



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD



CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

Evaluación de la contaminación vehicular mediante inteligencia artificial en la ciudad de Ica en el 2024

Presentado por:

- **DR. JUAN JOSE JIMENEZ GARAVITO**
- **DR. PACO MARQUEZ URBINA**
- **DR. ERWIN PABLO PEÑA CASAS**
- **DRA. MONICA GABRIELA SALCEDO HERNANDEZ**
- **MAG. CARLOS MARTIN CORDOVA FARFAN**

Docentes investigadores. El resultado obtenido es (**porcentaje de similitud 4%**) por el cual se otorga el calificativo de:

APROBADO, según el Reglamento de Evaluación de la Originalidad.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 02 de enero del 2025


Dr. JAVIER ORLANDO GUTIÉRREZ FERREYRA
Director de la Unidad de Investigación
Facultad de Ingeniería de Sistemas

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Evaluación de la contaminación vehicular mediante inteligencia artificial en la ciudad de Ica en el 2024

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: RECURSOS HÍDRICOS, RIESGOS DE DESASTRES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Temática: Problemática social, económica y ambiental

AUTORES:

Investigador principal: DR. JUAN JOSE JIMENEZ GARAVITO, Docente U.N.S.L.G,

<https://orcid.org/0000-0001-6908-487X>

Investigador asociado: DRA. MÓNICA GABRIELA SALCEDO HERNÁNDEZ, Docente U.N.S.L.G

<https://orcid.org/0000-0001-8667-5559>

Investigador asociado: MAG. CARLOS MARTIN CORDOVA FARFAN, Docente U.N.S.L.G

<https://orcid.org/0000-0002-6740-2544>

FILIACIÓN INSTITUCIONAL

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”

FACULTAD DE SISTEMAS

ICA – PERÚ

2024

INDICE

			Pág.
CAPITULO	1	: MARCO TEORICO	1
		1.1 Introducción	1
		1.2 Antecedentes	2
CAPITULO	2	: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
CAPITULO	3	JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DE INVESTIGACION	11
		Justificación.	11
		Importancia.	12
CAPITULO	4	: HIPOTESIS Y VARIABLES	12
		4.1 Hipótesis de la investigación.	12
		4.2 Variable	13
CAPITULO	5	: OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	14
		5.1 Objetivos generales	14
		5.2 Objetivos específicos.	14
CAPITULO	6	: ESTRATEGIA METODOLOGICA (METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION)	15
		6.1 Uso de Instrumentos	14
		6.2 Caracterización de Grupos.	15
		6.3 Diseño de Investigación	16
		6.4 Matriz de Consistencia	17
CAPITULO	7	: FINANCIAMIENTO Y PRESUPUESTO	18
		7.1 Financiamiento	18
		7.2 Presupuesto	18
CAPITULO	8	: CRONOGRAMA	19
CAPITULO	9	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	20
CAPITULO	10	: ANEXOS	22

Resumen

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) provenientes del transporte vehicular son una de las principales causas del cambio climático, y en Ica, el parque automotor juega un papel importante en este problema. El propósito de este trabajo es analizar las emisiones de CO₂ generadas por los vehículos en la ciudad de Ica, utilizando herramientas de inteligencia artificial. A través de este análisis, buscamos identificar patrones y características de los vehículos que más contribuyen a la contaminación. Con esta información, será posible proponer medidas para reducir las emisiones y mejorar la calidad del aire. Además, este estudio tiene como objetivo apoyar los esfuerzos internacionales para reducir los gases de efecto invernadero, en línea con las iniciativas globales para combatir el cambio climático. También es fundamental que las autoridades locales, como la Municipalidad de Ica, utilicen estos datos para diseñar políticas públicas que promuevan la sostenibilidad y la salud ambiental. En resumen, este trabajo no solo busca profundizar en la comprensión de las emisiones vehiculares en Ica, sino también ofrecer soluciones concretas para mitigar su impacto y mejorar el entorno a largo plazo.

Abstract

Carbon dioxide (CO₂) emissions from vehicular transport are one of the main causes of climate change, and in Ica, the vehicle fleet plays an important role in this issue. The purpose of this study is to analyze the CO₂ emissions generated by vehicles in the city of Ica using artificial intelligence tools. Through this analysis, we aim to identify patterns and characteristics of the vehicles that contribute most to pollution. With this information, it will be possible to propose measures to reduce emissions and improve air quality. Additionally, this study aims to support international efforts to reduce greenhouse gases, aligning with global initiatives to combat climate change. It is also crucial that local authorities, such as the Municipality of Ica, use this data to design public policies that promote sustainability and environmental health. In summary, this work not only seeks to deepen the understanding of vehicular emissions in Ica but also to offer concrete solutions to mitigate their impact and improve the environment in the long term.

1. Marco teórico

1.1. Introducción

Esta investigación está orientada a evaluar la contaminación vehicular, específicamente CO₂ y otras partículas de la calidad del aire en la ciudad de Ica, utilizando inteligencia artificial. Nuestro estudio surge en respuesta al creciente número de vehículos en nuestra región, un fenómeno que se ha acelerado gracias a la masiva migración hacia aquí. Esta migración se debe en gran parte al progreso de la agroindustria en nuestra zona, atrayendo cada vez a más personas quienes buscan oportunidades laborales. “La contaminación del aire se ha convertido en un factor que amenaza la vida en todo el mundo en las últimas décadas como resultado del aumento de los vehículos, y la industrialización, las actividades humanas y la urbanización” [1].

En esa misma orientación “Las emisiones de los vehículos se han convertido en una importante fuente de contaminación atmosférica en las ciudades, especialmente en China” [2]. Similarmente “La contaminación de los gases de escape de los vehículos se ha convertido en una fuente importante de contaminantes atmosféricos y emisiones de CO₂, con el continuo crecimiento del número de vehículos” [3]. Y en la misma dirección “Las emisiones vehiculares se han convertido en fuentes importantes de contaminación del aire en China” [4].

Todo esfuerzo que se realice para contribuir con la reducción de los gases de efecto invernadero - GEI son importantes en este tiempo como se expresa en el libro de [5] “Se ha demostrado y proyectado que la inteligencia artificial será útil en el futuro para el control de la contaminación y la gestión medioambiental”.

Como tal el Instituto Goddard de Estudios Espaciales de la NASA, menciona que el monitoreo de los gases de efecto invernadero (GEI) en el mundo están supeditados a las capacidades de investigación como también de la financiación de estas investigaciones [6]. Del mismo modo el equipo de investigación comprometidos con el aporte a esta problemática mundial sobre GEI y conocedores de la importancia que tiene en la actualidad la tecnología informática en todas las áreas del quehacer humano, nos permite utilizar la Inteligencia artificial por medio sus algoritmos para evaluar esta situación.

En el País se tiene establecido mediante el Decreto Supremo N° 010-2017-MINAM, los límites Máximos Permisibles de emisiones atmosféricas para vehículos automotores [7].

Tabla I
Límites máximos permitidos del 2013 hacia adelante

III.4. Vehículos de categorías M y N con motor de encendido por chispa a gasolina, GLP o GNV como combustible u otros combustibles alternos			
Año de fabricación(*)	CO [% - v/v]	HC [ppm]	CO + CO2 [% - v/v] mínimo
2013 en adelante	0,35	70	12[10(1)]

Tabla II
Límites máximos permitido hasta el 2003

II.4. Vehículos de categorías M y N con motor de encendido por chispa a gasolina, GLP o GNV como combustible u otros combustibles alternos				
Año de fabricación(*)	Altitud [msnm]	CO [% - v/v]	HC [ppm]	CO + CO2 [% - v/v] mínimo
Hasta 1995	0 a 1800	3,0	400	10 [8(1)]
	> 1800	3,0	450	8
1996 a 2002	0 a 1800	2,5	300	10 [8(1)]
	> 1800	2,5	350	8
2003 en adelante	A cualquier altitud	0,5	100	12[8(1)]

Pero además en las actuales circunstancias en las que se está retomando las actividades económicas después de la pandemia, el recorrido de los vehículos está siendo mayor en este escenario se debe tener en cuenta según [8] el CO2 es el resultante de la transformación del CO que a pesar de no ser toxico en bajas concentraciones, sin embargo el exceso en la atmosfera condiciona la salida de los rayos solares, creando un constante calentamiento en la tierra.

