

EVALUACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO Y DIÓXIDO DE CARBONO MEDIANTE UN DISEÑO FACTORIAL EN LOS PRINCIPALES PARQUES URBANOS DE PEREIRA

EVALUATION OF CARBON MONOXIDE AND CARBON DIOXIDE CONCENTRATIONS USING A FACTORIAL DESIGN IN THE MAIN URBAN PARKS OF PEREIRA

¹ Jorge Luis Quintero López, ² John Jairo Villa Carmona,
³ Andrés Arismendi Ramírez, ⁴ Ángela Liceth Pérez Rendón

^{1,2,3,4} Fundación Universitaria del Área Andina

Cómo citar: Villa Carmona, J. J., Quintero López, J. L., Arismendi Ramírez, A., & Pérez Rendón, A. L. (2025). Evaluación de las concentraciones de monóxido de carbono y dióxido de carbono mediante un diseño factorial en los principales parques urbanos de Pereira. Publicaciones E Investigación, 20(1). <https://doi.org/10.22490/25394088.10448>

Recibido 15 Septiembre 2025, Aprobado 21 Octubre 2025

RESUMEN

Este estudio presenta un diseño factorial realizado en los principales parques de Pereira para analizar la calidad del aire y la carga contaminante atmosférica en espacios públicos de alto tráfico vehicular y peatonal. Se considera el impacto de la exposición de la población a contaminantes atmosféricos comunes, como el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂). Se empleó un diseño factorial para evaluar los efectos de variables independientes clave, incluidas la hora del día, el día de la semana y la proximidad a fuentes vehiculares, sobre los niveles de concentración de estos gases en cinco principales de la ciudad.

Las mediciones se realizaron utilizando sensores portátiles calibrados en condiciones de muestreo controladas durante franjas horarias seleccionadas estratégicamente y caracterizadas por un elevado flujo de tráfico y gran concentración de personas en días laborables. Los resultados revelaron variaciones significativas en las concentraciones de CO y CO₂, con niveles notablemente más altos durante las horas pico en los parques centrales de la ciudad.

¹ jquintero108@areandina.edu.co / <https://orcid.org/0000-0002-0816-1592>
² jvilla20@areandina.edu.co / <https://orcid.org/0000-0002-0816-1592>
³ aarismendi2@areandina.edu.co / <https://orcid.org/0000-0002-6578-5107>
⁴ aperez56@areandina.edu.co / <https://orcid.org/0000-0002-2363-8782>

Esta investigación aporta datos fundamentales para apoyar la toma de decisiones para diseñar políticas públicas que promuevan entornos urbanos más saludables. Asimismo, resalta el valor del diseño experimental como herramienta metodológica sólida para la evaluación ambiental. Se concluye que la vigilancia continua y la aplicación de estrategias de mitigación específicas son esenciales para reducir la exposición de la población a los contaminantes atmosféricos

Palabras clave: calidad del aire; contaminantes atmosféricos; monóxido de carbono (CO); dióxido de carbono (CO₂); exposición ambiental.

ABSTRACT

This study presents a factorial design conducted in the main parks of Pereira, aimed at analyzing air quality and atmospheric pollutant load in public spaces with high vehicular and pedestrian traffic. It considers the impact of population exposure to common air pollutants such as carbon monoxide (CO) and carbon dioxide (CO₂). A factorial design was employed to evaluate the effects of key independent variables—including time of day, day of the week, and proximity to vehicular sources—on the concentration levels of these gases across five major parks in the city.

Measurements were conducted using calibrated portable sensors under controlled sampling conditions during strategically selected time slots characterized by high traffic flow and large gatherings of people on weekdays. The results revealed significant variations in CO and CO₂ concentrations, with notably higher levels during peak hours in the city's central parks.

This research provides critical data to support decision-making processes aimed at designing public policies that promote healthier urban environments. It also highlights the value of experimental design as a robust methodological tool for environmental assessment. The study concludes that continuous monitoring and the implementation of targeted mitigation strategies are essential to reducing public exposure to atmospheric pollutants.

Keywords: air quality; atmospheric pollutants; carbon monoxide (CO); carbon dioxide (CO₂); environmental exposure.



