






ARTÍCULO ORIGINAL

EMISIÓN DE GASES VEHICULARES Y SU IMPACTO EN LA CALIDAD DEL AIRE

VEHICLE GAS EMISSION AND ITS IMPACT ON AIR QUALITY

Lupo Varas Ponce¹  Luz Baltodano Nontol²  Rosa Gálvez Carrillo² 

¹Universidad Nacional de Jaén,
Jaén, Perú.

²Universidad César Vallejo, Lima,
Perú.

Correspondencia

Lupo Varas Ponce
leonidas.varas@unj.edu.pe

Para citar este artículo. Varas, P.,
Baltodano, L., & Gálvez, R. (2022).
Emisión de gases vehiculares
y su impacto en la calidad del
aire. *Advances in Science and
Innovation*, 1 (1),

RESUMEN

El parque automotor es considerado como una de las principales fuentes de contaminación de aire, debido al incremento propulsados por hidrocarburos (combustibles fósiles). El objetivo fue determinar la emisión de gases vehiculares y su impacto en la calidad del aire - Trujillo 2015-2016. Se midió la concentración de monóxido de carbono (CO), dióxido carbono (CO₂) e hidrocarburo sin quemar (HC). Se utilizó un analizador de gases de combustión conectado a un tubo de escape del vehículo, se aplicó el monitoreo a en el mes de junio 2015 (16 muestras) y marzo 2016 (19 muestras), en lugares de mayor congestión vehicular. Se encontró que nueve vehículos no cumplieron con la norma DS N° 047-2001-MTC en el muestreo realizado en 2015 y seis vehículos en el 2016. La emisión de gases de combustión vehicular impacta negativamente en la calidad de aire de la ciudad de Trujillo.

Palabras clave: calidad de aire, combustión, monóxido de carbono, hidrocarburo, impacto.

ABSTRACT

The automobile fleet is considered one of the main sources of air pollution, due to the increase propelled by hydrocarbons (fossil fuels). The objective was to determine the emission of vehicular gases and their impact on air quality - Trujillo 2015 - 2016. The concentration of carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂) and unburned hydrocarbon (HC) were measured. A combustion gas analyzer connected to a vehicle exhaust pipe was used, monitoring was applied in the month of June 2015 (16 samples) and March 2016 (19 samples), in places with greater



traffic congestion. It was found that nine vehicles did not comply with the DS N° 047-2001-MTC standard in the sampling carried out in 2015 and six vehicles in 2016. The emission of vehicular combustion gases negatively impacts the air quality of the city of Trujillo.

Key words: air quality, combustion, carbon monoxide, hydrocarbon, impact.

INTRODUCCIÓN

El parque automotriz se ha incrementado a nivel mundial; para el 2016, año en cual se realizó este estudio, Trujillo ocupó el tercer lugar con una cantidad de 100.97 vehículos por cada mil habitantes (Sistema Nacional de Información Ambiental [SINIA], 2016), lo que produce una elevada contaminación del aire, esto debido a la emisión de gases de efecto invernadero por las industrias que expelen una gran cantidad de dióxido de carbono (CO_2) y otros compuestos nocivos a la atmósfera; así mismo, diferentes medios de transporte (carros y camiones) liberan gases de escape (monóxido de carbono – CO) contaminando el aire y aumentando el efecto invernadero (Mikhaylov et al., 2020).

La ciudad de Trujillo tiene un parque automotor de aproximadamente de 360000 vehículos y ha experimentado un crecimiento de alrededor del 6 % desde el 2012, ocasionando congestión de tráfico, material particulado (MP) y emisiones de gases de contaminantes como monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO_2) (Quiroz & Huerta, 2015). Las razones por lo que se emite muchos gases de combustión, son debidas a que el parque automotor es obsoleto, con falta de mantenimiento preventivo y correctivo vehicular, congestionamiento vehicular, sobreoferta de taxis, vías saturadas, deficiente infraestructura vial, entre otras.

La emisión y mitigación de gases de efecto invernadero también convierte transforma el ambiente de las ciudades, debido a falta de políticas que abarcan todos los aspectos asociados

al transporte, provocando una mayor dependencia de los automóviles, congestión e impactos ambientales. Además, la ausencia de un sistema de transporte público eficiente resulta en contaminación del aire, efectos invernadero y contaminación acústica, afectando la salud humana (Ali et al., 2021).

En el 2016 la contaminación atmosférica de las ciudades y zonas rurales provocó 4,2 millones de muertes prematuras, debidas a la exposición a materia particulada de $2,5 \mu\text{M}$ (PM 2.5) o menos de diámetro, las cuales pueden causar enfermedades cardiovasculares y respiratorias; así como, cáncer. En el mismo año, la OMS afirmó que, nueve de cada diez personas, respiraban aire con alto nivel contaminante, lo que representaba una estimación de siete millones de personas fallecidas cada año por contaminación del aire ambiental y doméstico (World Health Organización [WHO], 2016).

Las partículas o material particulado menor a 10 micras (PM_{10}) son partículas sólidas o líquidas dispersas en la atmósfera (WHO, 2016). En relación con el PM 2,5 de acuerdo con los resultados, se observó que, en el estudio de Cervera (2020), en las cinco estaciones evaluadas, mostraron valores que se encuentran por debajo de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en la norma (entre 34,5 y 39,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; embargo, este material puede concentrarse en términos de tiempo, condiciones ambientales como la dispersión por los vientos y factores (actividades) que deben ser identificadas y controladas. En relación con el CO_2 , los resultados

no reportaron valores que superen los LMP, ya que se evidenció como máximo valor 3,850 ppm de CO₂. El aire está constituido por 78 % nitrógeno (N₂), 21 % de oxígeno (O₂) y 1 % de otros gases (NO, NO₂, CO, CO₂, SO₂, SO₃, gases nobles y otros gases contaminantes) (Antokhina et al., 2019).

