Vol. 23, n.° 1, enero-junio de 2025
ISSN impreso: 1657-6527 • ISSN en línea: 2145-8502

FUENTES
EL REVENTÓN ENERGÉTICO

Análisis de la emisión de gases producto de la combustión de vehículos livianos en la provincia de Santa Elena

Analysis of gas emissions from the combustion of lightweight vehicles in the province of Santa Elena

Carlos Malavé-Carrera[1*], Angela García-Guillén[1], Carlos Portilla-Lazo[1], Juan Pablo Ramírez[1], Kenny Escobar-Segovia[2*], Luis Porras-Ramirez[3]

[1] Universidad Estatal Península de Santa Elena, Santa Elena-Ecuador
[2] Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, RIIAHE, Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Guayaquil-Ecuador
[3] Universidad del Pacífico, Guayaquil-Ecuador

*E-mail: cmalave@upse.edu.ec

Recibido: 26 febrero, 2025. Aceptado: 30 mayo, 2025.

Resumen

La contaminación provocada por el sector automotriz es un problema mundial que las nuevas tecnologías están intentando solucionar. El objetivo de la presente investigación fue cuantificar las emisiones de gases producto de la combustión mediante el equipo automotive exhaust gas analyser para la estimación la producción de gases producto de la combustión. El análisis de las emisiones de gases de los vehículos livianos implica el uso de equipos de prueba tales como el dinamómetro de chasis o el analizador de emisiones portátil, que es un dispositivo auto aspirante, con un extractor de aire incorporado. Dentro del analizador hay un sensor infrarrojo no dispersivo (*NDIR*) utilizado para la detección cuantitativa de gases. Con uno de estos dispositivos se mide el nivel de contaminantes emitidos por los vehículos en sus diferentes ciclos de conducción. Para hacer esto, la manguera se conecta al tubo de escape del automóvil y los gases del aire ingresan al analizador a través de un bypass. Una vez que se han recopilado los datos de las pruebas realizadas, se hace una estimación de emisiones para 5 y 10 años que, en este caso, resultó que la línea de tendencia es positiva evidenciando un aumento de emisión de gases para el año 2027 a 160.000 ton/año y 190.000 ton/año para el 2032, siempre y cuando en la provincia de Santa Elena se mantenga el uso de la gasolina como combustible.

Palabras clave: Sector automotriz, emisión de gases, analizador de gases, tubo de escape, provincia de Santa Elena.

Abstract

The pollution caused by the automotive sector is a global problem that recent technologies are trying to solve. The objective of this research was to quantify the emissions of gases produced by combustion using the automotive exhaust gas analyzer equipment to estimate the production of gases produced by combustion. The analysis of gas emissions from lightweight vehicles involves the use of test equipment such as the chassis dynamometer or the portable emission gas analyser, which is a self-suctioning device with a built-in exhaust fan. Inside the analyzer is a non-dispersive infrared (NDIR) sensor used for quantitative gas detection. One of these devices is used to measure the level of pollutants emitted by vehicles in their different driving cycles. To do this, the hose is connected to the car's exhaust pipe and the air gases enter the analyzer through a bypass. Once the data from the tests

Forma de citar: García-Guillén, A., Makavé-Carrera, C., Ramirez, J. P., Escobar-Segovia, K., & Porras-Ramirez, L. (2025). Análisis de la emisión de gases producto de la combustión de vehículos livianos en la provincia de Santa Elena. *Revista Fuentes, el Reventón Energético*, *23*(1), 33-46. doi: https://doi.org/10.18273/revfue.v23n1-2025002.

have been collected, an emissions estimate is made for 5 and 10 years. In this case, the trend line is positive, showing an increase in gas emissions by 2027 to 160,000 tons/year and 190,000 tons/year by 2032, provided that gasoline continues to be used as fuel in the province of Santa Elena.

Keywords: Automotive sector, gas emissions, gas analyser, exhaust pipe, province of Santa Elena**.**

1. Introducción

En los últimos veinte años, se ha encontrado un notable aumento en el uso del gas natural como fuente de energía a nivel mundial en el sector energético. El gas natural ofrece beneficios económicos debido a sus abundantes reservas, precios históricamente bajos y su eficiencia en varias aplicaciones industriales. También contribuye a la reducción de la contaminación ambiental en comparación con los combustibles fósiles (Paz-Barzola & Escobar-Segovia, 2025) (Ordoñez-Obando y otros, 2022) .

Los autos que funcionan con motores de combustión interna emiten cantidades significativas de contaminantes como monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y partículas finas, los cuales son perjudiciales tanto para la salud como para el medio ambiente (Castillo-Bravo y otros, 2022).

La presencia de oxígeno en los gases de escape indica una combustión incompleta de la mezcla, dando lugar a la formación de gases contaminantes. Por ello, midiendo el porcentaje de oxígeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono y Lambda producto de la combustión de los motores a gasolina, se puede definir si existe o no una diferencia al emplear carros con gas natural vehicular. (López Rojas, 2011)

El analizador de gases de escape de automóviles es un dispositivo que se utiliza para medir las emisiones de los automóviles, el monóxido de carbono y otros gases causados por una combustión incorrecta. Para esto, se conecta una manguera al tubo de escape del automóvil y los gases de escape ingresan al analizador a través de un bypass. Es un dispositivo auto aspirante con un extractor de aire incorporado. Dentro del analizador hay un sensor infrarrojo no dispersivo (NDIR) para la detección cuantitativa de gases. Lambda o comúnmente llamado sensor de oxígeno, mide la concentración de oxígeno en los gases de escape para que el motor adapte la mezcla de aire-combustible, consiguiendo con esto, que la combustión interna del motor sea la correcta, haciendo que se reduzca el consumo y, por tanto, las emisiones contaminantes (López Rojas, 2011).

El objetivo de la presente investigación fue cuantificar las emisiones de gases producto de la combustión mediante el equipo automotive exhaust gas analyser para la estimación la producción de gases producto de la combustión. La metodología aplicada al presente estudio para determinar la concentración de las emisiones provenientes del sistema de escape de vehículos es de tipo no experimental, las cuales permiten analizar y establecer relaciones entre las variables propuestas obtenidas a partir de la muestra de la flota vehicular de la provincia de Santa Elena debido a que no se modificaron las variables, si no que se estudia de forma natural y como se presenta en el contexto.

2. Materiales y métodos

Los datos deben ser tomados por medio del "automotive Exhaust Gas Analyser", el cual permite medir el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono ($CO_{2)}$, oxigeno (O_2), hidrocarburos (HC), COK y el valor de lambda, a los vehículos de 5 pasajeros a gasolina de la muestra representativa anteriormente calcula.

Como se dijo anteriormente, cada prueba se efectúa con el vehículo a una velocidad de giro de motor ralentí y luego se aumenta la revolución a 2500 rpm. El vehículo debe estar a temperatura de funcionamiento. (Chamarravi Guerra & Saavedra Calixto, 2013)

Aplicando la norma INEN 2204: *Gestión Ambiental. aire. vehículos automotores. límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina*" detallada anteriormente, lo que permite obtener datos para determinar si el parque automotor cumple o no con los límites permitidos normativamente y realizar el pronóstico sobre la cantidad de emisiones que salen del sistema de escape de los vehículos. (Gawusu y otros, 2022; Pérez Darquea, 2018; Sanchez Yunga & Zúñiga Guzhñay, 2018; Veintimilla Martínez, 2016)

Toma y recolección de la muestra

Para este estudio la población elegida son los vehículos a gasolina del año 2021 de la provincia de Santa Elena, dando un total de 29.887 vehículos y la muestra fue de 95 vehículos.

