

Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2024,
Volumen 8, Número 1.

DOI de la Revista: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1

EFFECTO DEL PARQUE AUTOMOTOR EN EL NIVEL DE CONTAMINACIÓN POR DIÓXIDO DE CARBONO EN LA CIUDAD DE PUNO

**EFFECT OF THE VEHICLE FLEET ON THE LEVEL OF
CARBON DIOXIDE POLLUTION IN THE CITY OF PUNO**

Ruben Flores-Yucra

Universidad Nacional del Altiplano, Perú

Percy Arturo Ginez-Choque

Universidad Nacional del Altiplano, Perú

Roberto Alfaro-Alejo

Universidad Nacional del Altiplano, Perú

Eduardo Luis Flores-Quispe

Universidad Nacional de Moquegua, Perú

Eduardo Flores-Condori

Universidad Nacional del Altiplano, Perú

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.9937

Efecto del Parque Automotor en el Nivel de Contaminación por Dióxido de Carbono en la Ciudad de Puno

Ruben Flores Yucra¹

robenfloy@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-4619-4162>

Universidad Nacional del Altiplano

Perú

Percy Arturo Ginez Choque

pginez@unap.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-5332-9382>

Universidad Nacional del Altiplano

Perú

Roberto Alfaro Alejo

ralfaro@unap.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-1672-9026>

Universidad Nacional del Altiplano

Perú

Eduardo Luis Flores Quispe

efloresq@unam.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0001-5106-9583>

Universidad Nacional de Moquegua

Perú

Eduardo Flores Condori

eflores@unap.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-0983-5250>

Universidad Nacional del Altiplano

Perú

RESUMEN

La emisión de gases vehiculares en la ciudad de Puno se caracteriza por una gran cantidad de unidades que circulan, cantidad que ha venido aumentando de manera gradual en los últimos años, estas unidades utilizan principalmente una variedad de combustibles como gasolina y el diesel de procedencia extranjera. Existe un alto nivel de contaminación a través de las emisiones. Esta investigación tiene como objetivo determinar el nivel (% en volumen) de contaminación de emisión de gases (CO₂, CO), las emisiones de combustión de vehículos se han cuantificado a través de un dispositivo analizador de gases E-5500. Se estimó que el nivel de dióxido de carbono (CO₂) fueron de 1.10 a 18.70% en 16 puntos de monitoreo con un promedio del 11.99%, el rango de monóxido de carbono (CO) es de 100 ppm (0.01%) a 1088 ppm (0.1088%) con un promedio 470.05 ppm (0.047%) y el promedio del dióxido de carbono con el monóxido de carbono (CO₂ + CO) es 12.03%. La variación espacial a nivel de la ciudad de Puno mostró un comportamiento por debajo del límite máximo permisible (LMP) en Perú y en comparación con otros países como Colombia y México. Las emisiones de CO₂ son estadísticamente diferentes a las concentraciones de O₂, siendo mayores las concentraciones de O₂ (p<0.05), por lo cual el nivel de contaminación es aun tolerable para la salud humana. La utilidad de esta información radica en la elaboración de un mapa de monitoreo de emisión de gases definidos, lo que puede ayudar a determinar que esta variable de emisión de automóviles contamina, así como a promover las regulaciones de la industria y así como el uso de fuentes de energía menos contaminantes y la implementación de nuevas tecnologías para garantizar un apoyo de combustión más eficiente para reducir el impacto ambiental de las emisiones de gases de flota vehicular, contribuyendo a la descarbonización.

Palabras clave: contaminación de aire, dióxido de carbono, gases de combustión, monitoreo, parque automotor

¹ Autor principal.

Correspondencia: robenfloy@gmail.com

Effect of the Vehicle Fleet on the Level of Carbon Dioxide Pollution in the City of Puno

ABSTRACT

The emission of vehicular gases in the city of Puno is characterized by a large number of units that circulate, a quantity that has been increasing gradually in recent years. These units mainly use a variety of fuels such as gasoline and diesel of foreign origin. . There is a high level of pollution through emissions. This research aims to determine the level (volume %) of gas emission pollution (CO₂, CO), vehicle combustion emissions have been quantified through an E-5500 gas analyzer device. It was estimated that the level of carbon dioxide (CO₂) was 1.10 to 18.70% at 16 monitoring points with an average of 11.99%, the range of carbon monoxide (CO) is 100 ppm (0.01%) to 1088 ppm (0.1088%) with an average 470.05 ppm (0.047%) and the average of carbon dioxide with carbon monoxide (CO₂ + CO) is 12.03%. The spatial variation at the level of the city of Puno showed a behavior below the maximum permissible limit (LMP) in Peru and in comparison with other countries such as Colombia and Mexico. CO₂ emissions are statistically different from O₂ concentrations, with O₂ concentrations being higher ($p < 0.05$), so the level of pollution is still tolerable for human health. The usefulness of this information lies in the development of a defined gas emission monitoring map, which can help determine which automobile emission variable pollutes, as well as promote industry regulations and the use of less polluting energy sources and the implementation of new technologies to guarantee more efficient combustion support to reduce the environmental impact of vehicle fleet gas emissions, contributing to decarbonization.

