



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v11i1.4241>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Evaluación de Factores de Emisiones contaminantes en ciudades de gran altitud mediante pruebas de conducción real en un Circuito RDE

Evaluation of Pollutant Emissions Factors in high-altitude cities through real driving tests on an RDE Circuit

Avaliação de Fatores de Emissão de Poluentes em cidades de altitude através de testes reais de direção em Circuito RDE

Jorge David Zúñiga-Lema ^I
jorged.zuniga@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-0621-0967>

Alex Santiago Cevallos-Carvajal ^{II}
ascevallos2@espe.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0004-8551-3661>

Stephani Belén Ruiz-Zambrano ^{III}
stephani.ruiz@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0005-6097-1620>

Estalin Fabián Mejía-Hidalgo ^{IV}
estalin.mejia@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-0215-2237>

Correspondencia: jorged.zuniga@unach.edu.ec

***Recibido:** 22 de noviembre de 2024 ***Aceptado:** 27 de diciembre de 2024 * **Publicado:** 28 de enero de 2025

- I. Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- IV. Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Evaluación de Factores de Emisiones contaminantes en ciudades de gran altitud mediante pruebas de conducción real en un Circuito RDE

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue evaluar los factores de emisiones contaminantes en condiciones de conducción real en la ciudad de Riobamba, utilizando un Renault Duster 2015. La metodología combinó simulaciones, recolección de datos empíricos y análisis comparativo mediante el dispositivo ELM 327 y la aplicación TORQUE PRO para registrar datos en tiempo real. El circuito RDE abarcó 56,28 km, divididos en zonas urbana, rural y autopista. Los factores de emisión de CO, NO_x, SO_x y PM fueron calculados utilizando el modelo IVE y analizados con el software R. Los resultados indican que las emisiones de CO son más altas en autopistas, mientras que las zonas urbanas presentan las mayores emisiones de SO_x. Las autopistas también registraron las mayores emisiones de NO_x y PM. Este análisis resalta la influencia del tipo de ruta y las condiciones de conducción en la generación de contaminantes, subrayando la necesidad de estrategias específicas para mitigar emisiones según el entorno.

Palabras clave: RDE; ciclo de conducción; IVE; factor de emisión; emisiones contaminantes.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the polluting emissions factors in real driving conditions in the city of Riobamba, using a Renault Duster 2015. The methodology combined simulations, empirical data collection and comparative analysis using the ELM 327 device and the application TORQUE PRO to record data in real time. The RDE circuit covered 56.28 km, divided into urban, rural and highway areas. The emission factors of CO, NO_x, SO_x and PM were calculated using the IVE model and analyzed with the R software. The results indicate that CO emissions are highest on highways, while urban areas have the highest SO_x emissions. . Highways also recorded the highest NO_x and PM emissions. This analysis highlights the influence of the type of route and driving conditions on the generation of pollutants, underlining the need for specific strategies to mitigate emissions depending on the environment.

Keywords: RDE; driving cycle; IVE; emission factor; polluting emissions.

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi avaliar os fatores de emissões poluentes em condições reais de condução na cidade de Riobamba, utilizando um Renault Duster 2015. A metodologia combinou simulações, coleta de dados empíricos e análise comparativa utilizando o dispositivo ELM 327 e o aplicativo

Evaluación de Factores de Emisiones contaminantes en ciudades de gran altitud mediante pruebas de conducción real en un Circuito RDE

TORQUE PRO para registrar datos em tempo real. O circuito RDE percorreu 56,28 km, divididos em áreas urbana, rural e rodoviária. Os fatores de emissão de CO, NOx, SOx e PM foram calculados utilizando o modelo IVE e analisados com o software R. Os resultados indicam que as emissões de CO são maiores nas rodovias, enquanto as áreas urbanas apresentam as maiores emissões de SOx. As rodovias também registraram as maiores emissões de NOx e PM. Esta análise destaca a influência do tipo de percurso e das condições de condução na geração de poluentes, sublinhando a necessidade de estratégias específicas para mitigar as emissões em função do ambiente.

Palavras-chave: RDE; ciclo de condução; IVE; fator de emissão; emissões poluentes.

Introducción

En la actualidad, el sector del transporte por carretera representa el mayor impacto ambiental, según datos de la Agencia Internacional de Energía, el sector del transporte es responsable de aproximadamente el 24% de las emisiones globales de CO₂ (EUR-Lex, 2019). En 2021, la Agencia Ambiental Europea indicó que se generó un 53% de emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) y las emisiones de partículas (incluidas las no emisiones de escape) con un diámetro de partícula de 10 µm/2,5 µm (PM10/2,5) disminuyeron un 47% y un 56%, respectivamente (EEA, 2024).

