



*Análisis descriptivo para el monóxido de carbono de la zona centro de Quito usando datos funcionales*

*Descriptive analysis for carbon monoxide in the central zone of Quito using functional data*

*Análise descritiva de monóxido de carbono na zona central de Quito usando dados funcionais*

Fabián Allauca Pancho <sup>I</sup>  
[fabian.allauca@esepoch.edu.ec](mailto:fabian.allauca@esepoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-7668-3053>

Antonio Meneses Freire <sup>II</sup>  
[ameneses@unach.edu.ec](mailto:ameneses@unach.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-8182-3153>

Kleber Jaramillo Galarza <sup>III</sup>  
[kjaramillo@unach.edu.ec](mailto:kjaramillo@unach.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0003-1488-5412>

Marcel Paredes Herrera <sup>IV</sup>  
[marcelparedes@unach.edu.ec](mailto:marcelparedes@unach.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-3762-9633>

**Correspondencia:** [fabian.allauca@esepoch.edu.ec](mailto:fabian.allauca@esepoch.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 23 de marzo de 2022 \* **Aceptado:** 12 de abril de 2022 \* **Publicado:** 14 de junio de 2022

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

## Resumen

El presente estudio tiene como objetivo analizar descriptivamente los datos funcionales del monóxido de carbono en la zona centro de Quito, para los años 2019 y 2020; para lo cual se utilizó el software estadístico R, con el paquete "fda.usc" (Análisis de datos funcionales y utilidades para la computación estadística) versión 2.0.2. En el análisis descriptivo se realizó gráficos exploratorios, obtención de curvas atípicas, gráficos sin curvas atípicas, curvas medias mensuales y obtención de curvas medias con bandas de confianza. Los resultados obtenidos del estudio indicaron que el comportamiento del monóxido de carbono es irregular a lo largo del día, presentándose valores más altos alrededor de las 07:00 llegando a alcanzar aproximadamente los 3.26 mg/m<sup>3</sup> y un pequeño incremento de la concentración de este contaminante alrededor de las 19:00 alcanzando aproximadamente los 2.0 mg/m<sup>3</sup>; se obtuvieron también 18 curvas atípicas, estas curvas atípicas no concuerdan con la tendencia de la distribución de los datos. Al graficar las curvas medias mensuales, se observó que los meses de julio, agosto y septiembre presentaron valores de concentración menor para este contaminante. La curva media mostró un valor máximo de 1.1 mg/m<sup>3</sup> a las 07:00 y un valor aproximado de 0.75 mg/m<sup>3</sup> entre las 19:00 y 20:00.

**Palabras Clave:** Análisis descriptivo; datos funcionales; monóxido de carbono; software estadístico R; paquete fda.usc.

## Abstract

The objective of this study is to descriptively analyze the functional data of carbon monoxide in the central area of Quito, for the years 2019 and 2020; for which the statistical software R was used, with the package "fda.usc" (Functional data analysis and utilities for statistical computing) version 2.0.2. In the descriptive analysis, exploratory graphs were made, obtaining atypical curves, graphs without atypical curves, monthly mean curves and obtaining mean curves with confidence bands. The results obtained from the study indicated that the behavior of carbon monoxide is irregular throughout the day, with higher values around 07:00 reaching approximately 3.26 mg/m<sup>3</sup> and a small increase in the concentration of this pollutant. around 19:00 reaching approximately 2.0 mg/m<sup>3</sup>; 18 atypical curves were also obtained, these atypical curves do not agree with the trend of the data distribution. When plotting the monthly average curves, it was observed that the months of July, August and September presented lower concentration values for this pollutant. The mean

curve showed a maximum value of 1.1 mg/m<sup>3</sup> at 07:00 and an approximate value of 0.75 mg/m<sup>3</sup> between 19:00 and 20:00.

