

## **COOPERACION ALEMANA**



Implementada por

**giz** Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

### **CONTRATACIÓN DE LA CONSULTORÍA:**

“CIUDADES INT.SOST 83273464 EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL, ENERGETICO, EN CONGESTION Y DE USO DEL ESPACIO PUBLICO CAUSADO POR EL TRANSPORTE MOTORIZADO EN EL AREA URBANA DE CUENCA”

### **ENTREGABLE 7**

### **INFORME FINAL**

Este documento de trabajo ha sido realizado en el marco de cooperación técnica de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, por encargo del Ministerio de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) del Gobierno Federal de Alemania, desde el Programa Ciudades Intermedias Sostenibles. Las ideas, opiniones y datos contenidos en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores, y no representan una posición institucional de GIZ o BMZ.

JULIO – 2018

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>6</b>
2.1	Objetivo General .....	6
2.2	Objetivos Específicos.....	6
<b>3</b>	<b>ALCANCE DE LA CONSULTORIA.....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
4.1	Factores de emisión vehiculares .....	7
4.1.1	Modelo simplificado de combustión .....	9
<b>5</b>	<b>CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y FACTORES DE EMISIÓN EN LABORATORIO .....</b>	<b>12</b>
5.1	Cálculo de factores de emisión para motocicletas.....	16
5.2	Factores de emisión en ciclos estacionarios.....	19
<b>6</b>	<b>IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO POR EL TRANSPORTE MOTORIZADO EN EL AREA URBANA DE CUENCA .....</b>	<b>21</b>
<b>7</b>	<b>IMPACTO ECONÓMICO POR LAS EMISIONES VEHICULARES EN CUENCA .....</b>	<b>23</b>
7.1	Introducción .....	23
7.1.1	Marco Legal.....	23
7.2	Marco Teórico.....	26
7.2.1	Bienes públicos y contaminación .....	26
7.2.2	Daño y Reparación Integral .....	27
7.2.3	Evaluación Económica del daño .....	29
7.2.4	Evaluación económica del daño ambiental – costos totales .....	37
7.2.5	Evaluación económica del daño ambiental – aspectos relacionados con la Calidad del aire.....	39
7.2.6	Evaluación económica del daño ambiental – aspecto social .....	40
7.2.7	Beneficio perdido por la afectación al patrimonio intangible debido al daño del recurso natural .....	42
7.2.8	Gastos de Gestión .....	43
7.3	Costo Total (CT) del daño ambiental .....	44
<b>8</b>	<b>IMPACTO POR EL USO DE ESPACIO PÚBLICO .....</b>	<b>45</b>

8.1	Análisis de velocidades .....	45
8.2	Análisis de tiempos de recorrido .....	46
8.3	Análisis de concentraciones vehiculares en horas pico .....	47
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>50</b>
<b>10</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>52</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1:	EQUIVALENTE MOLECULAR PARA COMBUSTIBLE 84% DE C Y 16% DE H....	9
TABLA 2:	CONSUMO DE COMBUSTIBLE VEHÍCULOS LIVIANOS .....	12
TABLA 3:	CONSUMO DE COMBUSTIBLE VEHÍCULOS PESADOS .....	13
TABLA 4:	RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLE DEL VEHÍCULO LIVIANO .....	13
TABLA 5:	RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLE DEL VEHÍCULO PESADO .....	13
TABLA 6:	EMISIONES CONTAMINANTES EN PORCENTAJE VEHÍCULOS LIVIANOS.....	14
TABLA 7:	EMISIONES CONTAMINANTES EN PORCENTAJE VEHÍCULOS PESADOS .....	15
TABLA 8:	FACTORES DE EMISIÓN DE VEHÍCULOS LIVIANOS .....	15
TABLA 9:	FACTORES DE EMISIÓN DE VEHÍCULOS PESADOS .....	16
TABLA 10:	PPM DE HIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS DE MOTOCICLETAS ...	18
TABLA 11:	PORCENTAJE EN VOLUMEN DE CO EN MOTOCICLETAS .....	19
TABLA 12:	CONSUMO TEÓRICO DE COMBUSTIBLE DE MOTOCICLETAS .....	20
TABLA 13:	FACTORES DE EMISIÓN CALCULADO POR CILINDRAJE DE MOTOCICLETAS .....	21
TABLA 14:	FACTOR DE ACTIVIDAD DE LOS AUTOMOTORES PARA LA CIUDAD DE CUENCA .....	21
TABLA 15:	EMISIÓN ANUAL POR PARTE DE LOS VEHÍCULOS LIVIANOS DE CUENCA ..	22
TABLA 16:	EMISIÓN ANUAL POR PARTE DE LOS VEHÍCULOS MOTOCICLETAS DE CUENCA .....	22
TABLA 17:	EMISIÓN ANUAL POR PARTE DE LOS VEHÍCULOS PESADOS DE CUENCA..	23
TABLA 18:	VARIABLES E INDICADORES ESCOGIDOS .....	38
TABLA 19:	MUERTES POR ENFERMEDADES ASOCIADAS A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	41
TABLA 20:	COSTO DE TODAS LAS VARIABLES EN EL CÁLCULO DE LOS COSTOS DE LOS SINIESTROS .....	42
TABLA 21:	CANTIDAD DE VEHÍCULOS Y OCUPACIÓN DE ESPACIO.....	43
TABLA 22:	COSTOS TOTALES.....	44
TABLA 23:	VELOCIDADES POR TIPOS .....	45
TABLA 24:	TIEMPOS DE VIAJE.....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1:	DISTRIBUCIÓN MOTOCICLETAS POR CILINDRAJE (DATOS RTV AÑO 2015) .....	17
FIGURA 2:	CUARTILES HC EN MOTOCICLETAS DE ACUERDO AL CILINDRAJE (DATOS RTV AÑO 2015) .....	18
FIGURA 3:	CUARTILES CO EN MOTOCICLETAS DE ACUERDO AL CILINDRAJE (DATOS RTV AÑO 2015) .....	19
FIGURA 4:	ESQUEMA REPARACIÓN INTEGRAL.....	28

<i>FIGURA 5: APROXIMACIÓN DEL COSTO DE RECUPERACIÓN DEL RECURSO NATURAL AFECTADO.....</i>	<i>30</i>
<i>FIGURA 6: CONCENTRACION DE MOVILIZACIONES EN LA MAÑANA (EQ. CONSULTOR, 2018).....</i>	<i>47</i>
<i>FIGURA 7: CONCENTRACION DE MOVILIZACIONES AL MEDIODÍA (EQ. CONSULTOR, 2018).....</i>	<i>48</i>
<i>FIGURA 8: CONCENTRACION DE MOVILIZACIONES EN LA TARDE-NOCHE (EQ. CONSULTOR, 2018) .....</i>	<i>48</i>



Sigetrans

## 1 ANTECEDENTES

La República del Ecuador y la República Federal de Alemania, acordaron llevar a cabo un programa de cooperación técnica dirigido a fortalecer las capacidades de los principales organismos nacionales y locales involucrados en el desarrollo y la implementación de la política pública del desarrollo urbano en el marco de la Nueva Agenda Urbana.

Se delimitó a través de un proceso preparatorio y participativo, la creación del Programa Ecuatoriano Alemán de "Ciudades Intermedias Sostenibles".

Dicho programa, cuenta con los siguientes ejes: a, Apoyo en el desarrollo de una Agenda Urbana Nacional con enfoque integral y sostenible en el marco de la NAU, COP 21 y ODS; b, Apoyo en la implementación de la AUN: Crear laboratorios de CIS que implementen políticas de desarrollo urbano de enfoque integral y sostenible; c, Generar herramientas para implementación y monitoreo de AUN desde la investigación, la gestión del conocimiento y el desarrollo de capacidades; y d, Desarrollar la corresponsabilidad y la participación ciudadana en el desarrollo urbano sostenible.

En el eje b, Apoyo en la implementación de la AUN: Crear laboratorios de CIS que implementen políticas de desarrollo urbano de enfoque integral y sostenible, luego de una fase de selección en base a indicadores de desarrollo urbano, social y económico, Cuenca ganó en el eje temático de movilidad sostenible y energía eficiente.

De tal manera que la GIZ-Cooperación Técnica Alemana, realiza el proceso de invitación y contratación de la elaboración del estudio para la "Evaluación del Impacto Ambiental, Energético, en Congestión y de uso del Espacio Público causado por el Transporte Motorizado en el área urbana de Cuenca", dentro del Programa "Ciudades Intermedias Sostenibles".

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo General

Evaluar técnicamente el impacto ambiental, energético, de congestión y de uso del espacio público causado por el transporte motorizado, específicamente, autos particulares, buses, taxis y motos en el área urbana de Cuenca.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Identificar el ciclo típico de conducción para Cuenca para cada modo de transporte especificado.
- Cuantificar las emisiones que producen autos particulares, buses, taxis y motos.
- Cuantificar la cantidad de energía que demandan estos vehículos.
- Definir los incrementos de tiempo de desplazamiento por efecto del tráfico vehicular por cada modo de transporte especificado.
- Cuantificar la cantidad de espacio público que demandan los transportes motorizados especificados.
- Valorar el impacto agregado para la ciudad del uso de cada modo de transporte motorizado.
- Capacitar a los técnicos municipales para futuras evaluaciones de este tipo.

## 3 ALCANCE DE LA CONSULTORIA

Determinación de una metodología científico tecnológica innovadora para la cuantificación del volumen de emisiones tóxicas y de efecto invernadero, así como la evaluación del impacto en la ocupación del espacio público de la ciudad de Cuenca, de su flota vehicular.

## 4 MARCO TEÓRICO

## 4.1 Factores de emisión vehiculares<sup>1</sup>

El cálculo de las emisiones contaminantes provenientes de las distintas fuentes móviles que circulan en zonas urbanas, es la base para una adecuada definición de políticas para la planificación del transporte y medidas de control de la contaminación, siendo necesario realizar evaluaciones cada cierto periodo, debido a que la tecnología de los vehículos cambia continuamente.

La cantidad de un contaminante emitido por un proceso de combustión puede expresarse de distintas maneras, como porcentaje volumétrico, partes por millón, fracción molar o fracción másica. Para el caso de los vehículos lo que interesa es la cantidad del contaminante emitido durante su funcionamiento, y a esto se le llama factor de emisión, el que puede expresarse en términos de moléculas o masa por unidad potencia o por unidad de distancia recorrida. Las unidades frecuentemente utilizadas son gr/kWh o gr/km.

Cuando un motor se ensaya en un laboratorio, las emisiones se miden en gr/kWh. Sólo es posible obtener medidas en gramos por kilómetro cuando se utiliza un dinamómetro de chasis, el cual consiste de rodillos sobre el cual van las ruedas del vehículo, y se mide la distancia recorrida a distintas velocidades, simulando el recorrido habitual, o mediante ciclos de conducción en ruta. Esta manera de medir es más representativa ya que no es sólo el motor, sino todo el vehículo con su propio peso el que está siendo evaluado.

El total de emisiones de un vehículo terrestre se determina por la suma de emisiones de tres fuentes diferentes; éstas son:

- Emisión en caliente (por tubo de escape con motor caliente): cuando hay estabilidad térmica en la operación del motor.
- Emisión de partida en frío (en proceso de calentamiento): fase durante la cual el motor está alcanzando la temperatura para su funcionamiento óptimo.
- Emisión evaporativa del combustible (hidrocarburos evaporados).

---

<sup>1</sup> Fuente: PORTILLA A.; DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA ALTURA EN EMISIONES CONTAMINANTES DE UN VEHÍCULO CON MOTOR DE CICLO OTTO, DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE GASOLINA; Quito-Ecuador; 2010.

Es importante en la estimación de las emisiones del vehículo, las condiciones de operación del motor. La distinción de emisión en caliente y en frío es necesaria debido a que hay una diferencia de emisiones muy significativa entre estas dos condiciones de operación. Las concentraciones de la mayor parte de contaminantes son más altas durante la fase en frío, por el uso ineficiente del combustible.

La relación básica usada para el cálculo de emisiones totales generadas por un vehículo es:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{caliente}} + E_{\text{partida}} + E_{\text{evaporativas}}$$

Donde:

$E_{\text{total}}$  = Total de emisiones de un contaminante (g).

$E_{\text{caliente}}$  = Emisiones durante la estabilidad térmica de funcionamiento del motor (g).

$E_{\text{partida}}$  = Emisiones durante la fase de transición en la cual el motor está alcanzando la temperatura óptima de funcionamiento (g).

$E_{\text{evaporativas}}$  = Emisiones generadas por la evaporación del combustible (g).

Las emisiones evaporativas se hacen significativas al tratarse de vehículos a gasolina, por lo que el cálculo se refiere a este segmento del grupo de fuentes móviles. La estimación de emisiones vehiculares se realiza a través de cálculos teóricos utilizando balance de masa de la combustión ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  y plomo) o bien, a través de los factores de emisión obtenidos a partir de ensayos experimentales (para la mayoría de los contaminantes gaseosos y partículas).

Cuando se evalúa el factor de emisión se asume que es independiente del tamaño de la fuente y del nivel de actividad de ésta. Su determinación obedece a modelos que reflejan las características locales de la zona analizada, considerando los efectos de varios parámetros tales como las diferentes modalidades de conducción, el tipo de motor, características del combustible, las velocidades de operación del vehículo, niveles variables de mantenimiento, alteraciones de los sistemas de control de emisiones, la tecnología para el control de emisiones, la temperatura ambiente, altitud, kilometraje y la pendiente del terreno.