Según el informe de la Agencia Europea del Medio Ambiente (2022), el transporte es responsable de una cuarta parte de las emisiones de CO₂ en la UE en 2019, de las cuales el 71,7% provino del transporte por carretera. Para reducir estas emisiones contaminantes, se requiere disminuir un 90% de las emisiones de gases de efecto invernadero del transporte para el año 2050 como objetivo de la Unión Europea y se denomina neutralidad climática del Pacto Verde Europeo y el Acuerdo de París para América Latina y el Caribe establece que las emisiones de CO₂ de transporte deberían reducirse en 26% hacia 2040 y en 47% hacia 2050.

El tema planteado surge de la necesidad de dar solución a varios problemas eminentes en el Ecuador continental. La combustión de comburentes fósiles representa la mayor parte de la contaminación, ya que el 95% del transporte a nivel mundial lo utiliza (UNCEF-Ecuador, 2021). En el Ecuador según (Haro Estrella, 2022) Operador Nacional de Electricidad CENACE del Ministerio de Energía y Minas, en el 2021 el sector del transporte consume alrededor de un 82,4% de energía proveniente de combustibles fósiles (Ministerio de Energía y Minas, 2021).

Existen parámetros que no se consideran en las pruebas de laboratorio, que pueden afectar el consumo de combustible y las emisiones de escape en condiciones de conducción en el mundo real (Franco et

Evaluación de Factores de Emisiones contaminantes en ciudades de gran altitud mediante pruebas de conducción real en un Circuito RDE

al., 2013), (Wen et al., 2019)(Departamento de Medio Ambiente, 2020). La altitud y la pendiente de la carretera son parámetros de conducción en el mundo real que tienen un impacto significativo en las emisiones de los vehículos (Wyatt et al., 2014). Muchos estudios han demostrado que la pendiente de la carretera tiene un efecto significativo en las emisiones de escape de los vehículos, una pendiente positiva durante el movimiento del vehículo causa una carga adicional, mientras que una pendiente negativa reduce la carga (He et al., 2022).

El estudio pretende evaluar y analizar el consumo energético y las emisiones generadas por un vehículo Renault Duster 2015, con un cilindraje de motor de 1,6cc bajo condiciones reales de conducción en Riobamba. El reglamento UE 2018/1832 (EUR-Lex, 2018) especifica que las pruebas deben realizarse a una altitud moderada de 700 metros. Pero permite ajustar esta altitud usando un factor de corrección, si la elevación es superior a 700 metros y no supera los 1300 metros (EUR-Lex, 2017). Dado que la ciudad de Riobamba se encuentra a una altitud de 2740 metros, surge la necesidad de desarrollar un circuito RDE adaptado, que sirva como base para investigaciones futuras orientadas a encontrar soluciones para el aumento de las emisiones contaminantes y el consumo de combustible en vehículos que operan a alturas superiores a las indicadas por el reglamento.

Se utilizó el dispositivo ELM 327 Bluetooth junto con la aplicación Torque Pro en su versión Android, para recolectar datos del vehículo en tiempo real en los diferentes trayectos (urbano, rural y autopista) que conforman el circuito RDE en la ciudad. Además, se simularon las emisiones criterio y de gases de efecto invernadero mediante la metodología IVE, proporcionando un análisis detallado que contribuirá a la formulación de políticas y estrategias para la reducción de emisiones en zonas urbanas y rurales de alta altitud.

Metodología

El enfoque metodológico de este estudio combina simulaciones, recolección de datos empíricos y análisis comparativo para evaluar el consumo energético y las emisiones del vehículo Renault Duster 2015 bajo condiciones locales de funcionamiento en la ciudad de Riobamba. Para la recolección de datos, se utilizó el dispositivo ELM 327 bluetooth junto con la aplicación TORQUE PRO en su versión para Android. Este dispositivo permitió registrar datos en tiempo real, como la velocidad, altitud, ubicación GPS, revoluciones por minuto (RPM) y consumo de combustible durante la conducción en el circuito RDE (Real Driving Emissions).

