

Incidencia económica por congestión vehicular. Un análisis enfocado en los transportistas del servicio público urbano.

Economic impact of traffic congestion. An analysis focused on urban public service carriers.

Mery Esperanza Ruiz Guajala¹  0000-0002-3684-7778  meryeruz@uta.edu.ec
César Medardo Mayorga Abril²  0000-0001-8671-4757  cesarmmayorga@uta.edu.ec
María de los Ángeles Salazar López³  0000-0002-7696-0564  msalazar1601@uta.edu.ec
Sofía Isabel Mayorga Urquizo⁴  0000-0003-2191-4373  sofia_mayorga97@yahoo.com

^{1,2} Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Contabilidad y Auditoría, Ambato, Ecuador

^{3,4} Profesionales independientes, Ambato, Ecuador

Código Clasificación JEL: : **C53, C65, H23, H71**

Recepción: 2022-06-10 / Aceptación: 2023-05-18 / Publicación: 2023-05-31

Citación/como citar este artículo: Ruiz, M., Mayorga, C., Salazar, M., Mayorga, S. (2023). Incidencia económica por congestión vehicular. Un análisis enfocado en los transportistas del servicio público urbano. ECA Sinergia, 14(2), 56-68. <https://doi.org/10.33936/ecasinergia.v14i2.5234>

RESUMEN

El transporte urbano constituye una actividad económica de vital importancia para el desarrollo y crecimiento de los pueblos, por lo tanto, es destacable conocer como la congestión vehicular y el caos que ésta genera incide económicamente en las diferentes operadoras del servicio de transporte. El presente estudio tiene por objetivo determinar el costo que asume el transportista por el consumo excesivo de combustible por la congestión vehicular. Para tal efecto se aplica una encuesta estructurada, a tasa de respuesta, a 99 choferes de buses urbanos de la ciudad de Ambato, indagando sobre el grado de afectación económica por congestión vehicular, posteriormente se aplica un modelo matemático para calcular el tiempo de exceso o demora por congestión y el costo del consumo de combustible causado por la misma externalidad. Los resultados más relevantes muestran que los transportistas sienten una afectación económica, reflejándose en términos monetarios valores significativos diarios de pérdida por consumo excesivo de combustible es de \$1,42 por hora, así como también de retraso en el tiempo de ruta que en promedio es de 30 minutos diarios por cada bus.

Palabras clave: Congestión; Buses; Transporte público; Costos; Externalidad

ABSTRACT

Urban transport constitutes an economic activity of vital importance for the development and growth of towns, therefore, it is important to know how traffic congestion and the chaos that it generates have an economic impact on the different transport service operators. The objective of this study is to determine the cost assumed by the carrier due to excessive fuel consumption due to traffic congestion. For this purpose, a structured survey is applied, at a response rate, to 99 urban bus drivers from the city of Ambato, inquiring about the degree of economic affectation due to vehicular congestion, later a mathematical model is applied to calculate the excess time or congestion delay and the cost of fuel consumption caused by the same externality. The most relevant results show that the carriers feel an economic affectation, reflecting in monetary terms significant daily values of loss due to excessive fuel consumption of \$1.42 per hour, as well as a delay in the route time that on average is 30 minutes per day for each bus.

Keywords: Congestion; Buses; Public transport; costs; externalities

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Ambato no se ha realizado un estudio que se enfoque en el costo que representa la congestión vehicular para los transportistas y, esto servirá para que las autoridades de control dispongan de información relevante para el mejoramiento de las políticas y reglamentos que optimicen el funcionamiento vial en lo referente al transporte urbano y disminuya el costo social.

El acelerado crecimiento urbano y el rápido incremento de los viajes en automóvil provocan la congestión del tráfico, la contaminación ambiental y otros problemas (Li et al., 2020). Es por eso que para la sociedad es fundamental el estudio de transporte público con la finalidad de construir un sistema eficiente que pueda minimizar la congestión, la contaminación y aumentar una óptima movilidad urbana (Ding et al., 2021; Uvaraja et al., 2019). Se ha argumentado que el transporte público es una estrategia alternativa para satisfacer las crecientes demandas de transporte del mundo, especialmente los pobres, de una manera sostenible y energéticamente eficiente (Chaturvedi & Kim, 2015).

Los principios de optimización del transporte público urbano se basan en reducir los tiempos de viaje, tiempo de espera por parte de los usuarios y consumo de combustible (Amer et al., 2019; Parcianello et al., 2019), motivándolos al uso de este medio y reduciendo por consiguiente el uso de sus vehículos particulares, minimizando la congestión vehicular y la contaminación ambiental (Barreto & America, 2020; Shatnawi et al., 2020). La congestión genera además problemas de estacionamiento a corto plazo, retraso en las actividades de los usuarios, y problemas de habitabilidad en varios sectores sobre todo en las áreas urbanas densas (Patel et al., 2017).