Cabe resaltar que un contaminante del aire significa que es cualquier gas o partícula en concentraciones altas, que pueden ser dañinos para la vida, medio ambiente y/o la propiedad; siendo derivados de fuentes naturales y antropogénicas, o de ambas (Brusseau et al., 2019).

En una combustión real se puede encontrar varios compuestos: **inofensivos**: nitrógeno (N₂), Oxígeno O₂, CO₂, hidrógeno (H₂) y vapor de agua (H₂O_(g)) y **nocivos**: CO, hidrocarburos sin quemar (HC), óxidos de nitrógeno (NO₂, NO₃), plomo y compuestos de plomo (Pb), dióxido de azufre (SO₂), hollín, etc. Es letal para los seres vivos, debido a que a concentraciones altas y tiempos largos de exposición puede provocar en la sangre la transformación irreversible de la hemoglobina, molécula encargada de transportar el oxígeno desde los pulmones a las células del organismo, en carboxihemoglobina (HbCO), incapaz de cumplir esa función. Por eso, concentraciones superiores de HbCO al 3 % en volumen resultan mortales en personas no fumadores y superior al 10 % en fumadores (Adejumo et al., 2021).

Por otra parte, el CO, es un gas inodoro, incoloro, pero dañino para la salud humana; puede causar la muerte súbita. Este gas al ser inhalado por el hombre pasa al aire alveolar, atravesando las membranas, y la sangre en lugar de transportar oxígeno al corazón y al cerebro, transporta este gas, causando hipoxia tisular (Samaniego et al., 2019).

La combustión incompleta aumenta la probabilidad de emisión de hidrocarburos aromáticos (benceno)

que es considerado como agente cancerígeno (Doria & Fagundo, 2017). Las actividades antropogénicas provocan que el problema de contaminación del aire tenga una magnitud mayor y ocurre de manera acelerada.

Por lo expuesto anteriormente, el objetivo de este estudio fue determinar la emisión de gases vehiculares y su impacto en la calidad del aire en la ciudad de Trujillo, 2015-2016.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio fue la ciudad de Trujillo, cuyas coordenadas geográficas fueron latitud -8.1159897 y longitud -79.0299835, en el hemisferio sur. La población urbana en el departamento La Libertad fue de 73.3 % en el 2007 y pasó a 78.9 % en el año 2017. con 919 899 habitantes según los datos del Censo Nacional 2017, (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018), tercera ciudad más poblada del Perú, y es la capital del departamento de La Libertad.

El problema de contaminación de aire estará delimitado a la ciudad de Trujillo, no incluye distritos, es descriptivo y transversal realizado en junio 2015 y marzo 2016.

La muestra, estuvo constituido por los vehículos, y el muestreo se realizó en los lugares de mayor congestión vehicular, en los meses de junio 2015 (16 vehículos) y en marzo 2016 (19 vehículos) (Fig. 1 y Tabla 1).

Materiales

En la presente investigación se consideró el CO, CO₂ y HC.

Combustible. sustancia que reacciona con otra sustancia produciendo calor. Aporta toda la energía en la combustión. Cadena de hidrocarburos como gasolina o diesel (origen fósil).

FIGURA 1

Delimitación del área de estudio (distrito Trujillo, La Libertad, Perú) y estaciones de muestreo.

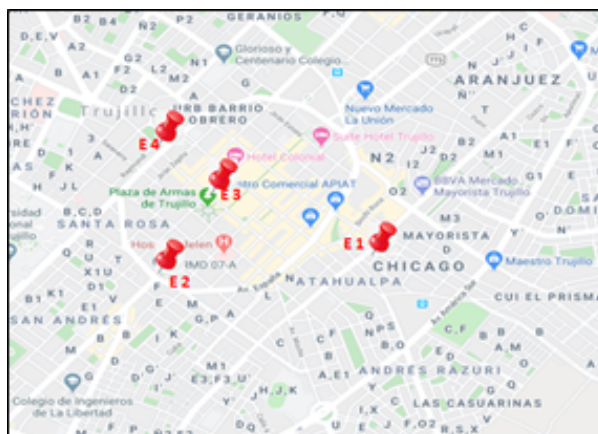
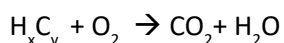


TABLA 1

Estaciones de muestreo en ciudad de Trujillo (junio, 2015 y marzo, 2016)

	Junio 2015	Marzo 2016	Lugar	Latitud en hemisferio sur	Longitud en hemisferio sur
E1	1, 2,3, 4	1, 2, 3, 4, 5	Av. Los Incas y Atahualpa	-8.1176554	-79.0244464
E2	5, 6, 7, 8	6, 7, 8, 9, 10	Av. España y Pizarro	-8.115658	-79.031077
E3	9, 10, 11, 12	11, 12, 13, 14, 15	Plaza Armas (Independencia y Orbegoso)	-8.110949	-79.028726
E4	13, 14, 15, 16	16, 17, 18, 19	Av. Mansiche y Av. España	-8.555658	-79.031077

Comburente. sustancia necesaria para que reaccione el combustible. aire, O₂ energía de activación. Mínima cantidad de energía necesaria para que se produzca la reacción en cadena. Chispa
Combustible + Aire → Gases de Combustión



Como resultado del funcionamiento del motor nunca se produce la reacción química anterior ideal, y así siempre es incompleta.

Monóxido de carbono (CO): se produce cuando hay poco aire (oxígeno) disponible para la combustión y por tanto no se llega a quemar todo el carbono del combustible completamente. quedando átomos de

carbono unidos a solo un oxígeno formando el CO.

Hidrocarburos (HC): son los restos de hidrocarburos sin quemar que salen por el escape. Se producen por mezclas pobres en oxígeno. Es nocivo, cancerígeno e irritante. Dependiendo de su estructura molecular, presentan diferentes efectos nocivos. El benceno, es venenoso y su exposición puede deberse a exposición a gases de tubos de escape de automóviles en movimiento e inclusive en las estaciones de servicio.