Evaluación de Factores de Emisiones contaminantes en ciudades de gran altitud mediante pruebas de conducción real en un Circuito RDE

El presente estudio está organizado en varias secciones que abordan de manera integral el análisis propuesto. En primer lugar, se presenta una revisión bibliográfica sobre la normativa internacional relacionada con las emisiones y el consumo energético de vehículos. Posteriormente, se describe la metodología empleada para la recolección y análisis de datos, incluyendo la configuración del dispositivo de telemetría y la identificación de los trayectos del circuito RDE. A continuación, se presentan los resultados del análisis del consumo energético y las emisiones, seguidos de una discusión detallada de los mismos. Finalmente, se concluye con recomendaciones para futuros estudios y la implementación de medidas para la mitigación de emisiones en la ciudad de Riobamba. Para garantizar la precisión en el análisis de altitud, se utilizó la página web "GPS Visualizer", mientras que la planificación y trazado de la ruta se realizaron en Google Earth. Los cálculos y análisis de datos fueron procesados en Excel, facilitando la evaluación del consumo energético mediante el modelo de Potencia Vehicular Específica (VSP) y la estimación de emisiones contaminantes. Finalmente, se realizaron tres viajes completos en el circuito RDE para obtener datos comparativos, permitiendo una evaluación robusta del desempeño energético y ambiental del vehículo bajo condiciones de conducción reales.

Trayecto – Zona urbana

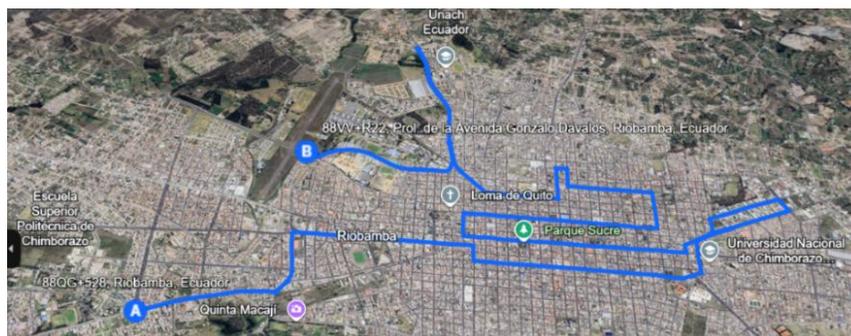


Figura 1: Trayecto Urbano del circuito RDE en Riobamba

Elaborado por: Zúñiga Jorge, 2025

Evaluación de Factores de Emisiones contaminantes en ciudades de gran altitud mediante pruebas de conducción real en un Circuito RDE

Trayecto –Zona Rural

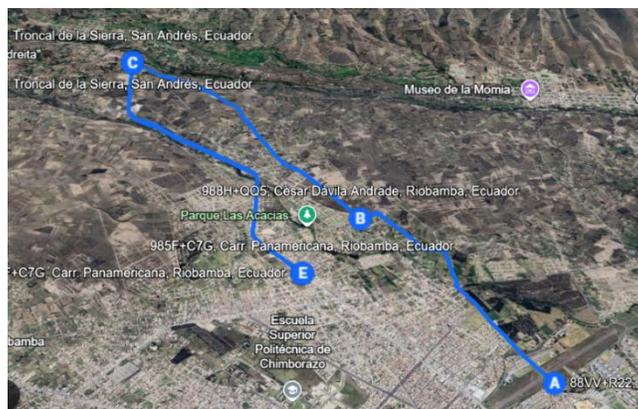


Figura 2: Trayecto Rural del circuito RDE en Riobamba
Elaborado por: Zúñiga Jorge, 2025

Trayecto – Zona de autopista

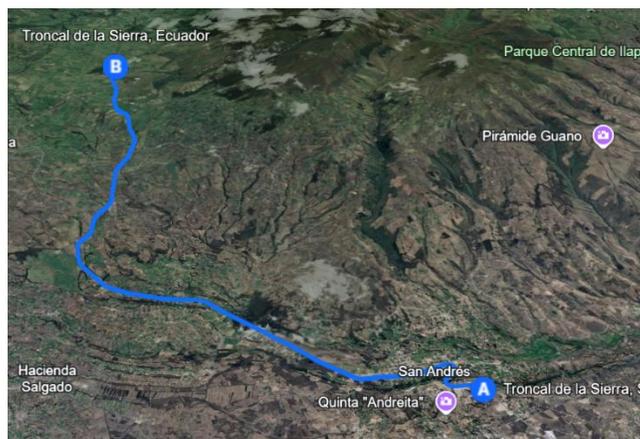


Figura 3: Trayecto de autopista del circuito RDE en Riobamba
Elaborado por: Zúñiga Jorge, 2025

Emisiones contaminantes con IVE Model (International Vehicle Emissions Model)

Se utilizó la ficha técnica del vehículo Renault Duster 2015 para obtener datos necesarios en el cálculo de fuerzas dinámicas. A continuación, se calcularon los valores en porcentaje de 60 Bin en Excel e ingresarlos al programa *IVE Model (Internatioinal Vehicle Emissions Model)*.