Ante esta realidad la ciencia en sus grandes avances ha encontrado en la inteligencia artificial un buen aliado en la búsqueda de soluciones a partir de los datos disponibles para su tratamiento con la finalidad de encontrar en esos datos patrones y comportamiento para lograr tomar mejores decisiones como es el caso de la contaminación ambiental.

La inteligencia artificial se define como “una combinación de tecnologías que agrupa datos, algoritmos y capacidad informática” [9], que con un poder de cómputo y disponibilidad de datos permite la innovación en cualquier campo de aplicación.

De otro lado el gigante de las bases de datos [10] la define como “sistemas o máquinas que imitan la inteligencia humana para realizar tareas y pueden mejorar iterativamente a partir de la información que recopilan”.

1.2. Antecedentes

Los hallazgos expuestos por [1] (Reddy y Murali Krishna, 2023) muestran el impacto de la contaminación atmosférica en la vida actual, donde los vehículos juegan un papel crucial debido al crecimiento industrial, la actividad humana y la expansión de las ciudades. Al revisar investigaciones anteriores sobre predicción de contaminación por vehículos, encontraron problemas de precisión y errores frecuentes. Su solución fue crear el modelo HWTO-ANFIS para obtener predicciones más confiables. Los datos recolectados en Hyderabad permitieron a

este modelo calcular tanto los niveles de contaminantes como el Índice de Calidad del Aire (ICA). Cuando lo compararon con otros métodos como redes neuronales artificiales (ANN) y controladores lógicos difusos (FLC), el HWTO-ANFIS demostró ser entre 7-12% más preciso. Sus pruebas confirmaron que este nuevo método supera a los tradicionales en exactitud.

Complementando este panorama, [2] (Yang et al., 2022) destaca el papel de los vehículos como principales contaminantes urbanos en China. Sus mediciones en la región Pekín-Tianjin-Hebei (BTH) revelan que los vehículos producen el 45% de las partículas finas del área. Pese a los controles existentes, sustancias como CO, COV, NOX y PM10 siguen variando mientras crece el número de vehículos registrados. Los hallazgos encontraron que sacar de circulación los vehículos más contaminantes dio buenos resultados y proponen aplicar medidas similares en las tres ciudades para mejorar la calidad ambiental de la región.

La investigación de [3] (Chen, Li, Jia, & Ye, 2022) ha puesto el dedo en la llaga: los vehículos se han convertido en villanos silenciosos de nuestra calidad del aire, arrojando cantidades preocupantes de CO2 a medida que más y más autos invaden nuestras calles. Estos investigadores, usando Beijing como su laboratorio urbano, desarrollaron un modelo para entender mejor el problema. Sus hallazgos son fascinantes: aunque cobrar un "impuesto por contaminar" suena bien en papel, es como un remedio que pierde su efecto con el tiempo. Lo destacante resultó ser la inversión en ciencia y tecnología, que no solo ayuda a limpiar nuestro aire, sino que también cuida nuestros bolsillos y nuestra salud. Esta receta podría ser justo lo que necesitamos para alcanzar esa meta aparentemente lejana de reducir nuestras emisiones para 2030.

Del otro lado del tablero, [4] (Xu y Qin, 2022) nos lleva a Hainan, una provincia china que dio un paso audaz: decidió que para 2030 dirá adiós definitivo a la venta de vehículos que funcionan con combustibles tradicionales. Pero aquí viene la parte intrigante: incluso con estas medidas valientes, los números cuentan una historia diferente. La cantidad de vehículos podría dispararse entre un 21% y un 65% de 2025 a 2050, especialmente en autos particulares y minibuses. Si bien las políticas ayudarían a reducir algunos contaminantes (entre 1.0% y 16.0% para 2030, llegando a un esperanzador 16.7% a 38.7% para 2050), hay una trampa: el CO2 seguiría acumulándose en nuestra atmósfera. Es como si los vehículos de "nueva energía" nos hubieran vendido una promesa a medias. Los investigadores son claros: aunque estas políticas son un paso en la dirección correcta para algunos contaminantes, necesitamos pensar fuera de la caja si queremos realmente hacer mella en las emisiones de CO2. El sector transporte necesita una verdadera revolución de ideas frescas.

[5] (Hoang, Nguyen M., Thuong, Quy Nhan, & Vo Chau, 2022) tratan un problema que afecta a todo el planeta: la contaminación ambiental se ha convertido en uno de los mayores desafíos del siglo XXI. Este panorama ha impulsado a países y organizaciones de todo el mundo

a buscar soluciones innovadoras, con un enfoque especial en la digitalización y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. La inteligencia artificial, que comenzó a desarrollarse en los años 50, ha evolucionado hasta convertirse en una herramienta esencial en nuestra actualidad, transformando tanto el ámbito académico como el industrial. En su estudio, los autores exploran cómo esta tecnología está revolucionando el desarrollo sostenible, especialmente en áreas clave como la gestión del agua y el control de la contaminación del aire, además de su aplicación en diversas industrias. Las perspectivas son optimistas: se espera que la inteligencia artificial sea crucial para controlar la contaminación, gestionar los residuos industriales globalmente y ayudar a cumplir con los objetivos del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Por otro lado, [11] (Paidí, Håkansson, Fleyeh, & Nyberg, 2022) se centran en un problema específico dentro del entorno urbano: la contaminación originada en los estacionamientos abiertos. Los investigadores encontraron que estos lugares, a pesar de ser generalmente pasados por alto, se han convertido en importantes fuentes de emisiones debido a la circulación constante de vehículos buscando un espacio disponible. Aunque el impacto ambiental de estos espacios es significativo, han sido poco estudiados debido a su limitada viabilidad económica. Utilizando tecnología térmica, los investigadores analizaron los patrones de circulación durante diferentes momentos del día. Los resultados obtenidos son reveladores: los conductores tienden a preferir espacios cercanos a los centros comerciales, incluso si esto implica recorrer distancias mayores. Los datos muestran que la distancia promedio recorrida es 2.7 veces mayor que la distancia óptima necesaria. Durante los periodos de mayor demanda, la escasez de espacios libres genera un incremento en las emisiones de CO₂, mientras algunos vehículos continúan buscando espacio fuera del área de estudio, lo que contribuye al aumento de la contaminación atmosférica.

Segun [12] (Thanatrakolsri, 2022), es necesario disponer de factores de emisión correctos para evaluar las emisiones de los vehículos y tomar decisiones adecuadas para gestionar la contaminación atmosférica en el sector del transporte. En este estudio, utilizando un dinamómetro de chasis en el Laboratorio de Emisiones de Automoción, se desarrollaron factores de emisión de CO₂ y CH₄ de vehículos ligeros (LDV) por tipos de combustible y velocidades de conducción. Se utilizó el ciclo de conducción de Bangkok para el funcionamiento y control del vehículo según el procedimiento estándar. Los resultados presentan que los factores medios de emisión de CO₂ y CH₄ más elevados fueron los emitidos por los vehículos LDG, con 232,25 g/km y 9,50 mg/km, respectivamente. El factor medio de emisión de CO₂ de los vehículos LDD(Light-Duty-Diesel) fue superior al de los vehículos LDG(Ligh-Duty Gasoline), con 182,53 g/km y 171,01 g/km, respectivamente. Sin embargo, los factores medios de emisión de CH₄ de los vehículos LDD fueron inferiores a los de los vehículos LDG, con 2,21 mg/km y 3,02 mg/km, respectivamente. El resultado revela que la

menor velocidad de conducción emitió factores de emisión de CO₂ más elevados para los vehículos LDV. Esto refleja la mayor tasa de consumo de combustible (L/100 km) y la menor tasa de ahorro de combustible (km/L). Además, la proporción de emisiones de CO₂ emitidas por los LDV fue del 99,96% del total de emisiones de GEI. Los factores de emisión de CO₂ y CH₄ desarrollados a través de este estudio se utilizarán para apoyar las políticas de reducción de gases de efecto invernadero, especialmente en lo relativo al CO₂ y CH₄ emitido por los vehículos. Además, puede utilizarse como base de datos que fomente el sistema de gestión del transporte ecológico en Tailandia.