La congestión vehicular es una de los mayores desafíos siglo XXI, esto ocurre regularmente debido a cuellos de botella, carreteras estrechas, por interrupciones temporales y alto volumen de vehículos particulares (Khan & Arora, 2021), este fenómeno se produce comúnmente en las horas pico, y resulta frustrante para los conductores, ya que causa pérdidas de tiempo, consumo excesivo de combustible e incrementa el riesgo de accidentes (Neiron et al., 2018). La congestión afecta además de los usuarios, al ambiente y a la economía de un país (Barreto & America, 2020; Sadhukhan et al., 2021).

Esta congestión en muchas ocasiones genera costos que son asumidos por los transportistas a causa de los retrasos en la ruta (Rucobo et al., n.d.), por lo tanto en el presente estudio se aborda como componente de análisis económico, que son asumidos también por los usuarios quienes pierden tiempo mientras están esperando en una parada. Produciendo que sean menos productivos deteriorando el comportamiento social, generando efectos adversos en la economía (Ali et al., 2018).

La presente investigación permite conocer las afectaciones económicas que la congestión vehicular genera a los choferes del transporte urbano a través del estudio de costos, como son los tiempos extra utilizados y el elevado consumo de combustible que implican el recorrer a bajas velocidades.

METODOLOGÍA

El presente estudio es de tipo descriptivo y exploratorio, aplicado a cinco operadoras de transporte público urbano de la ciudad de Ambato- Ecuador, compuesta por 396 unidades en 22 líneas. Para llegar a conocer la percepción de los choferes ante la congestión vehicular que existe en el cantón Ambato, se aplicó una encuesta estructurada y validada con el alfa de Cronbach a una muestra de 195 conductores, considerando el 5% de error y se obtuvo respuesta de 99 choferes.

Para el desarrollo de la investigación, se determina las rutas en las zonas de mayor influencia de tráfico en el cantón Ambato, una vez conocidas dichas zonas se calculan los costos por la congestión vehicular tomando en cuenta las metodologías aplicadas por Pablo Muñoz Puentes (2014) y de Karina Guamaní Clavijo (2017), que consideran dos factores económicos importantes en el transporte urbano y en el diario vivir como: el exceso de tiempo que los usuarios invierten en su desplazamiento y el exceso de consumo del combustible por la circulación a velocidades muy lentas, mismas que afectan a la productividad.

Posteriormente se utiliza el modelo matemático propuesto por Muñoz (2014), con el cual se calculan los costos operacionales de la congestión vehicular desde un punto de vista del exceso de tiempo que los choferes invierten en su desplazamiento desde el lugar de origen hasta su destino, considerando dos fases:

1.-Delimitación espacial identificando las rutas que cubren los buses urbanos, una delimitación temporal especificando cuándo y qué tiempo dura la toma de datos y finalmente, se realiza una descripción de las variables de estudio.

2.- Medición del flujo vehicular y los costos operacionales que genera.

Las variables de flujo y velocidades vehiculares se determinan a través del cálculo de las cantidades de transporte privado y público en las intersecciones seleccionadas y las velocidades promedio de los tramos viales en las rutas que cubre el transporte urbano.

Los modelos matemáticos que permiten calcular el tiempo extra de pérdida por viaje y el consumo de combustible diario están indicados en la Ecuación 1 y 2 respectivamente:

$$\text{Tiempo extra de pérdida por viaje} = \text{tiempo de viaje en la situación real} - \text{tiempo de viaje en la situación ideal} \quad (1)$$

Para el cálculo del tiempo extra de pérdida diaria se asume que, por lo general, en un día se realizan dos viajes uno de ida y uno de vuelta. Este cálculo se lo realiza con la ecuación 2:

$$\text{Tiempo extra de pérdida diario} = k = 12vk * Ock * \text{tiempo extra de pérdida por viaje} * 2 \quad (2)$$

Donde:

k= Tipo de vehículo: 1. transporte privado; 2. transporte público.

vk= Cantidad de vehículos del tipo k.

Ock= Tasa de ocupación promedio para el tipo de vehículo k (pasajeros / vehículos).

Para el cálculo del tiempo extra de pérdida anual se considera 305 días, descontando los días domingo y feriados. El cálculo se indica a continuación:

$$\text{Tiempo extra de pérdida anual} = \text{tiempo extra de pérdida diario} * 305$$

El consumo de combustible se considera como un costo operacional, para el cálculo de este en un tramo ij durante un tiempo se utiliza la ecuación 3:

$$C_g = P_g T_c Q_{ijk} C_{60} \left(0,8 + \frac{12,66}{V_{ijk}} \right) L_{ij}$$

Donde:

Cg= Costo de combustible para una velocidad de congestión en el tramo ij.

Pg= Precio de combustible sin los impuestos.

