</b>	<b>251.61</b>	<b>21.38</b>	<b>538.94</b>

Ilustración 16 Cálculo de los gases Tóxicos con el software IVE.  
 Fuente: Elaboración propia.

Los resultados que se han obtenido han sido medidos en gramos, ponen en evidencia la problemática de la contaminación del aire, ya que existe una considerable emisión de Gases Tóxicos que pueden generar graves problemas en la salud de la población, uno de los principales contaminantes encontrados es el Benceno y el Formaldehído. Este tipo de gases tienen una alta capacidad de expansión física, por lo cual se dispersan libremente por la atmósfera, llegando a zonas alejadas de las fuentes de emisión.



*Ilustración 17 Emisión de Gases Tóxicos.  
 Fuente: Elaboración propia.*

La producción de Gases Tóxicos que se emiten a la atmósfera cada mes, se ha determinado de la siguiente manera:

Contaminante Criterio	Gramos
Plomo	0,00
1,3-Butadieno	58,67
Acetaldehído	80,17
Formaldehído	251,61
Amonio	21,38
Benceno	538,94

*Tabla 9 Gases Tóxicos emitidos mensualmente en gramos.  
 Fuente: Elaboración propia.*

De acuerdo a la aplicación del software IVE, se ha establecido que el mayor Gas Tóxico contaminante encontrado es el Benceno con una emisión mensual a la atmósfera de 538,94 gramos.

El Benceno es un gas que puede producir mareo, somnolencia y la pérdida del conocimiento. La exposición prolongada produce efectos sobre la médula ósea y también puede causar leucemia y anemia.

### 3.4.3 GEI Gases de Efecto Invernadero

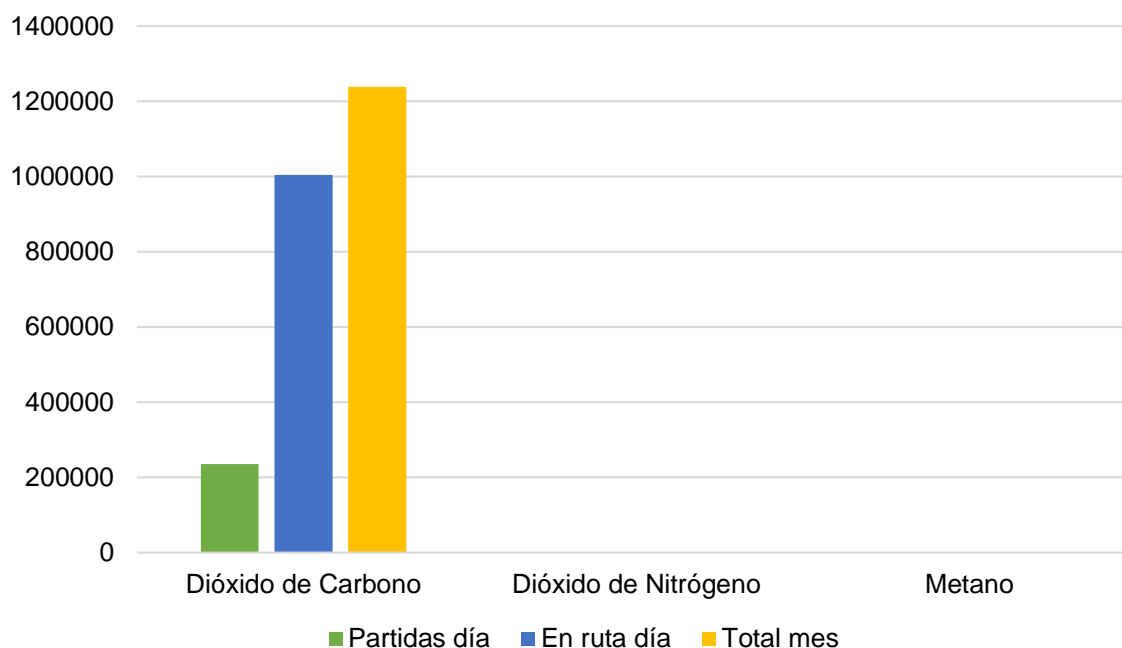
La cuantificación de los Gases de Efecto Invernadero se ha realizado analizando las emisiones Dióxido de Carbono, Dióxido de Nitrógeno y Metano.