Se mantiene que en la investigación de [13] (Lim, Mudway, Molden, Holland, & Barratt, 2021), en la que se encuentran que se han realizado investigaciones en curso destinadas a reducir las concentraciones de contaminación en los vehículos debido a la alta exposición que se produce en este entorno. Estos estudios han encontrado que el uso de configuraciones de recirculación (RC) reduce sustancialmente las concentraciones de contaminación relacionada con el tráfico en la cabina, pero posiblemente conduce a una acumulación adversa de dióxido de carbono (CO₂) de la respiración del conductor. El objetivo de este estudio fue resaltar cómo los modelos de vehículos y las configuraciones de ventilación afectan las concentraciones en la cabina de partículas ultrafinas (UFP) y CO₂ en condiciones reales. Evaluamos la capacidad de diferentes vehículos para equilibrar las reducciones de UFP con la acumulación de CO₂ en la cabina, midiendo estos contaminantes simultáneamente tanto dentro como fuera del vehículo para obtener una relación de entrada/salida. Cuando la configuración de ventilación se estableció en RC, las concentraciones de UFP dentro de los vehículos (mediana: 3205 pt./cm³) fueron un 86 % más bajas en comparación con el aire exterior (OA) (23 496 pt./cm³) en un período real de 30 minutos de ruta de conducción. Sin embargo, las concentraciones de CO₂ demostraron un rápido aumento lineal bajo la configuración de RC, a veces superando las 2500 ppm. Estas concentraciones se han asociado previamente con una disminución del rendimiento cognitivo. Nuestro estudio no encontró un efecto de los vehículos a gasolina que afecten los niveles de UFP en la cabina en comparación con los vehículos híbridos o eléctricos, lo que sugiere que la autocontaminación no fue un problema. También descubrimos que ciertos modelos de vehículos eran mejores para reducir tanto las UFP en la cabina como las concentraciones de CO₂. Los resultados sugieren que bajo la configuración de RC, las proporciones de CO₂ de entrada/salida están determinadas en gran medida por la fuga de la cabina del vehículo, mientras que las proporciones de UFP de entrada/salida están determinadas principalmente por la eficacia del filtro de aire incorporado en el sistema de ventilación de los vehículos.

Coincidente con el tema [14] (Lolge & S, 2021), se encuentra que la calidad del aire en las metrópolis es degradante como resultado de un complejo comercio entre las condiciones ambientales naturales y artificiales. Con el aumento de la urbanización y la industrialización y la falta de control sobre las emisiones y el uso de transformadores catalíticos, se produce una gran cantidad de partículas y gases venenosos. El ideal de este diseño es cubrir la contaminación del aire en las carreteras y rastrear los vehículos que engendran contaminación por encima de un límite especificado. El aumento del uso de automóviles es un problema grave que existe desde hace mucho tiempo. En este artículo se revisan diferentes sistemas utilizados para cubrir la contaminación vehicular y se propone el uso de Internet de las Cosas (IoT) para abordar este problema. A continuación, se utiliza una combinación de detectores de gases venenosos y un sistema de seguimiento de identificación por radiofrecuencia (RFID) para cubrir los registros de contaminación vehicular en cualquier momento y en cualquier lugar. Palabras clave: IoT, WS, Arduino, RFID, Sensor de Gas.

Las métricas de criticidad utilizan un análisis matemático para evaluar la seguridad del parque automotor. Asimismo, se proponen otras métricas considerando el medio ambiente, ya que nos facilitarán la selección por parte de otras investigaciones que permitan evaluar la seguridad medioambiental. Es así que se investigan las métricas. A este respecto, en primer lugar, investigamos si las métricas de criticidad serán utilizadas para determinar cuán graves son las situaciones medioambientales, ya que estarán bien definidas y funcionarán según lo establecido. Además, se presentaron detalles en relación a la optimización proponiendo algunas métricas establecidas que mejorarán el medio ambiente y la seguridad, haciendo un seguimiento a los vehículos. También se propone aplicar métricas con el uso de la inteligencia artificial (IA). Finalmente, se establecerá el uso de métricas para el seguimiento vehicular, estableciendo que los vehículos a gasolina son los que emiten los índices más altos de carbono (54,92 g de CO₂), seguidos por los automóviles a biodiésel (54,67 g de CO₂) y los vehículos eléctricos de red (31,16 g de CO₂) [15] (Jurj et al., 2022).

La contaminación ambiental que se da en las grandes áreas metropolitanas, como es el caso de São Paulo, es proclive a la contaminación del suelo, del agua y del aire, sabiendo que los autos son generadores de contaminantes en toda la atmósfera. Los coches flexfuel que se utilizan en el parque automotor en Brasil son alimentados con gasolina y con etanol. Los gases emitidos por estos vehículos son tratados en laboratorios estandarizados, probando los vehículos en las carreteras con un sistema de mediciones de gases. Estas pruebas incluyen nuevas fases del PROCONVE, que es el programa de control de contaminación. Se utiliza mucho la tecnología de sensores de bajo costo, que es disponible y fiable. Es así que la presente investigación tuvo como objetivo principal implementar el PEMS compactado, por ser de bajo

costo y ser utilizado en autos flexfuel. El PEMS se valoró en el laboratorio de emisiones de autos, logrando coeficientes de valor R^2 superiores a 0,94 para CO_2 y CO, y 0,73 para THC [16] (Silva Forcetto, 2022). En el estudio de [17] (Wen, Lu, & Jhang, 2021), se determina que el pronóstico del piloto de inteligencia artificial (IA) sea preciso y resuelto, donde las particularidades de ingreso serán tan importantes como el modelo. El efecto de la selección de las características en los modelos se investigó en este trabajo. Para ello, se empleó el proceso de regresión reforzado con la finalidad de predecir las emisiones de óxido de nitrógeno en el ambiente y también el dióxido de carbono, teniendo como base el consumo de gasolina en los vehículos en las calles de la ciudad. Para ello, se utilizó un método de medición de emisiones (PEMS) para recopilar datos de los automóviles, así como también de las circunstancias medioambientales. El automóvil anduvo por dos rutas. El modelo se estableció con los informes de la primera ruta y predijo la emisión de la segunda. Se establecieron muchas características que se relacionaban entre sí y otras características que se asociaron con ellos.

Estudio importante en donde se resalta la planificación, los autores [18] (Moreno, 2021) encuentran que la mala planificación del tránsito puede traer consigo efectos no deseados, como los embotellamientos, los colapsos y los accidentes viales. En estos sucesos, además de perderse vidas humanas y recursos materiales, se contamina el medio ambiente a través del humo de los vehículos; y también de manera sonora, por el sonido de los cláxones. Por otra parte, existen factores humanos, de los vehículos y externos que, unidos a una mala configuración, pueden ser potenciales provocadores de siniestros en la vía. Para evitar situaciones como estas, es necesario, antes de decidir colocar señalizaciones viales, saber si las mismas tendrán el resultado esperado o conocer qué situaciones pueden provocar. Las técnicas de inteligencia artificial y la simulación basada en agentes inteligentes han sido utilizadas en múltiples ocasiones para apoyar estudios y tomas de decisiones relacionadas con este tema. En este trabajo se presenta cómo el uso de las técnicas de simulación y de inteligencia artificial va en aumento para la resolución de problemas de configuración de señales en redes viales, principalmente la colocación de controladores de tráfico en intersecciones de carreteras, mediante la imitación del comportamiento de todos los usuarios de la vía.

Se ha demostrado que el transporte en las carreteras, en el sector aéreo y marítimo tienen un alto índice de emisiones, lo que contribuye significativamente a la contaminación ambiental. Por esta razón, se revisaron las estrategias para mejorar esta problemática y se propusieron políticas de mejoramiento. En este sentido, el mejoramiento en la economía es un factor clave que contribuirá a alcanzar los objetivos propuestos. Así, la economía colaborativa podrá ayudar a reducir considerablemente los recursos necesarios. Con el propósito de abordar esta cuestión, se propone un modelo inteligente para determinar las emisiones de dióxido de carbono en Dublín, Irlanda. El procedimiento planteado es un enfoque híbrido no controlado,

adaptado a la distribución del problema. Asimismo, se llevará a cabo un enfoque perspicaz para modelar la emisión de CO₂ del transporte en la ciudad [19] (Ghahramani & Pilla, 2021).