Procesamiento de la información

Los datos obtenidos por el analizador serán procesados en una hoja de cálculo en Excel para la caracterización de los gases de combustión de vehículos a gasolina.

Posteriormente se recurre a la regresión lineal que permite realizar un análisis de tendencia, análisis de causalidad y un pronóstico para 5 y 10 años. (Chamarravi Guerra & Saavedra Calixto, 2013).

Como último paso, calcular la emisión total a partir del cálculo del factor de emisión, El modelo representa la conversión de lambda con sus productos según la ecuación (1); donde las variables a, b, c, d, e, f y m donde son valores considerados estequiométricos desconocidos y que se define en moles formados un mol de combustible consumido; haciendo un balance de masa respecto a la cantidad de carbono presente. En el combustible; se puede escribir como la ecuación (2) (Franco y otros, 2013)

$$CH_Y + m(0.21\ O_2 + 0.79\ N_2)aCO + bH_2O + cC_3H_6 + dCO_2 + eN_2 + fNO \quad (1)$$

$$1 = a + 3c + d \quad (2)$$

Los contaminantes generados por el tubo de escape se analizan según la ecuación (3); donde $\boldsymbol{RCO}$ es la relación de CO respecto al dióxido de carbono medido en porcentaje y $\boldsymbol{RHC}$ es la relación del HC con respecto al dióxido de carbono también medido en porcentaje.

$$d = \frac{1}{RCO + 3RHC + 1} \quad (3)$$

La ecuación (4) se determinan los FE en términos de gramos de contaminantes cada kilómetro recorrido, el subíndice i representa con cada contaminante como el CO, HC y NOx; el MWcomb es el peso molecular equivalente del combustible y el MWi, el peso molecular equivalente de los contaminantes, ρcomb es la densidad del combustible g/m3y cc es el consumo de combustible por la distancia recorrida en m3/km

$$FE_i = \frac{1}{R_{co} + 3R_{HC} + 1} * \frac{MW_i}{MW_{comb}} * \rho_{comb} * c.c; (\frac{g}{km}) \quad (4)$$

3. Resultados y discusión

Caracterización del parque automotor de la provincia de Santa Elena

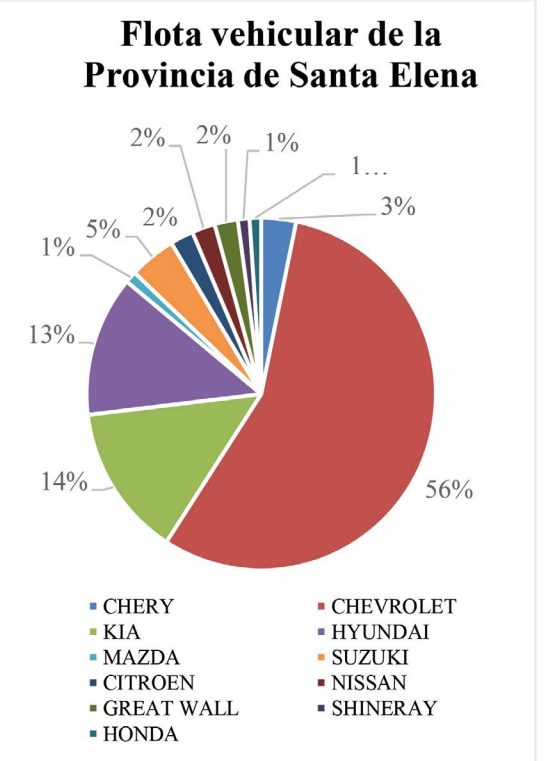

Figura 1. Porcentaje de la flota vehicular muestreada de la Provincia de Santa Elena

Como se observa en la figura 1 de la muestra en estudio anteriormente obtenida, las marcas con mayor número de vehículos en la provincia de Santa Elena son: marca Chevrolet con un 56% seguida de la Kia con un 14 % y en tercer lugar la Hyundai con un 13%.

Clasificación de vehículos

Los vehículos se clasifican de acuerdo con el servicio que prestan en: públicos que corresponde a los de carga o de pasajeros y de servicio particular. (Benítez Gaibor & Ramos Valle, 2013; Miranda Pilatuña, 2020; Saldaña Ramírez, 2017; Torres Moscoso y otros, 2019)

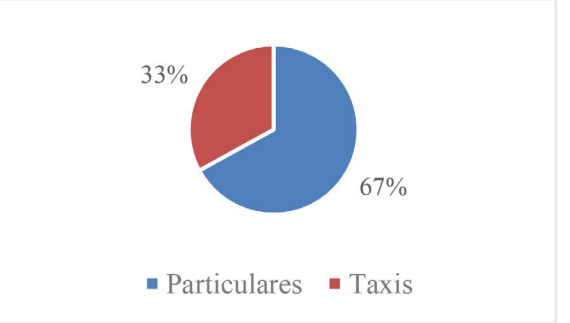

Figura 2. Porcentaje de vehículos dependiendo el servicio que presta

La figura 2 muestra que hay más del 50% de vehículos tipo particular, el resto son los vehículos públicos que prestan servicio de transporte a los ciudadanos. Dichos vehículos recorren entre 200 a 300 km por día.

Tabla 1. cantidad de vehículos por año de fabricación

Años	Frecuencia
1991-1995	3
1996-2000	3
2001-2005	2
2006-2010	6
2011-2015	50
2016-2020	23
2021-2025	8

En la tabla 1 se puede contemplar que los vehículos de los años 2011 a 2020 son los más abundantes en la provincia; el promedio del tiempo de servicio de éstos está alrededor de los 10 años. La edad del vehículo influye significativamente en sus emisiones de CO, incrementando si los vehículos carecen de un buen mantenimiento.

Combustible utilizado

Para verificar el combustible más usado en la provincia, se utiliza una encuesta, dando como resultado que más del 97% consumen la gasolina eco-país; el 3% restante usa gasolina súper por los beneficios que trae a la vida del motor. El promedio de recorridos diarios es de 143,13 km y al ser Santa Elena un lugar con alta cantidad de vehículos, llegan a alcanzar velocidades promedio de 47 Km/h.

Tabla 2. Uso de Combustible según encuesta

Combustible	N de encuestas	Porcentaje
eco-país	92	97%
super	3	3%

Una de las principales razones por la cual prefieren la gasolina súper para los vehículos de uso particular, es porque produce una menor afectación al motor. Con la utilización de la gasolina súper se consume un 11% menos en volumen de combustible en comparación con la marca ecopaís. (Benítez Gaibor & Ramos Valle, 2013; Miranda Pilatuña, 2020; Saldaña Ramírez, 2017; Torres Moscoso y otros, 2019)

Si se considera un recorrido diario de 40 km para vehículos particulares y 200 km para vehículos de transporte público, el consumo anual de combustible para el vehículo particular que usa gasolina super es de 170.09 galones y de 191.33 galones con ecopaís. Para un vehículo de uso público sería de 1043.82 galones con ecopaís y 927.94 con super (Torres Moscoso y otros, 2019)

Análisis estadístico del aumento poblacional en la provincia de Santa Elena

El crecimiento de una población con el tiempo provoca impactos sociales, económicos y de transporte, entre otros, por lo que, conocer su tamaño y la velocidad en que aumenta o disminuye es de muy importancia a la hora de tomar decisiones que involucren este factor (Santa María Suárez y otros, 2016).