Tc= Tiempo de duración de la congestión.

Qijk= Número promedio de vehículos tipo k por hora.

C60= Consumo del vehículo a una velocidad de 60 km/hora.

V_ijk= Velocidad de congestión en el tramo ij.

Lij= Longitud del tramo en estudio.

La cantidad de vehículos se obtiene de los resultados que arroja el conteo tipo k en las intersecciones a través de mediciones directas in situ, tomando como referencia exacta la intersección de mayor flujo de vehículos.

Debido a la dificultad de un conteo total de pasajeros que transporta un bus se procederá de acuerdo con lo expuesto por Fernández (2014): se considera una tasa de ocupación promedio acorde a categorías de ocupación y posteriormente se ubica esta categoría de tasas promedio por tipo de vehículo de transporte público.

Muestra y unidad de análisis

El servicio de transporte público urbano en la ciudad de Ambato cuenta con 5 operadoras: Cooperativa Libertadores (Operadora 1), Cooperativa Tungurahua (Operadora 2), Cooperativa Unión Ambateña (Operadora 3), Cooperativa Vía Flores (Operadora 4), Compañía Jerpazsol (Operadora 5); recorren 22 líneas entre los diferentes sectores de la ciudad con un total de 396 buses, en

horarios que van de 7:00 a 20:00 y algunas hasta las 22:00. El detalle de este sistema se visualiza en la Tabla 1. Es importante indicar que al momento del estudio no existía en operación la ruta 12 y 13 por tal motivo no se lo consideró dentro de la investigación.

Tabla 1: Operadoras del transporte urbano

Operadora	Cantidad	Nº Ruta	Trayecto
Cooperativa Los Libertadores	65	Ruta N°1	Techo Propio - Mercado América -Andiglada y viceversa
		Ruta N°2	La Florida - 4 Esquinas - Cashapamba y viceversa
		Ruta N°3	La Península - Las Orquideas y viceversa
		Ruta N°4	Seminario Mayor - Ingahurco y viceversa
		Ruta N°5	Tangaiche - Macasto - Pondoá y viceversa
Cooperativa Tungurahua	145	Ruta N°6	La Libertad - Ingahurco - Miraflores y viceversa
		Ruta N°7	Mercado Mayorista - Letamendi - C. Fernández y viceversa
		Ruta N°8	Montalvo - El Recreo y viceversa
		Ruta N°9	Terminal Terrestre - Huachi Progreso - Izamba y viceversa
		Ruta N°10	T. Terrestre - M. Mayorista - Augusto Martínez y viceversa
		Ruta N°11	Pucarumi - Cunchibamba - Tigua y viceversa
		Ruta N° 14	Ficoa - Terremoto - Totoras y viceversa
Cooperativa Unión Ambateña	86	Ruta N° 14	Ficoa - Terremoto - Totoras y viceversa
		Ruta N° 15	La Joya - El Pisque - Parque Industrial y viceversa
		Ruta N° 16	Pinllo - Nuevo Ambato y viceversa
		Ruta N° 17	Picaihua - Cdla. España y viceversa
		Ruta N° 18	San Juan - Pisque - Barrio Amazonas y viceversa
Cooperativa Vía Flores	45	Ruta N°19	San Pablo - Santa Rosa - Plaza Pachano y viceversa
		Ruta N°20	Juan Benigno Vela - Ex Redondel de Izamba y viceversa
Compañía Jerpazsol	55	Ruta N°21	Manzana de Oro -Huachi Grande - Puerto Arturo y viceversa
		Ruta N°22	Los Ángeles - Atocha - Izamba y viceversa

Fuente: Elaboración propia

Previo a la aplicación del cuestionario a los choferes se validó el mismo, a través del Alfa de Cronbach, que asume que los ítems (medidos en escala tipo Likert) miden un mismo constructo y que están altamente correlacionados, esto es cuanto más cerca se encuentre a 1, mayor es la consistencia interna de los ítems analizados (Frías-Navarro, 2021). Como criterio general, se sugiere la siguiente escala para evaluar los coeficientes de Alfa de Cronbach:

Si el coeficiente alfa >0,9 es excelente; si >0,8 es bueno; si >0,7 es aceptable; si >0,6 es cuestionable; si >0,5 es pobre; si <0,5 es inaceptable.