Los cálculos de emisión que tengan como base la actividad vehicular, en particular las en caliente, se pueden estimar por medio de un factor de



emisión y parámetros relativos a la operación del vehículo, además de los factores de corrección correspondientes.

$$ET_p = FE_p NA_p FC_p$$

Donde:

**ET<sub>p</sub>** = Emisiones totales del contaminante p (g).

**FE<sub>p</sub>** = Factor de emisión del contaminante p (g/km).

**NA<sub>p</sub>** = Nivel de actividad vehicular relevante para emisiones tipo p. (km)

**FC<sub>p</sub>** = Factores de corrección

#### 4.1.1 Modelo simplificado de combustión<sup>2</sup>

El punto de partida para el cálculo de la combustión es desarrollar una fórmula molecular equivalente para el combustible. Se asume que el combustible está compuesto de carbono e hidrógeno con cantidades despreciables de otras especies para el propósito del balance de masa. En la tabla siguiente, se muestra el equivalente molecular para un combustible que contiene 84% en peso de carbono y 14% en peso de hidrógeno (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>), a manera de ejemplo.

Tabla 1: EQUIVALENTE MOLECULAR PARA COMBUSTIBLE 84% DE C Y 16% DE H

Componente	lb por 100 lb combustible	Peso Molecular	lbmol por 100 lb combustible	lbmol por lbmol C
Carbono	84	12	7	1.00
Hidrógeno	16	1	16	2.285

En forma general, se establece la fórmula equivalente molecular CH<sub>y</sub>:

$$y = \left( \frac{\% \text{ peso H}}{\% \text{ peso C}} \right) \left( \frac{MW_C}{MW_H} \right)$$

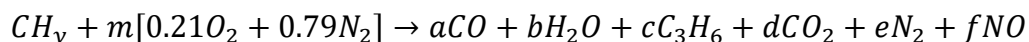
Donde:

MW<sub>C</sub>= peso molecular del carbono

MW<sub>H</sub>= peso molecular del hidrógeno

<sup>2</sup> Fuente: FREY H., EICHENBERGER D.; REMOTE SENSING OF MOBILE SOURCE AIR POLLUTANT EMISSIONS, NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY, Junio 1997.

Se consideran como productos de combustión los siguientes: CO, H<sub>2</sub>O, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y NO. El balance para la combustión sin considerar el exceso de oxígeno, está dado por:



Donde las variables a, b, c, d, e, f y m son los coeficientes estequiométricos desconocidos.

Las ecuaciones del balance de número de átomos, se pueden escribir para cada elemento como sigue:

Elemento	Reactantes	Productos
<b>Carbono (C)</b>	1	= a+3c+d
<b>Hidrógeno (H)</b>	4	= 2b+6c
<b>Oxígeno (O)</b>	0.42	= a+b+2d+f
<b>Nitrógeno (N)</b>	1.58	= 2e+f

Mediante el análisis de gases para la prueba estacionaria y en ruta, se determinan las concentraciones volumétricas de los mismos, considerándose éstas como concentraciones molares y los gases ideales.

Se pueden introducir las siguientes ecuaciones:

$$R_{CO} = \left( \frac{\%CO}{\%CO_2} \right) = \frac{a}{d}$$

$$R_{HC} = \left( \frac{\%HC}{\%CO_2} \right) = \frac{c}{d}$$

$$R_{NO} = \left( \frac{\%NO}{\%CO_2} \right) = \frac{f}{d}$$

Donde: R<sub>CO</sub>, R<sub>HC</sub> y R<sub>NO</sub> son las razones de %CO a %CO<sub>2</sub>, %HC a %CO<sub>2</sub> y %NO a %CO<sub>2</sub>, respectivamente.

De estas ecuaciones se obtiene que:

$$a = R_{CO}d$$

$$c = R_{HC}d$$

Reemplazando éstas relaciones en la ecuación anterior, se obtiene:

$$d = \frac{1}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1}$$

Los factores de emisión en gramos de contaminante por kilogramo de combustible están dados por:

$$F_{CO} = \frac{aMW_{CO}}{MW_{Combustible}}$$

$$F_{HC} = \frac{cMW_{HC}}{MW_{Combustible}}$$

$$F_{NO} = \frac{fMW_{NO}}{MW_{Combustible}}$$

Para el  $C_8H_{18}$ , el equivalente es  $CH_{2.25}$ , y se tiene:

$$F_{CO} = \frac{R_{CO}}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} * \frac{MW_{CO}}{MW_{Combustible}}$$

$$F_{HC} = \frac{R_{HC}}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} * \frac{MW_{HC}}{MW_{Combustible}}$$

$$F_{NO} = \frac{R_{NO}}{R_{CO} + 3R_{HC} + 1} * \frac{MW_{NO}}{MW_{Combustible}}$$

El peso molecular del combustible:

$$MW_{Combustible} = \frac{12g C}{mol C} * \left( \frac{1mol C}{mol comb} \right) + \frac{1g H}{mol H} * \left( \frac{2.25 mol H}{mol comb} \right) = 14.25 \frac{g comb}{mol comb}$$

Si la densidad de combustible es  $\rho_{comb}$  ( $kg/m^3$ ) y el consumo de combustible en una distancia recorrida es  $CC$  ( $m^3/km$ ), entonces se obtienen los factores de emisión en gramos de contaminante por kilómetro recorrido, así:

$$F'_{CO} = F_{CO} * \rho_{combustible} * CC$$

$$\frac{g CO}{km} = \frac{28 \frac{\%CO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left( 3 * \frac{\%HC}{\%CO_2} \right) + 1} * \frac{\rho_{combustible} * CC}{0.01425}$$

$$\frac{g \text{ HC}}{km} = \frac{42 \frac{\%HC}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + (3 * \frac{\%HC}{\%CO_2}) + 1} * \frac{\rho_{combustible} * CC}{0.01425}$$

$$\frac{g \text{ NO}}{km} = \frac{30 \frac{\%CO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + (3 * \frac{\%HC}{\%CO_2}) + 1} * \frac{\rho_{combustible} * CC}{0.01425}$$

## 5 CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y FACTORES DE EMISIÓN EN LABORATORIO

A continuación, se expone los resultados obtenidos en el ciclo de conducción de la ciudad de Cuenca para los diez vehículos livianos y tres vehículos pesados evaluados.

El consumo de combustible de un automotor depende de múltiples factores, tales como la tecnología del motor, el cilindraje, la carrocería, la manera de conducir y las condiciones ambientales.

Para un ciclo de conducción definido y con un procedimiento experimental homogéneo, el consumo de combustible para la ruta de 4,5 km en dinamómetro, tiende a ser directamente proporcional al cilindraje del automotor, por lo que en el vehículo 10 correspondiente al TOYOTA HILUX con un cilindraje de 2,7 litros consume la mayor cantidad de combustible (0,55 litros) en comparación con los otros vehículos, tal como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 2: CONSUMO DE COMBUSTIBLE VEHÍCULOS LIVIANOS

CONSUMO DE COMBUSTIBLE VOLUMÉTRICO VEHÍCULOS LIVIANOS										
VEHÍCULO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CÓDIGO	CH_GV IT	HY_AC CE	CH_AVE O	CH_CEV O	MA_BT 50	SU_FO RS	NI_SE NT	CH_LUV D	HY_TU CS	TO_HIL U
LITROS (lt)	0,44	0,37	0,31	0,38	0,4	0,45	0,44	0,53	0,44	0,55

En el caso de los vehículos pesados el bus que corresponde a la marca HINO y modelo FG1JPUZ posee el mayor consumo de combustible en el ciclo de conducción definido de 2,088km.

Tabla 3: CONSUMO DE COMBUSTIBLE VEHÍCULOS PESADOS

CONSUMO DE COMBUSTIBLE VOLUMÉTRICO VEHÍCULOS PESADOS			
VEHÍCULO	1	2	3
CÓDIGO	HN_AK	CH_NJR	MB_1721
LITROS (lt)	0,51	0,21	0,4

Para efectuar la prueba de consumo de combustible se conectó directamente al circuito de alimentación del motor con el fin de obtener la medición exacta del combustible necesario para recorrer el trayecto del ciclo definido, que siempre estará presente que al incrementar la velocidad el consumo de combustible aumenta.

La medición del rendimiento de consumo de combustible en un automotor está dada por la distancia recorrida sobre la cantidad volumétrica de combustible utilizada, expresa generalmente en km/lt o km/gal. El mejor rendimiento en los vehículos pesados se observa en el vehículo 3, CHEVROLET AVEO con un rendimiento de 54,479km/gal como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 4: RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLE DEL VEHÍCULO LIVIANO

CONSUMO DE COMBUSTIBLE KILOMETRO POR VOLUMEN										
VEHÍCULO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CÓDIGO	CH_G VIT	HY_AC CE	CH_AV EO	CH_CE VO	MA_BT 50	SU_FO RS	NI_SE NT	CH_LU VD	HY_TU CS	TO_HI LU
Consumo (Km/lt)	7,955	12,146	4,497	11,826	11,235	0,987	10,214	8,479	10,214	8,171
Consumo (Km/gal)	29,893	45,644	54,479	44,443	42,221	37,53	38,383	31,865	38,383	30,706

Con respecto a los vehículos pesados el de mayor rendimiento corresponde al vehículo CHEVROLET NJR con un 37,365 km/gal.

Tabla 5: RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLE DEL VEHÍCULO PESADO

CONSUMO DE COMBUSTIBLE KILOMETRO POR VOLUMEN			
VEHÍCULO	1	2	3
CÓDIGO	HN_AK	CH_NJR	MB_1721
Consumo (Km/lt)	4,094	9,943	5,220
Consumo (Km/gal)	15,386	37,365	19,617

Las emisiones contaminantes vehiculares son producto de la quema del combustible (sea éste gasolina, diésel u otros como gas licuado o biocombustibles) y comprenden a una serie de contaminantes tales como: el monóxido y bióxido de carbono, los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno y material particulado. Además, ciertos contaminantes presentes en el combustible como el azufre. Las emisiones por el tubo de escape dependen de las características del vehículo, su tecnología, su sistema de control de emisiones, el estado de mantenimiento del vehículo, la velocidad de circulación, la frecuencia e intensidad de las aceleraciones y las características del combustible.

Al observar el resultado de las emisiones contaminantes en porcentaje en la siguiente tabla de los diez automotores livianos evaluados, sobresale como el vehículo con mayor emisiones contaminantes el número 6, correspondiente al automotor de marca SUZUKI modelo FORSA 1, atribuido su comportamiento a su tecnología de fabricación, ya que corresponde a un año modelo 1991, cuyo sistema de alimentación de combustible es completamente mecánico mediante un carburador y su la configuración del motor no posee sistemas de reducción de emisiones, como es el uso de catalizadores en el tubo de escape.

El monóxido de carbono (CO) elevado es consecuencia de la mala combustión de combustible por ineficacia de la tecnología del motor, y las partículas de hidrocarburos (HC) son las que no reaccionaron en el proceso de la combustión.

Tabla 6: EMISIONES CONTAMINANTES EN PORCENTAJE VEHÍCULOS LIVIANOS

VEHÍCULO	EMISIONES CONTAMINANTES EN PORCENTAJE									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CÓDIGO	CH_GVIT	HY_ACCE	CH_AVEO	CH_CEVO	MA_BT50	SU_FORA	NI_SENT	CH_LUVD	HY_TUCS	TO_HILU
CO [%v]	1,501	0,181	0,106	1,243	1,291	4,621	0,270	0,650	0,205	0,454
CO2 [%v]	11,120	12,410	12,840	12,100	12,950	9,420	12,140	12,980	13,370	13,810
HC [%v]	0,023	0,006	0,005	0,056	0,069	0,201	0,023	0,013	0,006	0,018
O2 [%v]	3,940	2,830	2,050	1,922	0,990	2,830	3,350	1,410	1,410	0,660
NOx [%v]	0,053	0,038	0,087	0,228	0,083	0,137	0,088	0,079	0,081	0,038

El vehículo con mayor con mayores emisiones contaminantes de los tres automotores corresponde al tres, MERCEDES BENZ 1721 correspondiente a su alto cilindraje del motor.

Tabla 7: EMISIONES CONTAMINANTES EN PORCENTAJE VEHÍCULOS PESADOS

VEHÍCULO	EMISIONES CONTAMINANTES EN PORCENTAJE		
	1	2	3
<b>CÓDIGO</b>	HN_AK	CH_NJR	MB_1721
CO [%v]	0,030	0,065	0,078
CO2 [%v]	2,800	2,890	3,750
HC [%v]	0,000	0,003	0,004
O2 [%v]	16,840	16,680	15,250
NOx [%v]	0,028	0,033	0,088

Los Factores de emisión vehicular son valores que representan la cantidad producida de un contaminante por una distancia recorrida, es decir, es la cantidad del contaminante emitido durante su funcionamiento, y son expresadas en moléculas o masa por unidad de potencia o por unidad de distancia (g/kWh o g/km).

Con la evaluación en laboratorio utilizando un ciclo de conducción en un dinamómetro de chasis se obtiene los gramos por kilómetro de cada contaminante del automotor, siendo una medición representativa ya que no es la evaluación de sólo el motor, sino todo el vehículo con sus componentes.