Tabla 3. Censo poblacional según INEC

Año	Población Provincia de Santa Elena
1974	105.797
1982	140.431
1990	169.552
2001	238.889
2010	308.693
2022	385.735

Según los resultados del censo poblacional del 2010, la República del Ecuador tiene una población de 17.8 millones de habitantes y la provincia de Santa Elena cuenta con 308.693. Se estima que para el año 2030, esta Provincia alcanzará más de 400,000 habitantes.

Análisis estadístico del aumento del parque automotor

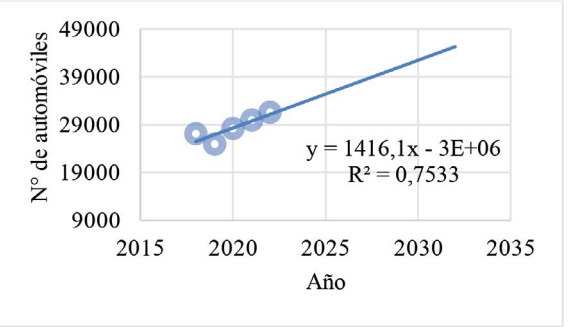

Figura 3 Modelo matemático del incremento de vehículo a gasolina hasta el 2031

La Figura 3, se observa una línea de tendencia es positiva, dando a entender que hay un incremento para los vehículos a gasolina y su modelo matemático sobrepasa el R^2 >0,6 dando a entender, que el modelo es confiable.

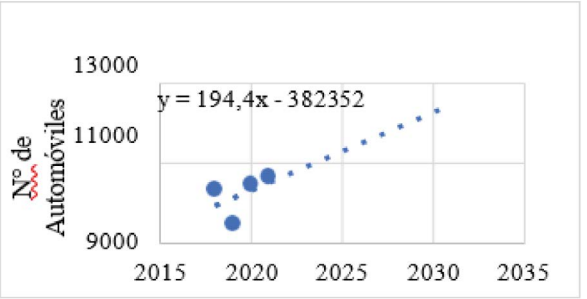

Figura 4. Modelo matemático del incremento de vehículos a gasolina hasta el 2031

En la figura 4, se evidencia que la línea de tendencia es positiva lo que significa que existe un incremento de vehículos en la provincia con el transcurrir de los años. Extrapolando la línea de tendencia concluimos que para el año 2026 se prevé un incremento de 11.500 vehículos tipo automóvil a gasolina.

Los automóviles se han vuelto una necesidad para el consumidor. Acorde a AEDE (Asociación de empresas automotrices del Ecuador), debido a las condiciones y secuelas de la pandemia del COVID 19, las empresas automotrices flexibilizaron las condiciones económicas y de financiamiento para la adquisición de vehículos automotores durante los dos años de Pandemia, lo que redundó que para el año 2021, en la provincia de Santa Elena se produjera una venta de 497 unidades que se incrementó en el año 2022 a 587. (AEADE, 2022; Chamarravi Guerra & Saavedra Calixto, 2013)

Las emisiones de los vehículos son provenientes, principalmente, por el tubo de escape, pero solo corresponden al 60%. El 40 % restante corresponde a las emisiones evaporativas del tanque de combustible y residuos de la combustión que escapan de la cámara hacia el interior del motor (Chamarravi Guerra & Saavedra Calixto, 2013)

Análisis de emisiones de gases de combustión vs cilindraje

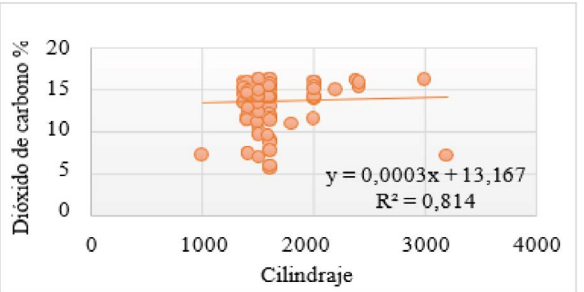

Figura 5. Correlación entre el Dióxido de carbono en estado ralentí vs Cilindraje

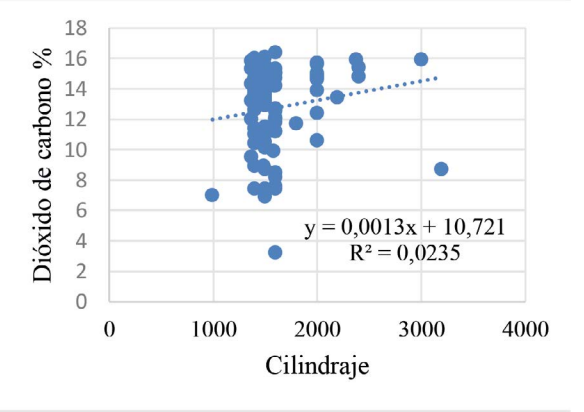

Figura 6. Correlación Dióxido de carbono en estado aceleración vs cilindraje

La figura 5 y 6 muestra el estado ralentí y en estado de aceleración de los vehículos en estudio. La primera detalla la emisión del dióxido de carbono observándose una concentración por encima del 12% del mismo (límite permitido), pero existen datos que están por debajo de éste mientras que, al acelerar el vehículo, la concentración del dióxido de carbono se centra en partes iguales por encima y debajo del límite permitido.

Se puede observar que los vehículos que no pasan la prueba en estado ralentí son los que están entre 993 a 1600 y los de 3200 CC. La emisión de dióxido de carbono se incrementa, pero es relativamente insignificante.

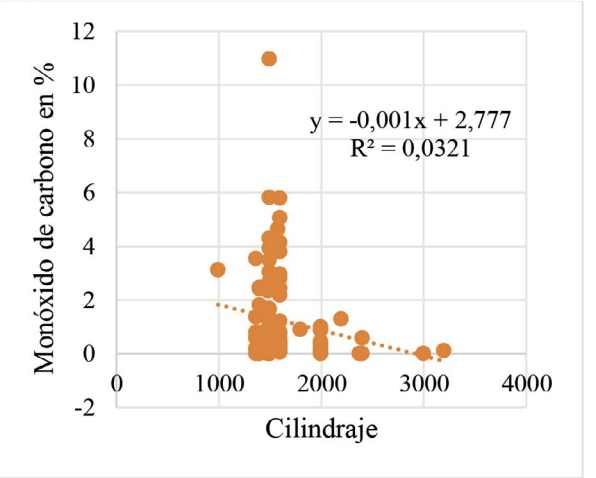

Figura 7. Correlación del en estado ralentí vs cilindraje

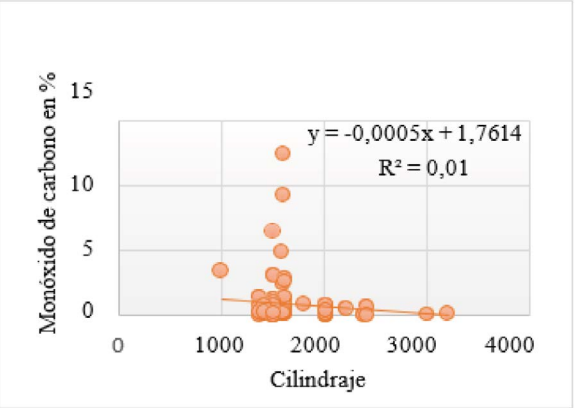

Figura 8. Correlación del monóxido de carbono en estado aceleración vs cilindraje

La figura 7 y 8 muestra el estado ralentí y en estado de aceleración de los vehículos en estudio. La primera detalla la emisión del monóxido de carbono observándose una concentración por encima del 2% del mismo (límite permitido), al acelerar el vehículo, la concentración del monóxido de carbono disminuye la concentración que está por encima del límite permitido.