Para el cálculo de este indicador de fiabilidad se utilizó la ecuación 4

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left[1 - \frac{\sum Vi}{Vt} \right] \quad (4)$$

Donde:

- α Alfa de Cronbach
- K Número de ítems
- V_i Varianza de cada ítem
- V_t Varianza total

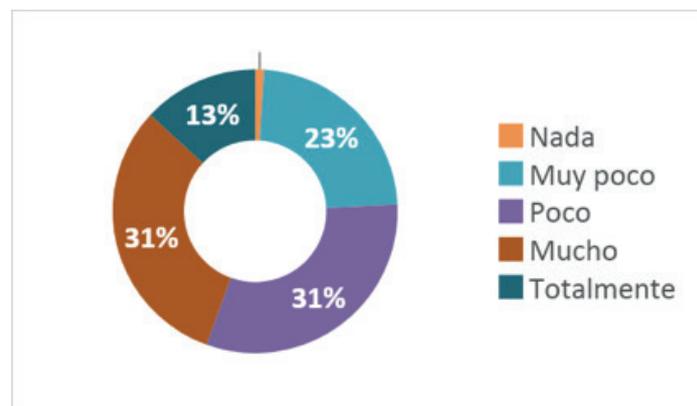
El resultado de la validación arrojó un valor de 0,896 para el instrumento que indica que es confiable.

RESULTADOS

Al ser la congestión la saturación de vías tanto urbanas como interprovinciales, es evidente que genere atrasos en usuarios y choferes, que deben cumplir con tiempos estrictos sus rutas. Sin embargo, luego de la aplicación de las encuestas, la mayoría de los choferes (55%) mencionan estar afectados en poco y muy poco respecto a esta variable de estudio.

En la Figura 1 se aprecian los resultados de la pregunta realizada a los choferes respecto a si la congestión genera atraso en el recorrido de la ruta, donde se puede evidenciar que el 44% considera que le afecta entre mucho y totalmente.

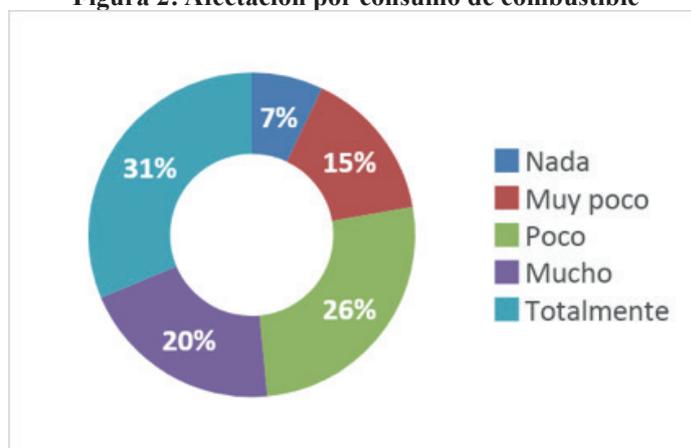
Figura1: Afectación por exceso de tiempo



Fuente: Elaboración de autores

En la Figura 2 se expresa que el 52% de choferes se ven afectados por el exceso de consumo de combustible debido a la congestión, esto es importante abordarlo en virtud que al tener que cargar más combustible para el mismo recorrido, genera costos adicionales en el presupuesto que establece cada uno, es por eso importante calcular el valor del costo que se genera por consumo de combustible y determinar el nivel de afectación diario y mensual sobre quienes prestan tan importante servicio.

Figura 2: Afectación por consumo de combustible



Fuente: Elaboración de autores

Tiempo extra de pérdida por viaje

Las variables de flujo y velocidades vehiculares son aquellas que se necesitan para conocer los costos que la congestión vehicular genera, en este sentido, el tratamiento de la información en las mediciones obtenidas sirve de base para establecer la cantidad de vehículos del transporte privado y público en las intersecciones seleccionadas, velocidades promedio de los tramos viales en las rutas que cubre el transporte urbano. Este conteo se lo realizó in situ en 6 días de la semana en un horario de 6:00 a 9:00 en la mañana (horario con congestión) y de 14:00 a 17:00 (horario sin congestión) considerando autos particulares y de servicio público, en una intersección en la ciudad de Ambato donde se genera mayor afluencia de vehículos.

Los resultados obtenidos del flujo vehicular registrado en las intersecciones seleccionadas se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2: Promedio de vehículos por intersección

Ruta 1	774	Ruta 11	489
Ruta 2	888	Ruta 14	345
Ruta 3	986	Ruta 15	567
Ruta 4	560	Ruta 16	560
Ruta 5	345	Ruta 17	888
Ruta 6	1173	Ruta 18	786
Ruta 7	503	Ruta 19	503
Ruta 8	456	Ruta 20	329
Ruta 9	566	Ruta 21	456
Ruta 10	560	Ruta 22	503

Fuente: Fuente: Elaboración de autores

Los resultados de las velocidades promedio del transporte público por tramo con y sin congestión se observa en la Tabla 3.