The screenshot shows the 'Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares' software interface. The 'Localidad' tab is active, showing a dropdown for 'Grupo Localidad' set to '- localidad Individual -' and a list of 'Localidades Disponibles' with 'Ciudad de Tulcán (Flota Tulcán)' selected. Below this are 'Agregar' and 'Remover' buttons. The 'Mostrar Hora' is set to '0:00/día...' and 'Mostrar Unidades' is set to 'gramos'. The 'Distancia/Tiempo' is '12853.9 km' and 'Partidas' is '4580.0'. The 'Contaminantes Criterio' tab is selected, showing a table of results for CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, and CH<sub>4</sub>. The 'Calculación Global' tab is also visible. On the left, there are buttons for 'Calcular una Hora', 'Calcular un Día', and a 'Resultados' section with rows for 'Partidas Hora', 'En Ruta Hora', 'Total Hora', 'Partidas Día', 'En Ruta Día', and 'Total Día'.

Contaminantes Criterio	Tóxicos	Calentamiento Global
✓ CO <sub>2</sub>	✓ N <sub>2</sub> O	✓ CH <sub>4</sub>
234689.97	10.88	0.0
1003889.83	5.15	0.0
<b>1238579.81</b>	<b>16.03</b>	<b>0.0</b>
234689.97	10.88	0.0
1003889.83	5.15	0.0
<b>1238579.81</b>	<b>16.03</b>	<b>0.0</b>

*Ilustración 18 Cálculo de los Gases de Efecto Invernadero con el software IVE.  
 Fuente: Elaboración propia.*

Los resultados que se han obtenido han sido analizados en gramos, demuestran la gran cantidad de Gases de Efecto Invernadero que son producidos por la flota vehicular en estudio, dichos gases son los principales causantes del calentamiento global por el aumento de la temperatura del planeta, los cuales pueden generar inundaciones, huracanes, sequías, erosión del suelo, aumento del nivel del mar, entre otros fenómenos naturales, los cuales se pueden manifestar con mayor frecuencia e intensidad (CEPAL & ACNUDH, 2019).



*Ilustración 19 Emisión de Gases de Efecto Invernadero.  
 Fuente: Elaboración propia.*

La producción de Gases de Efecto Invernadero que se emiten a la atmósfera cada mes, se ha cuantificado de la siguiente manera:

Contaminante Criterio	Gramos
Dióxido de Carbono	1'238.579,81
Dióxido de Nitrógeno	16,03
Metano	0,00

*Tabla 10 Gases de Efecto invernadero emitidos mensualmente en gramos.  
 Fuente: Elaboración propia.*

Se determina que el Dióxido de Carbono es el mayor contaminante dentro de los Gases de Efecto Invernadero con una emisión mensual de 1'238.579,81 gramos

Las altas concentraciones de Dióxido de Carbono disminuyen la concentración de oxígeno en la sangre, lo cual produce una sensación de malestar y de fatiga generalizada, causando graves enfermedades e incluso la muerte.

Como parte de la iniciativa mundial, el Ecuador es miembro del denominado Acuerdo de París, con la finalidad de mantener por debajo de los 2°C el aumento de la temperatura, a través de la reducción de las emisiones de GEI.

## 4. DISCUSIÓN

La Resolución 399 establece que los vehículos de transporte pesado de carga que se movilizan por los países que conforman la CAN, deben realizar el paso directo en las fronteras, por ejemplo, un vehículo que parte con carga desde la ciudad de Bogotá con destino a la ciudad de Quito, debería realizar el cruce en el Puente Internacional de Rumichaca, sin que se realice el transbordo de las mercancías, con la finalidad de optimizar los recursos que se emplean para la movilización de las mercancías.