Se puede observar que los vehículos que no pasan la prueba en estado ralentí son los que están entre 993 a 1600.

Las ecuaciones presentadas muestran su valor de intersección en 13.167 y 10.721 indicando el promedio de emisión de dióxido de carbono. El valor 0.003 y 0.0013 corresponden a las pendientes de la recta que representan los aumentos del volumen total de todos los cilindros del motor. La emisión de dióxido de carbono se incrementa, pero es relativamente insignificante.

Las ecuaciones presentadas de $y = -0.001x + 2.77$ y $y = -0.0005x + 1.76$ muestran su valor de intersección en 2.77 y 1.76 indicando el promedio de emisión de monóxido de carbono. El valor -0.001 y -0.0005 corresponden a las pendientes de la recta que representan los aumentos del volumen total de todos los cilindros del motor. La emisión de monóxido de carbono disminuye, pero es relativamente insignificante.

Análisis de emisiones de gases de combustión vs año de fabricación

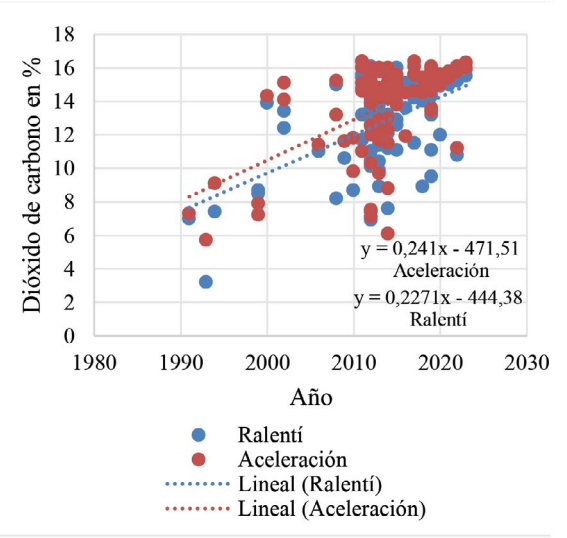

Figura 9. Correlación del dióxido de carbono en estado ralentí y aceleración vs año del vehículo.

A pesar de que se muestre una disminución el dióxido de carbono como algo bueno, es todo lo contario; ya que indicaría una mala combustión aumentando así los niveles de CO, que son perjudiciales para la salud de los seres vivos.

La línea de tendencia es positiva; esto significa que, las emisiones de dióxido de carbono aumentan mientras más actual o nuevo sea el vehículo.

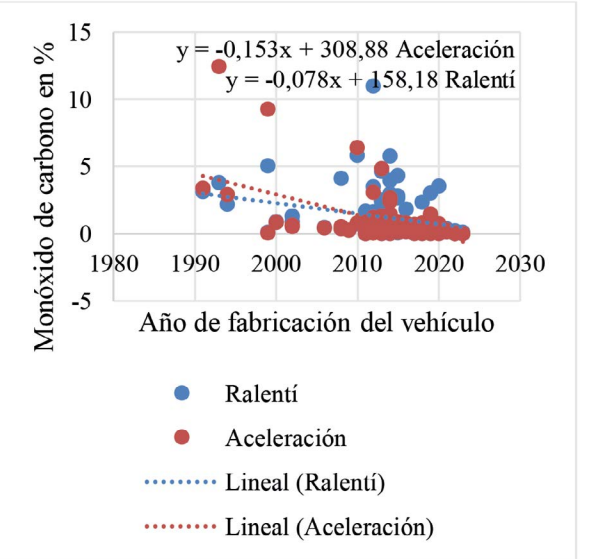

Figura 10. Correlación del monóxido de carbono en estado ralentí y aceleración vs año del vehículo

Al contrario del dióxido de carbono, el CO disminuye a medida que incrementa los años, esto se debe a que su combustión es buena y permite mejores arranques.

Análisis de emisiones de vehículos del año 1990 a 2006

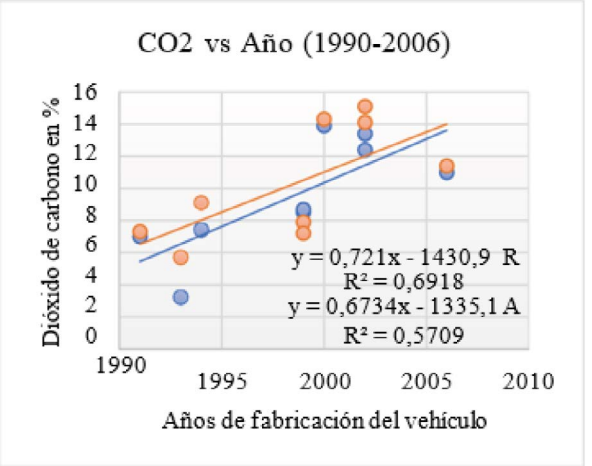

Figura 11. Correlación de Dióxido de carbono entre los años 1990 a 2006

De los vehículos, solo 3 cumplen con los límites permitidos del 12 al 15%, mientras que los otros se encuentran por debajo, provocando un incremento de gases contaminantes y nocivos para la salud y el medio ambiente

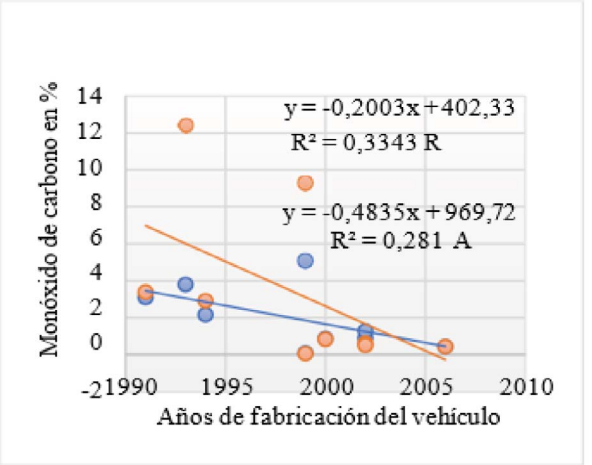

Figura 12. Correlación de monóxido de carbono entre los años 1990 a 2006

En la figura se observa que todos los vehículos con modelos que comprenden el período 1990-2006 sólo 5 de ellos, en estado ralentí y aceleración, están dentro del rango normal o sea por debajo del 2%. Esto implica que más del 60% de los vehículos, en este rango, emiten CO contribuyendo con la mala calidad de aire.