Tabla 3: Velocidades promedio del transporte público

Ruta	Desde	Hasta	Velocidad Sin Congestión (Km/h)	Velocidad Con Congestión (Km/h)
Ruta 1	Techo Propio	Andiglada	14,52	14,03
Ruta 2	La Florida	Cashapamba	13,20	12,80
Ruta 3	La Península	Las Orquideas	15,38	14,63
Ruta 4	Seminario Mayor	Ingahuaco	14,30	13,10
Ruta 5	Tangaiche	Ponchoa	13,15	13,07
Ruta 6	La Libertad	Miraflores	13,07	12,90
Ruta 7	M. Mayorista	C. Fernández	16,58	14,62
Ruta 8	Montalvo	El Recreo	14,10	13,28
Ruta 9	T. Terrestre	Izamba	14,67	14,01
Ruta 10	T. Terrestre	A. Martínez	14,23	13,92
Ruta 11	Pucarumi	Tigua	13,03	12,83
Ruta 14	Ficoa	Totoras	13,8	12,03
Ruta 15	La Joya	P. Industrial	13,63	13,00
Ruta 16	Pinillo	Nuevo Ambato	15,28	13,45
Ruta 17	Picaihua	Cdla. España	16,13	13,95
Ruta 18	San Juan	B. Amazonas	15,78	15,18
Ruta 19	San Pablo	Plaza Pachano	12,10	11,92
Ruta 20	J. Benigno Vela	Ex redondel Izamba	12,95	12,23
Ruta 21	Manzana de Oro	Puerto Arturo	15,43	14,38
Ruta 22	Los Ángeles	Izamba	13,73	12,77

Fuente: Elaboración de autores

Utilizando la ecuación 1, se establece los tiempos extra de pérdida en la situación real en horario con congestión e ideal en horario sin congestión, y su diferencia corresponde al tiempo extra de pérdida ocasionado por la congestión vehicular.

Para la obtención del tiempo en situación ideal se realizó mediciones en 6 días de la semana en horario sin congestión sumando los tiempos que se detienen los buses esperando circular en su ruta, luego se promedió los datos de cada día en minutos y luego se convierte a horas para el respectivo registro. De igual forma se procedió en la situación real, pero en el horario con mayor afluencia de vehículos.

La Tabla 4 presenta los tiempos de viaje por ruta en la situación real, ideal y su diferencia que corresponde al tiempo extra de pérdida por viaje en cada ruta.

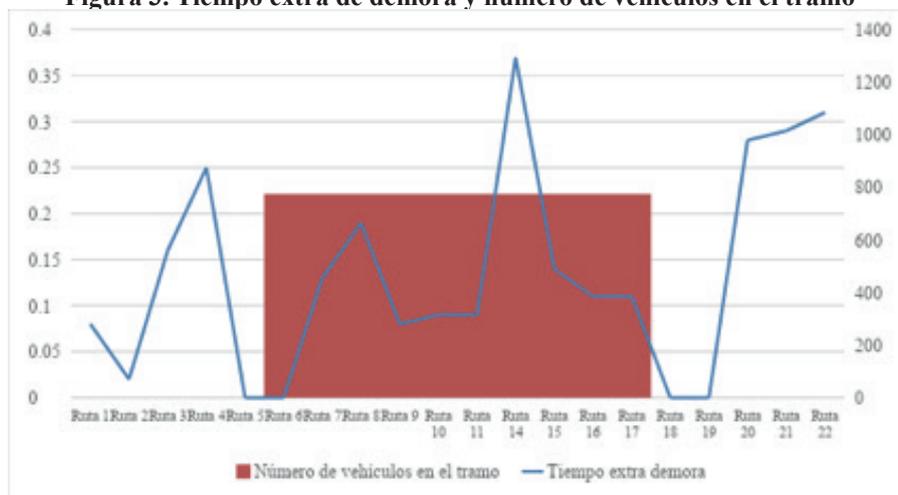
Tabla 4: Tiempo extra de pérdida por viaje en el cantón Ambato

Rutas	Situación Ideal(hora)	Situación Real(hora)	Diferencia(hora)
Ruta 1	0,18	0,26	0,08
Ruta 2	0,19	0,21	0,02
Ruta 3	0,19	0,36	0,16
Ruta 4	0,09	0,34	0,25
Ruta 5	0,34	0,21	0,00
Ruta 6	0,25	0,17	0,00
Ruta 7	0,17	0,29	0,13
Ruta 8	0,28	0,46	0,19
Ruta 9	0,24	0,32	0,08
Ruta 10	0,33	0,42	0,09
Ruta 11	0,22	0,31	0,09
Ruta 14	0,05	0,42	0,37
Ruta 15	0,11	0,24	0,14
Ruta 16	0,18	0,29	0,11
Ruta 17	0,11	0,22	0,11
Ruta 18	0,40	0,29	0,00
Ruta 19	0,38	0,27	0,00
Ruta 20	0,22	0,50	0,28
Ruta 21	0,14	0,43	0,29
Ruta 22	0,10	0,40	0,31
		Promedio	0,13