**Keywords:** descriptive analysis; functional data; carbon monoxide; statistical software R; fda.usc package.

## Resumo

O objetivo deste estudo é analisar descritivamente os dados funcionais do monóxido de carbono na área central de Quito, para os anos de 2019 e 2020; para o qual foi utilizado o software estatístico R, com o pacote "fda.usc" (Functional data analysis and utilities for estatístico computacional) versão 2.0.2. Na análise descritiva, foram feitos gráficos exploratórios, obtendo-se curvas atípicas, gráficos sem curvas atípicas, curvas médias mensais e obtenção de curvas médias com bandas de confiança. Os resultados obtidos com o estudo indicaram que o comportamento do monóxido de carbono é irregular ao longo do dia, com valores mais elevados por volta das 07:00 atingindo aproximadamente 3,26 mg/m<sup>3</sup> e um pequeno aumento na concentração deste poluente. aproximadamente 2,0 mg/m<sup>3</sup>; Também foram obtidas 18 curvas atípicas, essas curvas atípicas não concordam com a tendência da distribuição dos dados. Ao traçar as curvas médias mensais, observou-se que os meses de julho, agosto e setembro apresentaram valores de concentração mais baixos para esse poluente. A curva média apresentou valor máximo de 1,1 mg/m<sup>3</sup> às 07:00 e valor aproximado de 0,75 mg/m<sup>3</sup> entre 19:00 e 20:00.

**Palavras-chave:** Análise descritiva; dados funcionais; monóxido de carbono; software estatístico R; pacote fda.usc.

## Introducción

La contaminación del aire es actualmente uno de los problemas ambientales más severos a nivel mundial. Está presente en todas las sociedades, independientemente del nivel de desarrollo socioeconómico, y constituye un fenómeno que tiene particular incidencia sobre la salud del hombre. (Romero Placeres, Diego Olite, & Álvarez Toste, 2006)

Para monitorear los contaminantes presentes en el aire el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito crea la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico (REMMAQ) con el préstamo 822/OC-

EC del Banco Interamericano de Desarrollo otorgado al Gobierno de la República del Ecuador el 13 de octubre de 1994. (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2021)

La finalidad de la REMMAQ es producir datos confiables sobre la concentración de contaminantes atmosféricos como es el caso del monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), Ozono (O<sub>3</sub>) y material particulado fino o de diámetro menor a 2,5 micrómetros (PM<sub>2,5</sub>); en el territorio del Distrito Metropolitano de Quito, datos disponibles al público en general desde su página web [www.quitoambiente.gob.ec](http://www.quitoambiente.gob.ec) apartado Red de Monitoreo Atmosférico, descarga datos históricos. (Allauca Pancho, 2021)

Numerosos estudios utilizan el análisis funcional de datos para describir ciertos fenómenos físicos, teniendo como base datos meteorológicos, como temperatura, radiación solar, humedad, velocidad del viento, presión, entre otras; donde se utiliza el software estadístico de libre distribución R, con énfasis en el uso de las librerías `fda` y `fda.usc` para su descripción. (Allauca Pancho, 2021)

El análisis funcional tiene buenos resultados manejando volúmenes de datos elevados, el objetivo de este estudio es analizar descriptivamente el monóxido de carbono de la zona centro de Quito usando datos funcionales.

## **Metodología**

El estudio se realiza por medio de investigación científica con paradigma positivista, el enfoque utilizado es el enfoque cuantitativo, con diseño no experimental transversal o transeccional. Para el desarrollo de la investigación se utiliza la investigación descriptiva, con la modalidad de investigación documental.

Los datos del monóxido de carbono presentes en la zona centro de Quito son los registrados por la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ), para los años 2019 y 2020; los mismos que se pueden encontrar en la página web de la Secretaría de Ambiente de Quito ([www.quitoambiente.gob.ec](http://www.quitoambiente.gob.ec)), apartado, Red de Monitoreo Atmosférico, link, descarga datos históricos.