1. INTRODUCCIÓN

Las grandes ciudades, así como aquellas que experimentan un rápido crecimiento, han evidenciado un desarrollo acelerado debido a la expansión económica y a las diversas dinámicas socioeconómicas que proyectan un futuro prometedor para el bienestar de la comunidad (Grassi et al., 2021). Este progreso se basa en gran medida en lo relacionado con el transporte

y la industria, que dependen mayoritariamente de fuentes de energía no renovables. Los combustibles fósiles, como el petróleo, el gas y el carbón, desempeñan un papel clave en estos sectores, produciendo grandes cantidades de emisiones atmosféricas a escala mundial. Estas emisiones consisten en partículas en suspensión y gases nocivos, como el CO, el CO₂, óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COV). La presencia de estos contaminantes

degrada considerablemente la calidad del aire y supone una grave amenaza para la salud pública. Además, contribuyen directamente a intensificar el efecto invernadero, agravando los desafíos asociados al cambio climático y la sostenibilidad ambiental (Hernández y Fajardo, 2021).

El incremento de vehículos motorizados, el uso generalizado de refrigeradores y sistemas de aire acondicionado, la producción masiva en fábricas y la destrucción de espacios verdes urbanos periféricos e interiores son algunos de los principales factores que, si bien contribuyen al desarrollo urbano, también comprometen las condiciones ambientales esenciales para el bienestar humano. Estos cambios tienen efectos perjudiciales tanto para la salud pública como para el medio ambiente (Carrera-Rodríguez et al., 2022). La acumulación atmosférica de gases de efecto invernadero, impulsada por la sobreexplotación de recursos, ha derivado en elevados niveles de exposición a contaminantes nocivos. Esta sobreexposición está sólidamente asociada con el incremento en las tasas de morbilidad y mortalidad prematura, en particular debido a enfermedades cardiopulmonares y otras afecciones vinculadas al entorno (Ramos et al., 2015).

Es crucial centrarse en las emisiones de contaminantes generados por el tráfico vehicular, especialmente por el transporte pesado, vehículos de transporte público masivo —como minibuses, autobuses y taxis—, que constituyen los principales aportantes a las altas concentraciones de contaminantes atmosféricos en los entornos urbanos. La evaluación de gases como el CO y el CO₂ (Kunt F y Saadi H, 2023) proporciona una estimación del estado actual del aire que respiramos y obliga a considerar variables como el tipo de vehículo, su antigüedad y la tecnología empleada, factores que inciden directamente en los niveles de emisión. Asimismo, el tipo de combustible, como diésel o gasolina, desempeña un papel fundamental en la cantidad y naturaleza de los contaminantes liberados (Beard et al., 2022).

Por estas razones, la contaminación atmosférica constituye un reto urgente que merece abordarse con

determinación. Por ello, es imprescindible realizar un seguimiento continuo de las concentraciones de gases emitidos y garantizar el cumplimiento de las normativas establecidas. Es igualmente fundamental proponer alternativas eficaces destinadas a reducir los niveles nocivos de contaminantes y garantizar que la población pueda desenvolverse en ambientes urbanos seguros y saludables (Shree et al., 2019).

2. METODOLOGÍA

El monitoreo de contaminantes ambientales, específicamente el CO y el CO₂, se llevó a cabo mediante un dispositivo electrónico equipado con sensores MQ7 para CO y MQ135 para CO₂. Esta disposición midió las concentraciones de contaminantes en los principales parques ubicados en el centro de Pereira. La recolección de datos se efectuó durante tres semanas, en franjas horarias consistentes cada día, que incluyeron intervalos matutinos, vespertinos y nocturnos de una hora cada uno. El dispositivo de monitoreo se posicionó a una altura de entre 1 y 1.5 metros sobre el nivel del suelo.

Para este estudio se diseñó un experimento factorial con dos factores, cada uno compuesto por tres niveles. Los factores corresponden a dos componentes clave del modelo, mientras que los niveles hacen referencia a los lugares y periodos de tiempo en los que se recolectaron los datos. El primer factor, denominado “Parque A”, incluye tres niveles, correspondientes a los tres principales parques de la ciudad de Pereira: parque Bolívar, parque El Lago y parque La Libertad. El segundo factor corresponde a la hora de recolección de los datos, igualmente dividido en tres niveles: mañana, tarde y noche.

La variable de respuesta analizada en este estudio fue la concentración del CO, expresada en partes por millón (ppm). Para asegurar la fiabilidad de los resultados, se realizaron un total de doce réplicas para cada combinación de los factores.