Fuente: Elaboración de autores

Como se puede apreciar la ruta 14, expone el tiempo extra de pérdida por viaje con mayor valor correspondiente a 0,37 horas es decir 21 minutos en comparación con el resto de las rutas definidas para este estudio. Cuatro de estas rutas reflejan que no existe una pérdida de tiempo en el viaje en comparación del tiempo real al tiempo ideal que debe cumplir la ruta, estas son la ruta 5, la ruta 6, la ruta 18 y 19, lo que indica que son eficientes respecto a esta variable de estudio. El promedio de tiempo extra de pérdida de todas las líneas es de 0,13 horas equivalente a 7,8 min. En la Figura 3 se muestra el tiempo de pérdida extra por ruta con relación al número de vehículos que causan dicha congestión, donde se aprecia que no existe algún tipo de correlación o dependencia del tiempo extra de pérdida de tiempo respecto al número de vehículos en el tramo analizado.

Figura 3. Tiempo extra de demora y número de vehículos en el tramo



Fuente: Elaboración de autores

Consumo de combustible

$$C_g = P_g T_c Q_{ijk} C_{60} \left\{ 0,8 + \frac{12,66}{V_{ijk}} \right\} L_{ij}$$

El autor de la formula indica que por cada 100 km los buses utilizan 13 litros de combustible; para llevar a cabo el desarrollo de la formular se realiza el siguiente cálculo:

litros de combustible por kilometro=13/100=0,13 litros por c/k

Para el cálculo del costo de consumo de combustible, se utiliza la fórmula 3 y los resultados se los expresa en la Tabla 5.

Tabla 5: Consumo de combustible para el promedio de vehículos

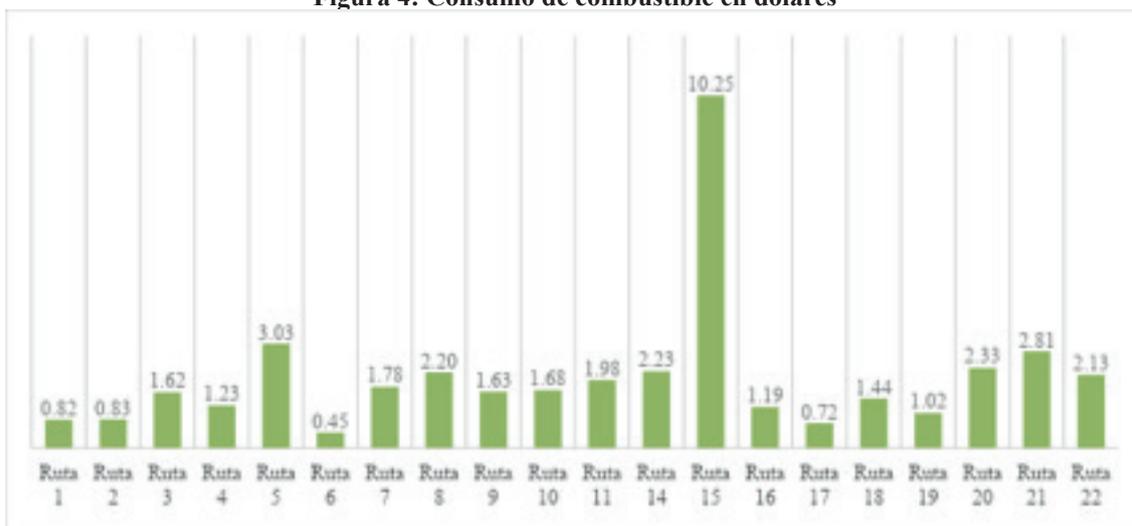
Ruta	Precio del combustible (litros por litro)	Total tiempo de congestión (hora)	Promedio promedio de vehículos que lo por hora	Consumo de combustible a velocidad de 60km/h	Velocidad promedio en congestión (km/h)	Longitud del Tramo (km)	Consumo de Combustible (en millones)
Ruta 1	1,80	0,30	74	0,13	42,0	7,0	81,00
Ruta 2	1,80	0,30	88	0,13	32,0	8,0	76,00
Ruta 3	1,80	0,30	98	0,13	34,0	10,0	119,70
Ruta 4	1,80	0,30	98	0,13	32,0	5,0	66,00
Ruta 5	1,80	0,30	98	0,13	32,0	10,0	119,70
Ruta 6	1,80	0,30	170	0,13	22,0	6,0	71,00
Ruta 7	1,80	0,30	98	0,13	34,0	10,0	119,70
Ruta 8	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 9	1,80	0,30	98	0,13	34,0	11,0	131,70
Ruta 10	1,80	0,30	98	0,13	32,0	8,0	87,00
Ruta 11	1,80	0,30	98	0,13	32,0	10,0	119,70
Ruta 12	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 13	1,80	0,30	110	0,13	30,0	10,0	113,70
Ruta 14	1,80	0,30	110	0,13	30,0	10,0	113,70
Ruta 15	1,80	0,30	110	0,13	30,0	10,0	113,70
Ruta 16	1,80	0,30	110	0,13	30,0	10,0	113,70
Ruta 17	1,80	0,30	98	0,13	32,0	7,0	81,00
Ruta 18	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 19	1,80	0,30	503	0,13	22,0	8,0	511,37
Ruta 20	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 21	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 22	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 23	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 24	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 25	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 26	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 27	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 28	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 29	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 30	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 31	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 32	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 33	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 34	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 35	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 36	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 37	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 38	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 39	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 40	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 41	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 42	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 43	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 44	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 45	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 46	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 47	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 48	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 49	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 50	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 51	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 52	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 53	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 54	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 55	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 56	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 57	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 58	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 59	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 60	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 61	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 62	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 63	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 64	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 65	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 66	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 67	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 68	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 69	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 70	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 71	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 72	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 73	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 74	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 75	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 76	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 77	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 78	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 79	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 80	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 81	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 82	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 83	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 84	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 85	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 86	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 87	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 88	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 89	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 90	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 91	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 92	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 93	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 94	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 95	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 96	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 97	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 98	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 99	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00
Ruta 100	1,80	0,30	98	0,13	32,0	11,0	126,00