Un trabajo determina que la contaminación atmosférica se incrementa en las zonas urbanas debido a la industria, el parque automotor y otras actividades relacionadas con la maquinaria. Los gases resultantes del efecto invernadero son los más altos. El objetivo trazado fue caracterizar las emisiones de contaminantes y la calidad del aire en Ica, Perú, incluida como zona de atención prioritaria. Se tomaron muestras en dos puntos durante 2019 para realizar un análisis cualitativo y cuantitativo del aire. Las partículas en suspensión PM₁₀, así como los gases (SO₂, NO₂ y H₂S), son inferiores a los niveles establecidos en las Normas Nacionales de Calidad en ambas estaciones de monitoreo (E-1 y E-2). Sin embargo, el material particulado PM_{2.5} supera los niveles establecidos en las normas nacionales de calidad ambiental en la estación E-2. Esto evidencia el mayor riesgo del PM_{2.5} para la salud de la ciudad, siendo el área de transporte una de las fuentes más significativas de emisión en Ica [20] (Córdova-Mendoza, Barrios-Mendoza, Córdova-Barrios, Córdova-Mendoza, Barrios-Mendoza, & Córdova-Barrios, 2021).

El transporte es un sector que depende de la producción de combustibles fósiles y genera emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Este gas es un contaminante producido por los vehículos y es una de las principales causas de la contaminación atmosférica y el calentamiento global. El aumento de la demanda de vehículos provoca un incremento en las emisiones de CO₂, lo que agrava la situación. No obstante, los vehículos que utilizan combustibles fósiles siguen siendo una necesidad para la movilización de la comunidad. Dado que la mayoría de los vehículos actuales son de combustibles fósiles, medir la eficiencia del uso de combustibles es crucial. La medida utilizada para evaluar la eficiencia del uso de combustible por parte de los vehículos es el Vehículo Kilómetro Recorrido (VKT). Utilizando el software Mobilev, se pueden predecir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) de los vehículos que emplean combustibles fósiles. Las emisiones de CO₂ producidas en una zona industrial son causadas por varios tipos de vehículos, como motocicletas, LDV y coches HDV. Del análisis de la correlación entre las emisiones de CO₂ y cada tipo de vehículo, se obtiene que los motores y los LDV tienen una fuerte correlación con las emisiones de CO₂, mientras que la correlación con los HDV es débil. Esto demuestra que las emisiones de CO₂ de cada vehículo contribuyen de manera significativa a la contaminación del aire [21] (Ismail, Nurwidyawati, & Rahayu, 2019).

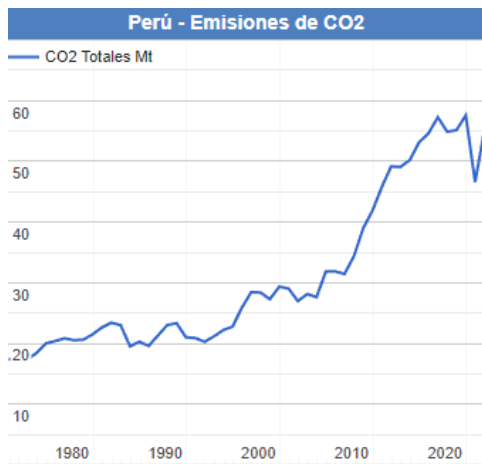
2. Planteamiento del problema

Las transformaciones climáticas globales son atribuibles principalmente a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), con especial énfasis en las emisiones de CO₂ provenientes del sector transporte. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, UNEP (2023), advierte sobre el incremento acelerado de estas emisiones en el sector transporte, proyectando una triplicación de la flota vehicular global hacia 2050.

Las investigaciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático documentan un incremento de 0.85 °C en la temperatura media global, correlacionándose con una reducción aproximada del 5% en la producción cerealera por cada grado centígrado de aumento. Las emisiones de CO₂ han experimentado un incremento del 50% desde la década de 1990, con un aumento significativo durante el período 2000-2010, superando los registros de las tres décadas precedentes [23].

En el período pre-pandémico, las concentraciones atmosféricas de CO₂ y otros GEI alcanzaron niveles históricos máximos, acelerando las alteraciones climáticas en los ecosistemas terrestres, marinos y atmosféricos [23]. Si bien la pandemia del COVID-19 generó una reducción temporal estimada del 6% en las emisiones debido a las restricciones globales, este efecto fue transitorio. La recuperación económica global sugiere una probable intensificación de las emisiones, fundamentando la necesidad de implementar estrategias sistémicas a largo plazo para la mitigación del CO₂ atmosférico, según señalamientos del Secretario General de la ONU [24].

Las proyecciones de la ONU sobre la reducción temporal del 6% en emisiones de CO₂ durante 2020 se confirman mediante los datos publicados por DatosMacro, que registran para Perú un incremento de 8,557 megatoneladas en 2021, representando un aumento del 18,37% respecto a 2020. Con emisiones totales de 55,144 megatoneladas en 2021, Perú se posiciona en el lugar 129 entre 184 países en el ranking global de emisiones de CO₂ [25].



Perú - Emisiones de CO2			
Fecha	CO2 Totales Mt	CO2 Kg/1000\$	CO2 t per capita
2021	55,144	0,13	1,64
2020	46,587	0,13	1,40
2019	57,583	0,14	1,75
2018	55,141	0,13	1,69
2017	54,889	0,14	1,71
2016	57,271	0,15	1,80
2015	54,597	0,15	1,74
2014	53,164	0,15	1,72
2013	50,211	0,14	1,64
2012	49,084	0,15	1,63
2011	49,162	0,16	1,65
2010	45,779	0,16	1,56

Fig. 1. Comportamiento de las emisiones de CO2 en Perú **Fig. 2.** Histórico de emisiones CO2 en el Perú 1980-2021

Fuente: <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/peru>

El análisis de los datos representados en las Figuras 1 y 2 evidencia una reducción significativa de las emisiones de CO2 de 10,996 Mt (19.09%) durante el período de COVID-19. Sin embargo, los registros del 2021 (2379 Mt) indican una tendencia hacia la recuperación de los niveles pre-pandémicos de 2019, aunque manteniéndose por debajo de estos valores históricos. Esta trayectoria, según el Instituto Goddard de Estudios Espaciales de la NASA [6], demanda una respuesta integrada entre sociedad civil, sector empresarial y comunidad académica para implementar estrategias efectivas de mitigación que modifiquen la tendencia ascendente de las emisiones de CO2, con el objetivo fundamental de mejorar la calidad de vida poblacional.

En el contexto regional, los datos proporcionados por el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) revelan características demográficas y territoriales significativas para la región de Ica. Con una población de 850,765 habitantes distribuidos en una extensión territorial de 21,305.5 km², la región presenta una densidad poblacional de 40 habitantes por kilómetro cuadrado, con una distribución territorial que abarca 1,297 unidades administrativas.

Esta configuración demográfica y territorial plantea desafíos específicos para la gestión ambiental y el control de emisiones. La densidad poblacional moderada sugiere la necesidad de implementar estrategias de monitoreo y control adaptadas a las características específicas de la región, considerando patrones de movilidad urbana e interurbana. El SINIA, a través de su red institucional, proporciona un marco operativo para la recopilación y análisis de datos ambientales, facilitando la implementación de políticas basadas en evidencia para la reducción de emisiones contaminantes.

La estructura institucional del SINIA representa un componente crucial para la gestión ambiental regional, facilitando la coordinación interinstitucional y la implementación de programas de monitoreo ambiental. Este sistema integrado permite una evaluación continua de los indicadores ambientales y la efectividad de las medidas de mitigación implementadas.

Tabla III
Oficina de SINIA en la región Ica

SEDES	NOMBRE DE LA SEDE
4	Jefaturas o Sedes Administrativas del SERNANP*
1	Direcciones Zonales del SENAMHI**, con 19 estaciones meteorológicas y 5 estaciones hidrológicas
1	oficinas desconcertadas del OEFA***

*SERNANP Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado

**SENAMHI Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

***OEFA Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

En la Tabla III, además de estas instituciones como el OEFA, igualmente el rol que le corresponde a la Municipalidad de Ica en relación con el medio ambiente. Desafortunadamente tanto la OEFA como la municipalidad no presentan en sus portales web información relacionada la contaminación vehicular, mucho menos medidas de protección al medio ambiente. En tal sentido el SINIA no reporta ninguna información relacionada con las emisiones de CO₂ al ambiente.