La tecnología del motor y los elementos de reducción de emisiones que lo constituyen son determinantes en la producción de la cantidad de emisiones contaminantes. Vehículos que cuenten con sistema de alimentación mecánica, sin sistemas de reducción de emisiones, contribuyen a la producción elevada de contaminantes a la atmósfera.

Un vehículo cuyo cilindraje es menor (1000 cc) puede ser una mayor fuente de contaminación por la tecnología del motor que lo constituye. Lo que se refleja con el vehículo 6, SUZUKI FORSA el de más altos niveles de factores de emisión.

Tabla 8: FACTORES DE EMISIÓN DE VEHÍCULOS LIVIANOS

VEHÍCULO	FACTORES DE EMISIÓN									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CÓDIGO	CH_GVI T	HY_ACC E	CH_AVE O	CH_CEV O	MA_BT5 O	SU_FOR S	NI_SEN T	CH_LUV D	HY_TUC S	TO_HIL U
FCO (g/Km)	21,739	1,728	0,825	11,373	11,627	46,195	3,097	8,199	2,159	5,673
FHC (g/Km)	0,495	0,09	0,057	0,764	0,929	3,01	0,391	0,24	0,093	0,341
FNOX (g/Km)	0,829	0,39	0,721	2,231	0,798	1,462	1,077	1,073	0,908	0,502

La cantidad producida de emisiones siempre tiene una relación directa con el cilindraje del motor, y la tecnología de sus elementos que lo constituyen, obteniendo así que el automotor con mayores factores de emisión corresponde al MERCEDES BENZ 1721 con un cilindraje de 10.000 centímetros cúbicos y el año de fabricación del 2004.

Tabla 9: FACTORES DE EMISIÓN DE VEHÍCULOS PESADOS

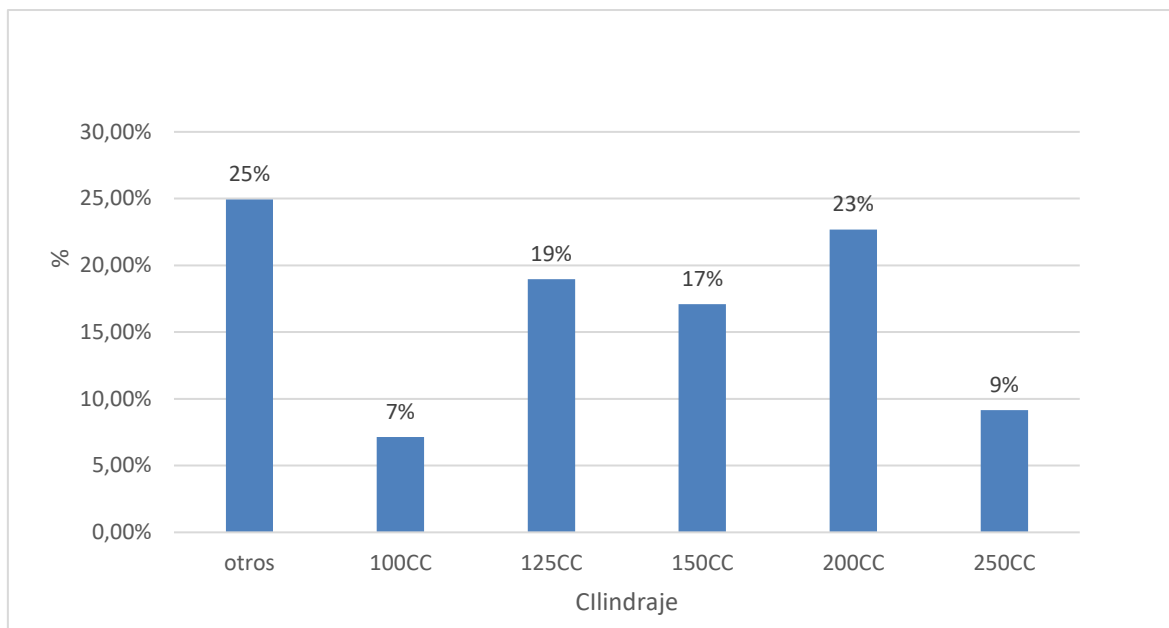
VEHÍCULO	FACTORES DE EMISIÓN		
	1	2	3
CÓDIGO	HN_AK	CH_NJR	MB_1721
FCO (g/Km)	4,322	3,683	6,498
FHC (g/Km)	0,086	0,272	0,512
FNOX (g/Km)	4,276	1,991	7,810

### 5.1 Cálculo de factores de emisión para motocicletas

El dinamómetro de chasis utilizado para las pruebas de conducción de los vehículos livianos y pesados que se encuentra en el Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares, no permite evaluar a motocicletas, por lo que la determinación de los factores de emisión para este segmento se realizará mediante cálculos de emisiones vehiculares.

Para la incidencia de las emisiones vehiculares en el parque automotor de motocicletas para la ciudad de Cuenca inicialmente se realiza el análisis en la distribución de la cantidad de motos de acuerdo a su cilindraje. Para lo cual se evalúa la información proporcionada por la Revisión Técnica Vehicular correspondiente al año 2015 y se obtiene la siguiente distribución:





*Figura 1: Distribución motocicletas por cilindraje (Datos RTV año 2015)*

*Fuente: Base de Datos RTV Cuenca 2015*

*Elaboración: Equipo consultor*

El 66% del parque vehicular de motocicletas corresponden a las que cuentan con un cilindraje menor igual a 200 centímetros cúbicos (CC).

Como procedimiento de inspección de las motocicletas en el proceso de la revisión técnica vehicular se realiza la prueba estacionaria de emisiones, que mediante equipos de medición de gases de combustión se obtiene los óxidos de carbono, hidrocarburos no combustionados y óxidos de nitrógeno.

Con la información procesada de la RTV de la ciudad de Cuenca del año 2015 se realiza un análisis de los resultados del parque vehicular de motocicletas de los Hidrocarburos no combustionados (HC) y el monóxido de carbono (CO) mediante diagramas de cajas, que están basados en los cuartiles y se puede visualizar la distribución de los valores medidos de cada motocicleta de acuerdo a su cilindraje.

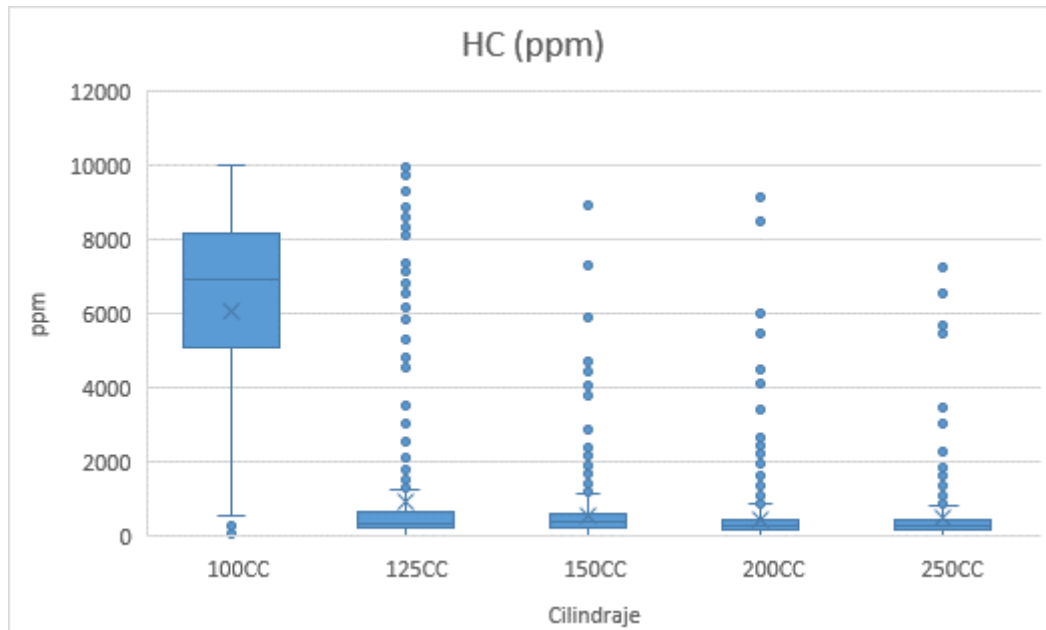


Figura 2: Cuartiles HC en motocicletas de acuerdo al cilindraje (Datos RTV año 2015)

Fuente: Base de Datos RTV Cuenca 2015

Elaboración: Equipo consultor

Las partículas de hidrocarburos (HC) son las que no reaccionaron en el proceso de la combustión, y el valor promedio de HC se encuentra en motocicletas que poseen 100cc, con un valor de 6060 ppm de HC, lo que corresponde a poseer motores de dos tiempos que hace que el llenado y vaciado del cilindro es de peor calidad, permitiendo que la combustión no sea tan completa como debiera y por tanto aumentando las emisiones de HC.

Tabla 10: PPM DE HIDROCARBUROS NO COMBUSTIONADOS DE MOTOCICLETAS

		CILINDRAJE (cc)				
		100	125	150	200	250
PROMEDIO	HC (ppm)	6060	921	556	458	507

El monóxido de carbono se genera por la combustión incompleta del carburante producida por la falta de oxígeno. La evaluación de esta contaminante en la prueba estacionaria en el CRTV se observa que se encuentra en promedio al 5% en volumen de CO.

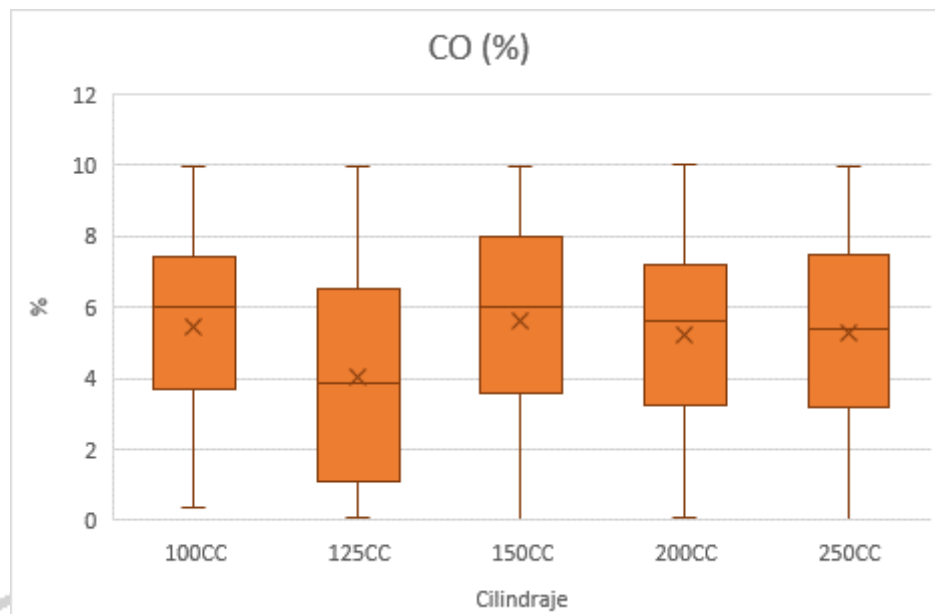


Figura 3: Cuartiles CO en motocicletas de acuerdo al cilindraje (Datos RTV año 2015)

Fuente: Base de Datos RTV Cuenca 2015

Elaboración: Equipo consultor

El valor promedio del porcentaje de CO es de 5,12% para cada cilindraje de motocicleta analizado, encontrándose en un valor moderado dentro de la calificación de la RTV.

Tabla 11: PORCENTAJE EN VOLUMEN DE CO EN MOTOCICLETAS

	CILINDRAJE (cc)				
	100	125	150	200	250
PROMEDIO CO (%)	5,44	4,06	5,61	5,24	5,27

## 5.2 Factores de emisión en ciclos estacionarios

Para la determinación de los factores de emisión en base a la prueba estática se utiliza las siguientes fórmulas<sup>3</sup>:

<sup>3</sup>CAIZA, PORTILLA, Determinación de la influencia de la altura en emisiones contaminantes de un vehículo con motor ciclo Otto, de inyección electrónica de gasolina, EPN, Quito, 2010.

$$\frac{g\ CO}{km} = \frac{28 \frac{\%CO}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 * \frac{\%HC}{\%CO_2}\right) + 1} * \frac{\rho_{combustible} * CC}{0.01425}$$

$$\frac{g\ HC}{km} = \frac{42 \frac{\%HC}{\%CO_2}}{\frac{\%CO}{\%CO_2} + \left(3 * \frac{\%HC}{\%CO_2}\right) + 1} * \frac{\rho_{combustible} * CC}{0.01425}$$

Donde:

La densidad de combustible ( $\rho_{combustible}$ ) que se considera para el cálculo es el valor medio entre 0,6695 kg/l y 0,770 kg/l<sup>4</sup>, (719,75 kg/m<sup>3</sup>).

CC corresponde en la fórmula al inverso del consumo teórico de combustible por una distancia recorrida (m<sup>3</sup>/km). Para el caso de la evaluación de las motocicletas de acuerdo al cilindraje se estable este consumo de acuerdo a la siguiente tabla<sup>5</sup>:

Tabla 12: CONSUMO TEÓRICO DE COMBUSTIBLE DE MOTOCICLETAS

Cilindrada (cc)	Consumo Teórico (km/gal)
100	150
125	140
150	135
200	125
250	110

Para los valores de dióxido de carbono (%CO<sub>2</sub>) se asume un valor fijo de 8% de CO<sub>2</sub> como valor referencial del estudio de la Universidad Nacional de Colombia, ya que éstos valores no se visualizaron en el archivo de la RTV, con la posibilidad de reajustar los resultados cuando se obtenga dichos valores.