Fuente: Elaboración de autores

El menor costo por consumo de combustible que genera un promedio de vehículos de 503 es de \$511,37 el cual pertenece a la ruta número 19. Mientras que para la ruta número 3 con un promedio de 986 vehículos el consumo de combustible es de \$ 1594,74. La pérdida promedio por hora, generada por la congestión vehicular es de \$1.42

El consumo de combustible que se refleja en las rutas antes mencionadas varía debido al número promedio de vehículos que transitan por las vías que llevan a cada uno de los destinos que las cooperativas cubren. En la Figura 4 se observa el consumo de combustible por cada vehículo en la ruta debido a la congestión.

Figura 4: Consumo de combustible en dólares



Fuente: Elaboración de autores

El consumo de combustible para un vehículo en la ruta número 6 debido a la congestión vehicular es de \$0,45 en las rutas 10 y 15 es de \$10,25.

DISCUSIÓN

En la provincia de Tungurahua los problemas de movilidad están relacionados con el progresivo incremento del uso de transporte privado y debido a ello el correspondiente decremento del transporte urbano, el cual se distribuye de forma inequitativa según las clases sociales, como consecuencia de este fenómeno, las ciudades incrementan sus problemas de congestión vehicular advirtiendo que el futuro de la movilidad de la ciudad sea insostenible, por lo que la medición de los costos económicos de la congestión vehicular es necesaria para el desarrollo e implementación de programas que ayuden a atenuar este problema (Guamaní Clavijo, 2017).

Los resultados muestran una gran variación en los tiempos de retraso entre las diferentes líneas de autobuses estudiadas, esto se debe a la topografía compleja que tiene la ciudad, ya que se encuentra situada en una zona montañosa de la región Andina, lo que genera que unas rutas sean más rápidas que otras como se observa en la Tabla 3. Se ha evidenciado que existen rutas donde el consumo de combustible es muy elevado como la 15 por ejemplo, debido principalmente a la distancia de recorrido de las rutas, ya que el tramo que cubre la 15 es de 98,02 km misma que es la ruta más lejana en comparación a todas las demás rutas en estudio. Las rutas más eficientes en cuanto a la mínima pérdida de tiempo por congestión son son la 5,6, 18 y 19, esto debido a su baja demanda de pasajeros y corto trayecto.

De acuerdo con las indagaciones realizadas sobre este tipo de estudios, no se ha encontrado investigaciones similares dentro del este contexto económico para poder comparar con el estudio propuesto

CONCLUSIONES

Es evidente en función de los resultados que la congestión vehicular genera afectaciones económicas a los choferes, tanto por pérdidas de tiempo, como por consumo adicional de combustible, así lo manifiestan los resultados obtenidos en las encuestas y los cálculos realizados a través de algoritmos matemáticos.

Según las encuestas aplicadas a los transportistas, se corrobora que tanto el retraso de tiempo en la ruta como el consumo de combustible, son los factores más relevantes en la afectación económica que pueden tener a causa de la congestión vehicular. Estos factores varían entre las 22 rutas estudiadas, debido principalmente a elementos como la longitud de tramo, demanda de pasajeros y flujo vehicular particular por el tramo.

Los resultados obtenidos permiten tener una visión más amplia del nivel de afectación de la congestión vehicular en el servicio de transporte público urbano, dejando abierta la posibilidad de realizar estudios donde se generen estrategias futuras que permitan mitigarlas.