Análisis de emisiones de vehículos del año 2007 y posteriores

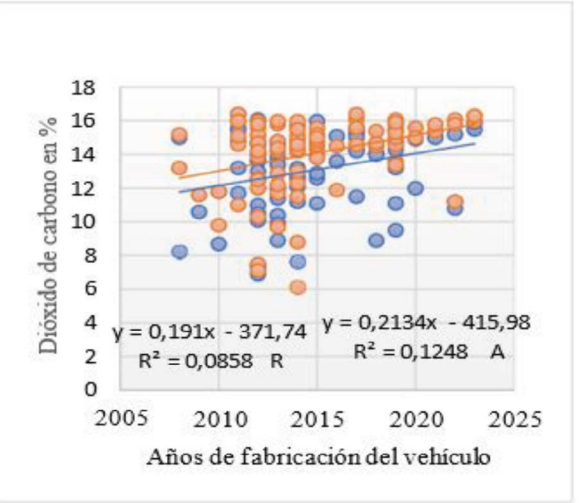

Figura 13. Correlación de Dióxido de Carbono entre los años 2007 y posteriores

De los vehículos la mayoría cumplen con los límites permitidos del 12 al 15%, mientras que los demás se encuentran por debajo, provocando un incremento de gases contaminantes y nocivos para la salud y el medio ambiente

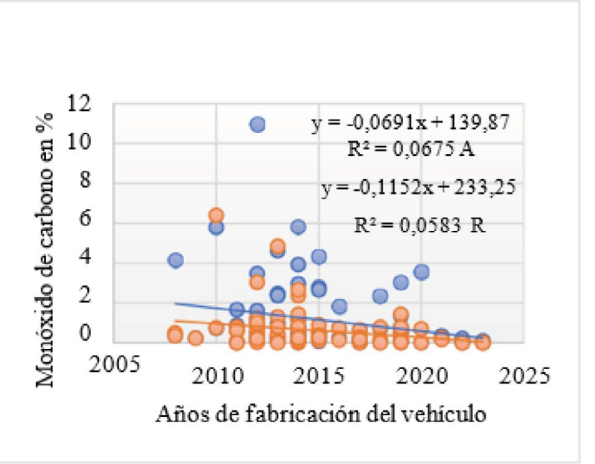

Figura 14. Correlación de monóxido de carbono entre los años 2007 y posteriores

De los vehículos de modelos que están dentro del rango entre 2007 y posteriores, en estado ralentí, la mayoría se encuentran por encima del 2% de emisión de CO, mientras que para la aceleración están dentro del rango normal.

Análisis de emisiones de gases de combustión vs marca del vehículo

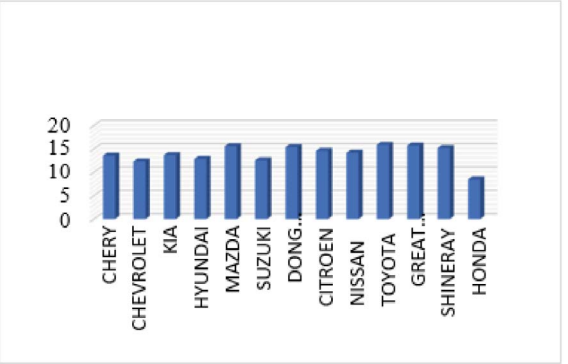

Figura 15. Correlación del dióxido de carbono en estado ralentí vs marca del vehículo

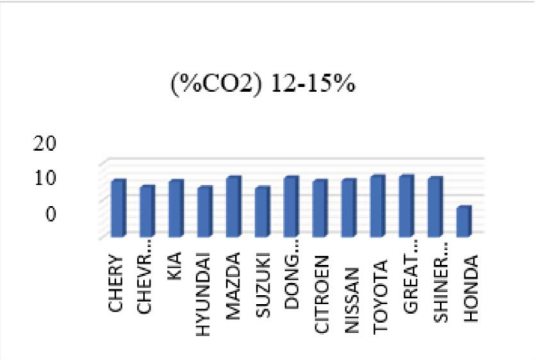

Figura 16. Correlación del dióxido de carbono en estado aceleración vs marca del vehículo

En las figuras 15 y 16 se describe como la correlación del dióxido de carbono vs marca del vehículo; las marcas que más emisión de dióxido de carbono son: Toyota con un 15.9 en estado ralentí y 16,3 en estado aceleración; Great Wall con un 15.75 y 16.36; Mazda con un 15,6 y 16.

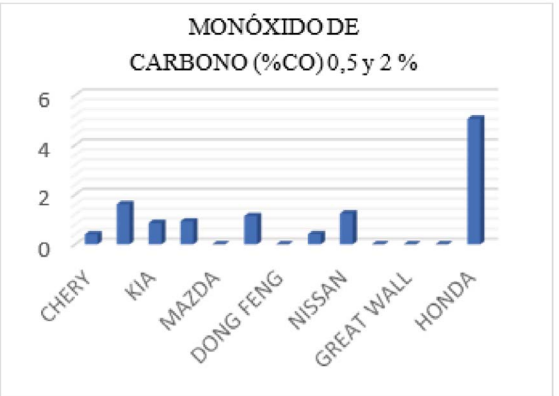

Figura 17. Correlación del monóxido de carbono en estado ralentí vs marca del vehículo

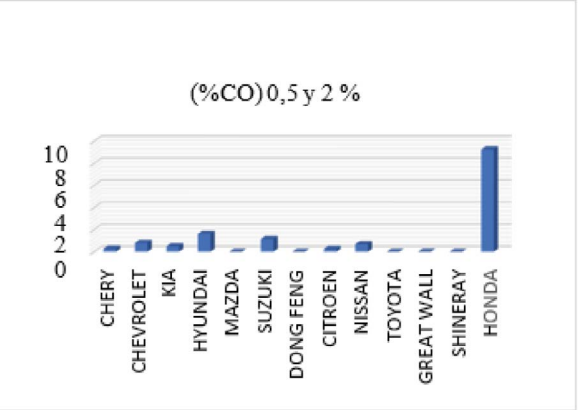

Figura 18. Correlación del monóxido de carbono en estado aceleración vs marca del vehículo

En las figuras 17 y 18 se describe como la correlación del monóxido de carbono vs marca del vehículo; las marcas que más emisión de monóxido de carbono son: Honda con 5.05 en estado ralentí y 9.26 en estado aceleración; seguido de la marca Chevrolet con 1.61 y 0.79 y por último Suzuki con 1.135 y 1.15.

Análisis de emisiones de gases de combustión vs kilometraje

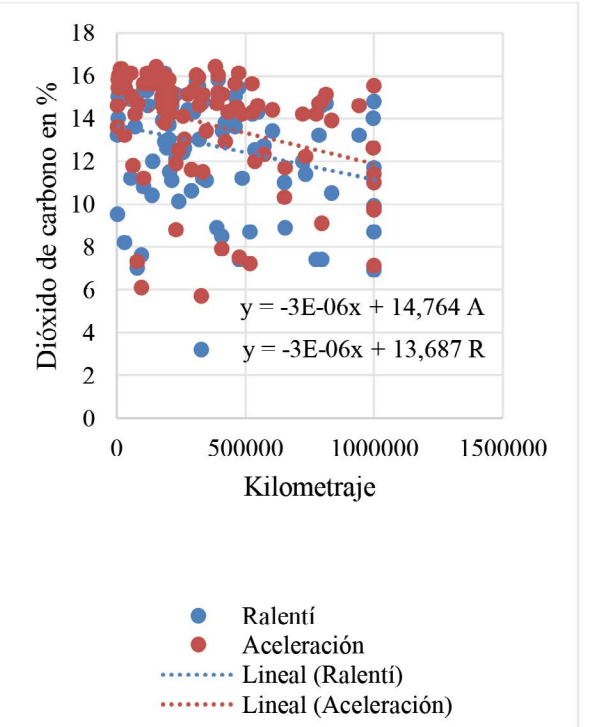

Figura 19. Correlación del dióxido de carbono en estado ralentí y aceleración vs kilometraje

En la figura 19, la línea de tendencia en cambio es negativa cuando hablamos del dióxido de carbono con respecto al kilometraje, a medida que aumenta el kilometraje, el dióxido de carbono disminuye y aumenta el monóxido de carbono.