<sup>4</sup> TORRES, URBINA, Determinación de los factores de emisión de Motores de Ciclo OTTO en la ciudad de Quito, EPN, Quito, 2007.

<sup>5</sup> GIRALDO, TORO, Estimación de la Emisión de contaminantes por motocicletas en el Valle de Aburra, Universidad Nacional de Colombia, 2008.

Con los valores medidos, calculados y asumidos se procede a determinar los factores de emisión de hidrocarburos no combustionados y los factores de emisión de monóxido de carbono utilizando las ecuaciones descritas anteriormente. En la siguiente tabla se detalla los factores de emisiones resultantes:

Tabla 13: FACTORES DE EMISIÓN CALCULADO POR CILINDRAJE DE MOTOCICLETAS

CILINDRAJE (cc)	HC (ppm)	HC (%)	CO (%)	CO2 (%)	Consumo T. (km/gal)	CC (m3/km)	FHC (g/km)	FCO (g/km)
100	6060,24	6,06	5,44	8	150	2,52E-05	10,26	6,14
125	920,63	0,92	4,06	8	140	2,70E-05	3,56	10,48
150	555,63	0,56	5,61	8	135	2,80E-05	2,16	14,56
200	458,05	0,46	5,24	8	125	3,03E-05	2,01	15,36
250	506,93	0,51	5,27	8	110	3,44E-05	2,50	17,35

## 6 IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO POR EL TRANSPORTE MOTORIZADO EN EL AREA URBANA DE CUENCA

Con el cálculo de los factores de emisión realizado en el estudio para los distintos segmentos del parque automotor de la ciudad de Cuenca, se procede a extrapolar los valores obtenidos con el objetivo de determinar la contribución total del transporte en el impacto ambiental anual.

La Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca ha proporcionado la información de distancia recorrida por año para cada tipo de vehículo, datos importantes de actividad de los automotores para el cálculo de emisiones totales.

Tabla 14: FACTOR DE ACTIVIDAD DE LOS AUTOMOTORES PARA LA CIUDAD DE CUENCA

Vehículos	Cantidad	Distancia Recorrida por año (Km/año)
Livianos	91084	16000
Motocicletas	8531	12000
Pesados	10731	75000

FUENTE: EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE MOVILIDAD, TRÁNSITO Y TRANSPORTE DE CUENCA

Con la cantidad de vehículos para cada tipo de parque automotor y definida la actividad de circulación de los vehículos se determinada la

contribución anual de emisiones para cada segmento del parque automotor.

Para el parque automotor de livianos presenta 15249 toneladas de monóxido de carbono, 771 toneladas de hidrocarburos sin combustionar y 1355 toneladas de óxidos de nitrógeno, siendo el segmento que mayormente contribuye en la emisión de monóxido de carbono, un gas que, al combinarse con la hemoglobina en lugar del oxígeno, impide que éste circule por la sangre, que en ambientes cerrados puede causar hasta la muerte.

Tabla 15: EMISIÓN ANUAL POR PARTE DE LOS VEHÍCULOS LIVIANOS DE CUENCA

N o.	MARCA	MODELO	CILINDRAJE (CC)	%	FCO (g/km)	FHC (g/km)	FNOX (g/km)	CO (Ton/año)	HC (Ton/año)	NOX (Ton/año)
1	MAZDA	BT50 CABINA DOBLE	2200	5,2 %	46,195	3,01	1,462	3517,79	229,21	111,33
2	TOYOTA	HILUX 4X2	2700	6,2 %	3,097	0,391	1,077	278,10	35,11	96,71
3	NISSAN	SENTRA 1.6	1600	8,0 %	5,673	0,341	0,502	657,75	39,54	58,20
4	CHEVRO LET	LUV D-MAX C/D 4X2	2400	9,5 %	8,199	0,24	1,073	1136,84	33,28	148,78
5	CHEVRO LET	CORSA EVOLUTION 4P 1.8	1800	9,5 %	11,373	0,764	2,231	1578,94	106,07	309,74
6	CHEVRO LET	AVEO FAMILY 1.5L	1500	10,1 %	2,159	0,093	0,341	318,56	13,72	50,31
7	HYUNDA I	ACCENT 1.6 4P 4X2 TM	1600	12,3 %	11,627	0,929	0,798	2085,06	166,60	143,10
8	HYUNDA I	TUCSON 5P 4X2 2.0 TM	2000	12,7 %	1,728	0,09	0,39	320,99	16,72	72,44
9	SUZUKI	FORSA 1.0	1000	15,9 %	0,825	0,057	0,721	191,31	13,22	167,19
10	CHEVRO LET	GRAND VITARA 2.0L 5P DLX 4X2	2000	16,3 %	21,739	0,495	0,829	5163,46	117,57	196,90
								<b>15248,78</b>	<b>771,03</b>	<b>1354,72</b>

El parque automotor de motocicletas por su cantidad tiende a no considerar como mayor influencia en la producción de emisiones vehiculares, pero su tecnología de combustión refleja una presencia de hidrocarburos no combustionados importante si es comparado con los otros segmentos automotrices con 336 toneladas anuales, que al ser combinados con los óxidos de nitrógeno y en presencia de la luz solar, forman oxidantes fotoquímicos que son componentes de la niebla fotoquímica.

Tabla 16: EMISIÓN ANUAL POR PARTE DE LOS VEHÍCULOS MOTOCICLETAS DE CUENCA

No.	CILINDRAJE (CC)	%	FCO (g/km)	FHC (g/km)	CO (Ton/año)	HC (Ton/año)
1	100	9,5%	6,14	10,26	59,72	99,80
2	125	25,3%	10,48	3,56	271,09	92,20
3	150	22,8%	14,56	2,16	339,52	50,48
4	200	30,2%	15,36	2,01	475,32	62,29

No.	CILINDRAJE (CC)	%	FCO (g/km)	FHC (g/km)	CO (Ton/año)	HC (Ton/año)
5	250	12,2%	17,35	2,50	216,87	31,26
					<b>1362,51</b>	<b>336,03</b>

La mayor contribución de emisiones vehiculares del parque automotor de vehículos pesados está en la producción de óxidos de nitrógeno (NOx) con 7569 toneladas anuales, gases que son producidas por el efecto de las altas temperaturas y elevadas presiones que trabaja como característica un motor de ciclo diésel. Los óxidos de nitrógeno son el principal causante del smog y la lluvia ácida.

Tabla 17: EMISIÓN ANUAL POR PARTE DE LOS VEHÍCULOS PESADOS DE CUENCA

No.	MARCA	MODEL O	CILINDRAJE (CC)	%	FCO (g/km)	FHC (g/km)	FNOX (g/km)	CO (Ton/año)	HC (Ton/año)	NOX (Ton/año)
1	CHEVROLET	NJR	2800	15,8 %	3,683	0,272	1,991	467,09	34,50	252,51
2	HINO	FG1JPU Z	7700	44,1 %	4,322	0,086	4,276	1534,00	30,52	2748,14
3	MERCEDES BENZ	OF 1721	10000	40,1 %	6,498	0,512	7,81	2099,33	165,41	4568,91
								<b>4100,42</b>	<b>230,43</b>	<b>7569,56</b>

## 7 IMPACTO ECONÓMICO POR LAS EMISIONES VEHICULARES EN CUENCA

### 7.1 Introducción

La constitución del Ecuador habla sobre la reparación integral y el daño ambiental, incluso desde la visión de dar a la naturaleza como sujeto de derecho susceptible de ser reparado. La valoración económica se propone como metodología para valorar los potenciales impactos derivados del transporte motorizado y requiere una atención en esta consultoría.

#### 7.1.1 Marco Legal

Para el desarrollo de este componente se ha determinado la aplicación de lo establecido en el marco legal ambiental ecuatoriano, específicamente en:

#### ***Constitución de la República del Ecuador***

- **Art. 14.-** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

- **Art. 15.-** El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

La responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas.

- Art. 396.- ... Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente.

Las acciones legales para perseguir y sancionar por daños ambientales serán imprescriptibles.

### ***Código Orgánico del Ambiente***

**Artículo 3.- De los fines.**, numeral 5 Regular las actividades que generen impacto y daño ambiental, a través de normas y parámetros que promuevan.

**Artículo 7.- Deberes comunes del Estado y las personas.**, numeral 4 Prevenir, evitar y reparar de forma integral los daños y pasivos ambientales y sociales

**Artículo 9.- Principios ambientales. Numeral 2. Mejor tecnología disponible y mejores prácticas ambientales.** El Estado deberá



promover en los sectores público y privado, el desarrollo y uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto, que minimicen en todas las fases de una actividad productiva, los riesgos de daños sobre el ambiente, y los costos del tratamiento y disposición de sus desechos. Deberá también promover la implementación de mejores prácticas en el diseño, producción, intercambio y consumo sostenible de bienes y servicios, con el fin de evitar o reducir la contaminación y optimizar el uso del recurso natural.

**Artículo 24.- Atribuciones de la Autoridad Ambiental Nacional.,** numeral 13. Emitir lineamientos y criterios, así como diseñar los mecanismos de reparación integral de los daños ambientales, así como controlar el cumplimiento de las medidas de reparación implementadas;

**Artículo 289.- Determinación del daño ambiental.** La Autoridad Ambiental Nacional determinará los lineamientos y criterios para caracterizar, evaluar y valorar el daño ambiental, así como las diferentes medidas de prevención y restauración. Para ello, podrá solicitar o recibir el apoyo y colaboración de las instituciones públicas o privadas, así como de instituciones científicas y académicas.

La Autoridad Ambiental Nacional validará la metodología para la valoración del daño ambiental. Entre los criterios básicos para la determinación del daño ambiental, se considerará el estado de conservación de los ecosistemas y su integridad física, la riqueza, sensibilidad y amenaza de las especies, la provisión de servicios ambientales, los riesgos para la salud humana asociados al recurso afectado y los demás que establezca la Autoridad Ambiental Nacional.

**Acuerdo Ministerial 001 Lineamientos para la aplicación de la compensación por afectaciones socioambientales dentro del marco de la política pública de reparación integral.**

**RO. 819, 29-10-2012**

**Art. 2.-** La aplicación de los lineamientos para la compensación por afectaciones socio-ambientales son de carácter nacional y en relación a todas las actividades económicas estratégicas en las que los Ministerios de Ambiente y de Recursos Naturales No Renovables comparten competencias en el control, que asegura una adecuada operación de

dichas actividades y la conservación de los recursos naturales asociados a las mismas.

## 7.2 Marco Teórico

### 7.2.1 Bienes públicos y contaminación

Los recursos naturales presentan un reto en cuanto a su preservación cuando estos son **bienes públicos**, es decir cuando estos son de libre acceso a todas las personas (no exclusión) y si alguien lo consume no reduce el consumo potencial de los demás (no rivalidad)<sup>6</sup>. Este es el caso del aire pues las fuentes contaminantes son varias y difíciles de determinar: fijas como las industriales y móviles como los automotores; y sus efectos pueden sentirse a nivel local como global.

La economía define dos tipos de contaminación:

#### **Contaminación Natural:**

Es decir, la producida por fenómenos físicos y químicos de manera natural, por ejemplo, una erupción volcánica.

#### **Contaminación Económica:**

La definición económica de la contaminación depende tanto del efecto físico de los residuos sobre el medio ambiente, como de la reacción humana frente a ese efecto<sup>7</sup>. Así su manifestación puede ser física, biológica o química. La reacción humana muestra una expresión de desagrado, preocupación o ansiedad, es decir una pérdida de bienestar. Es decir, la contaminación económica se da cuando una actividad económica causa una externalidad negativa, coste externo o deseconomía.

Una externalidad se da cuando se presentan las dos condiciones siguientes:

- a) Una actividad de un agente provoca la pérdida de bienestar a otro agente
- b) La pérdida de bienestar no está compensada

---

<sup>6</sup> PIERCE. TURNER. **Economía de Recursos Naturales y del Medio Ambiente**. Celeste Ediciones. Colegio de Economistas de Madrid. España. 1995. Pág. 3

<sup>7</sup> *Ibíd.* Pág. 93

En este sentido la contaminación del aire se convierte en una externalidad por la cual nadie compensa a los posibles afectados pues además es complejo la identificación y determinación individual del daño causado y la magnitud de afectación a cada individuo.

### 7.2.2 Daño y Reparación Integral

El marco teórico tiene sus fundamentos en la Economía Ambiental, la cual se concentra en la relación existente entre calidad ambiental y bienestar de los individuos generados por las externalidades de la actividad económica.

Algunos de los impactos determinados en el entregable uno, derivados del sistema de transporte, son considerados como externalidades, es decir es un fenómeno externo al mercado (nadie paga por su generación y nadie es compensado por el daño), pero que afecta al entorno socio económico. En este sentido, se ve necesario realizar una valoración económica de las externalidades generadas como parte del impacto causado por el transporte motorizado en Cuenca.