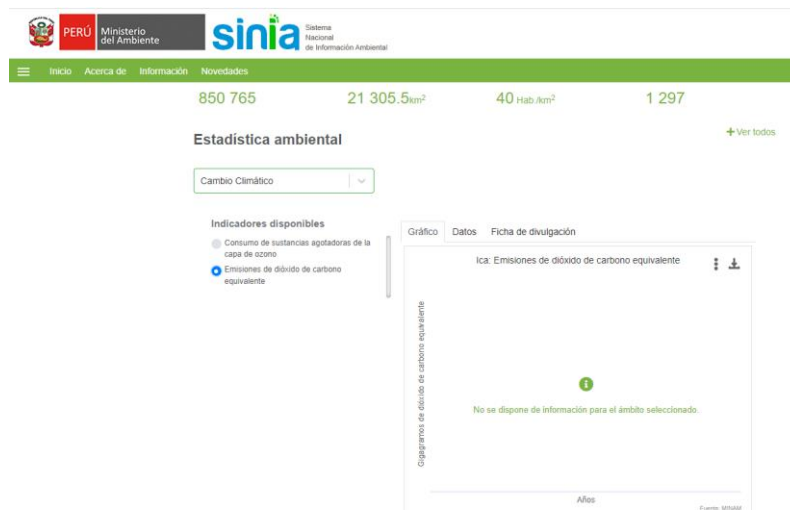


Fig. 3. Estadística del cambio climático – emisiones de CO₂

Fuente: SINIA [26]

En la Figura 3 se puede comprobar que no existe información disponible del consumo de sustancias agotadoras de la capa de ozono, ni de las emisiones de dióxido de carbono equivalente.

En cuanto a información sobre contaminación de CO₂ de los vehículos la Municipalidad de Ica no cuenta información sobre esta. Sin embargo, la municipalidad en el año 2021 y el 2022 mando realizar el análisis de la calidad del aire (anexo 01, 02, 03 y 04), sin embargo, en estos análisis no se encuentra la contaminación por CO₂, ni contaminación del CO₂ vehicular.

3. Justificación e importancia de Investigación

3.1. Justificación

La presente investigación surge de la identificación de un recurso informativo significativo y subutilizado: la base de datos del censo vehicular de Ica realizado en 2017, que permanece almacenada en los registros municipales sin un análisis exhaustivo que permita extraer conocimientos relevantes sobre los patrones de movilidad urbana [18]. La propuesta metodológica contempla la implementación de técnicas de inteligencia artificial para el procesamiento y análisis de estos datos históricos, con el objetivo de identificar patrones y tendencias que contribuyan a la optimización de la movilidad urbana en Ica.

La relevancia de este estudio se fundamenta en el contexto actual, donde la mitigación de emisiones contaminantes, particularmente el CO₂, se ha convertido en una prioridad estratégica para el desarrollo sostenible. El dióxido de carbono no solo representa un factor determinante en la aceleración del cambio climático [23], sino que también impacta directamente en la calidad del aire y, consecuentemente, en la salud pública de la población local [8].

El análisis propuesto busca desarrollar una herramienta analítica y predictiva basada en datos que faciliten la toma de decisiones informada por parte de las autoridades competentes. Esta herramienta permitirá identificar áreas de oportunidad para la implementación de estrategias efectivas de reducción de emisiones, considerando las características específicas del parque automotor local y los patrones de movilidad urbana [20].

La metodología propuesta integra técnicas avanzadas de análisis de datos con conocimientos del dominio específico del transporte urbano, permitiendo una comprensión más profunda de la dinámica vehicular en la ciudad [3]. Este enfoque holístico facilitará el desarrollo de soluciones adaptadas al contexto local, maximizando el impacto positivo de las intervenciones propuestas en la calidad ambiental y el bienestar de la población.

3.2. Importancia

La investigación muestra relevancia debido a su potencial para poder mejorar la calidad de vida de la población local, aprovechando el análisis predictivo usando como base los datos del censo vehicular del 2017 y los datos que se recolectaran sobre la cantidad de CO₂ en el ambiente. La implementación de técnicas de inteligencia artificial permitirá identificar patrones de movilidad vehicular y desarrollar estrategias efectivas.

La significancia del estudio se sustenta en su doble impacto: a nivel local, mediante la optimización de la calidad ambiental y la consecuente mejora en la salud pública de la población de Ica; y a nivel global, a través de su contribución a las iniciativas de mitigación del cambio climático. La metodología basada en inteligencia artificial no solo facilitará el desarrollo de soluciones innovadoras adaptadas al contexto local, sino que también establecerá un precedente metodológico replicable en otras regiones del país.

Esta investigación también representa un paso significativo hacia la modernización de la gestión ambiental en Ica, estableciendo las bases para un sistema de monitoreo y control de emisiones más eficiente y fundamentado en datos empíricos. El enfoque metodológico propuesto facilitará la identificación de áreas críticas de intervención y la evaluación continua de la efectividad de las medidas implementadas.

4. Hipótesis y variables

4.1. Hipótesis de la Investigación

Hipótesis General

La implementación de técnicas de inteligencia artificial para la evaluación de la contaminación vehicular permitirá identificar patrones específicos de emisión de contaminantes y proponer estrategias efectivas de mitigación, contribuyendo a la mejora de la calidad del aire en la ciudad de Ica.

Hipótesis Específica

- El uso de modelos predictivos basados en inteligencia artificial optimizará el análisis del parque automotor y su relación con los niveles de emisiones contaminantes en la ciudad de Ica.
- La identificación de áreas críticas de contaminación vehicular mediante inteligencia artificial permitirá diseñar intervenciones urbanas más efectivas y específicas.
- La evaluación precisa de las emisiones vehiculares facilitará la implementación de políticas públicas orientadas a la sostenibilidad y a la reducción de emisiones de CO₂.

4.2. Variables

Tabla IV
Cuadro de variables

Variables De caracterización	Indicadores	Valor final	Tipo de variable
Emisión de CO₂ Vehicular	CO ₂ Vehicular	ppm	Numérica continua
Predicción de CO₂ vehicular	CO ₂ vehicular	ppm	Numérica continua
Planes de mitigación	Cuestionario		
Variable De interés	Indicadores	Valor final	Tipo de variable
Inteligencia artificial	Precisión de predicción	Porcentaje (%)	Numérica continua

5. Objetivos de investigación

5.1. Objetivo general

Evaluar la contaminación vehicular por medio de técnicas de inteligencia artificial y análisis predictivo en la ciudad de Ica.

5.2. Objetivos específicos

- Estimar las emisiones de CO₂ del parque automotor en 105 zonas de la ciudad de Ica.
- Predecir la contaminación vehicular por CO₂ futura, por medio de la inteligencia artificial
- Proponer planes de mitigación de a la contaminación vehicular por CO₂.

6. Estrategia metodológica

6.1. Uso de instrumentos

Para realizar la investigación se van adquirirá un dispositivo de medición de CO2



Fig. 3. Dispositivo para medición de calidad del aire

En la Fig. 3. Se muestra el modelo de Medidor de CO2 multifuncional 5 en 1, probador Digital de temperatura y humedad, Detector de dióxido de carbono TVOC HCHO, Monitor de calidad del aire.

La recolección de datos sobre emisiones vehiculares de CO2 se concentrará estratégicamente en cinco zonas identificadas como puntos críticos de alto tránsito vehicular dentro del perímetro urbano de Ica.

El proceso de recopilación de datos se extenderá durante un período de seis meses, garantizando así la obtención de una muestra temporal significativa que incluya variaciones estacionales y patrones de tráfico diversos. Esta información recolectada servirá como base para el desarrollo de un sistema avanzado basado en Inteligencia Artificial, específicamente diseñado para predecir y modelar los niveles futuros de contaminación por CO2 en el entorno urbano de Ica. Este modelo predictivo constituirá una herramienta valiosa para la gestión ambiental y la toma de decisiones en materia de calidad del aire en la ciudad.

Para la predicción de la calidad del aire, se utilizará el lenguaje Python por medio del software para minería de datos Orange data mining, software de uso libre y se constará de tres fases principales:

- Fase 1: Análisis de Correlación: Se implementará un modelo de Regresión Lineal Múltiple para establecer las correlaciones entre variables predictoras clave (flujo vehicular, categoría vehicular, distribución horaria), los cuales serán datos extraídos del censo vehicular 2017, y los niveles de emisión de CO₂. Este análisis permitirá identificar las variables con mayor influencia en los patrones de contaminación.
- Fase 2: Segmentación y Clasificación Se aplicará Random Forest para segmentar los datos según niveles de emisión de CO₂, optimizando la precisión del modelo mediante la identificación de patrones específicos en diferentes categorías de contaminación. Esta segmentación facilitará la comprensión de los factores determinantes en la variación de emisiones.
- Fase 3: Predicción y Validación Se implementará un modelo de Máquinas de Soporte Vectorial (SVM) para la clasificación y predicción de niveles de contaminación. Este algoritmo de aprendizaje supervisado procesará datos multidimensionales para generar predicciones precisas sobre concentraciones futuras de CO₂, considerando la interacción compleja entre variables ambientales y la emisión de esta.