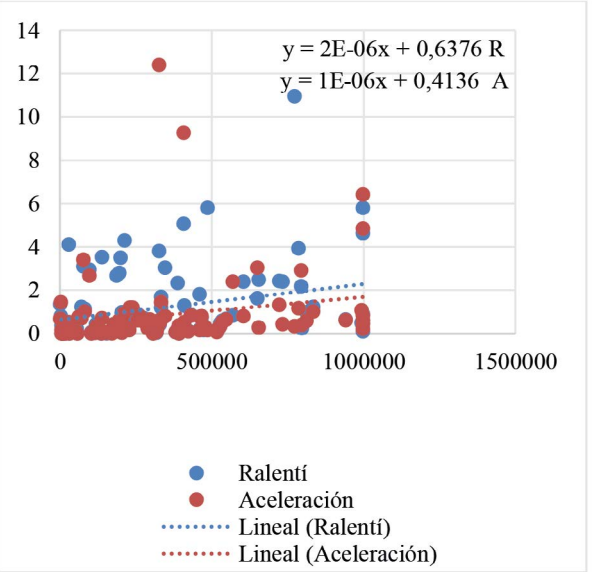

Figura 20. Correlación del monóxido de carbono en estado ralentí y aceleración vs kilometraje

Como se menciona anteriormente; el monóxido de carbono aumenta con respecto al aumento del kilometraje del vehículo, mientras que el dióxido de carbono disminuye; esto se debe al estrés del motor que produce los diferentes ciclos de conducción diario y el deterioro de este.

Situación actual de la emisión generada por vehículos a gasolina

Límites permisibles de CO_2

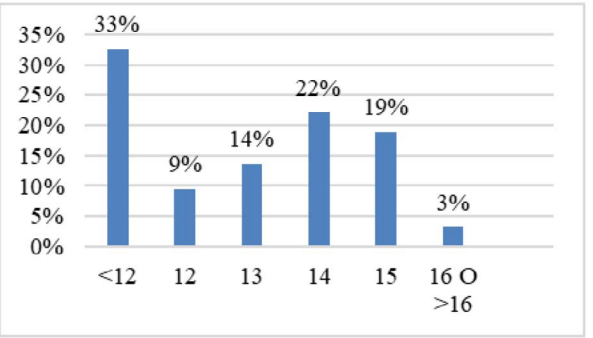

Figura 21. Diagrama de límites permisibles de en estado ralentí

En la figura 21 se muestra que en estado ralentí hay un porcentaje considerable de vehículos que están por debajo de los límites mínimos permisibles 12%, esto significa que el monóxido de carbono aumente provocando que la calidad de aire disminuya en la población de la provincia de Santa Elena. Del total de los 95 vehículos que son la muestra calculada, 58 vehículos se encuentran dentro de los límites establecidos en la norma INEN 2 204:2002, donde solo 7 de ellos están en óptimas condiciones; esto se debe principalmente porque los vehículos son relativamente nuevos.

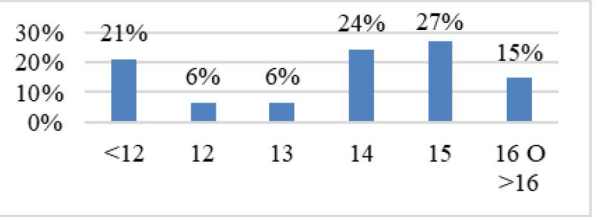

Figura 22. Diagrama de límites permisibles de CO_2 en estado aceleración

Al momento de la aceleración, ciertos factores cambian haciendo que aumente los porcentajes de Dióxido de carbono, y que a su vez la mezcla estequiométrica mejore, donde 69 vehículos están dentro del rango permitido, y 12 de ellos lleguen a su estado óptimo, esto hace que los porcentajes de CO, $O_{2,}$ HC disminuyan significativamente

Límites permisibles de CO

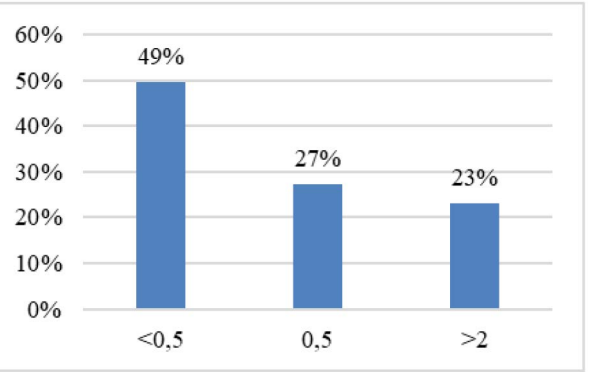

Figura 23. Diagrama de límites permisibles de CO en estado ralentí.

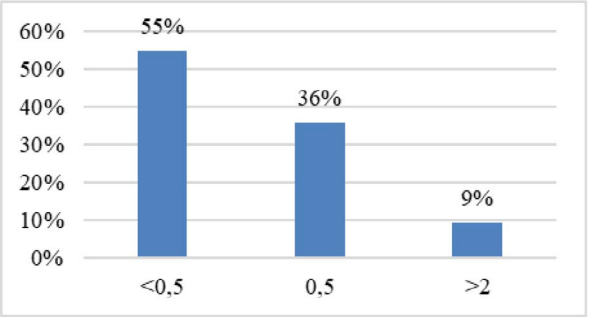

Figura 24. Diagrama de límites permisibles de CO en estado aceleración

De acuerdo con las figuras 23 y 24 existe un 49% y 55 % para ralentí y aceleración respectivamente, lo que implica una baja emisión por CO, sin embargo, existe un 23% en estado ralentí que produce CO; lo que implica que cuando el vehículo está encendido, pero estacionado como lo que sucede cuando hay mucho tráfico o simplemente en un semáforo, el vehículo estaría emitiendo este gas en mayor proporción.

Límites permisibles de LAMBDA

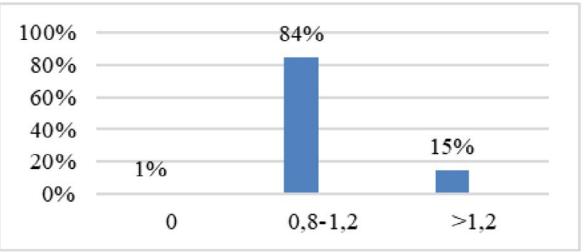

Figura 25. Diagrama de límites permisibles de lambda en estado ralentí

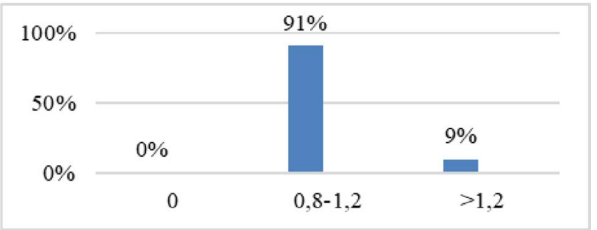

Figura 26. Diagrama de límites permisibles de lambda en estado aceleración

En las figuras 25 y 26 se muestra que en estado ralentí y aceleración; para el estado ralentí, existe un 1% que está entre 0 a 0.79; es un nivel sumamente bajo y un 15% que sobrepasa el límite de 1,2. Esto produce una mala combustión haciendo que el arranque del vehículo disminuya su potencia.

Para el estado aceleración, estos porcentajes disminuyen casi al 50% y se acercan a 1 o a un estado lambda óptimo.