Keywords: air pollution, carbon dioxide, combustion gases, monitoring, vehicle fleet

*Artículo recibido 28 diciembre 2023
Aceptado para publicación: 30 enero 2024*



INTRODUCCIÓN

Una preocupación importante en los últimos años, en áreas urbanas, es el aumento de las emisiones de los gases de efecto invernadero, que ha ocasionado deterioro de la calidad del aire (Monforte & Ragusa, 2018), en especial por el incremento del parque automotor. La exposición a éste tipo de emisiones de gases puede estar influido por la magnitud, alcance y duración de la misma, además del daño que ocasionaría a los seres vivos y a cualquier elemento del medio ambiente de una ciudad (Moreano Bohórquez & Palmisano Patrón, 2013). Hoy en día distintos factores como el incremento de la población, el crecimiento económico, el desarrollo del país, y la reducción de las áreas verdes son una muestra de la forma en que afecta el CO₂ y otros gases al medio ambiente (Timilsina & Shrestha, 2009). En la actualidad la emisión de gases del parque automotor genera la contaminación del aire que viene siendo uno de los problemas ambientales más severos (MINAM, 2014); siendo la contaminación del aire una amenaza aguda, acumulativa y crónica para el medioambiente (Segura-Contreras & Franco, 2016), mostrando efectos adversos a la salud humana (Ballester Díez et al., 1999). Los problemas de contaminación del aire son reconocibles en una amplia gama de escalas espaciales, siendo quizás el más pequeño de estos a la escala de calles (Harrison et al., 2014). Dentro de las calles con mucho tráfico ubicadas entre hileras continuas de edificios altos, existe la posibilidad de acumular altos niveles de contaminantes generados por el tráfico debido a la dispersión atmosférica muy restringida, esto lleva a puntos de contaminación locales.

El transporte por vía terrestre es uno de los sectores clave en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y contaminantes atmosféricos, pudiéndose hacer el monitoreo a nivel de carreteras o a nivel de ciudades, siendo el dióxido de carbono (CO₂) el GEI principal en el sector del transporte terrestre (Alam et al., 2018). Muchos residuos del parque automotor contribuyen a la contaminación del aire y suelo (Machado et al., 2008; Puy-Alquiza et al., 2017). El sector del transporte es el principal contribuyente a las emisiones de CO₂ en México, que representa el 39% en 2010, de las cuales el transporte por carretera representó el 92% (Solís & Sheinbaum, 2013). El carbono elemental (BC por sus siglas en inglés), es un compuesto que constituye la parte inorgánica del PM y técnicamente es reconocido como trazador de las emisiones provenientes de vehículos diésel (Segura-Contreras & Franco, 2016). Asimismo, el parque vehicular estimado, según Departamento 2008-2017 de unidades vehiculares

existentes a nivel nacional es de 2,661,719 vehículos y la región de Puno cuenta con 47,696 vehículos (MTC, 2018). Mediante el Decreto Supremo N° 010-2017-MINAM (MINAM, 2017), se establecieron los Límites Máximos Permisibles (LMP) de emisiones de contaminantes para vehículos motorizados que circulen en la red vial, esto a raíz de que en los últimos años el mantenimiento de dichos vehículos ha sido inapropiado por falta de un adecuado sistema de control y debido a un crecimiento abrupto del parque automotor.

La ciudad de Puno, por las condiciones propias que tiene presenta una gran densidad poblacional, debido a las restricciones del espacio y presencia de personas por las diversas instituciones gubernamentales, comerciales y viviendas en general, que en los últimos años ha provocado un crecimiento del parque automotor. Por lo cual, es preciso conocer los efectos que puede producir las emisiones del parque automotor en la calidad del aire en la ciudad de Puno por la emisión de gases de los vehículos motorizados. Se propuso como objetivo principal de esta investigación determinar nivel de contaminación de dióxido de carbono por parque automotor en la ciudad de Puno.

El parque automotor de la ciudad de Puno emite gases según el combustible usado ya sea de gasolina, petróleo y combustible de procedencia extranjera (Bolivia).

No existen actualizaciones de datos y mapas de monitoreo de emisión de gases de vehículos del parque automotor en la ciudad de Puno, las entidades públicas y privadas no toman el caso con seriedad ya que no se cuenta con equipos para la realización de monitoreo de los gases emitidos por el parque automotor en forma periódica.

METODOLOGÍA

Área de estudio

La ciudad de Puno se ubica, en el distrito, provincia y departamento de Puno, Perú, a una altitud de 3825 m.s.n.m., entre las coordenadas geográficas 15° 50' 13" latitud sur, y 70° 01' 32" longitud oeste, y entre las coordenadas UTM Zona 19 de 8248445 norte y 389912 este (Plaza de Armas de la ciudad de Puno, en el sistema elipsoidal WGS 84. La ciudad de Puno se encuentra a orillas de lago Titicaca (bahía de Puno) y al oeste del lago, asimismo por el norte, sur y oeste está rodeado de cerros cuya altitud superan los 4000 m.s.n.m. (Figura 3). Es parte del altiplano peruano con clima semiárido, con épocas marcadas lluviosa (diciembre-marzo) y de estiaje (mayo-noviembre) (Alfaro & Apolo, 2010; Pari-

Huaquisto et al., 2020).