La integración de estos tres enfoques metodológicos permitirá desarrollar un modelo predictivo robusto, capaz de anticipar niveles de contaminación y proporcionar información valiosa para la gestión ambiental urbana.

6.2. Caracterización de grupos

Unidad de estudio:

La unidad de estudio es un vehículo individual que circula dentro de la ciudad de Ica. Esta unidad nos permitirá analizar patrones de movilidad, comportamiento vial y características específicas del tránsito vehicular.

Universo:

El universo de estudio comprende la totalidad de vehículos motorizados que circulan y transitan por la red vial de la ciudad de Ica, incluyendo:

- Vehículos registrados con placa de rodaje local
- Unidades de transporte público formal e informal
- Vehículos de carga y distribución
- Vehículos oficiales y de emergencia

Este universo representa la población total sobre la cual se realizará la investigación.

Muestra:

La muestra seleccionada es de tipo intencionada (no probabilística), fundamentada en criterios específicos de selección. Se focalizará en vehículos que transitan por cinco zonas estratégicas

ubicadas en las avenidas de mayor flujo vehicular de la ciudad de Ica. La selección de estas zonas se basa en:

- Niveles significativos de tráfico vehicular
- Puntos de convergencia de rutas principales
- Zonas con alta actividad comercial y servicios
- Áreas que conectan sectores importantes de la ciudad.

6.3. Diseño de investigación

Para el estudio de la investigación, este sigue un diseño aplicado tecnológico, observacional, no experimental, prospectivo, longitudinal, de nivel aplicativo.

6.4. Matriz de Consistencia

TABLA V

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES		INSTRUMENTOS
General	General	General	Independiente	Indicadores	
¿Cómo influye la aplicación de inteligencia artificial en la evaluación de la contaminación vehicular y la optimización de la movilidad urbana en la ciudad de Ica durante el año 2024?	Evaluar la influencia de la inteligencia artificial en la identificación de patrones de contaminación vehicular y la propuesta de estrategias para optimizar la movilidad urbana y reducir las emisiones en la ciudad de Ica.	La implementación de técnicas de inteligencia artificial para evaluar la contaminación vehicular influirá positivamente en la identificación de patrones de emisión y en la optimización de estrategias de movilidad urbana sostenible en la ciudad de Ica durante el año 2024.	<ul style="list-style-type: none"> Modelos de inteligencia artificial. 	<ul style="list-style-type: none"> Cantidad de patrones de emisión identificados mediante el análisis de IA. 	<ul style="list-style-type: none"> Base de datos del censo vehicular 2017. Orange Mining. Sensores y dispositivos de medición de calidad del aire. Encuestas a expertos en movilidad urbana y contaminación.
Específico	Específico	Específico	Dependiente	Indicadores	
<ul style="list-style-type: none"> ¿De qué manera las técnicas de inteligencia artificial permiten identificar patrones de emisión vehicular en la ciudad de Ica? ¿Qué estrategias pueden implementarse para reducir la contaminación vehicular a partir del análisis de datos históricos del parque automotor? 	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollar un modelo predictivo basado en inteligencia artificial para analizar las emisiones vehiculares. Identificar áreas críticas de contaminación vehicular y proponer estrategias de mitigación basadas en los datos analizados. 	<p>El análisis de datos históricos mediante modelos de inteligencia artificial permitirá identificar patrones específicos de emisión vehicular en la ciudad. La identificación de áreas críticas contribuirá al diseño de estrategias efectivas de mitigación de la contaminación vehicular.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Niveles de emisión vehicular (CO2 y otros contaminantes). Propuestas de estrategias de reducción de emisiones. 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción porcentual de emisiones vehiculares tras la implementación de estrategias. 	

7. Financiamiento y Presupuesto del proyecto

7.1. Financiamiento

La Universidad Nacional San Luis Gonzaga, utilizando los fondos de “Recursos Ordinarios” de la partida de gasto “subvenciones financieras a investigadores científicos”, estará a cargo del financiamiento para la investigación en el año del 2024. La financiación corresponde al desarrollo de la investigación.

7.2. Presupuesto

Tabla IV
Recursos utilizados para el presupuesto

Rubro	Costo (S/.)
Materiales, instrumentos e insumos	6800.00
Material bibliográfico	1500.00
Material de escritorio, redacción e impresión	300.00
Detector de CO2	5000.00
Servicios tecnológicos	5000.00
Software en nube para procesamiento	2000.00
Toma de muestras	3000.00
Pasajes, viáticos y representación institucional	5500.00
Pasajes locales	700.00
Corrección gramatical de la tesis	800.00
Traducción de artículos científicos	1500.00
Asesoramiento técnico	2500.00
Total	S/.1300.00

8. Cronograma

Actividades por Objetivo	Entregable por Actividad	Meses 2024-2025													
		Inicio	Final	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Postulación a convocatoria	Proyecto de investigación	20-12-2024	23-12-2024	■											
2. Obtención de los datos	Base de datos del parque automotor Ica	01-01-2024	31-02-2024		■	■	■								
2.1. Visita instituciones	Informe de visitas	01-03-2025	30-04-2025				■	■	■						
2.2. Recojo de datos vehiculares	Reporte de datos vehiculares	01-04-2025	30-05-2025					■	■	■					
2.3. Elaboración del Dataset	Dataset de datos	01-04-2025	31-06-2025					■	■	■	■				
3. Utilización de algoritmos de IA		01-06-2025	30-06-2025								■				
3.1. Análisis de dato vehiculares	Base de datos limpia	01-07-2025	30-07-2025									■			
3.2. Algoritmo de clasificación	Reporte de clasificación	01-08-2025	30-09-2025									■	■	■	
3.3. Algoritmo de predicción vehicular	Reporte de predicción	01-09-2025	30-10-2025									■	■	■	■
4. Interpretación y visualización de datos	Reporte de interpretación	01-10-2025	30-11-2025											■	■
5. Desarrollo de informe final	Informe final	01-03-2025	20-11-2025					■	■	■	■	■	■	■	■
6. Presentación de informe final	Documento de presentación	25-11-2025	30-11-2025												■

9. Referencias

- [1] K. Y. Reddy y K. V. S. G. Murali Krishna, «Vehicular Pollution Prediction using HWTO-ANFIS model in Urban Areas of Hyderabad City», *Environ. Prog. Sustain. Energy*, vol. n/a, n.º n/a, p. e14082, 2023, doi: 10.1002/ep.14082.
- [2] N. Yang *et al.*, «Vehicle Emission Changes in China under Different Control Measures over Past Two Decades», *Sustainability*, vol. 14, p. 16367, dic. 2022, doi: 10.3390/su142416367.
- [3] Z. Chen, B. Li, S. Jia, y X. Ye, «Modeling and simulation analysis of vehicle pollution and carbon reduction management model based on system dynamics», *Environ. Sci. Pollut. Res.*, sep. 2022, doi: 10.1007/s11356-022-23245-9.
- [4] M. Xu y Z. Qin, «How does vehicle emission control policy affect air pollution emissions? Evidence from Hainan Province, China», *Sci. Total Environ.*, vol. 866, p. 161244, dic. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.161244.
- [5] T.-D. Hoang, K. Nguyen M., N. Thuong, H. Quy Nhan, y N. Nguyen Vo Chau, «Artificial Intelligence in Pollution Control and Management: Status and Future Prospects», 2022, pp. 23-43. doi: 10.1007/978-981-19-1434-8_2.
- [6] O.-M.-M. OMM, «Global Greenhouse Gas Monitoring Infrastructure – Developing the Concept». Accedido: 14 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://public.wmo.int/en/our-mandate/focus-areas/environment/greenhouse-gases/global-greenhouse-gas-monitoring-infrastructure>
- [7] MINAM, «Establecen Límites Máximos Permisibles de emisiones atmosféricas para vehículos automotores-DECRETO SUPREMO-Nº 010-2017-MINAM». Accedido: 19 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/establecen-limites-maximos-permisibles-de-emisiones-atmosfer-decreto-supremo-n-010-2017-minam-1592399-2/>
- [8] N. Ortuya, «¿Cuáles son los gases contaminantes que emiten los vehículos? - Autofact». Accedido: 19 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.autofact.pe/blog/comprar-auto/caracteristicas/gases-vehiculos>
- [9] F. R. Fernández, «Inteligencia Artificial y Agricultura: nuevos retos en el sector agrario», *J. Law Sustain. Dev.*, vol. 8, n.º 2, Art. n.º 2, dic. 2020, doi: 10.37497/sdgs.v8i2.35.
- [10] ORACLE, «¿Qué es la inteligencia artificial (IA)?» Accedido: 19 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.oracle.com/pe/artificial-intelligence/what-is-ai/>
- [11] V. Paidi, J. Håkansson, H. Fleyeh, y R. Nyberg, «CO2 Emissions Induced by Vehicles Cruising for Empty Parking Spaces in an Open Parking Lot», *Sustainability*, vol. 14, p. 3742, mar. 2022, doi: 10.3390/su14073742.
- [12] P. Thanatrakolsri, «CO2 and CH4 Emission Factors from Light-Duty Vehicles by Fuel Types in Thailand», *Atmosphere*, vol. 13, p. 1588, sep. 2022, doi: 10.3390/atmos13101588.
- [13] S. Lim, I. Mudway, N. Molden, J. Holland, y B. Barratt, «Identifying trends in ultrafine particle infiltration and carbon dioxide ventilation in 92 vehicle models», *Sci. Total Environ.*, vol. 812, p. 152521, dic. 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.152521.