La población es el conjunto de todos los datos de monóxido de carbono presentes en la zona centro de Quito a lo largo de todo el tiempo, la muestra de estudio son los datos registrados para los años 2019 y 2020 por la REMMAQ, estos datos fueron registrados cada hora del día.

El procesamiento de la base de datos proporcionada por la REMMAQ fue el siguiente:

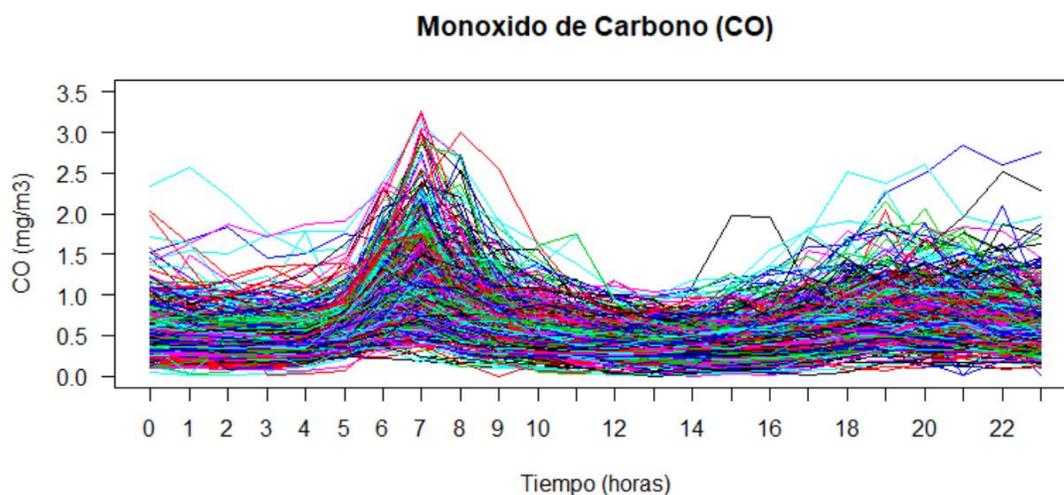
-Seleccionar los datos de este contaminante para los años 2019 y 2020.

- Crear una hoja de cálculo en Microsoft Excel con los datos seleccionados.
- Ordenar los datos en filas de manera cronológica para los días y en columnas para las horas del día.
- Completar datos faltantes por medio de interpolación lineal.
- Leer en el software estadístico R la hoja de Microsoft Excel.
- Suavizar cada base de datos en el software R.
- Hallar los datos atípicos de cada base de datos.
- Determinar la curva media y la banda de confianza.

## Resultados

Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

### Curvas diarias:



**Figura 1:** Curvas diarias del monóxido de carbono para los años 2019 y 2020

**Realizado por:** Allauca Fabián, 2021

Valores atípicos funcionales:

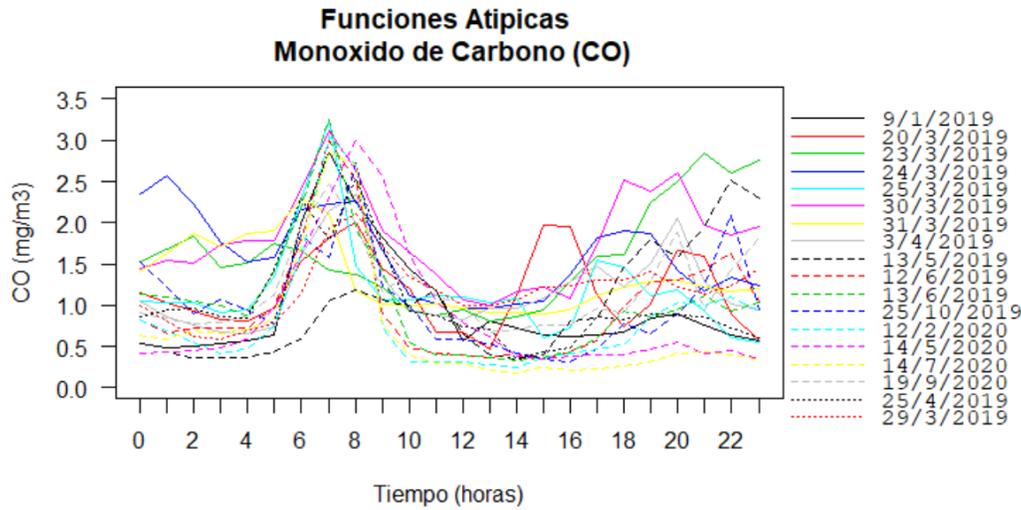


Figura 2: Funciones atípicas del monóxido de carbono para los años 2019 y 2020

Realizado por: Allauca Fabián, 2021

Curvas diarias sin valores atípicos funcionales:

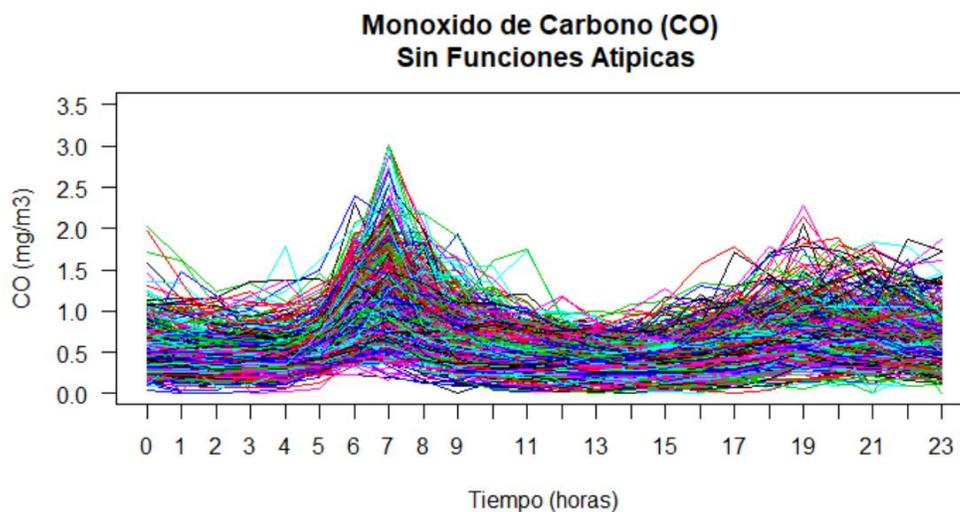
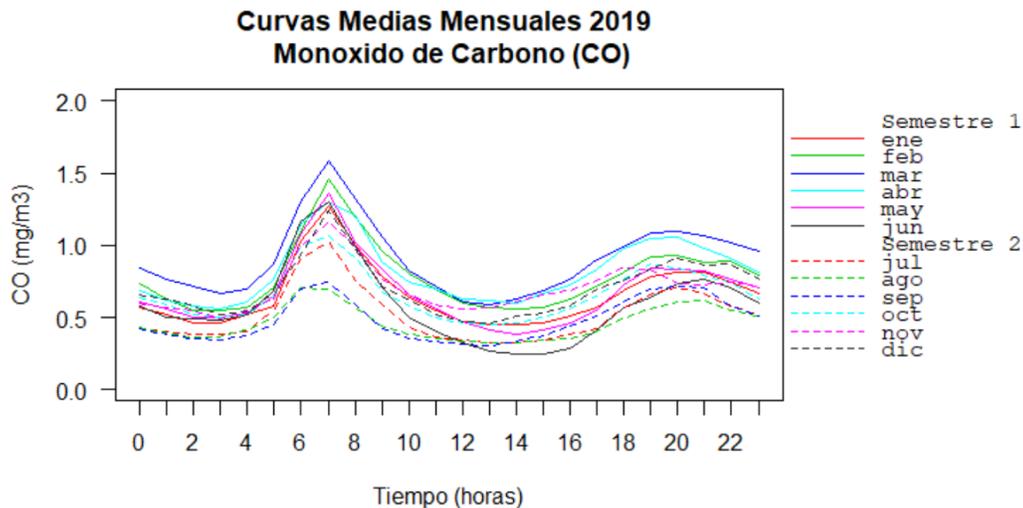