Parque automotor de la ciudad de Puno

Según la información de la subgerencia de transportes de la Municipalidad Provincial de Puno, el parque automotor de la ciudad de Puno está conformado por empresas de transporte de servicio urbano, interurbano, asociación de moto taxis, taxis y radio taxis, camioneros y volqueteros, así como el transporte interprovincial e interregional (Tabla 1), que circulan en la ciudad de Puno constantemente, información al 20 de abril del 2016.

Tabla 1. Parque automotor ciudad de Puno (MPP, 2010)

N°	Tipo de servicio	Cantidad de empresas	Cantidad de unidades vehiculares
1	Empresas de transporte urbano	49	986
2	Empresas de transporte interurbano	41	673
3	Empresa de taxis y radio taxis	57	2092
4	Empresa de transporte de camioneros y volqueteros	17	275
5	Asociación de moto taxis	22	1077
6	Empresas de transporte provincial, inter regional y internacional	2	58
TOTAL		188	5161

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación del nivel de contaminación de dióxido de carbono generada por el parque automotor en el cercado de la ciudad de Puno, contempla la identificación de las zonas de mayor congestión y conflicto en la ciudad de Puno, para lo cual se realizó una visita previa a los 16 puntos considerados, (figura 3). Posteriormente se efectuó un análisis cualitativo del problema a través de la visualización e inspección física en los 16 puntos del cercado de la ciudad, codificando 16 puntos del área de estudio. Seguido de la georeferenciación de las coordenadas UTM 19L - WGS 84 en los 16 puntos de monitoreo con un GPS marca Garmin 60CSX (tabla 2).

Muestreo de emisión de contaminantes del aire por los vehículos automotores

La toma de datos en los 16 puntos del cercado de Puno, se hizo con el analizador industrial de emisiones de gases de combustión E- 5500, una vez calibrado, se ubicó en el punto establecido para realizar las

mediciones, como se observa en la Figura 1. Los horarios para la toma de datos con el analizador industrial en los 16 puntos por contaminación de dióxido de carbono por tráfico vehicular, fueron de la siguiente manera en cuanto a la frecuencia de lectura en cada uno de los puntos de monitoreo se realizó en dos (02) horas de 16:00 pm - 19:00 pm horas por la tarde. Las mediciones se realizaron en un lapso de 5 minutos con un total de 1 repetición para el caso de contaminación fluctuante de gases. Se evitaron las mediciones en condiciones meteorológicas extremas tales como lluvia, viento, y otros que puedan afectar los resultados obtenidos y al equipo. En estos casos se hizo la repetición del monitoreo al día posterior.

Se realizaron cuatro muestreos del nivel de contaminación por dióxido de carbono por el parque automotor de la ciudad de Puno, con la participación de personal del Laboratorio del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Tesistas, en algunos casos con la asistencia de la Policía Nacional del Perú.

- a) Primer muestreo ha sido efectuado el 15 de abril del 2016, de la que se han obtenido 5 muestras de los vehículos que circulan en la ciudad de Puno son: Av. La Torre con Av. Floral, Jr. Tacna con Jr. Melgar, Jr. Tacna con Calle Puno, Jr. Los Incas con Jr. Cahuide, Ovalo Ramón Castilla, la toma de datos fue de 16:00 hrs - 19:00 hrs.
- b) Segundo muestreo se realizó el 22 de abril del 2016, desde 16:00 hrs - 19:00 hrs obteniéndose 4 puntos de muestreo como son: Av. Floral con Jr. Jorge Basadre, Jr. Puno con Jr. Ilave, Av. El Sol con Jr. Ricardo Palma, Av. Simón Bolívar con Av. Carabaya.
- c) Tercer muestreo se realizó el 10 de mayo del 2017, desde 16:00 hrs - 19:00 hrs, logrando medir 5 puntos de muestreo como son: Av. Ejército Cdra. 6, Av. El Sol, Jr. Echenique con Av. Costanera Sur, Av. Panamericana Este con Av. Estudiante, Óvalo Dante Nava,
- d) Cuarto muestreo se realizó el 25 de mayo del 2017, desde 16:00 hrs - 19:00 hrs, monitoreando 2 puntos de muestreo como son: Jr. Lima con Jr. Libertad, Av. Incas con Av. El Sol (altura del estadio)

Análisis de contaminantes del aire por emisión de gases

El análisis de las muestras se ha realizado inmediatamente al tomar la muestra de la emisión de gases de los vehículos automotores, con el analizador industrial de emisiones de gases de combustión E- 5500 para vehículos automotores a gasolina y petróleo, que son equipos sofisticados electrónicos y digitales

de toma de muestras y análisis de gases, exclusivamente para la medición y análisis de emisión de contaminantes para los vehículos automotores.

Figura 1. Equipo de analizador industrial de emisiones de gases de combustión E- 5500.



Con la obtención de los resultados, se procedió a la evaluación del grado de contaminación por la emisión de gases emitidos por el parque automotor en la ciudad de Puno, para lo cual se tomaron en cuenta los Límites Máximos Permisibles de emisiones contaminantes para vehículos que circulen en la red vial según Decreto Supremo N° 047- 2001-MTC (MTC, 2001).