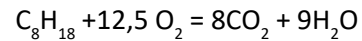
Para la obtención de los datos de los años 2015 y 2016, se empleó el siguiente método:

- Estacionar el vehículo en área segura.
- Dejar que la temperatura del aceite del motor alcance una temperatura de 94°C.
- Colocar la sonda de ensayo en el escape.
- Dejar que los datos del medidor de gases se estabilicen.
- Lectura de CO, CO₂ e HC.

Para la medición de las emisiones, se utilizó un analizador de gases de Combustión de motor de combustión interna (Kane Automotive, modelo Auto 4-1/MID), Global Position System (GPS) y equipos de protección personal (EPP).

Los parámetros evaluados fueron parámetros CO (% vol.); CO₂ (% vol.) + CO (% vol.) y HC (ppm). Los valores normales que se obtienen a partir de la lectura del analizador de gases conectado a un motor de un vehículo de inyección electrónica son CO: < 2 %; O₂: < 2 %; CO₂: > 12 %; HC: < 400 ppm (Pinedo et al., 2022).

La ecuación de combustión ideal o teórica es la siguiente:



Sin embargo, esto no es real; por lo general sucede una reacción incompleta del combustible, originando productos como CO, CO₂, H₂O (vapor), vapor de benceno, SO₂, plomo e HC.

Según el Decreto supremo N° 047-2001-MTC, los límites máximos permisibles (LMP) para vehículos en circulación a nivel nacional son: CO% de volumen - 3.5 %; HC < 400 ppm; CO + CO₂ % (mínimo) < 10.

RESULTADOS

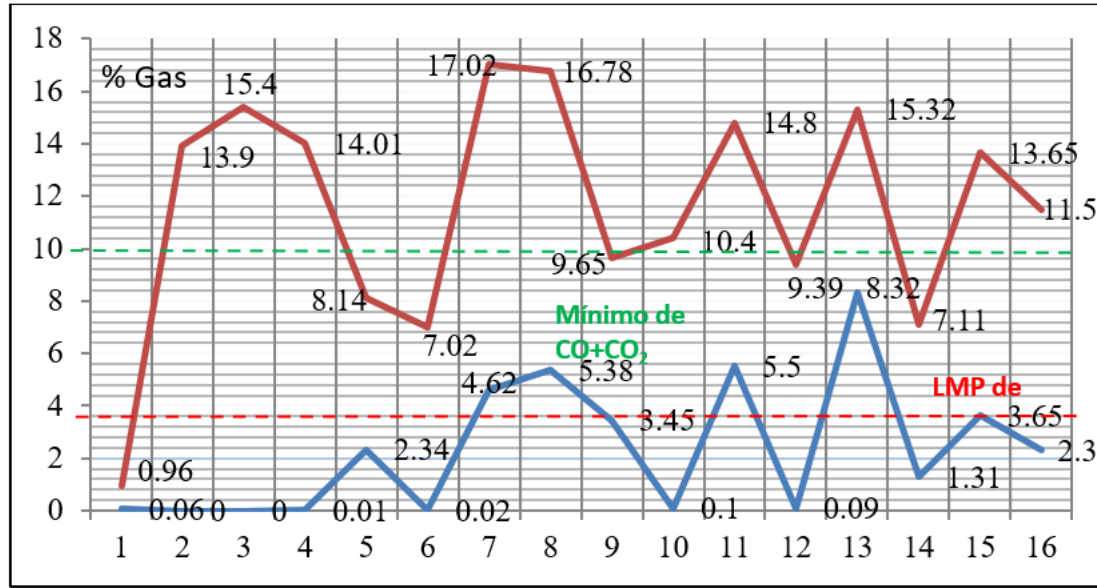
La Figura 2 muestra que para el porcentaje de CO (línea azul), se observa que los vehículos N° 7, 8, 11 y 13, exceden el (LMP) de CO (4 %); es decir el 25 % de vehículos no cumplen con la norma del DS N° 047-2001-MTC.

Por otro lado, para el porcentaje de la mezcla de CO y CO₂ (línea roja), los vehículos N° 1, 6, 9, 12, 14 exceden el valor reglamentado.

También, se observa que los vehículos N° 1, 2, 3, 4, 10, 15 y 16, emitieron bajo porcentaje de CO y alto de CO₂. Además, los vehículos N° 5, 6, 9, 12 y 14, emitieron un bajo porcentaje tanto de CO₂ como CO, no cumplen con el Mínimo de mezcla (CO+CO₂) que establece el DS N° 047-2001-MTC.

FIGURA 2

Análisis de gases vehiculares con LMP para monóxido de carbono y valor mínimo para el total de monóxido y dióxido de carbono (2015)



Nota: Mínimo: (CO + CO₂) % = 10 %, LMP CO % = 4 % [DS N° 047-2001-MTC]

También, al analizar esta figura un vehículo puede presentar cuatro casos para no cumplir con DS N° 047-2001-MTC:

-Si emite alto porcentaje de CO y alto porcentaje de CO₂, cumple con el porcentaje mínimo de CO y CO₂; sin embargo, no cumple con % de CO. (Vehículos N°7, 8, 11, y 13).

-Si emite alto % de CO y bajo % de CO₂, no cumple con el porcentaje máximo de CO, y quizás no podría cumplir con podría cumplir con el porcentaje de la mezcla (CO y CO₂).

-Si emite bajo porcentaje de CO y alto porcentaje de CO₂ cumple con el máximo porcentaje de CO, pero no podría cumplir con el porcentaje mínimo de CO y CO₂ (Vehículos 1, 2, 3, 4, 16, 10, 15 y 16).

-Si emite bajo porcentaje de CO y bajo porcentaje de CO₂, cumple con el máximo porcentaje de CO, pero no podría cumplir con el porcentaje mínimo de CO y CO₂. (Vehículos 5, 6, 9, 12 y 14).