Además de la concentración del CO, se consideró el CO₂ como variable de respuesta en el análisis. Para evaluar la validez de los datos, se llevaron a cabo pruebas de homogeneidad de varianzas y normalidad empleando la prueba de Shapiro-Wilk. Los resultados indicaron que los datos sobre CO₂ no cumplían los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, por lo que se aplicó un análisis no paramétrico.

Para comparar las diferencias en los niveles de CO₂ entre los diferentes parques y horarios (mañana, tarde y noche), se empleó la prueba de Kruskal-Wallis. Posteriormente, para identificar diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p < 0.05$), se aplicó la prueba *post hoc* de Tukey.

3. DESARROLLO

Concentración del CO

La tabla 2 presenta el análisis de varianza ANOVA, que incluye todos los efectos considerados en este estudio, lo que permitió evaluar la significación

estadística de los factores implicados. Los resultados evidencian que la interacción entre los factores “parque” y “hora del día” presenta un valor $p < 0.05$, lo que indica una relación estadísticamente significativa entre estos dos factores. Esta interacción sugiere que el impacto de un factor sobre la variable de respuesta depende del nivel del otro factor, por lo que el análisis conjunto resulta fundamental para entender el fenómeno investigado.

Es relevante destacar que los factores “parque” y “hora del día” muestran, por separado, efectos estadísticamente significativos ($p < 0.05$), lo que indica que cada uno influye sustancialmente en los resultados. Sin embargo, dado que existe una interacción significativa entre ellos, se presta especial atención a cómo esta interacción influye en los resultados globales. Esto implica que los efectos combinados deben analizarse conjuntamente, ya que pueden producir impactos diferentes a los que se observan cuando se consideran por separado.

Uno de los objetivos de este estudio fue identificar la zona con la menor concentración de CO, analizando la influencia de los diferentes factores

Tabla 1. Resultados del ANOVA (variable CO)

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Media cuadrática			
		gl	a	F	Sigma
Modelo corregido	455.038	8		13.577	0.000
Intersección	20800.846	1	20800.846	4965.005	0.000
Parque	154.906	2	77.453	18.487	0.000
Horario	226.906	2	113.122	27.001	0.000
Parque x Horario	73.889	4	18.472	4.409	0.003
Error	414.760	99	4.189		
Total	21670.644	108			
Total corregido	869.798	107			

Fuente: Elaboración propia (por el autor).

implicados. Para ello, se realizó un análisis de varianza ANOVA, que reveló que la interacción entre los factores “parque” y “hora del día” incide

significativamente en los niveles de CO en el aire. Posteriormente, se elaboraron gráficos de medias marginales para profundizar en estos resultados.

Los hallazgos a partir de los gráficos de medias marginales de las concentraciones de CO muestran diferenciales notorios entre los intervalos de tiempo evaluados, lo que permite identificar las franjas de concentración máxima y mínima de este contaminante. En el parque Bolívar, la menor concentración de CO se registró en la mañana, con un valor medio de $\bar{x} = 10.71$ ppm en el periodo comprendido entre las 6:00 y las 8:00 horas. Esto sugiere que las condiciones ambientales son más favorables para la dispersión de contaminantes atmosféricos durante este horario, ya que la actividad vehicular es considerablemente menor en las primeras horas del día, lo que ayuda a disminuir la concentración de monóxido de carbono.