Figura 3: Gráfica exploratoria del monóxido de carbono sin curvas atípicas

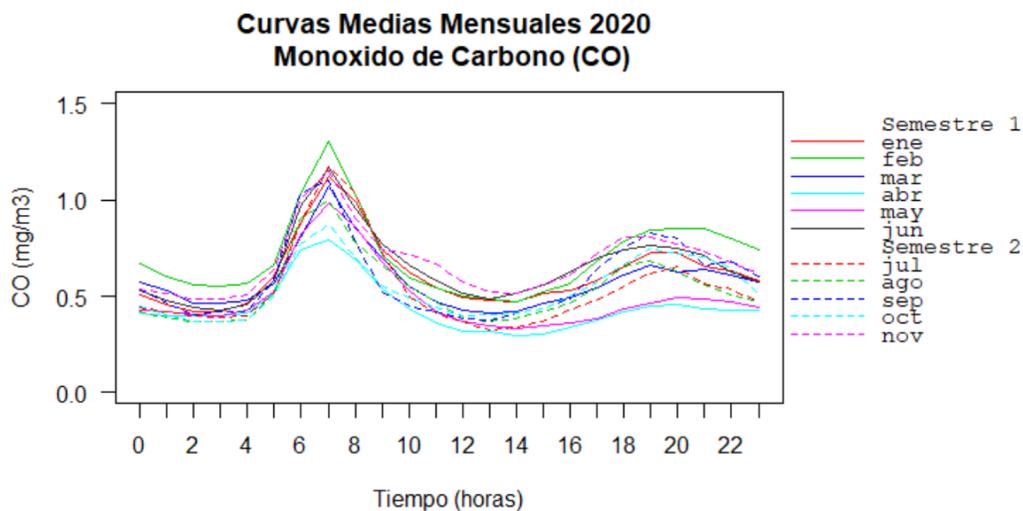
Realizado por: Allauca Fabián, 2021

**Curvas medias mensuales:**



**Figura 4:** Curvas medias mensuales del monóxido de carbono para el año 2019

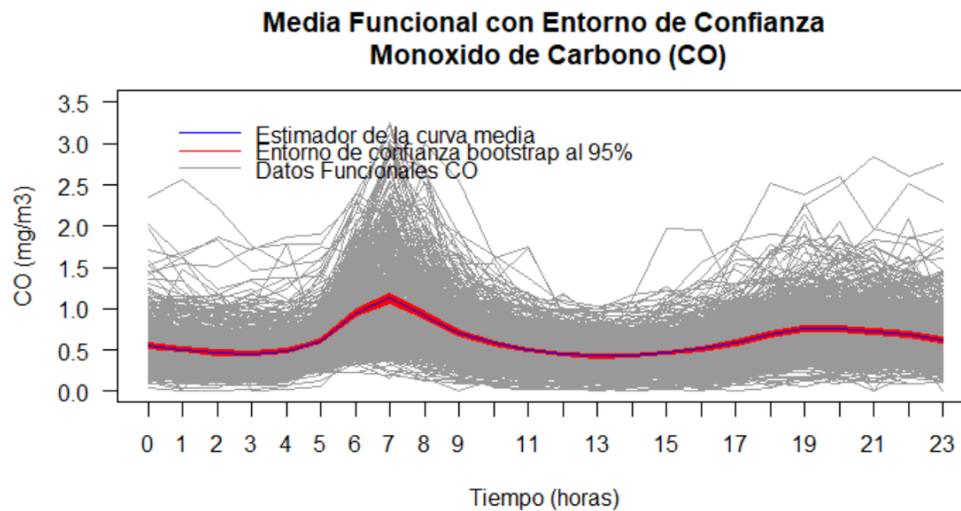
**Realizado por:** Allauca Fabián, 2021



**Figura 5:** Curvas medias mensuales del monóxido de carbono para el año 2020

**Realizado por:** Allauca Fabián, 2021

### Curva media funcional con entorno de confianza bootstrap al 95%:



**Figura 6:** Estimador de curva media con entorno de confianza bootstrap al 95% del monóxido de carbono para los años 2019 y 2020.