La falta de aplicación de la Resolución 399 en la frontera terrestre entre Ecuador y Colombia, motivada por los intereses económicos de los propietarios de los vehículos de ambas naciones, que encuentran más rentable la realización de los transbordos de las mercancías con el fin de dar uso a sus propios vehículos para dirigirse al interior del territorio nacional, ha generado la necesidad de realizar el transbordo de las mercancías en la ciudad de Tulcán, para lo cual se han implantado varios sitios de almacenamiento temporal denominados OCE, los cuales se encuentran dispersos en el territorio, sin una normativa de uso de suelo que se haya aplicado hasta la actualidad, con la finalidad de ordenar su presencia en la ciudad.

En el caso puntual del centro OCE que es parte del presente estudio, se ubica en la zona noroccidental de la ciudad de Tulcán, en la parroquia González Suárez, barrio La Habana, en la avenida San Francisco y calle Pablo Aníbal Vela, a una distancia aproximada de 4,0km del eje vial estatal.

La logística de los viajes del transporte pesado de carga se realiza de la siguiente manera, un vehículo colombiano de transporte pesado de carga ingresa cargado al Ecuador por el Puente Internacional de Rumichaca, se dirige hacia el centro OCE en estudio, realiza la descarga de las mercancías y sale vacío de regreso a Colombia. Luego ingresa al centro OCE un vehículo ecuatoriano vacío y es cargado con la mercancía y sale con destino al interior del territorio ecuatoriano.

Es decir que para la movilización de un grupo de mercancías se emplean 2 vehículos de transporte pesado de carga, lo cual implica la realización de 2 trayectos de ingreso y 2 trayectos de salida, lo cual incrementa considerablemente el uso de los recursos humanos, económicos, tecnológicos y energéticos, incidiendo definitivamente en la contaminación del aire, por medio de la movilización innecesaria de las mercancías, lo cual es un factor contaminante antropogénico ya que con una adecuada planificación del territorio, puede evitarse. Se recorren de manera innecesaria 12.853,90 km al mes, con un recorrido total anual de 154.246,80 km.

A través del análisis de los resultados, se ha evidenciado que el transporte pesado de carga tiene incidencia en la contaminación del aire de la zona norte de la ciudad de Tulcán. Los principales contaminantes encontrados en el aire son:

- a) Monóxido de Carbono, que reduce la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, lo cual puede afectar al corazón y el cerebro, además de provocar intoxicaciones graves e incluso la muerte.
- b) Compuesto Orgánicos Volátiles, que causas daños al hígado y riñones. Manchas en la piel. Fatiga y daños del sistema nervioso central.
- c) Benceno, que puede producir mareo, somnolencia y la pérdida del conocimiento.
- d) Formaldehído, que causa la irritación de los ojos, la piel, la garganta y la nariz. La exposición a altos niveles provoca varios tipos de cáncer.
- e) Dióxido de Carbono, que en altas concentraciones disminuye la concentración de oxígeno en la sangre, lo cual produce una sensación de malestar y de fatiga generalizada, llegando a ser mortal.

La preocupación de los planificadores urbanos se debe centrar en la implementación de modelos territoriales que garanticen el adecuado uso de los sistemas de transporte pesado de carga, para reducir las movilizaciones innecesarias y por lo tanto la emisión de contaminantes a la atmósfera, para propender ciudades que promuevan la salud de sus habitantes.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con los objetivos planteados en la presente investigación, se puede establecer que existe una incidencia del transporte pesado de carga en la contaminación del aire de la zona norte de la ciudad de Tulcán, ya que son varios los contaminantes que se emiten a la atmósfera por la movilización innecesaria de las mercancías.