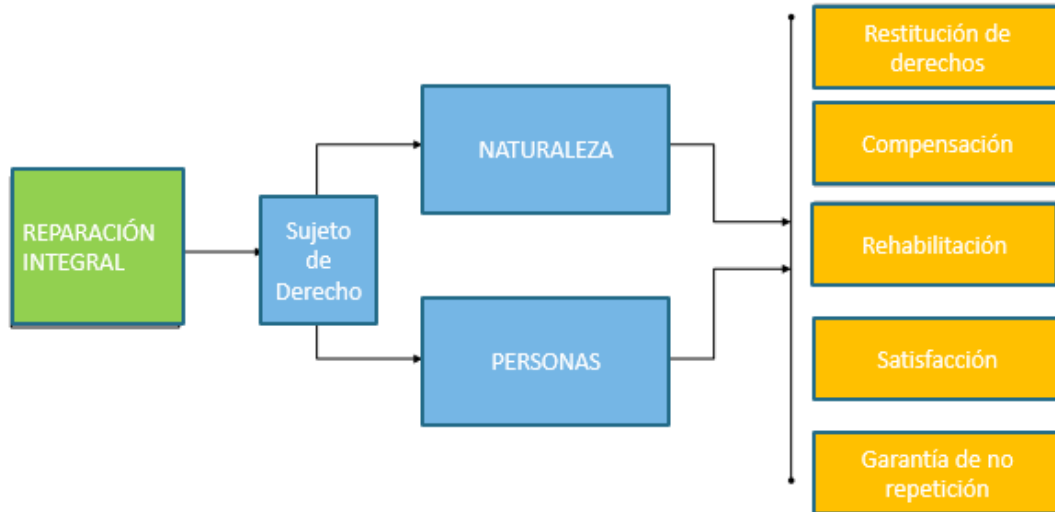
Según la legislación ecuatoriana ha establecido los lineamientos y criterios para caracterizar, evaluar y valorar el daño ambiental, a través del AM 001 sobre **“Lineamientos para la aplicación de la compensación por afectaciones socioambientales dentro del marco de la política pública de reparación integral.”**. Este es el marco con el cual se evaluará los daños generados.

El Acuerdo Ministerial del Ministerio del Ambiente de Ecuador, No. 169 publicado en el Registro Oficial No. 655 de 07 de marzo del 2012, define a la reparación integral como: *“(...)el conjunto de acciones, procesos y medidas, que aplicados integralmente, tienden a revertir daños y pasivos ambientales, mediante el restablecimiento de la calidad, dinámica, equilibrio ecológico, ciclos vitales, estructura, y proceso evolutivo de los ecosistemas afectados; así como medidas y acciones que faciliten la restitución de los derechos de las personas y comunidades afectadas, de compensación e indemnización a las víctimas, de rehabilitación de los afectados, medidas y acciones que aseguren la no repetición de los hechos y que dignifiquen a las personas y comunidades afectadas(...)”*;

Como se puede observar, el concepto parte desde la reversión completa del daño y reconocer, compensar e indemnizar a las víctimas, pero

además asegurar garantía de que el hecho causante del daño no se repita.

*Figura 4: Esquema reparación integral*



*Fuente: Acuerdo Ministerial 001, MAE 2012*

*Elaboración: Equipo consultor*

Hoy en día, la contaminación se ha constituido en un problema de salud pública para la mayoría de ciudades en el mundo y como se ha evidenciado en este estudio, en Cuenca existe una realidad que amerita su análisis en cuanto a la calidad del aire y sus implicaciones para el ser humano, el ambiente y el entorno.

Cuando se habla de contaminación del aire se genera una asociación inmediata a calidad del aire y a afectaciones de salud. Este daño tiene un correlato en costos económicos que se derivan del incremento de la contaminación y de la actividad de transporte y que pueden ser estimados.

Para costear el impacto del deterioro en la calidad del aire en el estado de salud se acude a la evaluación económica del daño.

El inciso segundo del **Art. 396** de la constitución del Ecuador se determina que "la responsabilidad por daños ambientales es objetiva, así como, la obligación del causante de un daño ambiental de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas sin perjuicio de las sanciones que tuviere a lugar"

En su **Art. 397** se indica: *En caso de daños ambientales, el Estado actuará de manera inmediata subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas e igualmente el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral.*

Para que se pueda traducir los efectos físico-químicos (emisiones) y otros impactos del transporte motorizado en costos de afectaciones, se propone calcular el valor de las pérdidas como un costeo de:

- *Costos de acciones de protección y seguridad de abastecimiento de bienes y servicios.*
- *Costos por daños a la salud de la población.*
- *Costos de afectación al patrimonio.*
- *Costos por accidentes de tránsito*
- *Otros costos asociados (servicios ambientales, costos de los estudios, laboratorios, logística, de gestión institucional, entre otros).*

### 7.2.3 Evaluación Económica del daño

La evaluación económica del daño a un recurso natural específico involucra el análisis de las implicaciones biofísicas y de las implicaciones sociales. Las implicaciones sociales se refieren a la pérdida de beneficios que se derivaban del recurso natural afectado y a los costos adicionales en que incurre la población debido a otras afecciones derivadas de la alteración del recurso natural, tales como los de tratamiento de la salud, la pérdida de ingresos asociadas al salario, entre otros.

Se aplicará la metodología de valoración desarrollada por el Programa de reparación ambiental y social PRAS del Ministerio del Ambiente, que se describe a continuación.

#### 7.2.3.1 Evaluación económica del daño ambiental – aspectos biofísicos.

Se debe procurar la restauración integral<sup>8</sup>, de un recurso natural cuando a éste se le ha ocasionado un daño biofísico. En este caso, para realizar

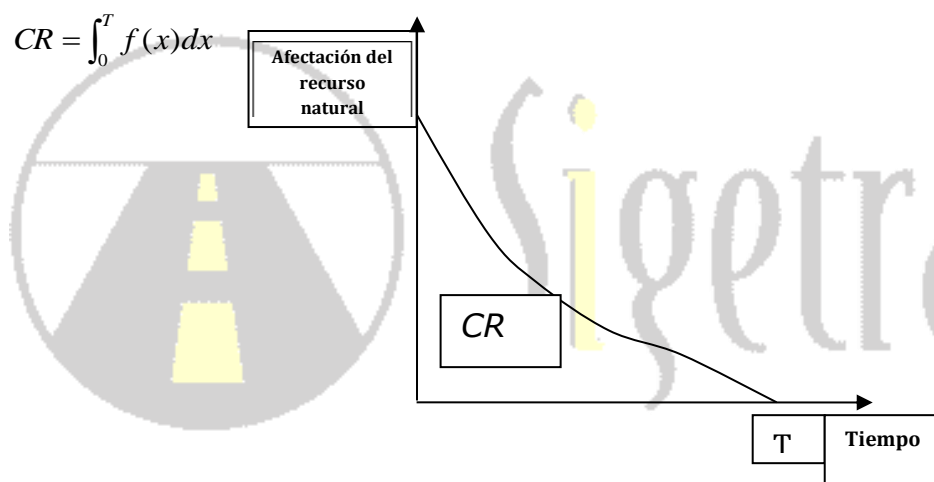
---

<sup>8</sup> Es un derecho de la naturaleza por medio del cual, cuando ésta se ha visto afectada por un impacto ambiental negativo o un daño, debe ser retornada a las condiciones determinadas por la Autoridad Ambiental que aseguren el restablecimiento de equilibrios, ciclos y funciones naturales. Igualmente implica el retorno a condiciones y calidad de vida dignas, de una persona o grupo de personas, comunidad o pueblo, afectados por un impacto ambiental negativo o daño. (Acuerdo Ministerial N° 169: 2011)

la cuantificación económica asociada a esta restauración, debe identificarse los niveles presentes en el recurso *antes* de la alteración.

La recuperación del recurso natural hasta los niveles aceptables está determinada por la magnitud del daño ocasionado, las características del recurso natural, el tiempo de la recuperación y el área afectada. Analíticamente, el costo de recuperación (*CR*) sería el área correspondiente bajo la curva  $f(x)$  en el intervalo de tiempo  $(0, T)$ , donde  $x$  es un vector de variables que explican la afectación biofísica del recurso natural.

*Figura 5: Aproximación del costo de recuperación del recurso natural afectado*



*Fuente: Equipo consultor*

*Elaboración: Equipo consultor*

La restauración de un recurso natural hasta su estado inicial previo a la alteración, implica la ejecución de una serie de actividades que tienen que desarrollarse y que representan costos que deben ser cubiertos por quien causó el daño. Estos dependen de la magnitud del daño y del tiempo de restauración del recurso natural afectado, así como el nivel de restauración que se deba alcanzar, determinado por el estado de conservación en que se encontraba el recurso en el momento en que fue afectado. La estimación del costo total de restauración (integral) del recurso natural dependerá de las características intrínsecas del mismo, ya que éstas determinarán, a la vez, el conjunto de actividades que deberán realizarse en la restauración. Entre más complejo sea el factor, más elementos por recuperar se presentarán. Cada una de las actividades a realizar demanda una serie de recursos y de insumos. Los precios y las

cantidades de los recursos y de los insumos a utilizar explican el total de costos. Esta relación se puede establecer como sigue:

$$CR = \sum_{t=0}^T \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m p_i q_{tji} (1+r)^{-t}$$

Y,

$$T = \text{Max} \{t_j / j \text{ es el recurso natural y } j = 1, 2, \dots, n\}$$

donde,

**CR:** Costo de restauración biofísica del recurso natural afectado por acciones humanas (\$/unidad del factor).

**p<sub>i</sub>:** Precio del insumo *i* usado en la restauración del recurso natural (\$/unidad del insumo).

**q<sub>ij</sub>:** Cantidad del insumo *i* usada en la restauración del recurso natural *j* (unidades del insumo).

**r:** Tasa de descuento para actualizar los valores en el tiempo (%).

**t:** Tiempo (años).

**T:** Tiempo total requerido para la restauración del daño causado, determinado por el estado de conservación de los recursos naturales alterados.

**m:** Insumos requeridos en la restauración del recurso natural *i*

**n:** Recursos naturales afectados por acciones humanas.

### 7.2.3.2 Evaluación económica del daño ambiental – aspecto social

Para el establecimiento del daño social ocasionado con la afectación del recurso natural, se requiere la identificación de los beneficios que dicho recurso le brinda a la sociedad, para permitir determinar la relación existente entre el nivel de afectación del recurso natural y la pérdida de beneficios sociales. Dichos beneficios están determinados por la cantidad y calidad de los flujos que provee el medio natural. De este modo, la población tiene las siguientes alternativas cuando se ven afectados los flujos que deriva del capital natural:

- Seguir disponiendo de los flujos en una menor cantidad y calidad.

- Sustituir la oferta de flujos con otros bienes y servicios, mientras es posible la sustitución, en una cantidad equivalente a la disminución generada con la alteración de recursos naturales.
- Perder definitivamente la oportunidad de aprovechar esos flujos, ya sea temporal o permanentemente.

Cualquiera de las alternativas representa una pérdida de bienestar social que debe ser compensada apropiadamente. Lo de apropiado se refiere, principalmente, a que la población alcance un nivel de bienestar comparable al que disfrutaba previamente a la alteración del recurso natural, lo que significa alternativas de flujos que compensen o sustituyan los que se dañaron.

Con anterioridad se mencionó que la calidad y la cantidad de flujos que se pueden derivar de un recurso natural, dependen de su estado de conservación. Esto induce a plantear la existencia de una relación directa entre el estado de conservación y los flujos del recurso natural.

Esta relación se puede utilizar para establecer las consecuencias de una variación en el estado de conservación sobre los flujos del sistema natural que afectan el bienestar de la población. De esta manera, es esperable que la restauración (integral) del recurso natural conduzca al restablecimiento de los flujos que aprovecha la sociedad para mejorar su bienestar. En este sentido, conforme se mejora la condición del factor, se mejora la cantidad y la calidad de tales flujos.