El proceso se realizó para el total de cada viaje, y a su vez para cada tramo urbano, rural y autopista. Además, se ingresaron valores de temperatura ambiente, porcentaje de aire acondicionado, humedad

Evaluación de Factores de Emisiones contaminantes en ciudades de gran altitud mediante pruebas de conducción real en un Circuito RDE

del aire, altitud, características del combustible, distancia recorrida, porcentaje de inclinación y velocidad promedio, con estos ajustes se ingresa los valores Bin y en la pestaña *Calculation* se tienen los valores de emisiones de contaminantes en gramos.

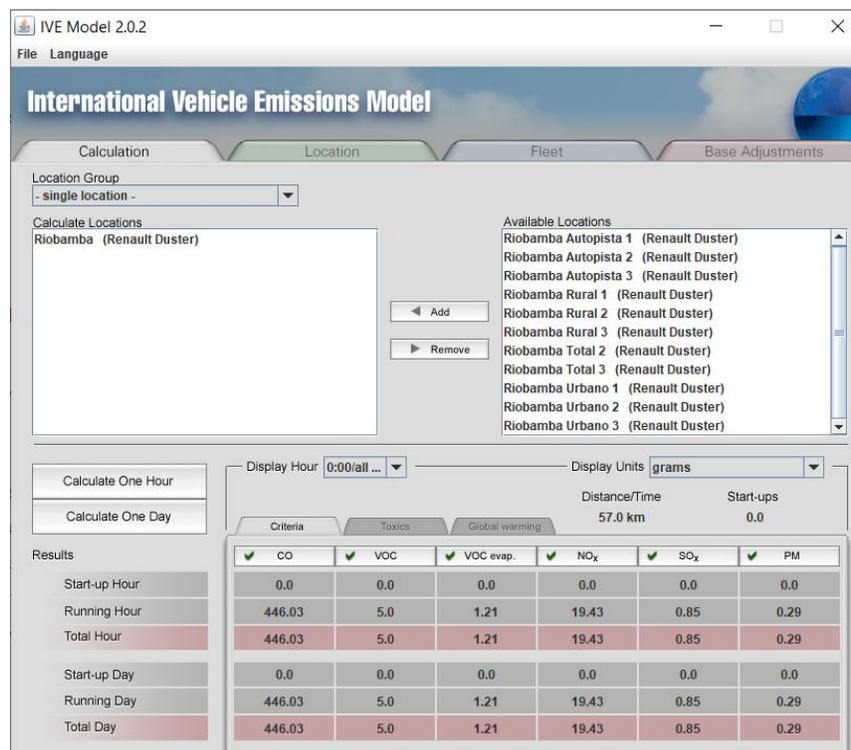


Figura 4: Curvas medias mensuales de velocidad de viento en el año 2023

Elaborado por: Zúñiga Jorge, 2025

Para obtener los factores de emisión de CO, NO_x, SO_x y PM, se debe dividir la cantidad en gramos para la distancia recorrida [km], ya sea total, tramos urbanos, rural o autopista. El análisis de factores de emisión se realizó en R, usando el paquete ggplot2 para los gráficos.

Resultados y discusión

Perfiles de Distancia vs Velocidad de los tres viajes

La ruta RDE establecida en Riobamba tiene 56,28 km, dividida en tres secciones: urbana, rural y autopista, con proporciones de 32,56 %, 33,34 % y 34,10 % del recorrido total, respectivamente.

Evaluación de Factores de Emisiones contaminantes en ciudades de gran altitud mediante pruebas de conducción real en un Circuito RDE

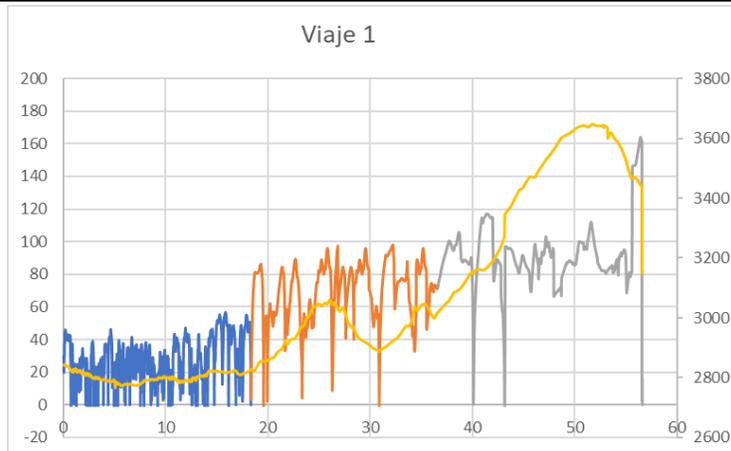


Figura 5: Perfil de distancia vs velocidad – Viaje 1

Elaborado por: Zúñiga Jorge, 2025

La zona urbana atraviesa el centro de la ciudad, con velocidades que oscilan entre 0 y 60 km/h, conforme a lo establecido por el reglamento UE 2018/1832 (EUR-Lex, 2018). Esta área incluye tiempos de parada debido a la presencia de semáforos, sin exceder el 30% del tiempo total en zonas urbanas.