A través de la aplicación de las técnicas de investigación, se han podido solventar los objetivos de estudio, con las conclusiones y recomendaciones que a continuación se presentan:

- a) El primer objetivo específico que se refiere a la identificación de los trayectos, las distancias, el tipo y la cantidad de vehículos de transporte pesado de carga, que tienen como destino los centros OCE que se ubican en la zona norte de la ciudad de Tulcán.

Al respecto, con la aplicación de la entrevista semiestructurada se ha obtenido información primaria que indica que son 743 los vehículos de transporte pesado de carga que ingresan al centro OCE. Además, con la implementación de la encuesta se ha definido cuál es el trayecto de ingreso y salida de los vehículos, lo que pone en evidencia la falta de planificación en la ciudad en las décadas pasadas, por este motivo los centros OCE se encuentran dispersos en el territorio, en el caso puntual de estudio, los camiones que tienen como destino el centro OCE de la zona norte de la ciudad recorren de manera innecesaria 12.853,90 km al mes, con un recorrido total anual de 154.246,80 km.

En este sentido, la recomendación a nivel urbanístico se enfoca en la necesidad de generar un modelo territorial donde se establezcan nuevos usos de suelo para la implantación de los centros OCE, que tengan una conectividad directa con la red vial estatal, de manera que se eviten los

desplazamientos innecesarios de las mercancías, optimizando los recursos humanos, económicos, tecnológicos y energéticos.

- b) El segundo objetivo tiene que ver con la cuantificación de los contaminantes de la atmósfera que son producidos por los vehículos de transporte pesado de carga, a través del uso de software IVE.

Para la aplicación del software IVE se recopiló información real para la elaboración de dos parámetros principales requeridos por el programa, que son la flota vehicular y la localidad.

El primer parámetro se refiere a la flota vehicular, en la cual se analizaron la cantidad de vehículos y el tipo de carga que movilizan, el uso del aire acondicionado, los patrones de conducción, entre otros factores que inciden en la estimación de los contaminantes.

El segundo parámetro se refiere a la localidad, en éste se analizaron las distancias, la temperatura, la humedad, la altitud con respecto al mar, el número de paradas, la velocidad promedio, la pendiente del recorrido, entre otros factores.

La aplicación del modelo IVE en la presente investigación ha permitido la elaboración de un inventario de emisiones, el cual es muy útil para cuantificar los Contaminantes Criterio, Gases Tóxicos y Gases de Efecto Invernadero.

La recomendación en cuanto al segundo objetivo, es la profundización de la investigación de manera que se pueda elaborar un inventario de emisiones para la ciudad, para conocer la calidad del aire en todo el territorio, el cual incluya a las fuentes móviles y fuentes fijas generadoras de emisiones contaminantes.

El inventario de emisiones es una herramienta útil para los tomadores de decisiones, ya que permite la construcción de Políticas Públicas enfocadas en la reducción de las emisiones contaminantes, de manera que el modelo de desarrollo del territorio esté vinculado a los ODS.

El transporte pesado de carga genera la emisión de varias sustancias tóxicas a la atmósfera, siendo el principal contaminante el Dióxido de Carbono, el mismo que representa 1'238.579,81 de gramos o 1,23 toneladas al mes, con un total anual de 14'862.957,95 de gramos o 14,86 toneladas de CO<sub>2</sub>.

Para entender la magnitud de la contaminación de CO<sub>2</sub> generada por el transporte pesado de carga en el presente estudio, es necesario que se analicen y visualicen de manera sencilla dos parámetros.

El primer parámetro representa la cantidad de kilómetros que un vehículo familiar debe recorrer para generar los 14'862.957,95 gramos de CO<sub>2</sub>, y el segundo parámetro respecto a la cantidad de árboles necesarios para capturar el CO<sub>2</sub> generado.

---

**A qué equivale el CO<sub>2</sub> generado**

Un vehículo familiar produce 115,00 gramos de CO<sub>2</sub> por cada kilómetro que recorre, es decir que para producir los 14'862.957,95 gramos de CO<sub>2</sub> el vehículo familiar debería recorrer una distancia de 129.243,11 km en un año.