Tomando en consideración lo anterior, se plantea que los costos de compensación deben estimarse mientras el recurso natural está en vías de restauración (integral), o sea, desde que se inicia el daño hasta que el recurso natural sea recuperado satisfactoriamente; es decir, hasta el tiempo  $T$ , donde dichos costos deben desaparecer dado que los beneficios sociales que brindaba el recurso natural teóricamente se han recuperado. Si definimos una función de costos de compensación,  $g(x)$ , entonces los costos sociales de compensación,  $CS$ , están dados por:

$$CS = \int_0^T g(x)dx$$

### 7.2.3.3 Método directo basado en los beneficios perdidos con la afectación de recursos naturales.



Se identificaron 7 beneficios: flujo de materias primas, flujo de productos de consumo final, seguridad en el abastecimiento futuro de bienes y servicios ambientales, esparcimiento, desarrollo espiritual, protección física y protección a la salud. Para efectos de estimar el daño social debido a la alteración de recursos naturales por acciones humanas, se han hecho cuatro agrupaciones de beneficios perdidos y sus respectivos métodos propuestos para la estimación. Los grupos son:

1. Materias primas y productos de consumo final
2. Protección y seguridad en el abastecimiento de bienes y servicios finales
3. Protección a la salud
4. Afectación al patrimonio intangible

### **1. Pérdida de beneficios debido a la disminución de materias primas y productos de consumo final**

Dado que es factible y posible la pérdida de beneficios debido a la disminución de materias primas y productos de consumo final cuando se afecta un recurso natural, será necesario estimar dicha pérdida considerando las cantidades perdidas y los precios de los distintos bienes y servicios afectados. Dicha estimación ha de realizarse para todo el período que tardaría el o los recursos afectados en recuperarse hasta el nivel de conservación antes de la alteración. Para lograrlo se requiere disponer de la información correspondiente de precios y cantidades o de las estimaciones pertinentes. Asumiendo que dicha información está disponible o que se pueden hacer las estimaciones, el cálculo del beneficio perdido por estos rubros estaría dado por:

$$BP_1 = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (p_{ji}^{mp} q_{tji}^{mp} + p_{ji}^{cf} q_{tji}^{cf}) (1+r)^{-t}$$

donde,

$BP_1$  Beneficio perdido por la disminución de materias primas y productos de consumo final (\$)

$p_{ji}^{mp}$  Precio de la materia prima  $i$  que se deriva del recurso natural  $j$  (\$/unidad)

$p_{ji}^{cf}$  Precio del producto de consumo final  $i$  que se deriva del recurso natural  $j$  (\$/unidad)

$q_{tji}^{mp}$  Cantidad de la materia prima  $i$  que se deriva del recurso natural  $j$  en el tiempo  $t$  (unidad)

$q_{tji}^{cf}$  Cantidad del producto final  $i$  que se deriva del recurso natural  $j$  en el tiempo  $t$  (unidad)

## **2. Beneficio perdido por la afectación del nivel de protección y de seguridad en el abastecimiento futuro de bienes y servicios ambientales que brinda el recurso natural**

Si el o los recursos naturales brindan a la población, protección a desastres naturales y seguridad en el abastecimiento de bienes y servicios en el futuro, una afectación a los mismos puede provocar un aumento de la vulnerabilidad de esta población a desastres naturales o provocados y a que desaparezca o disminuya el flujo de bienes y servicios que brinda el recurso. Esto significa una pérdida del beneficio proporcional al cambio ocurrido en la vulnerabilidad. Una estimación económica del daño ocasionado con esta afectación puede obtenerse contabilizando: 1) los costos necesarios en que se debe incurrir para minimizar el riesgo a desastres naturales y 2) los costos de medidas sustitutivas para garantizar el flujo de bienes y servicios que se dejarán de percibir por la alteración del recurso natural, al nivel que se encontraba antes de la afectación del recurso. Es decir, si es posible establecer el cambio en la vulnerabilidad y asociar las medidas correspondientes, entonces:

$$BP_2 = \sum_{i=1}^n (c_i^{pr} q_i^{pr} + c_i^{afp} q_i^{afp}) + \sum_{t=1}^T (G_t + M_t)(1+r)^{-t}$$

donde,

$BP_2$  Beneficio perdido por la afectación del nivel de protección que brinda el recurso natural.

$c_i^{pr}$  Costo del insumo  $i$  que se utiliza en el establecimiento de medidas de protección (\$/unidad).

$c_i^{afp}$  Costo del insumo  $i$  para el establecimiento de medidas sustitutivas para el abastecimiento futuro de productos (\$/unidad).

$q_i^{pr}$  Cantidad del insumo  $i$  requerido para el establecimiento de medidas de protección (unidad).

- $q_i^{pr}$  Cantidad del insumo  $i$  requerido para el establecimiento de medidas sustitutivas para el abastecimiento futuro de productos (unidad).
- $G_t$  Gastos de gestión y administración en el año  $t$  (\$/año).
- $M_t$  Gastos de mantenimiento en el año  $t$  (\$/año).

Los insumos representan los requerimientos totales (mano de obra, materias primas, materiales, equipo e infraestructuras. Mientras que los gastos de gestión comprenden gastos administrativos y de operación que significa atender las infraestructuras generadas, y los gastos de mantenimiento están asociados a las necesidades que demanden los activos construidos para brindar los servicios para los cuales fueron diseñados. Los gastos de gestión y mantenimiento se extienden durante el período que tardará el recurso en recuperarse y vuelva a ofrecer los servicios al nivel que tenía antes de la alteración.

### ***3. Beneficio perdido por el daño a la salud de la población dada la afectación al recurso natural***

Al afectarse un recurso natural éste puede desencadenar una serie de problemas relacionados con la salud tales como enfermedades, plagas y deterioro a infraestructuras básicas destinadas a mantener mejores niveles de salud. Atender cada uno de estos aspectos representa incurrir en costos, los cuales se pueden asociar con el daño ambiental ocasionado. Para la estimación correspondiente se requiere del establecimiento de las relaciones causales, de tal manera que dichos problemas sean asociados a la alteración del recurso natural en el nivel que ha sido afectado. Es decir, que dichos problemas sean correspondidos con el cambio en el estado de conservación del recurso ( $\alpha$ ).

En el caso de enfermedades los costos están asociados al tratamiento curativo necesario en la atención de pacientes, tanto de los que han sido afectados como de los que pueden ser potencialmente afectados, lo que implica estimar el nivel de incidencia de la enfermedad hacia la población total. Si la alteración del recurso natural genera la aparición de plagas se requiere de actividades de atención directa de los vectores aparecidos, así como de las medidas preventivas hacia la población tales como vacunación, implementos especiales, etc. Si hay daños a infraestructuras básicas será necesario establecer medidas de mitigación para ofrecer los servicios que han sido dañados o de sustitución de las infraestructuras dañadas. Además de todos los costos anteriores hay que añadir los costos relacionados con la pérdida de ingresos por pérdida de productividad o

ausencias al trabajo. Todo lo anterior se puede expresar mediante la ecuación:

$$BP_3 = \sum_{t=0}^{T_H} [c_t^{tre} H_t^e + c_t^{mpp} H_t^{mpp}] (1+r)^{-t} + \sum_{t=0}^{T_H} \sum_{i=1}^n (c_{ii}^{pl} q_{ii}^{pl} + c_i^m q_{ii}^m) (1+r)^{-t} + \sum_{k=1}^K c_k^{inf r} q_k^{inf r}$$

donde,

$BP_3$  Beneficio perdido por el daño a la salud debido a la afectación del recurso natural (\$).

$c_t^{tre}$  Costo del tratamiento de la enfermedad par el año  $t$  (\$/persona).

$c_t^{mpp}$  Costo de las medidas de prevención hacia la población en el año  $t$  (\$/persona).

$c_{ii}^{pl}$  Costo del insumo  $i$  para el control de plagas en el tiempo  $t$  (\$/unidad).

$c_k^{inf r}$  Costo del insumo  $i$  para la sustitución de infraestructura dañada (\$/unidad).

$c_i^m$  Costo del producto  $i$  para mitigar en el tiempo  $t$  los efectos causados con el daño a la infraestructura básica (\$/unidad).

$H_t^e$  Cantidad de personas que han sufrido enfermedades debido a la afectación del recurso natural en el tiempo  $t$  (unidad).

$H_t^{mpp}$  Cantidad de personas sometidas a medidas preventivas debido a la afectación del recurso natural en el tiempo  $t$  (personas).

$q_{ii}^m$  Cantidad del producto  $i$  para mitigar en el tiempo  $t$  los efectos causados con el daño a la infraestructura básica (unidad).

$q_{ii}^{pl}$  Cantidad del insumo  $i$  requerido para el control de plagas en el tiempo  $t$  (\$/unidad).

$q_k^{inf r}$  Cantidad del insumo  $k$  requerido para el establecimiento de infraestructura (\$/unidad).

#### **4. Beneficio perdido por la afectación al patrimonio intangible debido al daño del recurso natural**

Cuando un recurso natural es alterado debido a las acciones humanas, es esperable una modificación del paisaje que provoca las facilidades para el esparcimiento y el desarrollo espiritual de las personas. Las personas pueden aceptar convivir con dicha modificación perdiendo el bienestar

que recibían por el disfrute del esparcimiento y el desarrollo espiritual que le brindaba el recurso antes de la alteración. También, pueden sustituir esos servicios desplazándose al sitio similar más cercano donde obtengan bienestar por el disfrute de esparcimiento y desarrollo espiritual. Esta segunda opción representa costos adicionales en que debe incurrir el afectado, tales como transporte, alimentación, tiempo de desplazamiento, hospedaje, otros. La estimación del costo debe contemplar tanto la población dentro del área de influencia directa como los del área de influencia indirecta. Para efecto de cálculo se establece la ecuación:

$$BP_4 = \sum_{t=1}^T c_t^d H_t^d (1+r)^{-t}$$

donde,

$BP_4$  Beneficio perdido por la afectación al patrimonio intangible al alterar un recurso natural (\$)

$c_t^d$  Costo de desplazamiento al sitio similar más cercano para disfrutar del patrimonio intangible en el tiempo  $t$  (\$/persona)

$H_t^d$  Población que siente afectado patrimonio intangible por la alteración de un recurso natural en el tiempo  $t$  (personas)

#### 7.2.4 Evaluación económica del daño ambiental – costos totales

En la estimación del costo total es necesario incorporar el valor asociado al producto en el caso de extracciones. Esta estimación pueda darse utilizando la siguiente ecuación.

$$CE = \sum_{s=1}^R c_s e_s$$

donde,

$CE$  Valor de la producción total extraída (\$)

$c$  valor unitario del recurso  $s$  (\$/unidad)

$e$  cantidad extraída del recurso  $s$  (unidades)

En el caso de que no exista un precio directo para el recurso extraído, se puede acudir a estimaciones indirectas basadas en bienes sustitutos o en el costo de extracción.

El costo total ( $CT$ ) del daño ambiental es la suma del costo biofísico dado por el costo de restauración, el costo social y el valor de la producción total extraída.

Para el caso del método directo, sería la suma de los valores parciales obtenidos; es decir:  $CT = CR + BP_1 + BP_2 + BP_3 + BP_4 + CE + CG$

### 1. Aplicación de la evaluación económica para el transporte motorizado en el área urbana de Cuenca

Habiendo determinado en los entregables 1, 2 y 3 ya el estado de condición del transporte de Cuenca y cómo afecta la calidad del aire, por el aporte de emisiones y problemas de vialidad, se aplicará la metodología de evaluación económica para determinar los costos incurridos por los daños causados en un año. Bajo los resultados alcanzados, se plantean los siguientes indicadores:

Tabla 18: VARIABLES E INDICADORES ESCOGIDOS

<b>FACTOR AFECTADO</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>INDICADORES</b>
<i>Calidad del aire</i>	Pérdida de calidad del aire (Causada afectada por contaminación)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cantidad de emisiones a la atmósfera</li> <li>✓ Costo de restaurar la calidad del aire</li> <li>✓ Costos de programas de revisión vehicular</li> </ul>
<i>daño a la salud de la población dada la afectación al recurso natural</i>	Disminución del estado de salud	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ % de población enferma por contaminación del aire</li> <li>✓ Costo de tratamiento de enfermedades</li> <li>✓ Costo por pérdida de producción (muerte, ausentismo, menor productividad, pérdida de ingresos)</li> </ul>
<b>DAÑOS AL PATRIMONIO</b>	Afectaciones a bienes públicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Costos de recuperación de infraestructura</li> <li>✓ Costo de limpieza /m2)</li> </ul>
<b>DAÑOS POR SEGURIDAD VIAL</b>	Pérdida de bienestar	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pérdida de vidas</li> <li>✓ Costo de tratamiento médico</li> <li>✓ Costo por pérdida de producción (ausentismo, menor productividad)</li> <li>✓ Costos administrativos</li> </ul>

<b>OCUPACION DE ESPACIO PÚBLICO</b>	Costo de oportunidad de uso de espacio público del parque automotor	Costo de m <sup>2</sup> de suelo en Cuenca
<b>COSTOS DE GESTION</b>	Acciones para reversión del daño	Costo de diagnóstico o evaluación de impacto Costo de la administración de la política pública.

### 7.2.5 Evaluación económica del daño ambiental – aspectos relacionados con la Calidad del aire

En este caso, para realizar la cuantificación económica asociada a esta restauración, se ha tomado los valores calculados de emisiones de GEI de la flota vehicular de la ciudad de Cuenca, estarían en torno a las 353.000 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes por año, de acuerdo a los primeros resultados del modelamiento desarrollado mediante la herramienta TOOLKIT.

Para evaluar la restauración de este recurso, en términos de mejorar la calidad del aire, para contrarrestar a través de la captura de carbono con siembra de árboles.

En el cálculo se ha considerado lo siguiente:

- Revegetación en la ciudad, con una especie nativa. Se ha considerado el *Alnus acuminata*
- Kunth o Aliso, especie considerada nativa de Cuenca (Minga, D y A. Verdugo 2016) para evitar la introducción de otras especies y porque además alcanza su madurez en un tiempo relativamente corto de 10 años.
- Según un estudio de Puscan et al (2016), el Aliso tiene una concentración de carbono en el sistema silvopastoril con un total de 3,955tn/ha.
- Se ha traído a valor presente, la inversión necesaria para al menos los 10 años a partir de los cuales la especie podrá tener una captura significativa de carbono.
- Los costos estimados por hectárea corresponden a trabajadores, semillas, siembra, abono, riego.
- Se requieren aproximadamente 2.7 millones de árboles Se ha costeado la adquisición de 2741 hectáreas que se requerirían de suelo para sembrar los árboles, (el aliso ocupa un espacio aproximado de 1000 individuos por hectárea), a un precio de

10.000 la hectárea. El costo por m<sup>2</sup> rural en Cuenca oscila entre 200 dólares y más pero se ha dado este valor bajo el supuesto que son espacios públicos del propio municipio los que se podría emplear.

Con todo lo señalado, se tiene un valor por los 10 años de US\$ 34.561.499, es decir un valor anual de US\$ 3.456.149 que sería el costo por mejorar la condición y capturar el CO<sub>2</sub> emitido calculado a la fecha. (Anexo 1: Tablas con los cálculos).