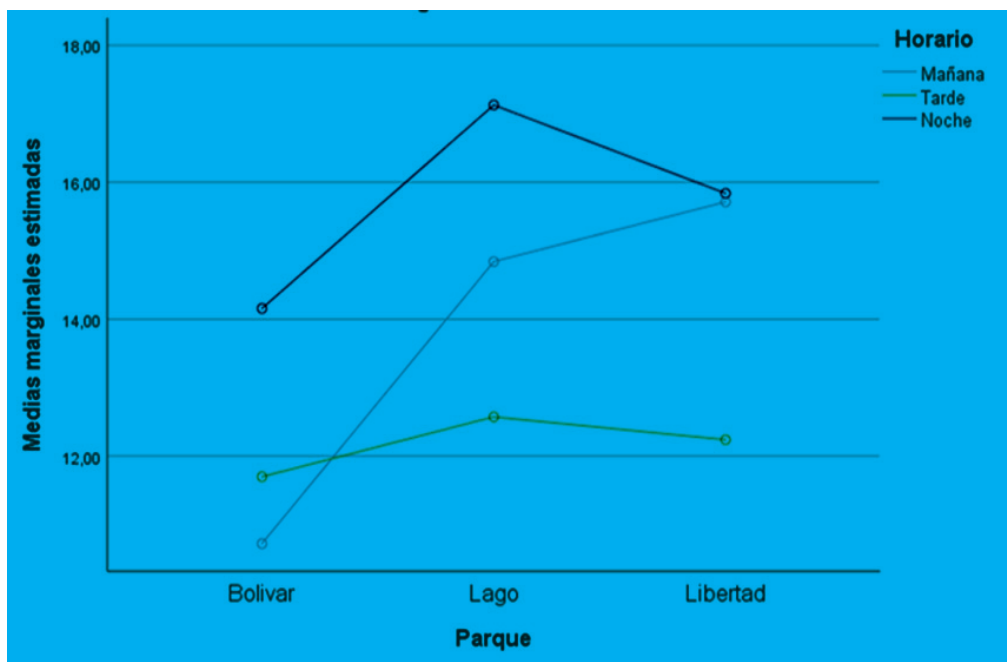
Un hallazgo relevante del análisis gráfico es que, en el periodo de la tarde, entre las 12:00 y las 14:00 horas, los tres parques evidenciaron sistemáticamente concentraciones más bajas de CO en comparación con otros intervalos, como se ilustra en la figura 1. Esto apunta a que, generalmente, los niveles de monóxido de carbono descienden durante

este periodo en todos los parques, probablemente por varios factores: menor actividad vehicular, condiciones atmosféricas que favorecen la dispersión gracias al aumento de temperatura y movimiento del viento.

Finalmente, se registró un patrón común en todos los parques en el horario de las 18:00 a las 20:00 horas, periodo en que se asociaron las más altas concentraciones de CO del día. Este fenómeno se da de manera recurrente, lo que apunta a que la actividad vespertina, tanto humana como vehicular, influye significativamente en los niveles de monóxido de carbono, por lo que este horario debe considerarse como crítico para la calidad del aire.

El análisis de ANOVA permitió determinar que la interacción entre los factores “parque” y “hora del día” es significativa por la influencia de la concentración de CO. Los gráficos de medias marginales ofrecieron una perspectiva detallada sobre el comportamiento de CO según el lugar y el horario, señalando áreas con menor y mayor presencia de este gas.

Figura 1. Efectos principales del comportamiento (medias marginales del monóxido de carbono)



Fuente: Elaboración propia.

Concentración del CO₂

Se analizaron un total de 1140 puntos de datos de concentración de CO₂, con un promedio de 199.25 ppm y una desviación estándar de 59.62 ppm. La prueba de Kruskal-Wallis detectó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), según el horario de muestreo, $X^2 = 28.138$, lo que indica varianza entre los periodos de mañana, tarde y noche. No obstante, no se hallaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los distintos parques ($X^2 = 3.822$).

Las pruebas *post hoc* de Tukey evidenciaron una diferencia estadísticamente relevante en la concentración de CO₂ entre los periodos matutino y vespertino ($p < 0.05$).

La tabla 2 muestra que no existen diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de CO₂ entre la mañana y la tarde ($p = 0.265$), aunque se registran diferencias apreciables entre

Tabla 2. Resultados de la prueba Tukey

Jornada		Sigma	Intervalo de Confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
MAÑANA	Tarde	0.265	-16.7033	3.3770
	Noche	0.000	-31.8244	-11.7440
TARDE	Mañana	0.265	-3.3770	16.0809
	Noche	0.001	-25.1612	-5.0809
NOCHE	Mañana	0.000	11.7440	31.8244
	Tarde	0.001	5.0809	25.1612

* La diferencia de medias es significativa en el nivel de 0.05

Fuente: Elaboración propia (por el autor).

la mañana y la noche ($p = 0.000$). El pico más alto se presentó en la tarde, con un promedio de 211.55 ± 95.27 ppm, frente al valor más bajo en la mañana: 189.77 ± 24.27 ppm.