Puntos de monitoreo

Los puntos de monitoreo de las fuentes de contaminación, sus coordenadas y gases emitidos por los vehículos de transporte público y privado que circulan en la ciudad de Puno, se puede observar en la tabla 2.

Con la obtención de los datos mediante el monitor de gases y la toma directa in situ; se procedió a la elaboración de los resultados y su posterior análisis e interpretación. De acuerdo a los objetivos planteados en la presente investigación.

La toma de datos se efectuó en los 16 puntos de monitoreo a vehículos que circulan en la ciudad de Puno, por el alto tráfico vehicular se realizó en horas de la tarde por un lapso de 5 minutos con un total de una repetición para el caso de contaminación fluctuante de gases. Para la toma de datos se utilizó el analizador industrial de emisiones de gases de combustión E- 5500.

Obteniéndose mediante el equipo analizador industrial de emisiones de gases de combustión E- 5500.

El cual es el equipo analizador de gases para vehículos automotores a gasolina, petróleo, etc. Con el

que se ha obtenido los porcentajes en volumen de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), y oxígeno (O₂).

En base a la medición directa con el analizador industrial de emisiones de gases de combustión E-5500, se obtuvo datos de % de volumen.

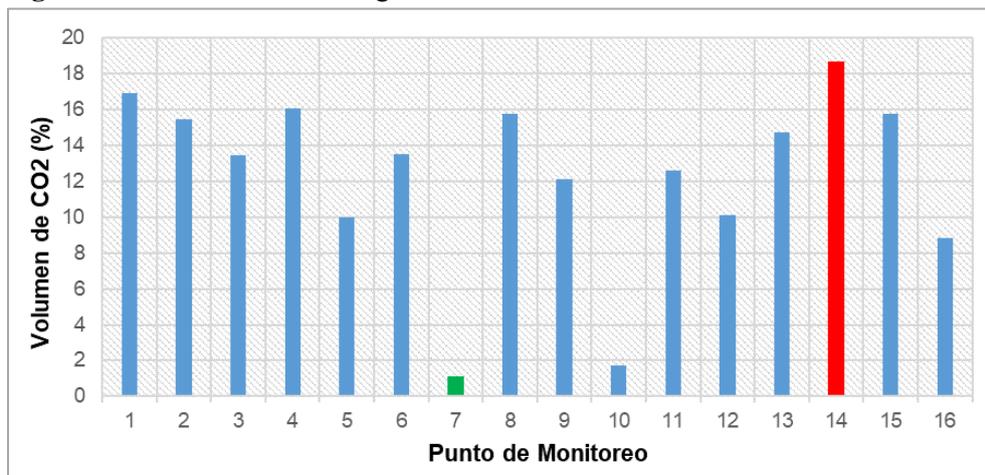
Se realizó comparaciones de porcentaje en volumen de la emisión de gases de dióxido de carbono (CO₂) con la concentración de O₂, emanados por el parque automotor de la ciudad de Puno. Para lo cual se probó la normalidad de los datos con la prueba Anderson-Darling y posteriormente se realizó la prueba de analisis de varianza no parametrica Kruskal-Wallis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación del nivel de contaminación de dióxido de carbono por parque automotor

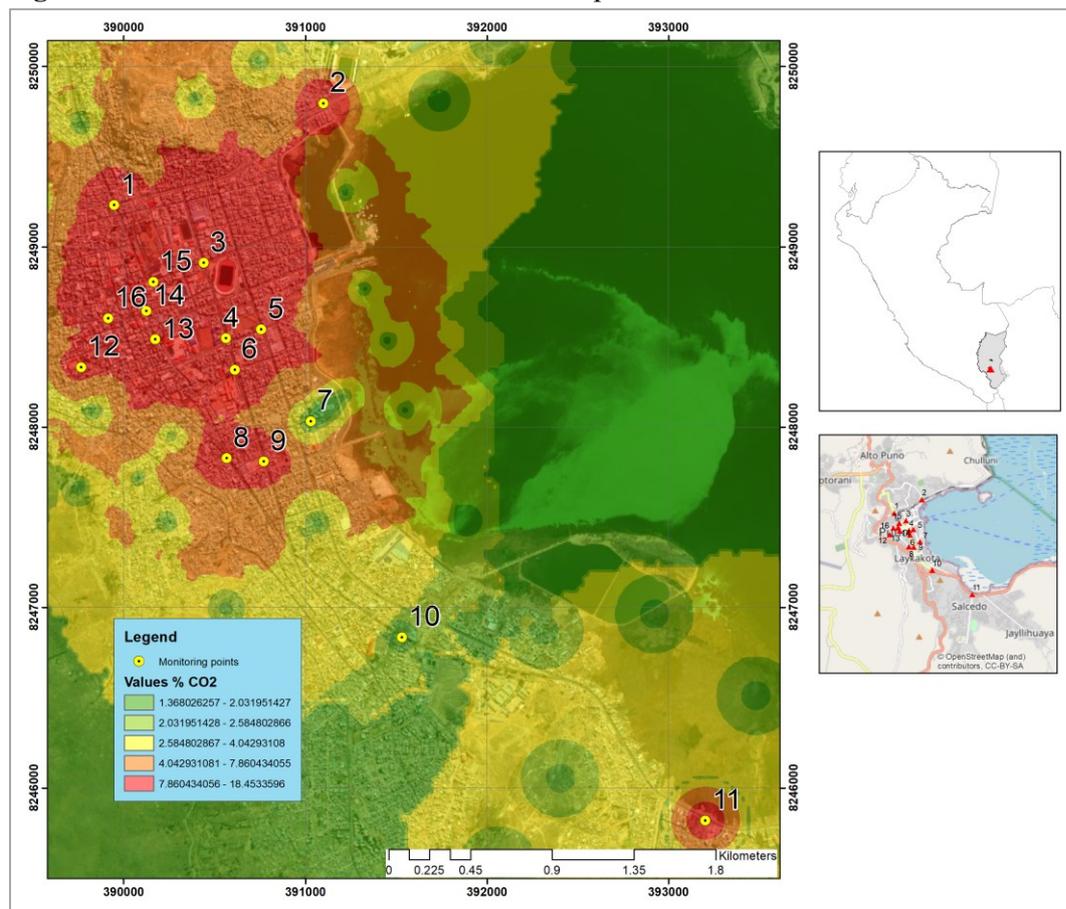
En la figura 2 se muestra los niveles de CO₂ en porcentaje basado en volumen, resaltando el punto 7 con el nivel más bajo que no supera el 2% y el punto 14 con el nivel más alto que supera el 18%.