### 7.2.6 Evaluación económica del daño ambiental – aspecto social

*Pérdida de beneficios debido a la disminución de materias primas y productos de consumo final y Beneficio perdido por la afectación del nivel de protección y de seguridad en el abastecimiento futuro de bienes y servicios ambientales que brinda el recurso natural.*

Estos costos no se han evaluado pues en el aire la cantidad no se reduce por su condición, si su calidad que fue analizada en la sección anterior.

*Beneficio perdido por el daño a la salud de la población dada la afectación al recurso natural.*

ES innegable la relación que existe entre la condición del ambiente y el estado de salud de una población. La Organización Panamericana de la Salud señala:

*"Hay efectos de la contaminación del aire sobre la salud a corto y largo plazo, siendo la exposición a largo plazo y de larga duración la más significativa para la salud pública. La mayoría de las muertes atribuibles a la contaminación atmosférica en la población general están relacionadas con las enfermedades no transmisibles. En efecto, el 36% de las muertes por cáncer de pulmón, el 35% de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (COPD), el 34% de los accidentes cerebrovasculares y el 27% de las cardiopatías isquémicas son atribuibles a la contaminación atmosférica. Sin embargo, el mayor impacto es sobre la mortalidad infantil, ya que más de la mitad de las muertes de niños menores de 5 años por infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores (ALRI) son debidas a partículas inhaladas por la contaminación del aire interior producto del uso de combustibles sólidos" (OPS, 2016)"*



En este sentido para estimar las pérdidas por salud, se ha considerado al menos estos tres tipos de enfermedades, empleando los datos de tasas de incidencia de las mismas, para aplicarlas al caso de Cuenca, con la información tomada de varias fuentes. Para el cálculo se consideró:

- *Tasas de incidencia: 36% de las muertes por cáncer de pulmón, el 35% de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (COPD), el 34% de los accidentes cerebrovasculares y el 27% de las cardiopatías isquémicas*
- Para el año 2016 se investigó la cantidad de muertes acaecidas en Cuenca por estas tres causas y se aplicó la tasa:

Tabla 19: MUERTES POR ENFERMEDADES ASOCIADAS A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

<b>Enfermedad</b>	<b>Total Cuenca 2016</b>	<b>% por contaminación</b>	<b>No. Casos por contaminación</b>
Enfermedades cerebrovasculares (1)	154	35%	54,2
Enfermedades isquémicas del corazón (1)	137	27%	37
Cáncer de Pulmón (cifra 2009) (2)	97	36%	34,9

(1) Fuente: INEC, 2017

(2) Fuente: Sexto Informe de Epidemiología del cáncer en El Cantón Cuenca 2005-2009

Elaboración: Equipo consultor

- Años perdidos por el diagnóstico: es decir cuántos años menos se espera viva el paciente con la enfermedad que sin ella
  - Enfermedades cerebrovasculares: 1 año (Instituto Nacional de Angiología y Cirugía Vascul, 2004)
  - Enfermedades isquémicas del corazón: 1 año (Instituto Nacional de Angiología y Cirugía Vascul, 2004)
  - Cáncer de Pulmón: 5 años (tasa de supervivencia) (American Cancer Society, s/f)
- Ingresos perdidos a partir de la enfermedad: se ha tomado la referencia del PIB per cápita de Ecuador para el año 2016, de US\$ 6996,00 (Banco Central del Ecuador)

- Costos promedio de diagnóstico y tratamiento por un año para cada enfermedad:
  - Enfermedades cerebrovasculares y Enfermedades isquémicas del corazón: \$1000 diagnóstico, \$4000 costo anual tratamiento.
  - Cáncer de Pulmón: \$600 diagnóstico, \$1000 tratamiento anual (Plan V, 2016)
  - Ingresos perdidos a partir de la enfermedad: se ha tomado la referencia del PIB per cápita de Ecuador para el año 2016, de US\$ 6996,00 (Banco Central del Ecuador)

Con el análisis de esta información el cálculo de costos en salud de las enfermedades descritas asociados a contaminación del air, asciende anualmente a US\$ 1.767.880.

También dentro de las afectaciones en salud, aunque no derivadas de la mala calidad, sino por cuestiones de seguridad vial, se incluyó el rubro que se había determinado por **Costo de los siniestros de tránsito**, considerando la información de la ANT en cuanto a accidentes de tránsito para el 2016:

Tabla 20: COSTO DE TODAS LAS VARIABLES EN EL CÁLCULO DE LOS COSTOS DE LOS SINIESTROS

<b>VARIABLES</b>	<b>% del costo</b>	<b>COSTO</b>
IMPACTO HUMANO	25%	\$ 6.338.200
PERDIDA PRODUCTIVA	27%	\$ 6.845.256
DAÑOS MATERIALES	35%	\$ 8.873.480
COSTOS MÉDICOS	2%	\$ 507.056
COSTOS ADMINISTRATIVOS	10%	\$ 2.535.280
HOSPITALARIOS	1%	\$ 253.528
<b>Año 2016</b>	<b>100%</b>	<b>\$ 25.352.800</b>

### 7.2.7 Beneficio perdido por la afectación al patrimonio intangible debido al daño del recurso natural

Para este caso de análisis se aplicó en este grupo de costos 2 tipos de afectaciones:

Al patrimonio material de la ciudad, por la contaminación principalmente causada por hollín fruto de la combustión incompleta de los combustibles. Para este cálculo se tomó dos datos referenciales, al no disponer de información directa de costos.

El primero en relación al gasto que realiza anualmente la ciudad de Cuenca para limpieza de monumentos, del cual se le aplicó una tasa del 10% como directamente invertido para la limpieza por este tipo de contaminación, esto es \$4.600 dólares anuales.

El segundo en relación al gasto en limpieza del área urbana de Cuenca, de 72.32 Km<sup>2</sup> (SNGR et al, s/f) y cuyo dato se tomó del presupuesto de la EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE ASEO DE CUENCA - EMAC EP al año 2018. Se le aplicó el 5% del monto, como relación a limpieza por temas de contaminación del aire, monto que resultó en US\$ 1.147.128,00.

El tercero es en relación al costo de oportunidad de uso del espacio público, para lo cual se estableció un cálculo del espacio ocupado por los vehículos que se calcularon para Cuenca en el informe 1, para el año 2018 "DISTRIBUCIÓN PARQUE VEHICULAR CUENCA 2018-TOOLKIT" y esto multiplicado por el valor de tierra, que se estimó en zona urbana de US\$ 200 7 m<sup>2</sup>.

Tabla 21: CANTIDAD DE VEHÍCULOS Y OCUPACIÓN DE ESPACIO

<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>Cantidad (2018)</b>	<b>Espacio usado por unidad (m<sup>2</sup>)</b>
Vehículos de pasajeros	105.435	10.81 m <sup>2</sup>
Camiones y autobuses ligeros	6.645	14.4 m <sup>2</sup>
Motocicletas	11.842	3.75 m <sup>2</sup>

Este es un costo bastante significativo, pues este espacio destinado a los automóviles podría ser empleado para algo diferente (costo de oportunidad de tener carros frente a no tenerlos) y el cálculo ascendió a US\$ 255.969.570.

### 7.2.8 Gastos de Gestión

Finalmente es importante evidenciar los gastos de gestión, que comprenden gastos administrativos y de operación que significa atender las infraestructuras generadas, y los gastos de mantenimiento están asociados a las necesidades que demanden las acciones para contrarrestar los efectos de la contaminación y que se extenderán durante el período que tardará el recurso en recuperarse y vuelva a ofrecer los servicios al nivel que tenía antes de la alteración, pero que se los ha calculado para un año.

Estos gastos fueron:

Costo de diagnóstico: Consultoría "CIUDADES INT.SOST 83273464 EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL, ENERGETICO, EN CONGESTION Y DE USO DEL ESPACIO PUBLICO CAUSADO POR EL TRANSPORTE MOTORIZADO EN EL AREA URBANA DE CUENCA", con un valor de US\$ 44.000.

Municipio de Cuenca Unidad de Gestión Ambiental, Empresa de Movilidad, Tránsito y Transporte, EMOV EP, cuyo presupuesto 2018 asciende a US\$ 25.753.172,8

### 7.3 Costo Total (CT) del daño ambiental

Finalmente, los costos anuales asociados al transporte y contaminación del aire en Cuenca serían de US\$ 345.684.819 millones, desglosados de la siguiente forma:

Tabla 22: COSTOS TOTALES

Componentes	Costo anual US\$
Restauración de calidad del aire	34.561.499
Costo de oportunidad de uso del espacio público	255.969.570
Tratamiento y prevención de enfermedades	2.829.548
Afectaciones a bienes públicos y espacio público	1.147.728
Daños por afectaciones a la Seguridad Vial	25.353.300
Costos de Gestión	25.823.173
<b>Total</b>	<b>345.684.819</b>

## 8 IMPACTO POR EL USO DE ESPACIO PÚBLICO

Los indicadores solicitados por la contratante requerían una mayor profundización en el análisis de la Big data en este materia. Cabe indicar que el objetivo inicial y por el cual se generó la big data no fue la construcción de indicadores de uso de espacio público pero después de diversas reuniones técnicas pudimos diseñar unos modelos que nos han permitido visualizar esta colección de datos en el territorio aplicado a satisfacer esta petición.

Es por ello que en este entregable final vamos a construir tres enfoques del impacto de la movilización motorizada en la ciudad de Cuenca, sobre la base de la big data:

- Análisis de velocidades.
- Análisis de tiempos de recorrido.
- Análisis de concentraciones vehiculares en horas pico.

### 8.1 Análisis de velocidades

El objeto de este análisis es la caracterización de los movimientos de los vehículos en función de las velocidades mínima (despreciando velocidades tendientes a 0), máximas, promedios y distancia recorrida por tipo de servicio y combustible.

En la tablas siguientes se muestran los resultados de la big data filtrada y depurada:

Tabla 23:VELOCIDADES POR TIPOS

Todos	Velocidad Promedio:	Velocidad mínima	Velocidad máxima:	Distancia Recorrida:
Min	6,19	5,01	7,61	0,11
Max	64,53	17,11	162,90	37,25
Promedio	26,89	5,56	53,74	2,77
Contar	365			

Particulares	Velocidad Promedio:	Velocidad mínima	Velocidad máxima:	Distancia Recorrida:
Min	6,19	5,01	7,61	0,11
Max	64,53	17,11	162,90	37,25
Promedio	26,94	5,59	53,46	2,78
Contar	327			

Público/comercial	Velocidad Promedio:	Velocidad mínima	Velocidad máxima:	Distancia Recorrida:
Min	10,82	5,01	23,38	0,27
Max	43,68	6,62	88,34	6,56
Promedio	26,57	5,29	56,39	2,77
Contar	37			

Gasolina	Velocidad Promedio:	Velocidad mínima	Velocidad máxima:	Distancia Recorrida:
Min	7,50	5,01	9,41	0,13
Max	64,53	17,11	162,90	37,25
Promedio	26,89	5,55	53,70	2,77
Contar	342			

Diésel	Velocidad Promedio:	Velocidad mínima	Velocidad máxima:	Distancia Recorrida:
Min	6,19	5,01	7,61	0,11
Max	50,51	11,15	149,66	10,67
Promedio	27,52	5,66	55,68	2,93
Contar	22			

Se observa que el promedio de velocidades por tipos está por debajo de los límites de velocidad lo que es satisfactorio, así como que los máximos en ciertos tipos son elevadísimos y ameritan implementar controles de velocidad.

## 8.2 Análisis de tiempos de recorrido

El objeto de este análisis es la caracterización del tiempo promedio de cada viaje motorizado en la ciudad de Cuenca. De la Big data y de un universo filtrado y depurado de 365 vehículos se determina que el tiempo promedio de movilización es de 6 min, lo que es muy bajo para una distancia promedio de 2,7 Km, a una velocidad promedio de 28,2 Km/h que es una velocidad de operación moderada para la zona urbana y que respeta, en general, los límites de velocidad urbana.