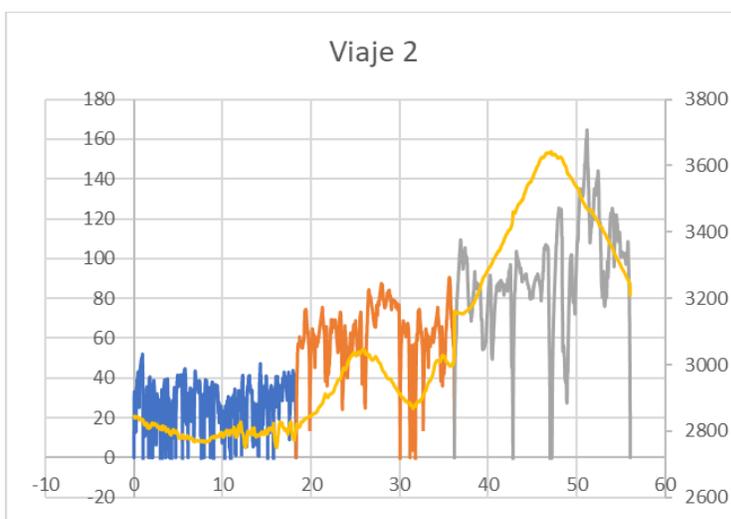


Figura 6: Perfil de distancia vs velocidad – Viaje 2

Elaborado por: Zúñiga Jorge, 2025

La zona rural abarca velocidades entre 60 y 90 km/h. En la zona de autopista, se alcanzan velocidades superiores a 90 km/h, con tramos que permiten superar los 100 km/h durante al menos cinco minutos.

Evaluación de Factores de Emisiones contaminantes en ciudades de gran altitud mediante pruebas de conducción real en un Circuito RDE

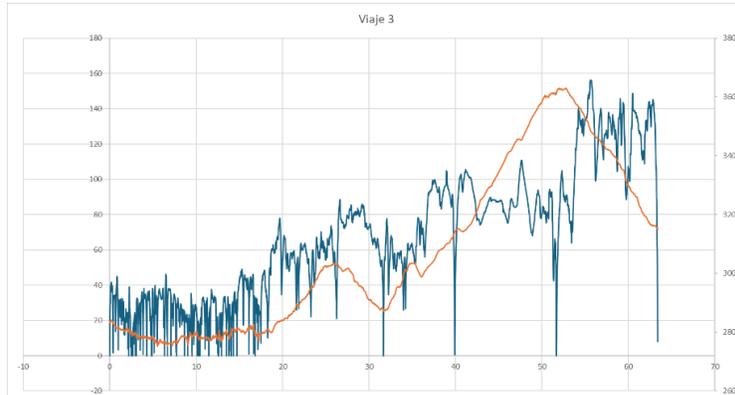


Figura 7: Perfil de distancia vs velocidad – Viaje 3
 Elaborado por: Zúñiga Jorge, 2025

Factor de emisión de CO

Las emisiones promedio de CO en la autopista son significativamente más altas (12.299235 g/km) en comparación con las rutas urbanas (1.206743 g/km) y rurales (2.708885 g/km). Los intervalos de confianza indican que la diferencia entre las autopistas y las otras rutas es estadísticamente significativa. El intervalo de confianza para la autopista no se cruza con los intervalos de confianza para las rutas urbanas y rurales, sugiriendo que las autopistas tienen emisiones significativamente mayores de CO.

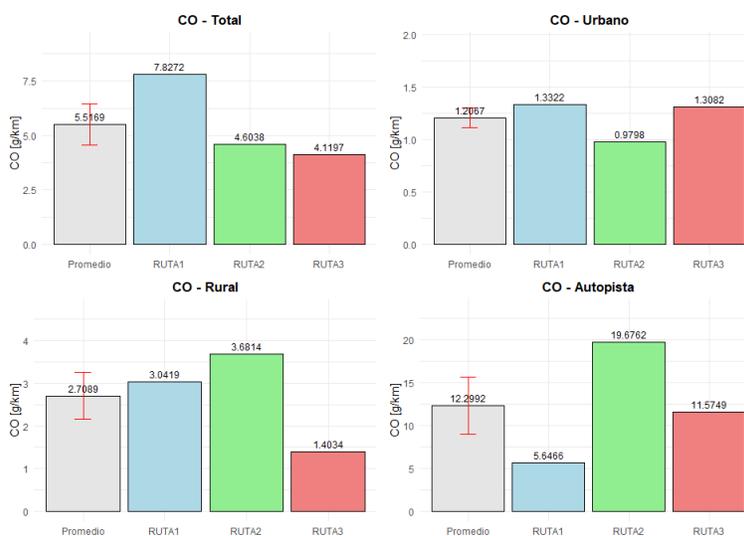


Figura 8: Intervalo de confianza en valor promedio de CO
 Elaborado por: Zúñiga Jorge, 2025