En este gráfico de dispersión (Fig 3) para el porcentaje de CO (línea azul), se observa que los vehículos números 8 y 14, exceden el (LMP) de CO (< 4 %), es decir el 12.5 % de vehículos de no cumplen con la norma del DS N° 047-2001-MTC.

Por otro lado, el gráfico de dispersión para el porcentaje de la mezcla de CO y CO₂ (línea roja), los vehículos números 2, 6, 9, 12 y 17 no cumplen con el Mínimo de mezcla (CO+CO₂) (>10%).

FIGURA 3

Análisis de gases vehiculares con LMP para monóxido de carbono y valor mínimo para el total de monóxido y dióxido de carbono (2016)

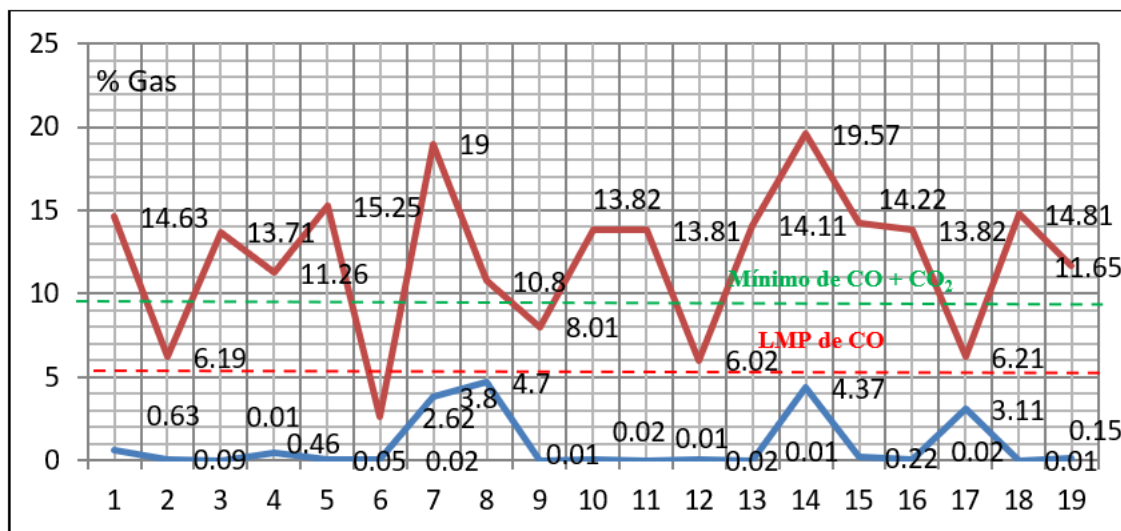
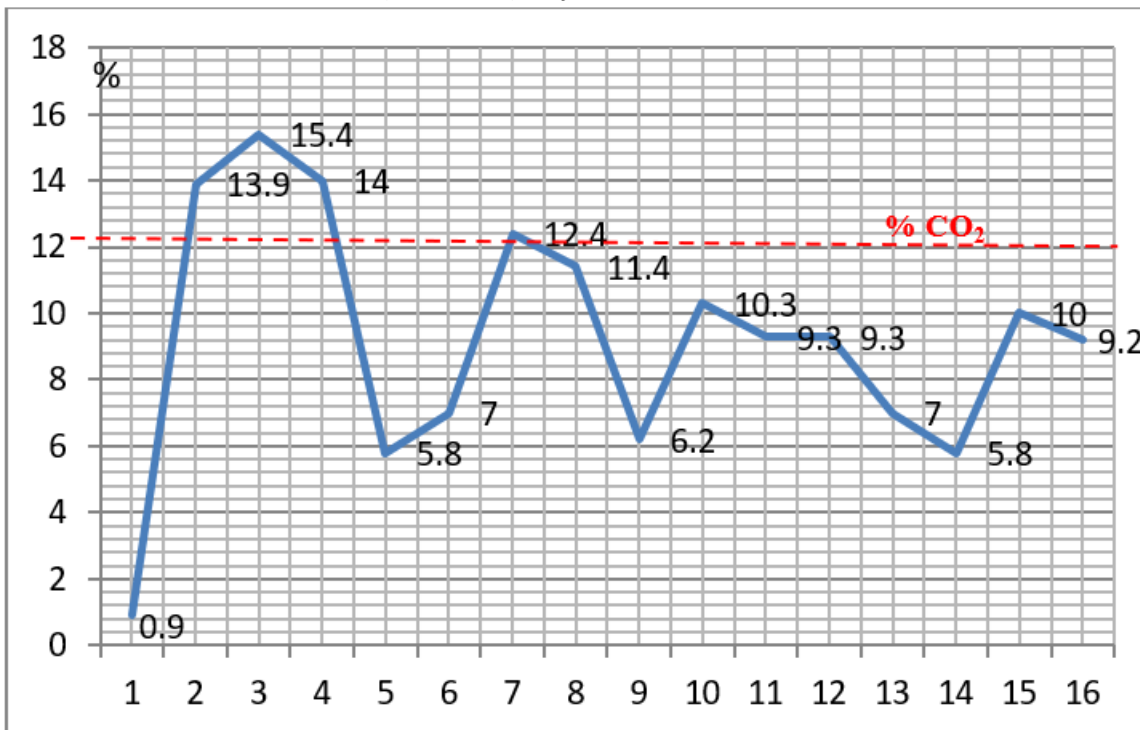


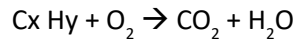
FIGURA 4

Análisis de Dióxido de Carbono (CO₂ % vol.) en junio 2015



Nota: CO₂ óptimo > 12% vol.