La tabla siguiente indica el número de viajes por franjas de duración del mismo:

Tabla 24: TIEMPOS DE VIAJE

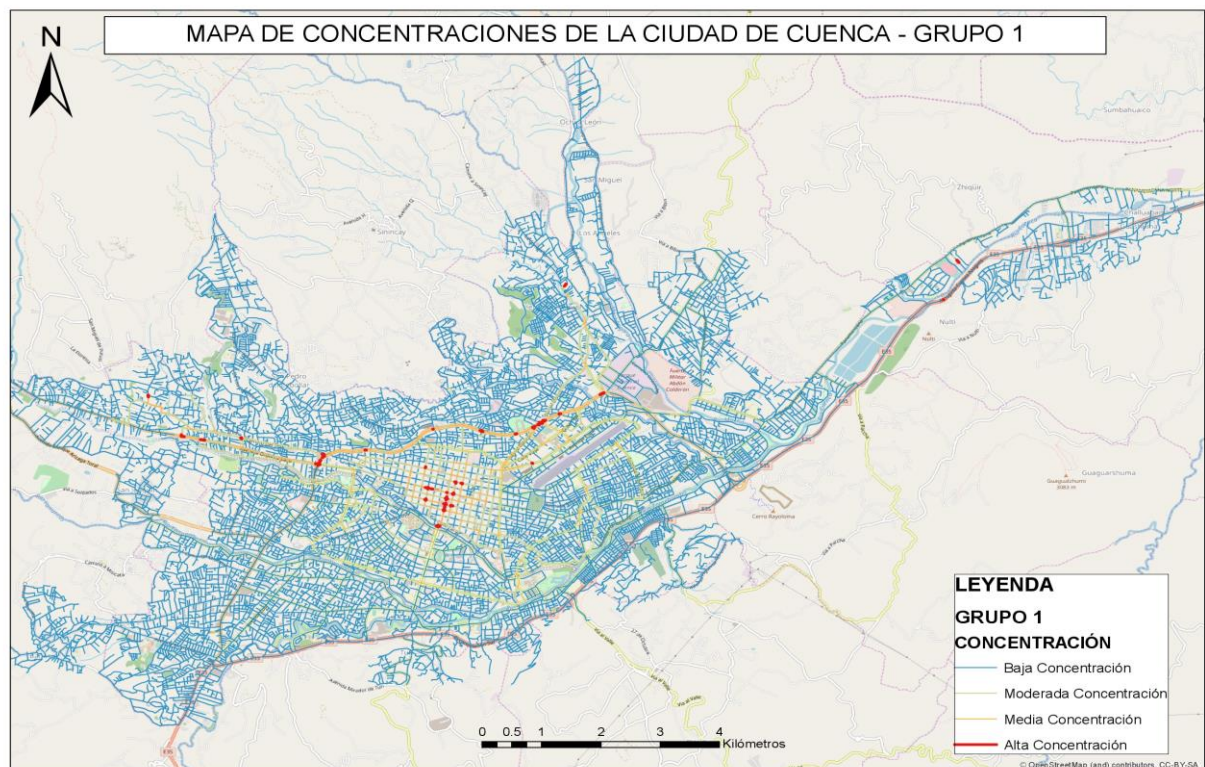
Minutos	Viajes	% viajes
5	193	53%
5 a 10	129	35%

10 a 20	40	11%
>20	3	1%

### 8.3 Análisis de concentraciones vehiculares en horas pico

El objeto de este análisis es la caracterización de los movimientos excéntricos y concéntricos de los vehículos desde los lugares residenciales al centro de la ciudad y viceversa, así como determinación de grupos o franjas horarias de mayor demanda de viajes motorizados en vehículos.

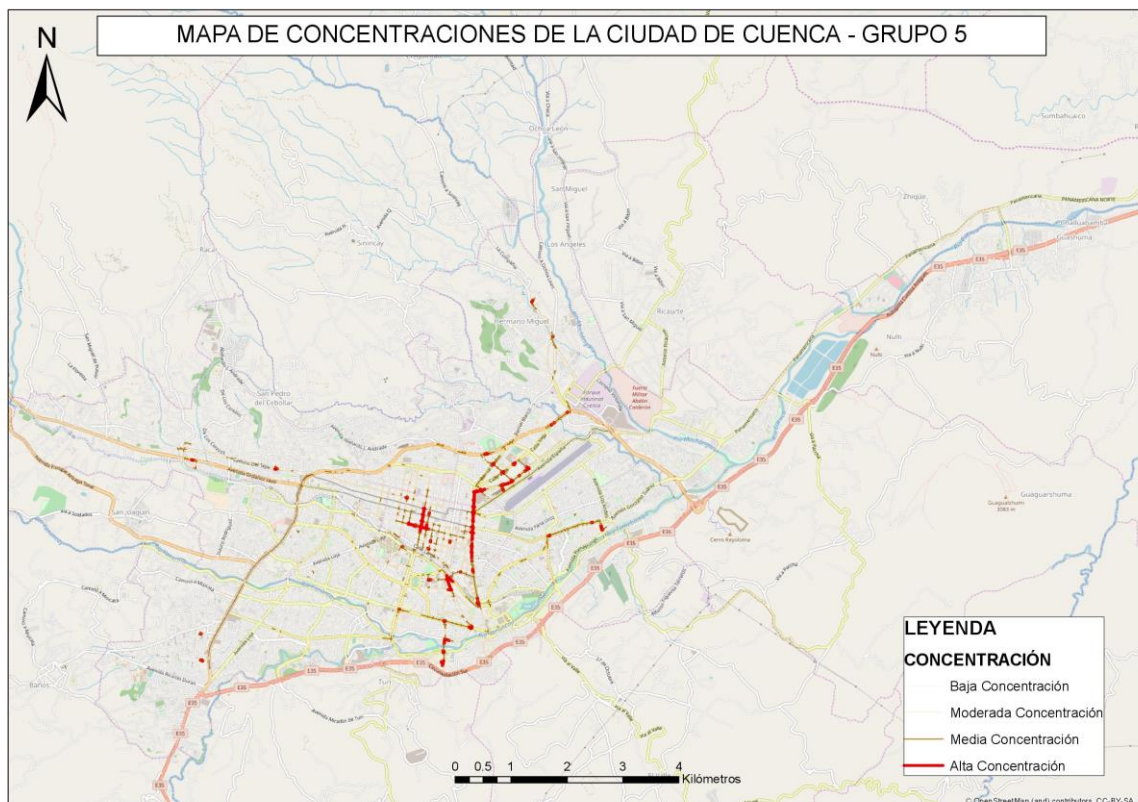
Para ello tomamos la Big data y la fuimos poniendo en un plano de la ciudad tratando de buscar concentraciones de puntos recorridos por los vehículos muestreados. Hicimos diversas simulaciones por franjas horarias hasta llegar a tener grandes concentraciones en determinadas franjas o grupos horarios como se puede observare en los siguientes mapas de concentración de viajes.



*Figura 6: CONCENTRACION DE MOVILIZACIONES EN LA MAÑANA (Eq. consultor, 2018)*



**Figura 7: CONCENTRACION DE MOVILIZACIONES AL MEDIODÍA (Eq. consultor, 2018)**



**Figura 8: CONCENTRACION DE MOVILIZACIONES EN LA TARDE-NOCHE (Eq. consultor, 2018)**



Fruto del análisis gráfico anterior concluimos el análisis de concentración de viajes para la determinación de las horas pico y valle de un día laborable estándar, es decir lo siguiente:

- + **Grupo 1:** 7h00 a 9h00, hora pico de la mañana, sentido desde la periferia al centro de la ciudad
- + **Grupo 2:** 9h00 a 12h00, hora valle de la mañana.
- + **Grupo 3:** 12h00 a 14h00, hora pico del mediodía, movilizaciones para el almuerzo
- + **Grupo 4:** 14h00 a 17h00, hora valle de la tarde
- + **Grupo 5:** 17h00 a 19h00, hora pico de la tarde-noche, movilizaciones desde el centro a los domicilios
- + **Grupo 6:** 19h00 a 7h00, hora valle de la noche.

Por tanto los resultados obtenidos fueron, como para casi todas las ciudades intermedias, tres franjas de horas pico, es decir una en la mañana, otra al mediodía de menor intensidad y una tercera de moderada intensidad en la tarde que se produce al regresar de las actividades diarias a los domicilios.

Las avenidas, calles e intersecciones con mayor nivel de congestión sería:

Punto 1: BENIGNO MALO y PSJE. 3 DE NOVIEMBRE Pu

Punto 2: BENIGNO MALO; PRESIDENTE CORDOVA y MARISCAL ANTONIO JOSE SUCRE

Punto 3: LUIS CORDERO y MARISCAL ANTONIO JOSE SUCRE

Punto 4: TARQUI y MARISCAL ANTONIO JOSE SUCRE

Punto 5: TARQUI y GRAN COLOMBIA

Punto 6: BENIGNO MALO y SIMON BOLIVAR

Punto 7: BENIGNO MALO y GRAN COLOMBIA

Punto 8: LUIS CORDERO y GRAN COLOMBIA

Punto 9: LUIS CORDERO y GASPAR SANGURIMA

Punto 10: ANTONIO BORRERO y GASPAR SANGURIMA

Punto 10: ANTONIO VEGA MUÑOZ y JUAN MONTALVO

Punto 11: AV. DE LAS AMERICAS, AV. GRAN COLOMBIA y AV. ORDOÑEZ LASSO

Punto 12: DANIEL ALVARADO y AV. DE LAS AMERICAS

Punto 13: MANUEL ARTEAGA y AV. DE LAS AMERICAS

Punto 14: AV. TURUHUAICO y AV. DE LAS AMERICAS

Punto 15: OCTAVIO CHACON MOSCOSO y AV. DE LAS AMERICAS

Punto 16: MANUEL RADA y AV. ORDOÑEZ LASSO

Los mapas anteriores se pueden encontrar en formato DIN-A3 en el anexo 3.

## 9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Como se mencionó en el análisis de emisiones vehiculares, se evidencian valores sorprendentemente elevados de emisiones tóxicas criterio en motocicletas. Este valor significativamente elevado se atribuye a la tecnología de las mismas, pues existe una predominancia notable de los motores de dos tiempos y sin control de emisiones ni sistemas electrónicos de alimentación de combustible. Es recomendable que tanto las autoridades locales de Cuenca como de otras instituciones locales y nacionales, consideren este hallazgo con el objeto de plantear medidas de control de ingreso para las motocicletas, a fin de lograr que las mismas cumplan con niveles de certificación internacionales, similares a los exigidos a los demás segmentos vehiculares.
- Los costos ambientales derivados de las actuales condiciones de operación de la flota vehicular de Cuenca son considerablemente elevados. En este sentido, cualquier acción de mejora o mitigación de sus emisiones redundaría en notables beneficios económicos para la ciudad. Cabe destacar, que, de similares análisis realizados en otras jurisdicciones del país, así como en otras ciudades del mundo, se determina que las pérdidas económicas derivadas de la poca capacidad de control de la flota vehicular, siempre son muy elevadas y su distribución es inequitativa, siendo siempre mayormente afectados los segmentos más vulnerables de la población. Se recomienda considerar los análisis realizados a efectos de reforzar los programas de mejoramiento del recurso atmosférico y manejo integral de la flota vehicular, a fin de reducir los impactos referidos en el presente documento.
- En los cálculos de emisiones brutas de la flota vehicular se emplearon los mismos factores de actividad determinados y utilizados por la EMOV EP en la construcción de su inventario de emisiones 2014. Vale destacar que dichos factores de actividad son menores a los determinados en otros estudios consultados,

específicamente al desarrollado en Costa Rica. No obstante, dado el trabajo realizado por EMOV en la encuesta de la cual fueron obtenidos dichos valores, se considera como la mejor y única oficial, fuente de información sobre actividad vehicular de la flota. Se recomienda, sin embargo, considerar la posibilidad de actualización de dichos factores de actividad, empleando como herramienta fundamental el sistema de Revisión Técnica Vehicular de la ciudad de Cuenca, pues el mismo puede recopilar la información de recorrido de odómetro de toda la flota vehicular, obteniéndose de este modo una aproximación objetiva y de mayor grado de precisión que la que al momento existe.

- Los impactos ambientales asociados a la circulación de la flota vehicular cuencana son de magnitud significativa y, por tanto, a criterio del equipo consultor, justifican el emprender acciones de tipo técnico-científico a fin de mejorar la comprensión del fenómeno y definir acciones de política pública que redunden en un mejoramiento de las capacidades de intervención de los entes involucrados. Se recomienda buscar acuerdos con las autoridades locales que permitan crear compromisos institucionales de corto y mediano plazo, con el objeto de lograr su implementación. Particularmente, se recomienda la actualización del Plan de Mejoramiento de la Calidad del Aire de Cuenca, cuyo horizonte de planificación fue superado hace más de un lustro.

Atentamente,

**Ing. C. Edgar Silva**

Gerente General

SIGETRANS S.A

## 10 BIBLIOGRAFÍA

- 1** Levantamiento de Información y Datos de Partida para la Construcción del Inventario de Emisiones Atmosféricas del Cantón Cuenca 2014, Empresa Pública de Movilidad de Cuenca-EMOV EP, 2014.
- 2** Giraldo, W. et al, Estimación de la Emisión de Contaminantes por Motocicletas en el Valle de Aburrá, Paper, Dyna, Año 75, Nro. 156, pp. 241-250. Medellín-COLOMBIA, 2008.
- 3** Puscan, F. et al., Captura de carbono en un sistema silvopastoril con aliso (*Alnus acuminata*), en el distrito de Molinopampa, Chachapoyas-PERÚ, 2016.
- 4** Minga, D. et al, Árboles y arbustos de los ríos de Cuenca, serie Textos Apoyo a la Docencia Universidad del Azuay, Imprenta Don Bosco, Cuenca-ECUADOR, 2016.
- 5** American Cancer Society. (s/f). Tasas de supervivencia para el cáncer de pulmón microcítico por etapa, 2017.
- 6** INEC, Conozcamos Cuenca a través de sus cifras, 2017.
- 7** Instituto Nacional de Angiología y Cirugía Vasculard, Esperanza de vida ajustada por enfermedad cerebrovascular, La Habana-CUBA, 2004.
- 8** Instituto Nacional de Angiología y Cirugía Vasculard, Esperanza de vida ajustada por cardiopatía isquémica, La Habana-Cuba, 2004.
- 9** Ecuador en cifras, Banco Central del Ecuador.
- 10** Organización Panamericana de la Salud, Contaminación del aire ambiental, 2017.
- 11** Plan V, El cáncer en el Ecuador: ¿Y los pacientes qué?. Quito-ECUADOR, 2016.
- 12** SOLCA, Sexto Informe de Epidemiología del cáncer en El Cantón Cuenca 2005-2009, Cuenca-ECUADOR, 2015.