Factor de emisión de NOx

Las emisiones de NOx son más altas en las autopistas (0.483281 g/km) comparadas con las rutas urbanas (0.355275 g/km) y rurales (0.370197 g/km). Los promedios de NOx muestran un incremento de Urbano a Autopista, aunque la diferencia entre Urbano y Rural no es muy grande. Los intervalos de confianza deberían mostrar que la diferencia entre las autopistas y las otras rutas es significativa. Las emisiones de NOx son mayores en las autopistas, posiblemente debido a la mayor velocidad de los vehículos. La diferencia entre Urbano y Rural es menos marcada, pero aún significativa, indicando que el entorno urbano tiene emisiones ligeramente menores de NOx.

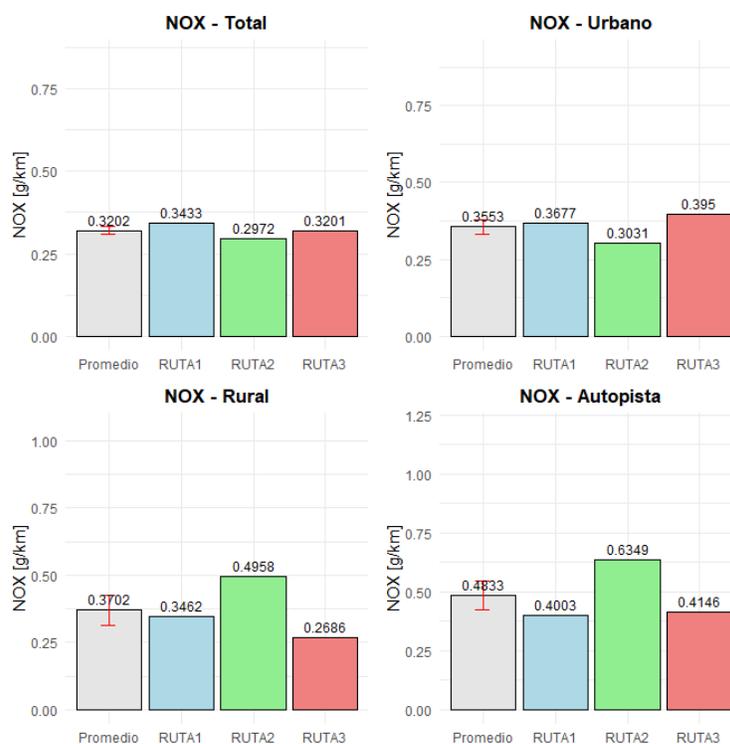


Figura 9: Intervalo de confianza en valor promedio de NOx

Elaborado por: Zúñiga Jorge, 2025

Factor de emisión de SOx

Las emisiones de SOx son más altas en las rutas urbanas (0.027779 g/km) en comparación con las rutas rurales (0.015332 g/km) y las autopistas (0.016290 g/km). Los intervalos de confianza muestran que las diferencias entre las rutas urbanas y las otras rutas son pequeñas, pero aún significativas, ya que los intervalos de confianza para las rutas urbanas no se superponen con los de las rutas rurales y autopistas en ciertas partes.

Evaluación de Factores de Emisiones contaminantes en ciudades de gran altitud mediante pruebas de conducción real en un Circuito RDE