En la Figura 4, se presenta el gráfico de dispersión del porcentaje de CO₂ según el número de vehículos (línea azul) y el porcentaje CO₂ óptimo (línea roja trazos), se observa que los vehículos N° 2, 3, 4 y 7, tienen más de 12 % de CO₂ óptimo, es decir, estos vehículos tienen una reacción de combustión más completa:



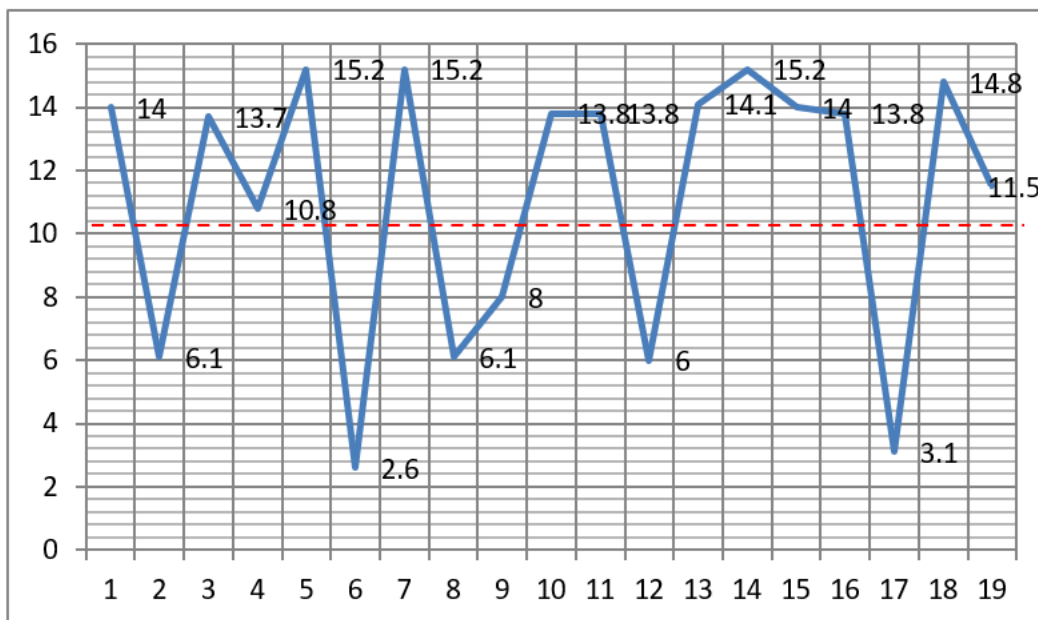
Además, estos vehículos también cumplen con el (LMP) de hidrocarburos no quemados (Fig 3). Las Figuras 2 y 3 se complementan, los vehículos que exceden el LMP %CO (4%), por ejemplo, los vehículos N° 7, 8, 11 y 13, exceden el LMP para hidrocarburos no quemados, lo que explica la reacción anterior.

También, se puede evidenciar los cuatro casos para no cumplir con DS N° 047-2001-MTC:

- Si emite alto porcentaje de CO y alto porcentaje de CO₂, cumple con el porcentaje mínimo de CO y CO₂, y cumple con porcentaje de CO. (Vehículos N°8 y 14).
- Si emite alto porcentaje de CO y bajo porcentaje de CO₂, no cumple con el porcentaje máximo de CO, y quizás no podría cumplir con podría cumplir con porcentaje de la mezcla (CO y CO₂).
- Si emite bajo porcentaje de CO y alto porcentaje de CO₂ cumple con el máximo porcentaje de CO, y cumple con porcentaje mínimo de CO y CO₂. (Vehículos N° 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 11, 13, 15, 16, 18 y 19)
- Si emite bajo porcentaje de CO y bajo porcentaje de CO₂, cumple con el máximo porcentaje de CO, pero no podría cumplir con porcentaje mínimo de CO y CO₂. (Vehículos 2, 6, 9, 12, 17, 18 y 19).

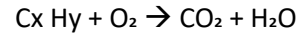
FIGURA 5

Análisis de Dióxido de Carbono (CO₂ % vol) en marzo 2016



En la Figura 5, se presenta la gráfica de dispersión del porcentaje de CO₂ (2016) según el número vehículo (línea azul) comparado con el porcentaje de CO₂ óptimo (línea roja trazos).

combustión más completa:

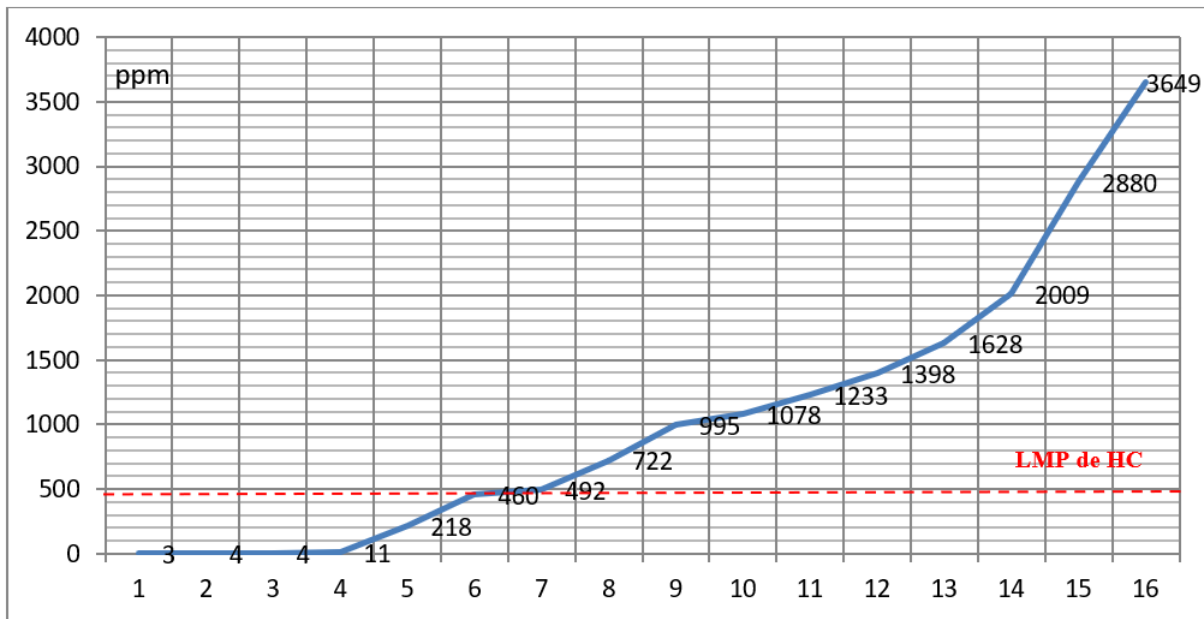


Se observa que los vehículos N° 1, 3, 5, 7, 10, 11, 13, 14, 16, y 18 tienen más de 12 % de CO₂ óptimo, es decir, estos vehículos tienen una reacción de