**Realizado por:** Allauca Fabián, 2021

## DISCUSIÓN

### Curvas diarias:

En la Figura 1, se puede observar las 700 curvas diarias del monóxido de carbono correspondiente a los años 2019 y 2020, en la cual se aprecia unos picos alrededor de las 07:00 llegando a alcanzar aproximadamente los 3.26 mg/m<sup>3</sup> y un pequeño incremento de la concentración de este contaminante alrededor de las 19:00 alcanzando aproximadamente los 2.0 mg/m<sup>3</sup>; coincidiendo esta tendencia con las horas de máximo tráfico vehicular en la zona centro de Quito. Cabe mencionar que el monóxido de carbono se forma por la combustión incompleta por déficit de oxígeno, cuya principal fuente son los vehículos automotores.

La concentración más elevada alrededor de las siete de la mañana se puede deber al proceso de fotosíntesis que realizan las plantas, absorbiendo carbono del ambiente durante el día y dejándolo de hacer durante la noche, puesto que para realizar este proceso las plantas necesitan de luz solar.

### Valores atípicos funcionales:

Las curvas de los días atípicos corresponden a los siguientes días:

- 9 de enero de 2019

- 20, 23, 24, 25, 29, 30 y 31 de marzo de 2019
- 3 y 25 de abril de 2019
- 13 de mayo de 2019
- 12 y 13 de junio de 2019
- 25 de noviembre de 2019
- 12 de febrero de 2020
- 14 de mayo de 2020
- 14 de julio de 2020
- 19 de septiembre de 2020

La Figura 2 muestra 18 curvas de los días atípicos, estas curvas no concuerdan con la tendencia de la distribución de los datos para el monóxido de carbono, ya que en algunas horas del día muestran valores más altos en comparación a las otras curvas. Se observa que el mes de marzo de 2019 posee 7 días atípicos, pudiéndose deber posiblemente alguna falla del equipo recolector de datos o algún motivo que incremento la concentración de este contaminante.

Para tener una mayor visualización de la tendencia de la distribución de los datos funcionales para el monóxido de carbono, se grafica sin estas 18 curvas atípicas, la Figura 3, muestra la gráfica exploratoria sin curvas atípicas; cabe recalcar que, para un posterior análisis, no se eliminaran estas curvas atípicas, puesto que se desconoce el origen de tal comportamiento.

### **Curvas medias mensuales:**

Las Figuras 4 y 5 muestran las curvas de las medias mensuales del monóxido de carbono para los años 2019 y 2020 respectivamente. En la figura correspondiente al año 2019 se aprecia que las medias más altas corresponden a los meses de febrero, marzo y abril; mientras que los meses con medias más bajas corresponden a los meses de julio, agosto y septiembre; coincidiendo de alguna manera con los meses de vacaciones escolares.

En la Figura 5 se aprecia un comportamiento de las medias más parejo y menor en comparación con las curvas del 2019, esto se puede deber a que en el año 2020 se produjo la pandemia de covid-19, trayendo consigo un aislamiento y por ende a una menor circulación vehicular sobre todo en los meses de abril y mayo.

### **Curva media funcional con entorno de confianza bootstrap al 95%:**

La media funcional para los datos del monóxido de carbono se puede apreciar en la Figura 6, como también el entorno de confianza bootstrap al 95%. La curva media mostrada en color azul indica la tendencia vista anteriormente por los datos de este contaminante; donde se puede apreciar un mayor incremento alrededor de las 07:00, como también un ligero incremento alrededor de las 19:00.