Figura 2. Datos del monitoreo general del nivel de contaminación CO₂



En la Figura 2 se observa que de los 16 puntos de monitoreo general de los vehículos que circulan en la ciudad de Puno muestran que el punto de muestreo 14 ubicado en el Jr. Tacna con Jr. Melgar tiene el mayor % de CO₂ con un 18.70 % y el punto 7 ubicado en el Jr. Echenique con Av. Costanera Sur tiene el menor % de CO₂ con un 1.10 %. Mientras que la figura 3 muestra la interpolación espacial según los puntos medidos para la variable CO₂, donde se visualiza que el centro de la ciudad tiene un mayor nivel de contaminación.

Figura 3. Niveles de volumen % de CO₂ en cada punto



Volumen de emisiones por parque automotor en la ciudad de Puno

En la tabla 2 se muestra los resultados de los puntos de monitoreo del contaminante CO₂. Se muestra el nombre la avenida o calle, la ubicación del punto de monitoreo en coordenadas UTM, la fecha de medición la marca del vehículo, su año de fabricación y los valores de CO₂ y O₂.

Tabla 2. Monitoreo de los puntos de muestreo de la contaminación de CO₂

N°	Descripción	Este	Norte	Fecha	Marca	Año fabricación	CO ₂ (%)	O ₂ (%)
1	Av. La Torre con Av. Floral	389947	8249229	15/04/2016	Toyota taxi	2005	16.90	20.70
2	Av. Floral con Jr. Jorge Basadre (frente a la Universidad Nacional del Altiplano)	391101	8249793	22/04/2016	S. Wagon	1999	15.44	20.77

3	Av. Incas con Av. El Sol (altura del estadio)	390441	8248909	25/05/2017	Camioneta Toyota	2010	13.49	20.35
4	Ovalo Ramón Castilla	390563	8248491	15/04/2016	S. Wagon	2004	16.07	20.93
5	Av. Simón Bolívar con Av. Carabaya	390758	8248540	22/04/2016	Combi Nissan	2007	10.01	20.75
6	Av. El Sol con Jr. Ricardo Palma	390612	8248316	22/04/2016	Auto Nissan	2002	13.55	19.89
7	Jr. Echenique con Av. Costanera Sur	391030	8248031	10/05/2017	Cherry	2012	1.10	20.36
8	Óvalo Dante Nava	390567	8247826	10/05/2017	Auto Hyundai	2005	15.80	20.30
9	Av. El Sol (altura del Mercado Laykakota)	390771	8247807	10/05/2017	Suzuki	2005	12.10	20.00
10	Av. Ejército Cdra. 6 (frontis del Centro de Educación Especial)	391532	8246833	10/05/2017	Auto Hyundai	2000	1.70	20.60
11	Av. Panamericana Este con Av. Estudiante	393204	8245817	10/05/2017	Volkswagen	2007	12.60	19.90
12	Jr. Puno con Jr. Ilave	389765	8248331	22/04/2016	Auto	1999	10.12	20.85
13	Jr. Tacna con Calle Puno	390175	8248485	15/04/2016	Auto	1998	14.75	20.39
14	Jr. Tacna con Jr. Melgar	390125	8248642	15/04/2016	Auto Hyundai	2015	18.70	20.40
15	Jr. Los Incas con Jr. Cahuide (altura de Plaza Veá)	390163	8248804	15/04/2016	Camioneta Pick Up Toyota	2012	15.80	20.75
16	Jr. Lima con Jr. Libertad	389914	8248602	25/05/2017	Camioneta Pickup Toyota	2013	8.84	20.94

Volumen de dióxido de carbono (CO₂)

Los resultados de las comparaciones de porcentaje en volumen de la emisión de gases de dióxido de



carbono (CO₂), emanados por el parque automotor de la ciudad de Puno se observan en la Tabla 3 y en la Figura 4.