Agradecimiento:

Los autores agradecen a la Universidad Técnica de Ambato (UTA) y a la Dirección de Investigación y Desarrollo (DIDE) por su apoyo brindado para la ejecución exitosa de este trabajo a través del proyecto de investigación titulado “Impacto socioambiental de las externalidades del servicio de transporte urbano en Ambato. Modelo de optimización”, código PFCAUD10.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ali, M., Manogaran, S., Yusof, K. M., & Suhaili, M. R. M. (2018). Analysing vehicular congestion scenario in Kuala Lumpur using open traffic. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 10(3), 875–882. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v10.i3.pp875-882>

<https://ijeecs.iaescore.com/index.php/IJEECS/article/view/11962>.

Amer, H. M., Al-Kashoash, H., Hawes, M., Chaqfeh, M., Kemp, A., & Mihaylova, L. (2019). Centralized simulated annealing for alleviating vehicular congestion in smart cities. *Technological Forecasting and Social Change*, 142, 235–248. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.09.013>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162517312052?via%3Dihub>

Barreto, C., & America, L. (2020). Climate Bonds Initiative Bonos ODS.

Chaturvedi, V., & Kim, S. H. (2015). Long term energy and emission implications of a global shift to electricity-based public rail transportation system. *Energy Policy*, 81, 176–185. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.11.013>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421514006211?via%3Dihub>

Ding, F., Wang, Y., Cai, G., Zhang, D., & Zhu, H. (2021). Design and Evaluation of Traffic Congestion Index for Yancheng City. In *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 1143).

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-3753-0_74

Fernandez, R. (2014). TEMAS DE INGENIERÍA Y GESTIÓN DE TRÁNSITO.

https://www.researchgate.net/publication/263925186_TEMAS_DE_INGENIERIA_Y_GESTION_DE_TRANSITO

Frías-Navarro, D. (2021). Apuntes de consistencia interna de las puntuaciones de un instrumento de medida. <https://doi.org/10.17605/osf.io/kngtp>

<https://osf.io/kngtp/>

Guamaní Clavijo, K. E. (2017). Estimación de los costos económicos de la congestión vehicular en Quito en el año 2016. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18787>

Khan, M., & Arora, B. (2021). Traffic Jam Minimization and Accident Avoidance System Using IoT. In *Lecture Notes in Electrical Engineering* (Vol. 694). https://doi.org/10.1007/978-981-15-7804-5_4

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-7804-5_4

Li, W., Feng, W., & Yuan, H.-Z. (2020). Multimode traffic travel behavior characteristics analysis and congestion governance research. *Journal of Advanced Transportation*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6678158>

<https://www.hindawi.com/journals/jat/2020/6678158/>

Muñoz, P. (2014). Metodología para evaluar los sobrecostos por congestión vehicular en la malla vial arterial principal de la ciudad de Bogotá D.C.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/51794/02293252.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Neiron, R., Tarriba, T., Fredy, A., & Cuervo, L. (2018). Análisis de causalidad de congestión vehicular de la ciudad de Santa Marta. <https://1library.co/document/zkwvn5pz-analisis-causalidad-congestion-vehicular-ciudad-santa-marta.html>

Parcianello, Y., Kozievitch, N. P., Fonseca, K. V. O., Rosa, M. D. O., Gadda, T. M. C., & Malucelli, F. C. (2019). Transportation: An Overview from Open Data Approach. 2018 IEEE International Smart Cities Conference, ISC2 2018. <https://doi.org/10.1109/ISC2.2018.8656937>
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8656937>

Patel, B., Desai, N. B., Kachhwaha, S. S., Jain, V., & Hadia, N. (2017). Thermo-economic analysis of a novel organic Rankine cycle integrated cascaded vapor compression–absorption system. *Journal of Cleaner Production*, 154, 26–40. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.220>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617306911?via%3Dihub>

Rucobo, N. P. R., Bencomo, J. O. V., & Esparza, A. R. (n.d.). Vialidad: Evaluación del congestionamiento vehicular en intersecciones viales. *Cultura Científica y Tecnológica*, 56. Retrieved July 30, 2021, from <http://revistas.uacj.mx/ojs/index.php/culecyt/article/view/690>

Sadhukhan, P., Banerjee, S., & Das, P. K. (2021). Road Traffic Congestion Monitoring in Urban Areas: A Review. In *EAI/Springer Innovations in Communication and Computing*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70183-3_8
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-70183-3_8

Shatnawi, N., Al-Omari, A. A., & Al-Qudah, H. (2020). Optimization of Bus Stops Locations Using GIS Techniques and Artificial Intelligence. *Procedia Manufacturing*, 44, 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.204>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978920307903?via%3Dihub>

Uvaraja, V., Lee, L. S., & Ab. Rahmin, N. A. (2019). Multiple Tabu Search for multiobjective Urban Transit Scheduling Problem. *ASM Science Journal*, 12(Special Is), 150–173.
<https://www.akademisains.gov.my/asmsj/article/multiple-tabu-search-for-multiobjective-urban-transit-scheduling-problem/>