Cuantificación de la emisión de gases en la provincia de Santa Elena

Tabla 4. Factor de emisión de CO_2, CO, HC

Factor De Emisión	Total
$FECO_2$	7,10265967
$FeCO$	1,36637733
$FEHC$	0,79052304
FEO_2	1,59835577

Los factores de emisión calculados se correlacionaron con valores obtenidos de ciudades cercanas para posteriormente validar dichos factores. Caso contrario el factor podría estar subestimado o sobrestimado; por tanto, se debe regresar al FE e identificar el valor que ajusta adecuadamente la pendiente. (Díaz Gutierrez, 2002)

A continuación, se presentan los datos obtenidos a partir de la ecuación (4) , seguido de la ecuación (5)

$$Q = \frac{n° \ de \ vehículos * FE * velocidad \ media}{tiempo} ; \left(\frac{g}{hora}\right) \quad (5)$$

Tabla 5. Emisión de gases para la muestra de 95 vehículos

2022 Emisión de gases para la muestra (95 vehículos)					
QCO	0.36 3,87	g/hora	262.3 43,84	kg/año	65,4%
QCO	5.841,26	g/hora	50.468,51	kg/año	12,6%
QHC	3.379,49	g/hora	29.198,76	kg/año	7,3%
QO_2	6.832,97	g/hora	59.036,87	kg/año	14,7%
		Total	401.047,98	kg/año	100 %

Tabla 6. Emisión de gases de la provincia de Santa Elena, para vehículos tipo sedán a gasolina, año

Emisión de gases para la población (10,849 vehículos)					
QCO	3.467.5 53,96	g/h ora	29.959. 666,24	kg/año	65%
QCO	667.07 2,25	g/h ora	5.763.5 04,21	kg/año	13%
QHC	385.93 7,30	g/h ora	3.334.4 98,28	kg/año	7%
QO_2	780.32 5,28	g/h ora	6.742.0 10,42	kg/año	15%
		Total	45.799,67	Ton/año	100%

Tabla 7 Emisión de gases para vehículos a gasolina, año 2022

Emisión de gases para la población (31,606 vehículos)					
QCO	10.101.899,76	g/hora	87.280.413,96	Kg/año	65%
QCO	1.943.357,49	g/hora	16.790.608,73	kg/año	13%
QHC	1.124.337,20	g/hora	9.714.273,45	kg/año	7%
QO_2	2.273.293,46	g/hora	19.641.255,54	kg/año	15%

En la tabla 6 y 7 muestran valores de oxígeno altos, esto se debe principalmente a que la mayoría de los vehículos presentan una mezcla pobre, lo que implica un alto CO e HC. Adicionalmente, para este estudio no se consideran los $NO_{x.}$

Tabla 8. Emisión de gases de la provincia de Santa Elena, para vehículos a gasolina, año 2021

Emisión de gases para la población (29887 vehículos)				
QCO	9.552.473,53	g/hora	82.533.371,26	kg/año
QCO	1.837.661,37	g/hora	15.877.394,26	kg/año
QHC	1.063.186,29	g/hora	9.185.929,59	kg/año
QO_2	2.149.652,65	g/hora	18.572.998,93	Kg/año

Tabla 9. Emisión de gases de la provincia de Santa Elena, para vehículos a gasolina, año 2020

Emisión de gases para la población (28168 vehículos)				
QCO	9.003.047,29	g/hora	77.786.328,56	kg/año
QCO	1.731.965,25	g/hora	14.964.179,80	kg/año
QHC	1.002.035,39	g/hora	8.657.585,73	kg/año
QO_2	2.026.011,84	g/hora	17.504.742,32	kg/año

Tabla 10. Emisión de gases de la provincia de Santa Elena, para vehículos a gasolina, año 2019

Emisión de gases para la población (24908 vehículos)				
QCO	7.961.087,11	g/hora	68.783.792,66	kg/año
QCO	1.531.517,70	g/hora	13.232.312,92	kg/año
QHC	886.065,66	g/hora	7.655.607,26	kg/año
QO_2	1.791.533,05	g/hora	15.478.845,56	kg/año

Tabla 11 Emisión de gases de la provincia de Santa Elena, para vehículos a gasolina, año 2018

Emisión de gases para la población (27015 vehículos)				
QCO	8.634.525,79	g/hora	74.602.302,83	kg/año
QCO	1.661.070,77	g/hora	14.351.651,42	kg/año
QHC	961.019,10	g/hora	8.303.205,00	kg/año
QO_2	1.943.081,15	g/hora	16.788.221,17	Kg/año

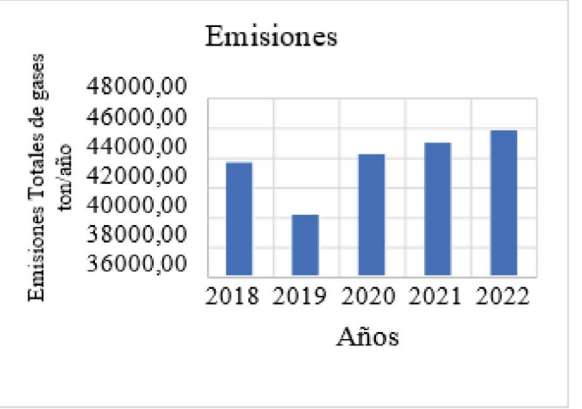

Figura 27. Estimación de las emisiones de CO_2, CO, HC a partir de datos obtenidos en años anteriores para vehículos tipo sedán a gasolina

En la figura 27, con los datos obtenidos, se observa claramente que hay un incremento de emisiones. Debido al aumento de vehículos en la provincia, ha tenido como resultado la disminución de velocidades permitidas; esto se debe a salvaguardar la seguridad

de los conductores y peatones; sin embargo, esto contribuye a la emisión de gases. Para un vehículo del año que circule a 50 o 70 km/h la emisión de dióxido de carbono está entre 200 a 250 g, mientras que para un vehículo circulando a 30 km/h esta emisión se incrementa entre un 15 y 20%.

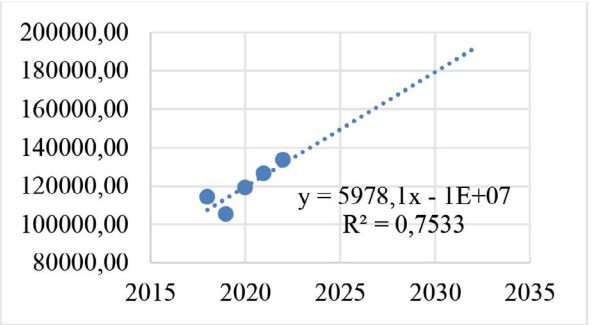

Figura 28. Estimación de las emisiones de CO_2, CO, HC y $O2$ a partir de datos obtenidos en años anteriores para vehículos a gasolina

Para la población de los vehículos a gasolina se realiza una estimación para 5 y 10 años, en el que se detalla que la línea de tendencia positiva y esta emisión aumentará a casi 160.000 ton/año para el 2027 y 190.000 ton/año para el 2032; entonces se puede interpretar como que a medida que aumentan los años, la emisión de gases en vehículos a gasolina también aumentará; esto se produce siempre y cuando la provincia mantenga la misma fuente de emisión que en este caso es el uso del combustible gasolina.

A comparación con otras ciudades del país, Santa Elena no presenta altas emisiones de gases nocivos.

Tabla 12 *Emisión de gases por año*

Años	Emisiones ton/año
2018	114.045,38
2019	105.150,55
2020	118.912,83
2021	126.169,69
2022	133.426,55

Actualmente se ha estado trabajando en convertir algunos vehículos de transporte público en vehículos a GNV (gas natural vehicular) y para vehículos particulares, los usuarios han estado adquiriendo los carros híbridos y eléctricos lo que permite que estas emisiones disminuyan, siendo un factor decisivo para mejorar la calidad de aire de la provincia de Santa Elena.