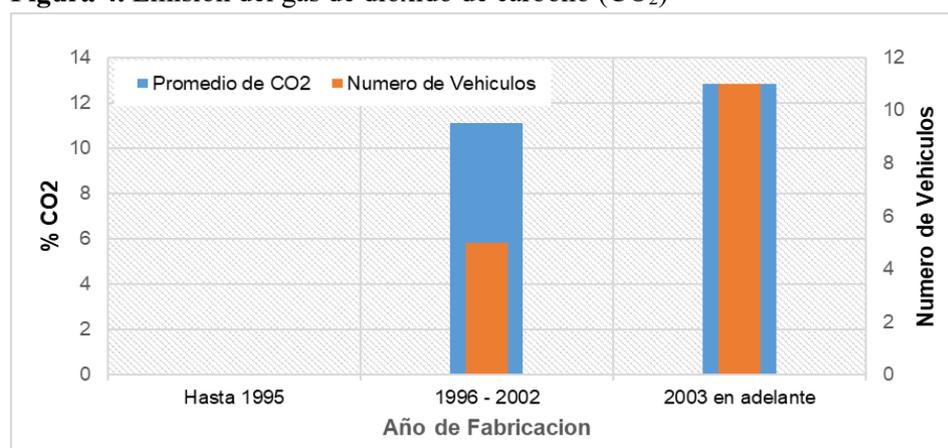


Tabla 3. Volumen de la emisión de dióxido de carbono (CO₂) en %.

Año de fabricación	Promedio de CO ₂ (%)	Nº de vehículos
Hasta 1995	0	0
1996 - 2002	11.11	5
2003 en adelante	12.86	11
TOTAL	$\bar{x} = 11.99$	N = 16

En la Tabla 3 y Figura 4 se detalla el volumen de la emisión de dióxido de carbono (CO₂) en % de volumen, en donde en los años de fabricación de 1996-2002 se tiene un número de 5 vehículos que tiene un promedio de 11.11% de CO₂ y del año 2003 en adelante se tiene un número de 11 vehículos con un promedio de 12.86% de CO₂; esto indica que los vehículos de los años 1996 al 2002 generan mayor contaminación de CO₂ con respecto a los vehículos de los años 2003 en adelante que generan menor contaminación de CO₂.

Figura 4. Emisión del gas de dióxido de carbono (CO₂)



Por lo tanto nos da como resultado del monitoreo de los 16 puntos en donde el promedio de CO₂ es de 11.99 %, esto se debe a que los carros fabricados entre los años 1996 al 2003 en adelante se encuentran por debajo de los resultados obtenidos contribuyendo de alguna manera de CO₂ a nuestro ambiente sin embargo Marín (2007) encontró un promedio de 14.91 % esto nos indica que los vehículos de circulación de los años 1982 al 2001 si contribuyen en la emisión y contaminación del CO₂ a nuestro medio ambiente (Marín, 2007). Por otro lado se encontró el valor mínimo ubicado en el punto 7 en Jr. Echenique con Av. Costanera Sur con 1.10 %, esto se debe a la poca presencia de vehículos que circulan por dicho punto, por otro lado el punto máximo ubicado en el punto 14 en Jr. Tacna con Jr. Melgar con 18.70 %, esto se debe a que en ese punto hay presencia de semáforos y congestiónamiento de unidades

vehiculares, así mismo Solís Ávila y Sheinbaum Pardo (2016) en México encontraron un valor de 39 % de emisiones de CO₂ como valor máximo, esto se debe a que existe demasiada carga vehicular y produce mayor contaminación en el ambiente (Solís Ávila & Sheinbaum Pardo, 2016), haciendo una comparación con la ciudad de Puno, aún no tenemos alta contaminación de CO₂ en el ambiente. Por otro lado Ballester et al.(1999) estimaron que el transporte es responsable del 28% de las emisiones de CO₂ (Dióxido de Carbono) principal causante del efecto invernadero (Ballester Díez et al., 1999). Asimismo Defensoría (2008) menciona que el transporte es un 22% de la actual concentración de CO₂ en la atmósfera (Defensoría, 2008). Sin embargo, en los resultados se encontraron en un 18.70 % de alguna manera aún no se siente la contaminación por CO₂.

Comparación de emisión de gases CO₂ respecto al O₂ en la ciudad de Puno

El método estadístico empleado fue el analisis de varianza de un factor. Previamente se realizo la prueba grafica de normalidad mostrada en las en las figuras 5 y 6.