- [14] S. Lolge y S. S, «Vehicular Pollution Monitoring Using IOT», *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 9, n.º XII, pp. 347-352, dic. 2021, doi: 10.22214/ijraset.2021.39270.
- [15] S. L. Jurj, T. Werner, D. Grundt, W. Hagemann, y E. Möhlmann, «Towards Safe and Sustainable Autonomous Vehicles Using Environmentally-Friendly Criticality Metrics», *Sustain. Switz.*, vol. 14, n.º 12, 2022, doi: 10.3390/su14126988.
- [16] A. Silva Forcetto, «DEVELOPMENT OF A LOW-COST PORTABLE SYSTEM TO MEASURE EMISSIONS FROM FLEXFUEL VEHICLES», 2022. doi: 10.11606/T.14.2022.tde-18112022-143633.
- [17] H.-T. Wen, J.-H. Lu, y D.-S. Jhang, «Features importance analysis of diesel vehicles' NOx and CO2 emission predictions in real road driving based on gradient boosting regression model», *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 18, n.º 24, 2021, doi: 10.3390/ijerph182413044.
- [18] A. C. Moreno, «Las técnicas de inteligencia artificial aplicadas al control y configuración del tráfico: e20», *Rev. Estud. Nac. Ing. Arquít.*, vol. 2, n.º 2, Art. n.º 2, 2021.
- [19] M. Ghahramani y F. Pilla, «Analysis of Carbon Dioxide Emissions from Road Transport Using Taxi Trips», *IEEE Access*, vol. 9, pp. 98573-98580, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3096279.
- [20] P. Córdova-Mendoza, T. O. Barrios-Mendoza, I. C. Córdova-Barrios, P. Córdova-Mendoza, T. O. Barrios-Mendoza, y I. C. Córdova-Barrios, «Primera caracterización de emisiones contaminantes y la calidad del aire en Ica, Perú», *Rev. Cuba. Quím.*, vol. 33, n.º 1, pp. 138-152, abr. 2021.
- [21] Y. Ismail, A. Nurwidayati, y A. Rahayu, «Estimation of Vehicles Carbon Dioxide (CO2) Emission», *JIE Sci. J. Res. Appl. Ind. Syst.*, vol. 4, n.º 2, pp. 94-99, dic. 2019, doi: 10.33021/jie.v4i2.894.
- [22] UNEP, «Transporte», UNEP - UN Environment Programme. Accedido: 15 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.unep.org/es/explore-topics/transport>
- [23] ONU, «Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos», Desarrollo Sostenible. Accedido: 14 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>
- [24] ONU, «Objetivos de desarrollo sostenible», Desarrollo Sostenible. Accedido: 14 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>
- [25] DATOS-MACRO, «Perú - Emisiones de CO2 2021 | Datosmacro.com». Accedido: 14 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/peru>
- [26] SINIA, «Portal Web SINIA». Accedido: 15 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/informacion/regiones?region=11&tematica=07>

10. Anexos

Anexo 01: Base de datos del último censo vehicular en la ciudad de Ica

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	BASE DE DATOS DE CENSO								
2	SUB GERENCIA DE TRANSPORTE Y TRANSITO - MPI								
3	N°	PLACA	CENSO N°	AÑO DE FABRICACIÓN	MARCA	CATEGORIA DE VEHICULO	MODELO	COLOR	TIPO DE SERVICIO
4	1	F4F-619	0001	2013	TOYOTA	M1	COROLLA	ROJO MICA METALICO	PARTICULAR
5	2	Y1J-733	0002	1994	NISSAN	M2	HOMY	BLANCO VERDE	PUBLICO
6	3	C3X-692	0003	1995	DAEWOO	M1	TICO	AMARILLO	PUBLICO
7	4	AZD-424	0004	2016	HVA	M1	PICANTO	PLATA TITANIO	PARTICULAR
8	5	A1U-783	0005	1985	NISSAN	M2	CIVILIAN	AMARILLO NEGRO BLANCO CELESTE	PUBLICO
9	6	FZE-688	0006	1984	TOYOTA	M2	COASTER	CELESTE BLANCO AZUL	PUBLICO
10	7	ANQ-460	0007	2015	HYUNDAI	M1	EON	AZUL	PARTICULAR
11	8	A9Y-729	0008	1989	NISSAN	M3	CIVILIAN	BLANCO AZUL CELESTE	PUBLICO
12	9	ZZA-782	0009	1987	NISSAN	M2	CIVILIAN	AZUL BLANCO CELESTE	PUBLICO
13	10	Y1U-907	0010	1985	MTSUBISHI	M3	ROSA	VERDE BLANCO AZUL	PUBLICO
14	11	A6G-732	0011	1987	ASA	M3	AM-808	BLANCO ROJO AZUL	PARTICULAR
15	12	B3B-718	0012	1983	CHEVROLET	NO REGISTRA	CB9P042	AMARILLO VERDE BLANCO	PARTICULAR
16	13	B9H-314	0013	2000	TOYOTA	NO REGISTRA	COROLLA GLI 1.6 GAS	ROJO MICA METALICO	PARTICULAR
17	14	D7M-454	0014	2013	TOYOTA	M1	YARIS	PLATA METALICO	PUBLICO
18	15	A4K-766	0015	1987	MTSUBISHI	M3	ROSA	BLANCO ROJO AZUL	PUBLICO
19	16	V1K-957	0016	2005	MERCEDES BENZ	M3	LO 91542 5	PLATA AZUL	PUBLICO
20	17	A4B-774	0017	1989	MTSUBISHI	M3	ROSA	BLANCO AZUL ROJO NEGRO	PUBLICO