Las Figuras 2 y 5 se complementan, los vehículos N° 2, 9, 17 y 19, exceden el LMP % CO (4 %) y el LMP para hidrocarburos no quemados (HC = 500 ppm), presentan combustión incompleta. lo que explica la reacción anterior.

FIGURA 6

Análisis de hidrocarburos sin quemar (HC) en junio 2015, con su LMP y valor máximo (500 ppm)



En la Figura 6, se presenta el gráfico de dispersión de Hidrocarburos no quemados (HC) según el número de vehículo (línea azul) y el (LMP) para HC (línea roja trazos), se observa que a partir del vehículo N° 8 hasta el 16 sobrepasan el (LMP) establecidos en norma del DS N° 047-2001-MTC, es decir no queman todo el combustible, realizando una reacción de combustión incompleta:

En la Figura 7, se presenta el gráfico de dispersión de Hidrocarburos no quemados (HC) según el número de vehículo (línea azul) comparado al LMP para HC (línea roja trazos); se observa que los vehículos N° 1, 2, 8, 9, 17 y 19, exceden los límites de la norma (500 ppm), es decir, no queman todo el combustible, realizando una reacción de combustión incompleta, descrita anteriormente en la Figura 6.

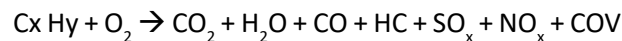
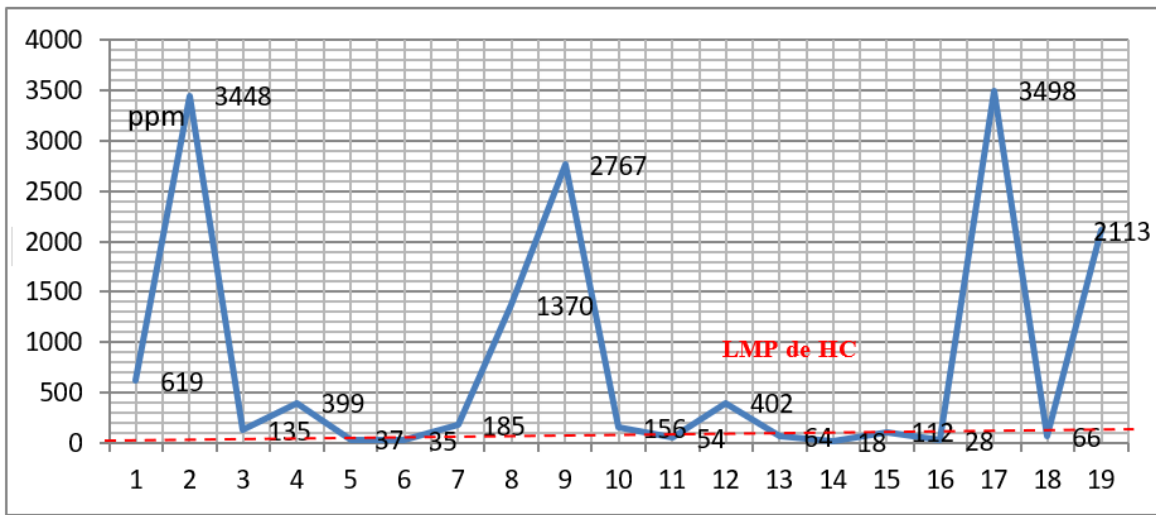


FIGURA 7

Análisis de Hidrocarburos sin quemar (HC) en marzo 2016



Evaluación del impacto ambiental en el aire

La evaluación de impacto ambiental se realizó en dos etapas:

La Tabla 2, muestra las etapas de funcionamiento de un motor de combustión interna con energía mecánica producida por energía e identificación de aspectos ambientales.

TABLA 2

Etapas del funcionamiento de motor e identificación de aspectos ambientales

Etapas para funcionamiento de motor vehicular	Identificación de aspecto ambiental
Abrir contacto	Consumo de energía química
Encendido de motor	Consumo de energía química
Puesta en marcha vehículo	Consumo de combustible
Sistema de enfriamiento activado (radiador)	Consumo de agua por radiador
Sistema de lubricación activado	Consumo de aceites lubricantes.
Apagado de motor	Consumo de energía química