Figura 5. Prueba de normalidad de CO₂

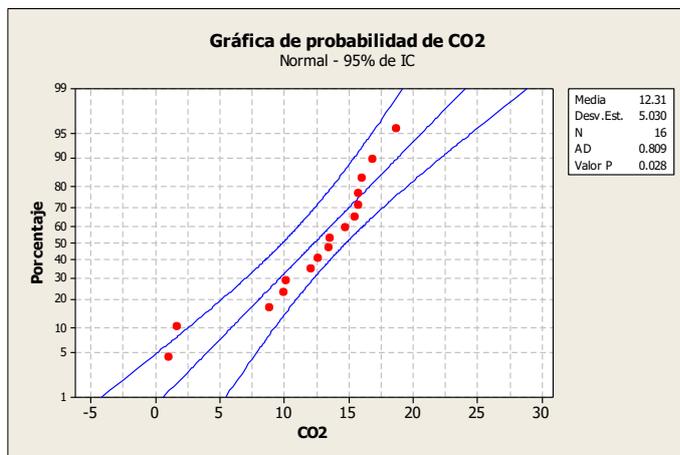
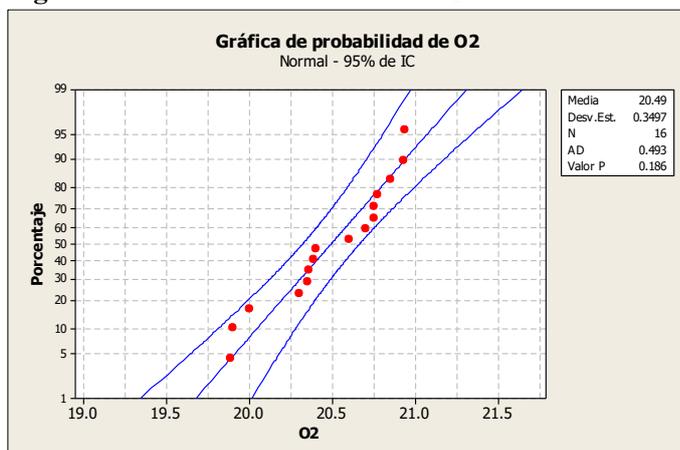


Figura 6. Prueba de normalidad de O₂



Las prueba de normalidad de Anderson-Darling rechaza la normalidad de CO₂ y acepta la normalidad de O₂ al nivel de significancia de 0.05. Por ello se realizó una prueba de analisis de varianza no parametrica la de Kruskal-Wallis. El resultado se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Resultado de comparación de emision de CO₂ respecto al O₂ con prueba de Krukak-Wallis

Clasificación				
Factor	N	Mediana	del promedio	Z
1	16	13.52	8.5	-4.82
2	16	20.50	24.5	4.82
General	32		16.5	

H = 23.27 GL = 1 P = 0.000

H = 23.28 GL = 1 P = 0.000 (ajustados para los vínculos)

Nota: Factor 1 es CO₂ y Factor 2 es O₂

Los resultados muestran que existe diferencia significativa entre la emisión de CO₂ y el O₂, presentando una mediana mayor el O₂ respecto al CO₂, esto al nivel de significancia de 0.05. Por lo cual en promedio en los puntos de monitoreo las concentraciones de O₂ son mayores a las de CO₂, por lo cual el ambiente es aún aceptable para la salud humana.

De los 16 puntos monitoreados se detalla lo siguiente:

- Ningún punto, (0%) es menor de 1.1 %
- Quince puntos (93.5 % del total), son menores de 18 %
- Un punto (6.25%), es mayor de 18 %

Realización de actualizaciones de datos y mapas de monitoreo de emisión de gases (CO₂ y CO)

Esta investigación deja un mapa actualizado construido en base a 16 puntos de monitoreo de emisión de gases en la ciudad de Puno, donde se aprecia la ubicación de los puntos de mayores niveles de gases emitidos (CO₂ y CO) por el parque automotor (ver figura 3).

Debido al incremento del parque autor cada año, gases como el monóxido de carbono (CO) (en forma de hollín) y otros compuestos. Es importante comunicar y mejorar las políticas de control de la contaminación del aire (Carnell et al., 2019), debiendo ser cada vez más estrictas, los combustibles mejorados y la tecnología de reducción de la contaminación, como lo refieren Carnell et al. (2019).

Las concentraciones encontradas en el presente estudio, si bien no representan mayores riesgos a la salud, sin embargo, existen la tendencia mundial de reducir el uso de combustibles fósiles o

descarbonización del transporte terrestre, principalmente a escala urbana, ya que se recomienda la electrificación del parque automotor, entendiendo que los vehículos eléctricos presentan ventajas ambientales (Kouridis & Vlachokostas, 2022; Zhang & Fujimori, 2020).

CONCLUSIONES

Se evaluó 16 puntos de monitoreo donde los niveles (% volumen) de gases emitidos como partículas de CO₂, en la ciudad de Puno. Registrándose el valor máximo por la tarde de (16:00 -19:00 hrs) de 18.70% (CO₂) en el Jr. Tacna con Jr. Melgar y el valor mínimo en la tarde es de 1.10 % (CO₂) en la Av. Echenique con Av. Costanera Sur. Asimismo, los valores encontrados no superan los valores encontrados por Marín (2007) provocados por el parque automotor en la ciudad de Puno.