4. DISCUSIÓN

El estudio de Meo et al. (2024) evidencia cómo los contaminantes atmosféricos afectan directamente la salud pulmonar, particularmente en contextos urbanos sujetos a elevada exposición vehicular. Al contrastar estos resultados con los obtenidos en Pereira, se observa que los niveles de monóxido de carbono son aún más elevados, revelando la vulnerabilidad de la población sometida a esta exposición cotidiana. Esta comparación destaca la necesidad de

estrategias locales que mitiguen la acumulación de contaminantes en zonas de alta concurrencia, como parques y áreas escolares.

Así mismo, el análisis de gases de efecto invernadero como el CO₂ demuestra la importancia de reconocer tanto las fuentes antropogénicas como los fenómenos naturales que inciden en la calidad del aire. Si bien series históricas globales muestran un incremento sostenido de CO₂, en Pereira se reportaron valores especialmente altos durante la tarde. Estos hallazgos ratifican la gravedad de la contaminación urbana y refuerzan la urgencia de implantar esquemas de monitoreo ambiental sistemáticos para anticipar riesgos y guiar políticas públicas en pro de la salud y la sostenibilidad.

5. CONCLUSIONES

Las concentraciones de CO y CO₂ en los parques urbanos de Pereira presentan variaciones significativas según la hora del día y la proximidad a fuentes vehiculares, alcanzando los niveles más altos en las horas de mayor tráfico, lo que confirma que el transporte motorizado es un factor determinante en la calidad del aire en ambientes públicos céntricos.

Los niveles de monóxido de carbono registrados superan los reportados en estudios similares en otras ciudades latinoamericanas. Esto evidencia un riesgo potencial para la salud pública, sobre todo en poblaciones frecuentemente expuestas, como peatones, trabajadores informales y niños que transitan o frecuentan estos entornos.

El diseño factorial aplicado se muestra como una herramienta metodológica eficaz para la evaluación ambiental urbana, puesto que entrega evidencia científica en favor de la implementación de programas de seguimiento continuo y políticas públicas enfocadas en mitigar la contaminación atmosférica en zonas de alta densidad peatonal y vehicular.

REFERENCIAS

- Tadje, J. E., Willis, S., & Johnston, J. D. (2022). Gaseous air pollutants and respirable crystalline silica inside and outside homes at brick kilns in Bhaktapur, Kathmandu Valley, Nepal. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19), Artículo 12431. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912431>
- Carrera-Rodríguez, M., Villegas-Alcaraz, J. F., Salazar-Hernández, C., Mendoza-Miranda, J. M., Jiménez-Islas, H., Segovia Hernández, J. G., de Dios Ortiz-Alvarado, J., & Juárez-Ríos, H. (2022). Monitoring of oil lubrication limits, fuel consumption, and excess CO₂ production on civilian vehicles in Mexico. *Energy*, 257, 124765. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124765>
- Grassi, Y. S., Brignole, N. B., & Díaz, M. F. (2021). Vehicular fleet characterisation and assessment of the on-road mobile source emission inventory of a Latin American intermediate city. *Science of the Total Environment*, 792, 148255. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148255>
- Hernández, K. D., & Fajardo, O. A. (2021). Estimation of industrial emissions in a Latin American megacity under power matrix scenarios projected to the year 2050 implementing the LEAP model. *Journal of Cleaner Production*, 303, 126921. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126921>
- Kunt, F., & Saadi, H. (2023). Research of air quality in closed car parks in Konya province. *Global NEST Journal*, 25(3), 1-7. <https://doi.org/10.30955/gnj.004534>
- Madureira, J., Paciência, I., Ramos, E., Barros, H., Pereira, C., Teixeira, J. P., & Fernandes, E. D. O. (2015). Children's Health and Indoor Air Quality in Primary Schools and Homes in Portugal—Study Design. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 78(13-14), 915-930. <https://doi.org/10.1080/15287394.2015.1048926>
- Shree, V., Marwaha, B. M., & Awasthi, P. (2019). Indoor Air Quality Investigation at Primary Classrooms in Hamirpur, Himachal Pradesh, India. *Hydro Nepal: Journal of Water, Energy and Environment*, 24, 45-48. <https://doi.org/10.3126/hn.v24i0.23583>

● ● ● **Evaluación de las concentraciones de monóxido de carbono y dióxido de carbono mediante un diseño factorial en los principales parques urbanos de Pereira**

Jorge Luis Quintero López, John Jairo Villa Carmona, Andrés Arismendi Ramírez, Ángela Liceth Pérez Rendón