Considerando que la distancia terrestre entre Quito y Cuenca es de 464,00 km, se requiere de 139 viajes de ida y 139 viajes de regreso para producir la cantidad de CO<sub>2</sub> antes mencionada al año.

<https://www.diariorenovables.com/2016/05/cuanto-es-una-tonelada-de-co2.html>

---

**Cuántos árboles son necesarios para la captura del CO<sub>2</sub>**

Se estima que un árbol puede capturar 10.000,00 gramos de CO<sub>2</sub> al año, es decir que para capturar los 14'862.957,95 gramos de CO<sub>2</sub>, se requieren 1.486 árboles.

<https://climate.selectra.com/es/actualidad/co2-arbol>

---

*Tabla 11 La generación de CO<sub>2</sub> y su captura.  
Fuente: Elaboración propia.*

- c) El tercer objetivo busca establecer los parámetros básicos de uso de suelo para la implantación de los centros OCE en las ciudades de frontera, como parte de las Políticas Públicas encaminadas a promover el desarrollo sostenible del territorio.

En la resolución SENAE-SENAE-2017-0407-RE se establece que los centros OCE que se encuentran ubicados en las fronteras terrestres, deben implantarse a un máximo de 10 kilómetros del punto de control aduanero, sin que se especifiquen otras condicionantes del uso del suelo.

Esta normativa es muy general y no establece la necesidad de que dichos centros se implanten cerca a la red vial estatal, de manera que los vehículos de transporte pesado de carga no ingresen a las zonas más densamente pobladas.

La recomendación en este sentido, es la inclusión dentro del Plan de Uso y Gestión del Suelo de la ciudad de Tulcán, un uso de suelo dentro de la zona industrial para los centros OCE, en la cual se determine lo siguiente: Los centros OCE se deben implantar en la zona industrial, con conexión directa a la red vial estatal.

Con la inclusión de este uso de suelo se evita la movilización innecesaria de mercancías, reduciendo la contaminación del aire y asegurando la salud de la población.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, Á., & Peña, C. (2018). *Logros y desafíos en la implementación de los ODS en Ecuador*. Quito, Ecuador: Grupo Faro.
- Antún, J. P. (2013). *Distribución Urbana de Mercancías: Estrategias con Centros Logísticos*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Banco Central del Ecuador. (2021). *Boletín Alianza del Pacífico*. Quito.
- Carrión, F. (2011). Economía de fronteras: una atracción fatal. *Fronteras*, 1-12.
- Carrión, F., & Pinto, J. P. (2019). Repensar las fronteras desde sus ciudades. En F. Carrión, & F. Enríquez, *Dinámicas transfronterizas en América Latina : ¿de lo nacional a lo local?* (págs. 3-17). Quito : FLACSO Ecuador.
- Castro, K., & Proaño, Y. (2023). *Análisis de concentración de emisiones gaseosas vehiculares mediante el modelo IVE en el cantón Riobamba*. Riobamba, Ecuador.
- CEPAL, & ACNUDH. (2019). *Cambio climático y derechos humanos: contribuciones desde y para América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile, Chile: Publicaciones de las Naciones Unidas.
- Cevallos, M., Andrade, P., & Jaimes, J. (2022). Impacto de la Decisión 399 de la CAN en la gobernanza del municipio de Tulcán, Ecuador\*. *Estudios de la Gestión*.
- Díaz, S., Mendoza, V., & Porras, C. (2011). UNA GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DE CASO. *Razón y Palabra*, 22.
- Fernández, S. (31 de mayo de 2016). *Diario Renovables*. Obtenido de <https://www.diariorenovables.com/2016/05/cuanto-es-una-tonelada-de-co2.html>
- Garret, C. (19 de abril de 2023). *Climate Consulting by Selectra*. Obtenido de <https://climate.selectra.com/es/actualidad/co2-arbol>
- INEC. (2010). *Censo de Población y Vivienda*. Quito, Ecuador.
- IPCC. (2018). *Global warming of 1.5 °C. Intergovernmental Panel on Climate*. Cambridge, UK: IPCC.
- IVE Model. (2008). *Manual del Usuario del Modelo IVE versión 2.0*. Obtenido de <http://www.issrc.org/ive/downloads/manuals/UsersManual%28sp%29.pdf>