La curva media llega a un valor máximo de 1.1 mg/m<sup>3</sup> a las 07:00 y un valor aproximado de 0.75 mg/m<sup>3</sup> entre las 19:00 y 20:00. Cabe recalcar que estos valores, incluso el máximo registrado (3.26 mg/m<sup>3</sup>) a las siete de la mañana del día 13 de junio de 2019, tomados a una temperatura ambiente de 10.28 °C y a una presión atmosférica de 0.719 atmósferas; no conlleva ningún efecto perjudicial para la salud, ya que, de acuerdo a organismos internacionales, se ha fijado un valor límite de la media de ocho horas máxima en un día para la protección de la salud humana de 10 mg/m<sup>3</sup>. (Consejería de Salud de la Región de Murcia, 2021)

### **Conclusiones**

- Los datos del monóxido de carbono (CO) describieron un comportamiento irregular a lo largo del día, se observó picos alrededor de las 07:00 y 19:00 llegando a alcanzar aproximadamente los 3.26 mg/m<sup>3</sup> y 2.0 mg/m<sup>3</sup> respectivamente; coincidiendo esta tendencia con las horas de máximo tráfico vehicular en la zona centro de Quito.
- Se observó 18 curvas atípicas, estas curvas no concuerdan con la tendencia de la distribución de los datos para este contaminante; el mes de marzo de 2019 posee 7 días atípicos, esto se puede deber posiblemente a alguna falla del equipo recolector de datos.

La curva media para los datos del CO llegó a un valor máximo de 1.1 mg/m<sup>3</sup> a las 07:00 y un valor aproximado de 0.75 mg/m<sup>3</sup> entre las 19:00 y 20:00. Estos valores, incluso el máximo registrado (3.26 mg/m<sup>3</sup>) a las 07:00 del día 13 de junio de 2019, no conlleva ningún efecto perjudicial para la salud, ya que el valor límite es de 10 mg/m<sup>3</sup>.

### **Referencias**

1. LUMITOS AG. (19 de Febrero de 2021). QUIMICA.ES. Obtenido de [https://www.quimica.es/enciclopedia/%C3%93xido\\_de\\_azufre\\_%28IV%29.html](https://www.quimica.es/enciclopedia/%C3%93xido_de_azufre_%28IV%29.html)

2. Aguilera del Pino, M., & Aguilera Morillo, C. (2013). *Introducción al Análisis de Datos Funcionales con R*. Cádiz: Universidad de Cádiz. Dpto. Estadística e Investigación Operativa.
3. Arias Odón, F. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. Caracas: Editorias Episteme.
4. Benalcazar, G. (2005). *Espacios Normados y Aplicaciones*. Quito.
5. Consejería de Salud de la Región de Murcia. (21 de Junio de 2021). Murcia Salud. Obtenido de <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180398#>
6. Córdoba, D., & Ramos, J. (2001). *Monóxido de Carbono*. Bogotá: Editorial el Manual Moderno.
7. Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito. (2006). *Inventario de emisiones del Distrito Metropolitano de Quito - 2003*. Quito: PPL Impresores. 2529 762-Quito.
8. Escudero Villa, A. I. (2014). *Análisis exploratorio funcional de los datos de radiación solar 2011 como soporte para la simulación de su comportamiento*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
9. Espín Mayorga, M. E., & Veloz Cuichán, S. M. (2013). *Evaluación de los efectos de la Calidad del Aire en la productividad de los cultivos en los barrios La Morita, La Tola, El Arenal, La Esperanza y Collaquí ubicados en la parroquia de Tumbaco, cantón Quito, provincia de Pichincha*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
10. Foster, M., & Costa, D. (2005). *Air Pollutants and the Respiratory Tract*. Lung Biology in Health and Disease.
11. Fundación Aquae. (3 de Febrero de 2021). AQUAE FUNDACIÓN. Obtenido de [www.fundacionaquae.org/causas-contaminacion-ambiental/](http://www.fundacionaquae.org/causas-contaminacion-ambiental/)
12. Gobierno de España. (19 de Febrero de 2021). *Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes*. Obtenido de <http://www.prtr-es.es/NOx-oxidoss-de-nitrogeno,15595,11,2007.html>
13. Grajales, T. (25 de Septiembre de 2017). *Tipos de Investigación*. Recuperado el 27 de 3 de 2000, de <http://tgrajales.net/investipos.pdf>
14. Granda, J. B. (2015). *Manual de metodología de la investigación científica*. Chimbote - Perú: Universidad Católica los Ángeles Chimbote.