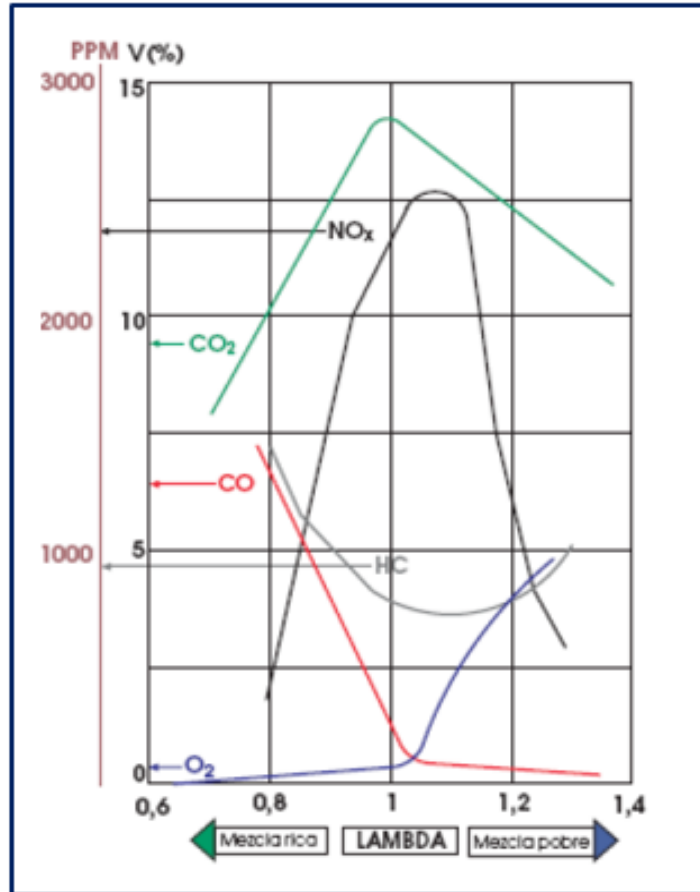
En la Figura 8, se observa la gráfica de composición de gases de escape en función de su volumen y partes por millón en relación con el valor de lambda

el cual define la riqueza de la mezcla:

$$\lambda = \frac{\text{Aire} * \text{rea} * \text{admitido}}{(\text{Aire} * \text{teorico} * \text{necesario})}$$

FIGURA 8

Curva típica de emisión de gases en función de Lambda



- Si Lambda = 1; significa que se está usando el aire teóricamente necesario (14.7 kg aire/1 kg gasolina)
- Si Lambda < 1; la mezcla aire / combustible es rica; valores de Lambda entre 0.9 a 1; CO = 2 % vol.; HC=800 ppm; NO_x= 2200 ppm; CO₂ = 11.5 %.

vehiculares, según los tres criterios: severidad, percepción y alcance (3: alto, 2: medio, 1: bajo), alcanzando el valor de R igual a 9, donde la emisión de gases vehiculares (CO y CO₂), es significativo, lo que influye negativamente en la calidad del aire de la ciudad de Trujillo – Perú.

La Tabla 3, muestra la evaluación del impacto ambiental del aire por la emisión de gases

TABLA 3

Evaluación del impacto ambiental del aire por la emisión de gases vehiculares.

IMPACTO AMBIENTAL	Evaluación de Aspectos Ambientales											
	Consumo de energía química (baterías)			Consumo de combustible (gasolina-petróleo)			Consumo de aceites lubricantes			Consumo de agua por radiador		
	Criterios de Significancia											
	S	P	A	S	P	A	S	P	A	S	P	A
Contaminación del suelo	3	3	2	2	2	1	2	2	1	-	-	-
	R = 8			R = 5			R = 5					
Contaminación del aire por CO – CO ₂	3	2	1	3	3	3	3	2	1	-	-	-
				R = 9								
Agotamiento de recursos hídricos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Resultado R= S + P + A	SI : Si R alcanza el puntaje de 9; NO : Si R no alcanza el puntaje de 9;											
Significación	Severidad (S)			Percepción del Entorno (P)			Alcance (A)					
3	El impacto ambiental compromete negativamente la salud humana y la de otros seres vivos			Cuando se tiene certeza de que el impacto ambiental compromete negativamente la salud humana y la de otros seres vivos			Cuando el impacto ambiental es percibido por las partes interesadas las cuales han manifestado su posición al respecto.					
2	Cuando no el impacto ambiental no compromete o puede comprometer negativamente la salud humana y la de otros seres vivos, pero se tiene indicios suficientes.			Cuando no se tiene la certeza de que el impacto ambiental compromete o puede comprometer negativamente la salud humana y la de otros seres vivos, pero se tiene indicios suficientes.			Cuando el impacto ambiental se asume es percibido por las partes interesadas pero no hay manifestaciones formales de su posición al respecto.					
1	El impacto ambiental no compromete y/o ha comprometido negativamente la salud humana y la de otros seres vivos.			Cuando se tiene la certeza de que el impacto ambiental no compromete y/o ha comprometido negativamente la salud humana y la de otros seres vivos.			Cuando el impacto ambiental no es percibido por las partes interesadas y no ha habido manifestación alguna.					

DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos, en las muestras tomadas en el mes junio 2015 y marzo 2016, se observa que, muchos de los vehículos no cumplen con la normativa peruana (Decreto Supremo, 2001) Las poblaciones más vulnerables son más susceptibles a los contaminantes del aire, como el material particulado, NO y CO, los cuales son

factores de riesgo y mortalidad cardiovascular en estos grupos poblacionales (Tibuakuu et al., 2018).

En relación con el combustible sin quemar (HC), se obtuvo un promedio de 1049 ppm en junio 2015 y 816 ppm en marzo 2016. En ambos casos superan el valor máximo recomendado por la

normativa peruana. Al comparar con el diagrama de Composición de los gases. Curva típica. Emisión gases en función de Lambda para un motor genérico antes del Catalizado, se observa que para una mezcla rica ($L=0.98$) y 800 ppm de HC, se obtiene gráficamente 4.16 % de CO y 13.35 % de CO_2 . Siendo Lambda " $L = (\text{Aire real}) / (\text{Aire teórico})$ ", $L=1$ significa que estamos usando el aire teóricamente necesario, es decir 14,7 kg aire/ 1 Kg de gasolina, $L > 1$ la mezcla es pobre y $L < 1$ la mezcla es rica" (Centro Integrado de Formación Profesional, 2020).

Al comparar el promedio de CO para el mes de junio 2015 (2,32 %), se obtiene un $L = 0,92$ aprox. (mezcla rica), y 800 ppm de CO y 14,2% de CO_2 aprox. Los valores de CO varían de 0,0 a 5,5% para mes de junio 2015, de 0.01 % vol a 4.7 % en el mes de marzo 2016, ambos exceden el valor crítico de la OMS (9 ppm).