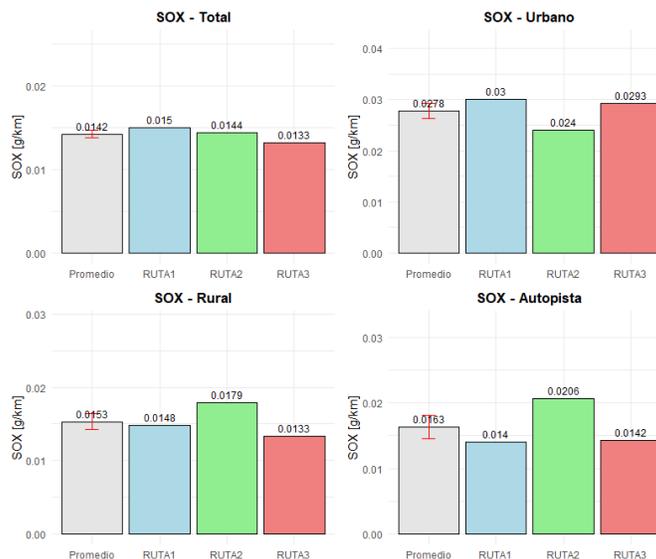


Figura 10: Intervalo de confianza en valor promedio de SOx

Elaborado por: Zúñiga Jorge, 2025

Factor de emisión de PM

Las emisiones de PM son más altas en las autopistas (0.006980 g/km) comparadas con las rutas urbanas (0.003631 g/km) y rurales (0.003140 g/km). Los intervalos de confianza muestran que las diferencias entre las autopistas y las otras rutas son estadísticamente significativas. Las emisiones de partículas PM son notablemente mayores en las autopistas, lo que puede estar relacionado con el mayor tráfico o la emisión de partículas finas en vehículos de alta velocidad. Las diferencias entre las rutas urbanas y rurales son menores, pero aun así significativas.

Evaluación de Factores de Emisiones contaminantes en ciudades de gran altitud mediante pruebas de conducción real en un Circuito RDE

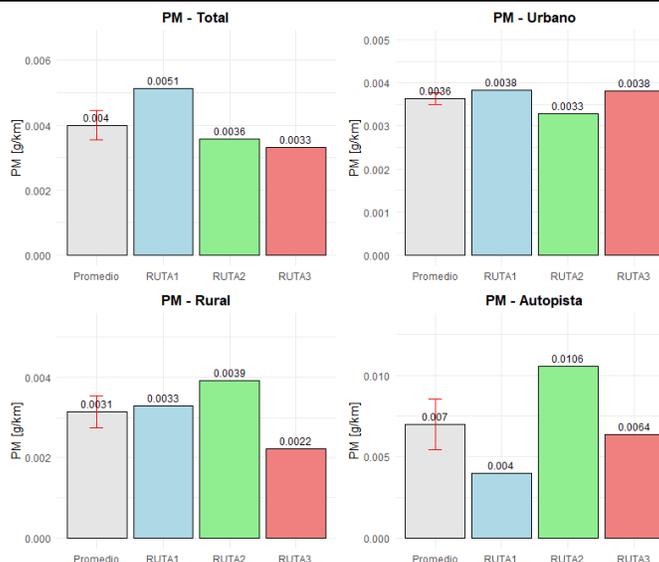


Figura 11: Intervalo de confianza en valor promedio de PM

Elaborado por: Zúñiga Jorge, 2025

Análisis de Emisiones de Contaminantes por Tipo de Ruta

El gráfico de barras con intervalos de confianza es un resumen de las gráficas anteriores, permite comparar las medias de las emisiones de distintos contaminantes (CO, NOx, SOx y PM) para diferentes tipos de rutas (autopista, rural y urbana).

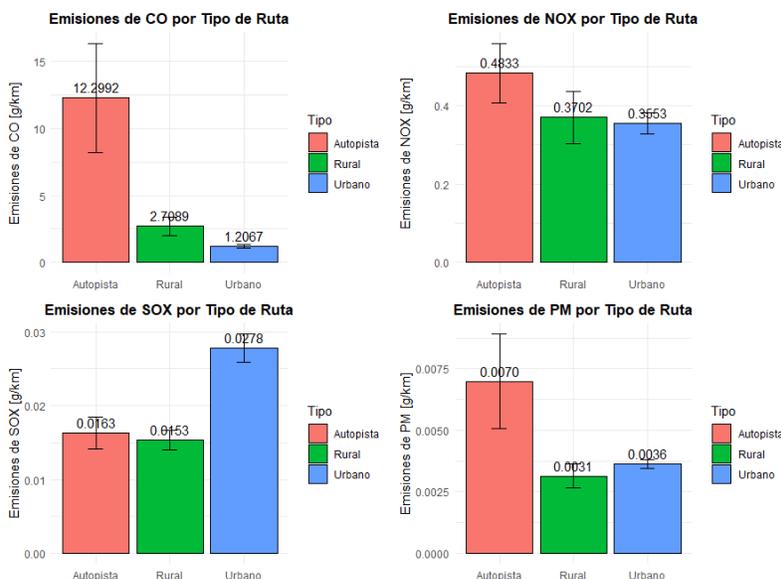


Figura 12: Medias de emisiones con intervalos de confianza por tipo de ruta.

Elaborado por: Zúñiga Jorge, 2025

Evaluación de Factores de Emisiones contaminantes en ciudades de gran altitud mediante pruebas de conducción real en un Circuito RDE

Los resultados indican que las emisiones de monóxido de carbono (CO) son significativamente más altas en las autopistas en comparación con las rutas rurales y urbanas, mientras que las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas en suspensión (PM) también son más altas en las autopistas, aunque las diferencias son menores. Por otro lado, las emisiones de óxidos de azufre (SOx) son mayores en áreas urbanas. Estos hallazgos sugieren que las autopistas tienden a tener mayores concentraciones de ciertos contaminantes, mientras que las zonas urbanas pueden tener mayores emisiones de SOx.