Se registró la concentración de gases provocados por el parque automotor en la ciudad de Puno, donde la relación existente de CO₂ respecto a O₂, existe diferencia estadística significativa en los 16 puntos de monitoreo, ya que $p < 0.05$, siendo mayor las concentraciones O₂ con respecto a las concentraciones de CO₂ por lo cual la contaminación aun es aceptable para la salud humana, por tanto los gases generado por el parque automotor aun son tolerables. Sin embargo, debido al incremento de parque automotor es una proyección que se incrementarán estos valores, por lo que se hace necesaria la fiscalización de los combustibles y además se debe pensar en otras fuentes de energía.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alam, M. S., Duffy, P., Hyde, B., & McNabola, A. (2018). Downscaling national road transport emission to street level: A case study in Dublin, Ireland. *Journal of Cleaner Production*, 183, 797–809. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.206>
- Alfaro, R., & Apolo, J. (2010). Contaminación de las aguas pluviales urbanas: efectos en los cuerpos receptores, caso Juliaca.
- Ballester Díez, F., Tenías, J. M., & Pérez-Hoyos, S. (1999). Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: una introducción. *Revista Española de Salud Pública*, 73, 109–121. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57271999000200002&nrm=iso
- Carnell, E., Vieno, M., Vardoulakis, S., Beck, R., Heaviside, C., Tomlinson, S., Dragosits, U., Heal, M. R., & Reis, S. (2019). Modelling public health improvements as a result of air pollution control policies in the UK over four decades—1970 to 2010. *Environmental Research Letters*, 14(7),

74001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab1542>

Defensoría (2008). La calidad del aire en Lima y su impacto en la salud y la vida de sus habitantes: seguimiento de las recomendaciones defensoriales. Defensoría del Pueblo.

http://www.defensoria.gob.pe/modules/Downloads/informes/defensoriales/informe_136.pdf

Harrison, R. M., Pope, F. D., & Shi, Z. (2014). Air Pollution. In Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09097-7>

Kouridis, C., & Vlachokostas, C. (2022). Towards decarbonizing road transport: Environmental and social benefit of vehicle fleet electrification in urban areas of Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153, 111775. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111775>

Machado, A., García, N., García, C., Acosta, L., Córdova, A., Linares, M., Giraldoth, D., & Velásquez, H. (2008). Contaminación por metales (Pb, Zn, Ni y Cr) en aire, sedimentos viales y suelo en una zona de alto tráfico vehicular. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 24(4), 171–182. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37011665003>

Marín, E. (2007). Contaminación del aire por parque automotor en la ciudad de Puno. Universidad Nacional del Altiplano.

MINAM. (2014). El Informe Nacional de la calidad del aire 2013-2014 (Lima). Ministerio del Ambiente Peru. <http://www.minam.gob.pe/informe-nacional-de-calidad-del-aire-2013-2014/>

MINAM. (2017). Límites Máximos Permisibles de emisiones atmosféricas para vehículos automotores. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/establecen-limites-maximos-permisibles-lmp-emisiones-atmosfericas>

Monforte, P., & Ragusa, M. A. (2018). Evaluation of the air pollution in a Mediterranean region by the air quality index. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(11), 625.

<https://doi.org/10.1007/s10661-018-7006-7>

Moreano Bohórquez, D. I., & Palmisano Patrón, A. S. (2013). Nivel de afectación de la contaminación atmosférica y sus efectos en la infraestructura del campus universitario debido a la emisión de partículas PM10 y CO [Pontificia Universidad Católica del Perú].

<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/1763>

MPP. (2010). Plan regulador de rutas de transporte público urbano en la ciudad de Puno. Municipalidad



Provincial de Puno.

<http://munipuno.gob.pe/descargas/transparencia/imagenes2011/>

MTC. (2001). Decreto Supremo N° 047-2001-MTC .- Establecen Límites Máximos Permisibles (LMP) de emisiones contaminantes para vehículos automotores que circulen en la red vial (M. de T. y Comunicaciones (ed.)). MINAM. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/establecen-limites-maximos-permisibles-lmp-emisiones-contaminantes>

MTC. (2018). Anuario Estadístico 2017. In M. de T. y Comunicaciones (Ed.), Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

<http://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/publicaciones.html>

Pari-Huaquisto, D. C., Alfaro-Alejo, R., Pilares-Hualpa, I., & Belizario, G. (2020). Seasonal variation of heavy metals in surface water of the Ananea river contaminated by artisanal mining, Peru. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 614.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/614/1/012167>

Puy-Alquiza, M. J., Miranda-Aviles, R., Zanor, G. A., Salazar-Hernández, M. M., & Ordaz-Zubia, V. Y. (2017). Study of the Distribution of Heavy Metals in the Atmosphere of the Guanajuato City: Use of Saxicolous Lichen Species as Bioindicators. Ingeniería, Investigación y Tecnología, 18, 111–126. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432017000100111&nrm=iso

Segura-Contreras, J. F., & Franco, J. F. (2016). Exposición de peatones a la contaminación del aire en vías con alto tráfico vehicular. Revista de Salud Pública, 18(2), 179–187.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42245920003>

Solis Ávila, J. C., & Sheinbaum Pardo, C. (2016). Consumo de energía y emisiones de CO₂ del autotransporte en México y escenarios de mitigación. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 32(1), 7–23. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37045275001>

Solis, J. C., & Sheinbaum, C. (2013). Energy consumption and greenhouse gas emission trends in Mexican road transport. Energy for Sustainable Development, 17(3), 280–287.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.esd.2012.12.001>

Timilsina, G. R., & Shrestha, A. (2009). Transport sector CO₂ emissions growth in Asia: Underlying



factors and policy options. *Energy Policy*, 37(11), 4523–4539.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.06.009>

Zhang, R., & Fujimori, S. (2020). The role of transport electrification in global climate change mitigation scenarios. *Environmental Research Letters*, 15(3), 34019.

<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6658>.