Tener una mezcla con $L < 1$, quiere decir que ingresa menos aire o menos oxígeno (O_2) y la combustión es incompleta que el requerido, emitiendo productos nocivos lo que corroboran con la literatura y están fuera del estándar de Perú. Cuando el valor de $L = 1$ se ha comprobado que la contaminación es menor.

Odunlami et al. (2022), evaluó el efecto de la relación aire-combustible, en la medición de las emisiones del tubo de escape de los automóviles, donde observo que la mayoría de los valores de lambda eran superiores a 1, lo que significaba que las combinaciones ricas de aire y combustible, sobrepasaba en los procesos de combustión interna del motor, generando hidrocarburos no quemados, siendo los contaminantes CO, CO_2 y HC, influenciados por la proporción aire y combustible.

Los daños provocados por la contaminación del aire en la salud, no solo depende del tipo de contaminante, sino también del entorno circundante, en el cual las personas que viven junto a carreteras o industrias, donde se genera congestión

vehicular, se enfrentan a una mayor exposición de los compuestos tóxicos (He et al. 2022).

CONCLUSIONES

- La emisión de gases de combustión vehicular impacta negativamente en la calidad de aire de la ciudad de Trujillo.
- Valores altos del porcentaje de CO y mezcla ($CO + CO_2$), incrementan la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) en la ciudad de Trujillo.
- Los principales gases contaminantes del aire fueron CO, CO_2 y HC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adejumo, B., Ireneh, R. Dimkpa, U., Abdulkadir, U., Abdulrahman, O., & Uzor, S. (2021) Carboxylhaemoglobin Concentration among Male, Gasoline Generator Mechanics in Benin City, Nigeria. *Journal of Medical Laboratory Science*, 31 (1), 21–29. <http://doi.org/10.5281/zenodo.4641353>
- Ali, L., Nawaz, A., Iqbal, S., Aamir, M., Hameed, J., Albasher, G., Shah, S., & Bai, Y. (2021) Dynamics of Transit Oriented Development, Role of Greenhouse Gases and Urban Environment: A Study for Management and Policy. *Sustainability*, 13, 2536. <https://doi.org/10.3390/su13052536>
- Antokhina, O., Antokhin, P., Arshinova, V. et al. (2019). Study of Air Composition in Different Air Masses. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 32, 72 – 79. <https://doi.org/10.1134/S1024856019010020>
- Brusseau, M., Matthias, D., Comrie, A., & Musil, A. (2019). Chapter 17. *Atmospheric pollution*. Environmental and Pollution Science (3^{Ed}). DOI:10.1016/B978-0-12-814719-1.00017-3

- Cervera, P. (2020). Modelo de gestión para disminuir los niveles de contaminación de transporte rodante del Centro Histórico de la ciudad de Trujillo. [Tesis de Maestría, Universidad Privada Antenor Orrego]. <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/6006>
- Decreto Supremo N° 047-2001-MTC (2001). Establecen límites Máximos Permisibles de emisiones contaminantes para vehículos automotores que circulen en la red vial. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/377374/1_0_5207.pdf?v=1603162721
- Doria, C., & Fagundo, J. (2017). Caracterización química de material particulado PM10 en la atmósfera de La Guajira Colombia. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 17 (1), 5 – 16. <https://doi.org/10.19053/1900771X.v17.n1.2017.4645>
- He, H., Schäfer, B. & Beck, C. (2022). Spatial heterogeneity of air pollution statistics in Europe. *Scientific Reports*, 12, 12215. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16109-2>
- Mikhaylov, A., Moiseev.N., Aleshin, K., & Burkhardt, T. (2020). Global climate change and greenhouse effect. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 7 (4), 2897 - 2913. [http://doi.org/10.9770/jesi.2020.7.4\(21\)](http://doi.org/10.9770/jesi.2020.7.4(21))
- Odunlami, O., Akeredolu, F., Oderinde, K., Ayoola, A., Busari, A., & Efevbokhan, V (2022). *The Effect of Air-Fuel Ratio on Tailpipe Exhaust Emission Measurement of Motorcars*. En: Ayeni, AO, Oladokun, O., Orodu, OD (eds) *Advanced Manufacturing in Biological, Petroleum, and Nanotechnology Processing. Green Energy and Technology*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-95820-6_24
- Pinedo, C., Verano, J., & Barrantes, V. (2020). Análisis del control de emisiones atmosféricas vehiculares en Lima Metropolitana. *South Sustainability*, 1 (1), e005. DOI: 10.21142/SS-0101-2020-00
- Quiroz, P., & Huerta, G. (2015). *Informe técnico: Evaluación del área saturada en la red vial metropolitana de Trujillo*. <http://sial.segat.gob.pe/documentos/informe-tecnico-evaluacion-area-saturada-red-vial-metropolitana>.
- Samaniego, V., Viñán, M., Jaramillo, W., Jácome, L., & Sinche, J. (2019). Semáforos inteligentes y tráfico vehicular: un caso de estudio comparativo para reducir atascos y emisiones contaminantes. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Información*, 19, 403 - 414. https://media.proquest.com/media/hms/PFT/1/DZfQA?_gTE1HotYGs9UbhHgmqx14xtw%2FVU%3D
- Sistema Nacional de Información Ambiental [SINIA] (2016). *Indicador: Vehículos por cada mil habitantes*. <https://sinia.minam.gob.pe/indicador/966>
- Tibuakuu, M., Michos, E., Navas, A., & Jones, M. (2018) Air Pollution and Cardiovascular Disease: a Focus on Vulnerable Populations Worldwide. *Current Epidemiology Reports*, 5, 370 – 378. <https://doi.org/10.1007/s40471-018-0166-8>
- World Health Organization [WHO] (2016). *Ambient (outdoor) air quality and health*. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>