	J	K	L	M	N
1					
2					
3	COMBUSTIBLE	DISTRITO	NOMBRE DEL PROPIETARIO	DNI	DIRECCIÓN
4	GASOLINA	LA TINGUÑA	VELASQUEZ SERNA CESAR AGUSTO	21467615	AV EL PARQUE 540 - PARCONA
5	PETROLEO	LA TINGUÑA	ASTORGA MUÑOZ FIDEL ANTONIO	21407364	AV JULIO CEVASCO 307 - LATINGUÑA
6	GNV	SALAS GUADALUPE	URDANGO VASQUEZ VICTOR ARMANDO	21497079	CAS COLLAZO 600 - SALAS
7	GASOLINA	PARCONA	HUARCAYA CHACALAZA ANDRES ALEXANDER		PASAJE VALLE A-01 - PARCONA
8	PETROLEO	SALAS GUADALUPE	PAREDES QUISPE JAVIER JHONATAN	44154965	SALAS GUADALUPE LT 21 - SALAS
9	PETROLEO	ICA	LOPEZ MARTINEZ LUIS ALBERTO	71460667	AV LA ANGOSTURA BAJA G-05
10	GASOLINA	ICA	DAZ MEDINA JOHANN WILLIAM	41286531	CALLE BALTAZAR CARAVEDO 304-MANZANILLA
11	PETROLEO	ICA	PALACIOS MELENDEZ YONI APARICIO		AAHH SR DE LUREN A-10 2ETP
12	PETROLEO	ICA	CABEZUDO NAIPA LUIS ANGEL	21538374	CALLAO 250
13	DIESEL	SANTIAGO	HUAMAN RAMIREZ MIGUEL ANGEL	71526771	CASA BLANCA S/N - SANTIAGO
14	DIESEL	PARCONA	HERNANDEZ ANYARIN JUANA ROSA	21485951	ABRAHAM VALDELOMAR 0-14 - PARCONA
15	PETROLEO	ICA	SEMINARIO GALVEZ WENDY MILAGROS	21575571	URB LA MODERNA G-17
16	GNV	SANTIAGO	FLORES MOQUILLAZA JORGE ANTONIO	41018184	CAS LAS FLORES C-09 - SANTIAGO
17	GNV	SANTIAGO	FLORES ANGULO WILMER MIGUEL	72081817	AGUADA DE PALOS S/N - SANTIAGO
18	PETROLEO	SANTIAGO	ANGULO BARRIOS ANA ISABEL	21512654	C AGUADA DE PALOS S/N - SANTIAGO
19	DIESEL	SANTIAGO	ANGULO BARRIOS ANA ISABEL	21512654	AGUADA DE PALOS S/N - SANTIAGO
20	PETROLEO	SANTIAGO	ANGULO BARRIOS ANA ISABEL	21512654	AGUADA DE PALOS S/N - SANTIAGO

	N	O	P	Q
1				
2				
3	DIRECCIÓN	NOMBRE DEL CONDUCTOR	DNI	DIRECCIÓN
4	AV EL PARQUE 540 - PARCÓN			0
5	AV JULIO CEVASCO 307 - LATINGÜÑA			
6	CAS COLLAZO 600 - SALAS	URDANZA VASQUEZ JOSE JAVIER	9111710	CAS COLLAZO 500 - SALAS
7	PASAJE VALLE A-01 - PARCÓN			
8	SALAS GUADALUPE LT 21 - SALAS	PAREDES BALDEON JAVIER	10370757	SALAS GUADALUPE LT 21 - SALAS
9	AV LA ANGOSTURA BAJA G-05			
10	CALLE BALTAZAR CARAVEDO 304-MANZANILLA			
11	AAHH SR DE LUREN A-10 ZETP	CAJALLO ATQUIPA ABRAN	71470437	AAHH SR DE LUREN 2ETP B-10
12	CALLAO 250			
13	CASA BLANCA SIN - SANTIAGO	HUANCAHUARI ANICAMA CARLOS MAXIMO	21480282	CALLE JOSE DE LA TORRE UGARTE F-06 - SANTIAGO
14	ABRAHAM VALDELOMAR 0-14 - PARCÓN	ECOS HERNANDEZ LUIS HERNANDEZ LUIS ALBERTO	41960930	PJ ACOMAYO 20 - PARCÓN
15	URB LA MODERNA G-17	SALVATIERRA MARTINEZ CRISTIAN JESUS	45027034	PSJ PARDO B-27 - LOS AQUÍES
16	CAS LAS FLORES C-09 - SANTIAGO			
17	AGUADA DE PALOS SIN - SANTIAGO			
18	C AGUADA DE PALOS SIN - SANTIAGO	FLORES ANGULO LUIS ALEXANDER	72081818	AGUADA DE PALOS SIN - SANTIAGO
19	AGUADA DE PALOS SIN - SANTIAGO	FLORES ANGULO LUIS ALEXANDER	20818118	AGUADA DE PALOS SIN - SANTIAGO
20	AGUADA DE PALOS SIN - SANTIAGO	CHAVEZ GUTIERREZ YOSSEL ALBERTO	47500480	BARRIO NUEVO 01-OCUCAJE

Anexo 02: Implementando imputación de datos a la base de datos.

Data Table (3) - Orange

Info
11706 instances (no missing data)
4 features
Target with 2 values
2 meta attributes

Variables
 Show variable labels (if present)
 Visualize numeric values
 Color by instance classes

Selection
 Select full rows

Restore Original Order
 Send Automatically

	Selected	ÑO DE FABRICACI	MODELO	MARCA	CATEGORIA	COLOR	Antigüedad
1	No	2007	RE AUTORIKSH...	BAJAJ	L5	AMARILLO	16
2	No	2010	RE AUTORIKSH...	BAJAJ	L5	VERDE	13
3	No	2012	RE AUTORIKSH...	BAJAJ	L5	VERDE	11
4	No	2016	RE AUTORIKSH...	BAJAJ	L5	AZUL	7
5	No	2007	RE AUTORIKSH...	BAJAJ	L5	ROJO	16
6	No	2016	RE AUTORIKSH...	BAJAJ	L5	AZUL	7
7	No	2017	RE AUTORIKSH...	BAJAJ	L5	ROJO	6
8	No	2016	RE AUTORIKSH...	BAJAJ	L5	ROJO	7
9	No	2016	RE AUTORIKSH...	BAJAJ	L5	AZUL	7
10	No	2015	RE AUTORIKSH...	BAJAJ	L5	ROJO	8
11	No	2017	RE AUTORIKSH...	BAJAJ	L5	ROJO	6
12	No	2015	RE AUTORIKSH...	BAJAJ	L5	VERDE	8
13	No	1995	RE AUTORIKSH...	BAJAJ	L5	VERDE	28
14	No	2016	RE AUTORIKSH...	BAJAJ	L5	AZUL	7
15	No	2016	RE AUTORIKSH...	BAJAJ	L5	ROJO	7
16	No	2011	KING	TVS	L5	VERDE	12
17	No	2017	RE AUTORIKSH...	BAJAJ	L5	AZUL	6
18	No	2011	RE AUTORIKSH...	BAJAJ	L5	VERDE	12

11.7k | 11.7k | 11.7k

Anexo 03: Generación de nuevas características



Data Table (11) - Orange

Info
27817 instances
8 features (0.0 % missing data)
No target variable.
No meta attributes.

Variables
 Show variable labels (if present)
 Visualize numeric values
 Color by instance classes

Selection
 Select full rows

Restore Original Order

Send Automatically

	DISTRITO	MARCA	MODELO	AÑO DE FABRICACIÓN	TIPO DE SERVICIO	COMBUSTIBLE	Antigüedad	Antigüedad actual
1	LA TINGUIÑA	TOYOTA	COROLLA	2013	PARTICULAR	GASOLINA	10	11
2	LA TINGUIÑA	NISSAN	HOMY	1994	PÚBLICO	PETROLEO	29	30
3	SALAS GUADA...	DAEWOO	TICO	1995	PÚBLICO	GNV	28	29
4	PARCONA	KIA	PICANTO	2016	PARTICULAR	GASOLINA	7	8
5	SALAS GUADA...	NISSAN	CIVILIAN	1985	PÚBLICO	PETROLEO	38	39
6	ICA	TOYOTA	COASTER	1984	PÚBLICO	PETROLEO	39	40
7	ICA	HYUNDAI	EON	2015	PARTICULAR	GASOLINA	8	9
8	ICA	NISSAN	CIVILIAN	1989	PÚBLICO	PETROLEO	34	35
9	ICA	NISSAN	CIVILIAN	1987	PÚBLICO	PETROLEO	36	37
10	SANTIAGO	MITSUBISHI	ROSA	1985	PÚBLICO	DIESEL	38	39
11	PARCONA	ASIA	AM-808	1987	PARTICULAR	DIESEL	36	37
12	ICA	CHEVROLET	CB6P042	1983	PARTICULAR	PETROLEO	40	41
13	SANTIAGO	TOYOTA	COROLLA GLI 1...	2000	PARTICULAR	GNV	23	24
14	SANTIAGO	TOYOTA	YARIS	2013	PÚBLICO	GNV	10	11
15	SANTIAGO	MITSUBISHI	ROSA	1987	PÚBLICO	PETROLEO	36	37
16	SANTIAGO	MERCEDES BENZ	LO 915/42.5	2005	PÚBLICO	DIESEL	18	19
17	SANTIAGO	MITSUBISHI	ROSA	1988	PÚBLICO	PETROLEO	35	36
18	SANTIAGO	MERCEDES BENZ	0-364 IIR	1985	PÚBLICO	PETROLEO	38	39

27.8k | 27.8k | 27.8k