El GNV es un combustible que emiten entre un 10 a 15% menos de dióxido de carbono, mejorando así la emisión de CO, oxígeno residual de la combustión sin olvidar los No_x. Además de ser un combustible que significativamente es mucho más económico. Un vehículo a gasolina produce entre un 20 a 25 g/km de dióxido de carbono cada 100 km, mientras que, un carro a GNV emite entre un 14 a 18 g/km por cada 100 km de dióxido de carbono.

Conclusiones

En este proyecto se logró cuantificar la emisión de gases de una muestra representativa, tomada de los vehículos a gasolina en la Provincia de Santa Elena, a partir del factor de emisión obtenido con base en los datos del analizador de gases.

En el análisis de los gases de escape a condición ralentí y aceleración, se puede notar que existe una variación significativa de un estado a otro debido a que el motor no tiene la misma exigencia, lo que hace que al estar el vehículo en estado ralentí emita mayor cantidad de gases y tengan lambdas elevados. También la emisión de gases depende del clima, la calidad del combustible y el mantenimiento adecuado realizado al vehículo.

En el país existen diferentes normas que regulan la emisión de gases de escape donde se regula, de acuerdo con el tipo de combustible, la forma en la que se debe analizar correctamente para comprobar que estén dentro de los limites mínimos permitidos.

Se ha tomado como referencia la ruta que va desde el Hospital Liborio Panchana en Santa Elena hasta Chipipe en Salinas, que tiene un recorrido de 18 km, con el fin de conocer los ciclos de conducción generales de los vehículos.

El presente estudio determinó que la velocidad promedio de los vehículos de la muestra en las horas de tráfico normal es de 45 Km/h y que, en las horas de mayor tráfico, la velocidad de operación vehicular disminuye, lo cual resulta en un incremento de la emisión de gases.

Por los resultados de la cuantificación y cualificación de la emisión de gases anteriormente mostrados en las tablas, gráficos e histogramas, se deduce que la flota vehicular de la Provincia de Santa Elena está contribuyendo considerablemente en la actualidad a la mala calidad del aire. El incremento de emisiones de CO_2 y CO para años posteriores, provocará, principalmente, daño en la salud y al medio ambiente.

Dentro de los resultados, se obtuvo que el 65% de la emisión de gases es dióxido de carbono, que ayuda al efecto invernadero, produciendo un aumento en la temperatura de la zona.

Las emisiones de gases varían con respecto a la temperatura. La Provincia de Santa Elena presenta un clima variado, según las estaciones en las que se encuentre. En este estudio se calcularon las emisiones solamente en época de calor, durante el cual las emisiones son menores que con clima frío.

Financiamiento: Los autores expresan autofinanciamiento para realizar esta obra de investigación.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores:

Conceptualización: AGG, CMC, CPL, JPR, KES, LPR; Análisis de datos: AGG, CMC, CPL; Revisión de análisis: AGG, JPR, KES, LPR

Referencias

AEADE. (2022). *Anuario 2021.* AEADE.

Benítez Gaibor, Á. V., & Ramos Valle, M. A. (2013). *Implementación de un sistema dual fuel, hidrógeno / gasolina en un vehículo de motor de combustión interna (Tesis de grado).* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Castillo-Bravo, E., Burbano-Gómez, A., Escobar-Segovia, K., Arcentales-Bastidas, D., & Lliguizaca-Dávila, J. (2022). Blue water footprint of the oil sector in Ecuador. *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology.* Boca Raton - EEUU: LACCEI 2022. https://doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.94

Chamarravi Guerra, O., & Saavedra Calixto, G. (2013). *Evaluación del impacto ambiental generado por la emisión de gases en motores que utilizan complementos lubricantes, en la ciudad de Bogotá D.C. (Tesis de Maestría).* Universidad de Manizales.

Díaz Gutierrez, L. L. (2002). *Estimación de factores de emisión para vehículos automotores de gasolina (Tesis de Maestría).* Universidad Autonóma Metropolitana Azcapotzalco.

Franco, V., Kousoulidou, M., Muntean, M., Ntziachristos, L., Hausberger, S., & Dilara, P. (2013). Road vehicle emission factors development: A review. *Atmospheric Environment, 70*, 84-97. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.01.006

Gawusu, S., Zhang, X., Ahmed, A., Jamatutu, S. A., Miensah, E. D., & Algade Amadu, A. (2022). Renewable energy sources from the perspective of blockchain integration: From theory to application. *Sustainable Energy Technologies and Assessments, 52*(102108). https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102108

López Hidalgo, M. A., Maurat Argudo, W. F., & Galarza Valarezo, C. P. (2017). *Evaluación del consumo específico de combustible y emisiones de gases de escape, con el uso del combustible Eco-país en un motor de combustión interna alternativo (Tesis de grado).* Universidad del Azuay.

López Rojas, S. Á. (2011). *Consideraciones técnicas y económicas de vehículos a gas natural (Tesis de grado).* Pontificia Universidad Católica del Perú.

Miranda Pilatuña, K. A. (2020). *Análisis de pérdidas energéticas en un motor de combustión interna a gasolina (MECH) de 1600 cm3 en un vehículo de uso particular para determinar su rendimiento térmico (tesis de grado).* Universidad Técnica de Ambato.

Ordoñez-Obando, M., Rodas-López, O., Pazmiño-Uruchima, C., Cañarte-Ayon, C., Rivera-González, L., & Escobar-Segovia, K. (2022). Atmospheric, Water and Acoustic Pollution from Hydrocarbon Activities in the American Continent: A Literature Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 19*(15). https://doi.org/10.3390/ijerph19159598

Paz-Barzola, D., & Escobar-Segovia, K. (2025). Oil Pollution and Public Health: A Bibliometric Review of Trends, Key Contributions, and Future Perspectives. *Environmental Quality Management, 34*(3). https://doi.org/10.1002/tqem.70022

Pérez Darquea, D. G. (2018). Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales utilizando combustibles locales. *Innova Research Journal, 3*(3), 23-34. https://doi.org/https://doi.org/10.33890/innova.v3.n3.2018.635

Saldaña Ramírez, R. (2017). *Emisión de gases por el parque automotor y su repercusión en la contaminación del aire en la ciudad de Iquitos en el año 2015 (Tesis de maestría).* Universidad Nacional de Trujillo.

Sanchez Yunga, L. P., & Zúñiga Guzhñay, A. P. (2018). *Análisis de la contaminación de gases de vehículos tipo L1 y L3, mediante el muestreo de emisiones para la determinación de niveles de contaminación en la ciudad de Loja (Tesis de grado).* Universidad Politécnica Salesiana.

Santa María Suárez, G., Molina Benavides, L., Clery Aguirre, A., & Mera Cedeño, M. (2016). *Mapa Estratégico de Necesidades de la Provincia de Santa Elena.* Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Tilvaldyev, S., Caldiño Herrera, U., Dávalos Ramírez, J. O., & Lira Martínez, M. A. (2019). Impact of freight transportation on Cd. Juárez environment and review of aerodynamic drag reduction devices for heavy trucks. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+D, 19*(2), 5-12. https://doi.org/https://doi.org/10.19053/1900771X.v19.n2.2019.12873

Torres Moscoso, D. F., Inga Guamán, V. J., & Vidal González, J. E. (2019). *Evaluación del rendimiento de las gasolinas súper y ecopaís mediante un ciclo típico de conducción para taxis del Azuay (Tesis de grado).* Universidad del Azuay.

Veintimilla Martínez, J. M. (2016). *Determinación de los contaminantes producto de la combustión del parque automotor a gasolina en la parroquia San Buenaventura, ciudad de Latacunga, período 2015 (Tesis de grado).* Universidad Técnica de Cotopaxi.