15. Guerrón Varela, E. R. (2015). Análisis de datos meteorológicos del Valle de los Chillos usando datos funcionales. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
16. Gutiérrez, J., Romieu, I., Corey, G., & Fortoul, T. (1997). Contaminación del aire, riesgos para la salud. México DF: UNAM/El Manual Moderno.
17. Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación. México D.F.: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.
18. Instituto para la Salud Geoambiental. (19 de Febrero de 2021). Instituto para la Salud Geoambiental - Un ser vivo, un entorno sano. Obtenido de <https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-nitrogeno-no2>
19. Kreyszig, E. (1978). Introductory Functional Analysis with Applications. New York: University of Windsor.
20. Meneses, E., Turtós, L., & Molina, E. (2004). Mejoras en la estimación de las externalidades de la generación eléctrica en Cuba. Revista electrónica Ecosolar, 7. Obtenido de <http://www.cubasolar.org/biblioteca/ecosolar.htm>
21. Ministerio de Ambiente de Colombia . (19 de Febrero de 2021). IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/los-agentes-precursores-de-la-lluvia-acida>
22. Ministerio de Educación. (24 de Junio de 2021). Ministerio de Educación. Obtenido de <https://educacion.gob.ec/calendario-escolar/>
23. Ministerio de Salud Pública. (24 de Junio de 2021). Ministerio de Salud Pública. Obtenido de <https://www.salud.gob.ec/noticias/>
24. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (3 de Febrero de 2021). Secretaría de Ambiente. Obtenido de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/politicas-y-planeacion-ambiental/red-de-monitoreo>
25. Navarro Pérez, V. (2004). Análisis de Datos Funcionales. Implementación y Aplicaciones. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.
26. Organización Mundial de la Salud. (22 de Junio de 2021). Organización Mundial de la Salud. Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
27. Organización Panamericana de la Salud. (3 de Enero de 2005). Contaminación ambiental. Obtenido de <http://www.paho.org>

28. Pérez Montilla, A. (2018). Métodos avanzados de análisis de Datos Funcionales. Puerto Real: Universidad de Cádiz.
29. Pérez Plaza, S. M. (2020). Estudio y aplicación de técnicas de Análisis de Datos Funcionales de geoposicionamiento. Puerto Real: Universidad de Cádiz.
30. Picón Llamas, D. M. (2019). Análisis de Datos Funcionales aplicado a datos de temperatura en España. Valladolid: Universidad de Valladolid.
31. Ricoy Lorenzo, C. (2006). Contribución sobre los paradigmas de investigación. Revista do Centro de Educação, 11-22.
32. Romero Placeres, M., Diego Olite, F., & Álvarez Toste, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 44.
33. Salini Calderón, G. A. (2014). Estudio Acerca del Material Particulado Emitido en Ciudades de Tamaño Medio al Sur de Santiago de Chile. Revista INGE CUC, 97-108.
34. Sanchiz, J. (2014). El ozono atmosférico. Revista Tiempo y Clima, 15.
35. Torres, W. (2002). Biología de las especies de oxígeno reactivas. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
36. U.S Environmental Protection Agency. (2001). National air quality 2001 status and trends. Carbon Monoxide. Washington, D.C: EPA.
37. Yassi, A., Kjellstrom, T., de Kok, T., & Guidotti. (2002). Salud Ambiental Básica. Mexico DF: PNUMA.