Conclusiones

El uso del dispositivo ELM 327 junto con la aplicación TORQUE PRO y el análisis mediante el modelo VSP y el IVE Model permitieron recopilar datos precisos y representativos de emisiones contaminantes bajo condiciones reales de conducción mediante el ciclo RDE en la ciudad de Riobamba. La metodología utilizada proporcionó una base sólida para evaluar la influencia de la altitud, la velocidad, y el tipo de ruta en las emisiones.

Las autopistas presentan las mayores emisiones de monóxido de carbono (CO), con un promedio de 12.299235 g/km, óxidos de nitrógeno (NOx), con 0.483281 g/km, y partículas en suspensión (PM), con 0.006980 g/km, en comparación con las zonas urbanas y rurales. Estas mayores emisiones están asociadas a las altas velocidades alcanzadas en autopistas, lo que incrementa la demanda energética y la liberación de contaminantes.

Las zonas urbanas registraron las mayores emisiones de óxidos de azufre (SOx), con un promedio de 0.027779 g/km, en comparación con las rutas rurales (0.015332 g/km) y autopistas (0.016290 g/km). Esto puede deberse a las bajas velocidades, los mayores tiempos de parada y las características del combustible en condiciones de tráfico urbano, resaltando la necesidad de estrategias específicas para mitigar las emisiones en este entorno.

Referencias

1. Agencia Europea del Medio Ambiente. (2022). Emisiones de CO2 de los coches: hechos y cifras (infografía) | Temas | Parlamento Europeo. *Temas Parlamento Europeo*, 6. <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20190313STO31218/emisiones-de-co2-de-los-coches-hechos-y-cifras-infografia>
2. Departamento de Medio Ambiente, P. T. y V. G. V. (2020). INFORME DE ANÁLISIS DE

Evaluación de Factores de Emisiones contaminantes en ciudades de gran altitud mediante pruebas de conducción real en un Circuito RDE

- CICLO DE VIDA - Comparativa ambiental entre diferentes alternativas de vehículos Eléctrico, híbrido y combustión. *Ihobe S.A.*, 319.
3. EEA. (2024). *Emissions of air pollutants from transport in Europe | European Environment Agency's home page*. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/emissions-of-air-pollutants-from?activeAccordion=>
 4. EUR-Lex. (2017). *Regulation - 2017/1151 - EN - EUR-Lex*. Commission Regulation (EU). <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2017/1151/oj/eng>
 5. EUR-Lex. (2018). *Reglamento - 2018/1832 - EN - EUR-Lex*. Commission Regulation (EU). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32018R1832>
 6. EUR-Lex. (2019, May 17). *Reglamentos (CE) n.o 443/2009 y (UE) n.o 510/2011*. Commission Regulation (EU). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0631>
 7. Franco, V., Kousoulidou, M., Muntean, M., Ntziachristos, L., Hausberger, S., & Dilara, P. (2013). Road vehicle emission factors development: A review. *Atmospheric Environment*, 70, 84–97. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2013.01.006>
 8. Haro Estrella, L. (2022). *Factor de emisión de CO2 del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador – Informe 2021*.
 9. He, L., You, Y., Zheng, X., Zhang, S., Li, Z., Zhang, Z., Wu, Y., & Hao, J. (2022). The impacts from cold start and road grade on real-world emissions and fuel consumption of gasoline, diesel and hybrid-electric light-duty passenger vehicles. *Science of The Total Environment*, 851, 158045. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.158045>
 10. UNCEF-Ecuador. (2021). *El aire que respiramos, Los efectos de la contaminación del aire y del cambio climático en la salud de la niñez en el Ecuador*. <https://www.unicef.org/ecuador/informes/el-aire-que-respiramos>
 11. Wen, Y., Wang, H., Larson, T., Kelp, M., Zhang, S., Wu, Y., & Marshall, J. D. (2019). On-highway vehicle emission factors, and spatial patterns, based on mobile monitoring and absolute principal component score. *Science of The Total Environment*, 676, 242–251. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.04.185>
 12. Wyatt, D. W., Li, H., & Tate, J. E. (2014). The impact of road grade on carbon dioxide (CO2) emission of a passenger vehicle in real-world driving. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 32, 160–170. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2014.07.015>

Evaluación de Factores de Emisiones contaminantes en ciudades de gran altitud mediante pruebas de conducción real en un Circuito RDE

©2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).