- Landrigan, P., Fuller, R., Acosta, N., Adeyi, O., Arnold, R., Basu, N., . . . Bertollini, R. (2018). The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet*, 462-512.
- Mendieta, J. C., & Perdomo, J. A. (2008). *Fundamentos de la economía del transporte: Teoría, metodología y análisis de la política*. Bogotá, Colombia: Ediciones Uniandes.
- Mendoza, J., & Salazar, A. (2014). *Inventario de emisiones en los principales corredores de transporte carretero en México*. Queretaro, México: Instituto Mexicano del Transporte.
- Monje, C. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa - Guía didáctica*. Neiva, Colombia: Universidad Surcolombiana.
- Mora, J. (2011). El transporte pesado de carga y la economía de la ciudad de Tulcán. *SATHIRI*, 15-24.
- Mundial, F. S. (2012). Carta Mundial por el Derecho a la Ciudad. *Revista de Paz y Conflictos*, 193.
- ONU. (2022). Derecho a un medio ambiente limpio, saludable y sostenible: el medio ambiente no tóxico. *Consejo de Derechos Humanos, 49º período de sesiones*. Ginebra, Suiza: ONU.
- Orbes, B. N. (2014). *El paso de frontera entre el municipio de Ipiales y el cantón Tulcán, período 2004-2012*. Quito, Ecuador: Universidad Andina Simón Bolívar.
- Oyarzún, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*.
- PDOT-Tulcán. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Tulcán 2019-2023*. Tulcán, Ecuador: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Tulcán.
- Prus-Urtun, A. (2006). *Ambientes saludables y prevención de enfermedades : hacia una estimación de la carga de morbilidad atribuible al medio ambiente: resumen*. Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud.
- Reinoso, G., & Veintimilla, A. B. (2022). *Ecuador en la acción climática para jóvenes*. Quito, Ecuador: UNICEF Ecuador.
- Rincón, R. I., Silva, F. L., & Herrera, A. M. (2016). Ipiales y Tulcán: entre la cotidianidad y la construcción de la identidad en la frontera, 1886-1916. Una aproximación a las fuentes documentales. *Historia y Sociedad*, 135-169.

- Romero, M., Diego, F., & Álvarez, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 1-14.
- Salomón, F. (1980). El caso Pasto. En F. Salomón, *Los señores étnicos de Quito en la época de los Incas* (págs. 300-311). Otavalo: FLACSO Ecuador.
- SENAE, S. N. (2015). *Informe de gestión 2015*. Quito: Senae.
- Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica*. México, D. F. : Editorial Limusa.
- UNICEF. (2019). *El aire que respiramos, los efectos de la contaminación del aire y del cambio*. Quito, Ecuador: Letra Sabia.
- Viveros, L. (2020). El efecto péndulo y los negocios comerciales de Tulcán. *SATHIRI*, 9-26.
- Viveros, L. (2021). *El desafío del desarrollo en las fronteras. Tipo de cambio y riesgo: caracterización y estrategia de desarrollo*. Tulcán: Comisión de publicaciones Universidad Politécnica Estatal del Carchi.
- Watts, N., Amann, M., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Belesova, K., & Boykoff, M. (2019). The 2019 report of The Lancet Countdown on health and climate change: Ensuring that the health of a child born today is not defined by a changing climate. *The Lancet*, 1836-1878.
- Yassi A, Kjellstrom T, de Kok T, Guidotti T. (2002). *Salud ambiental básica (versión al español realizada en el INHEM)*. México D. F.: PNUMA.