

## Niveles de dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono tras la pandemia de COVID-19 en la provincia de Los Ríos, Ecuador

Roberto Johan Barragán Monrroy<sup>1</sup>, Ana Madelaine Macias Mendoza<sup>2</sup>, Betty Beatriz González Osorio<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador

<sup>2</sup> Unidad Educativa Albertina Rivas Medina, Santa Ana.

<sup>3</sup> Instituto de Posgrado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Corresponding author: Roberto Johan Barragán Monrroy, robertobarraganm81@gmail.com

(Recibido: 06-03-2024. Publicado: 21-06-2024.)

DOI: 10.59427/rcli/2024/v24.09-16

### Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar las variaciones en las concentraciones troposféricas de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO) en los cantones de la provincia de Los Ríos, Ecuador, antes (16 de marzo al 31 de diciembre de 2019) y durante (16 de marzo al 31 de diciembre de 2020) la pandemia de COVID-19. Los datos atmosféricos se los obtuvo desde el TROPOMI del satélite Copernicus Sentinel-5P de la Agencia Espacial Europea. Se observó que las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) para el año 2019 fueron mayores a comparación del año 2020, evidenciando una disminución del 8% durante la pandemia. A diferencia de las concentraciones de monóxido de carbono (CO) que aumentaron un 3% durante la pandemia.

**Palabras claves:** COVID-19; Dióxido de nitrógeno; Monóxido de carbono; Sentinel 5P, Troposfera

### Abstract

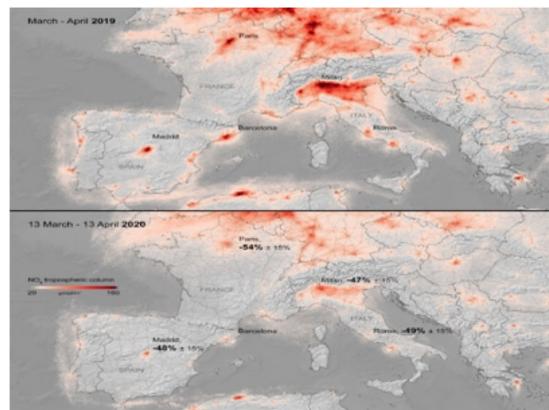
The objective of this research was to evaluate variations in tropospheric concentrations of nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) and carbon monoxide (CO) in the cantons of Los Rios province, Ecuador, before (March 16 to December 31, 2019) and during (March 16 to December 31, 2020) the COVID-19 pandemic. Atmospheric data were obtained from the TROPOMI of the European Space Agency's Copernicus Sentinel-5P satellite. It was observed that nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) concentrations for 2019 were higher compared to 2020, evidencing a decrease of 8% during the pandemic. In contrast, carbon monoxide (CO) concentrations increased by 3% during the pandemic.

**Keywords:** COVID-19; Nitrogen dioxide; Carbon monoxide; Sentinel 5P, Troposphere.

## 1 Introducción

El 31 de diciembre de 2019, China alertó a la Organización Mundial de la Salud (OMS) de varios casos de neumonía inusual en Wuhan, una ciudad de la provincia central de Hubei. El 7 de enero de 2020 se anunció la identificación de un nuevo virus, denominado SARS-CoV-2 que es el agente causal de la nueva pandemia denominada COVID-19 (Guerrero, 2020; Hashim et al., 2021). Muchos investigadores han informado que el nuevo coronavirus es una enfermedad respiratoria aguda, que puede afectar los pulmones y el sistema respiratorio (Chen et al., 2020; Gautam, 2020), se transmite principalmente a través de gotas generadas cuando una persona infectada tose, estornuda o exhala (Lipsitch et al., 2020). Esta situación provocó cierres totales en las partes más afectadas en China, Italia, y cierres parciales en muchos países. Sin embargo, hasta el 17 de abril de 2020, más de 2,2 millones de personas han sido infectadas, y el virus ha causado más de 150 mil muertes en todo el mundo (Kaplan & Avdan, 2020). El 29 de febrero de 2020 se reportó el primer caso de COVID-19 en la ciudad de Babahoyo, provincia de Los Ríos, convirtiendo a Ecuador en el tercer país de la región con infectados dentro del territorio (Ogonaga & Chiriboga, 2020). Luego del anuncio del primer caso de COVID-19 las autoridades gubernamentales activaron las medidas sanitarias dentro de los aeropuertos del país. Además, el Ministerio de Salud Pública implementó brigadas en cada aeropuerto para apoyar a las medidas del gobierno (Ogonaga & Chiriboga, 2020). Sin embargo, debido a la alta contagiosidad entre personas, mortalidad y aumento de casos, el 16 de marzo de 2020 el presidente de la república del Ecuador declaró el estado de excepción y el inicio de cuarentena por COVID-19 (Scifo, 2020), prohibiendo la movilización peatonal y vehicular a excepción de las actividades afines con la salud y alimentación.

A pesar de los efectos negativos causados por la pandemia de COVID-19, esta crisis ha traído consecuencias inesperadas para la calidad del aire, debido a las restricciones y bloqueos en las industrias, tráfico de vehículos y han tenido un gran impacto en la rutina diaria de las personas, contribuyendo a la mejora de los niveles de calidad del aire de países como España (Tobías et al., 2020), India (Gautam, 2020), Brasil (Nakada & Urban, 2020), China (Sharma et al., 2020), Ecuador (Pacheco et al., 2020; Zalakeviciute et al., 2020), entre otros. Los científicos del Instituto Meteorológico Real de los Países Bajos (KNMI) han estado monitoreando la contaminación del aire en Europa en los últimos meses utilizando datos del instrumento TROPOMI del satélite Copernicus Sentinel-5P de la Agencia Espacial Europea (ESA). Las nuevas imágenes muestran las concentraciones promedio de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) desde el 13 de marzo hasta el 13 de abril de 2020, en comparación al mismo periodo de 2019 (Figura 1), evidenciando importantes disminuciones en Europa (ESA, 2020b). El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) es un componente importante de la contaminación atmosférica urbana y un precursor del ozono a nivel del suelo, las partículas y la lluvia ácida, se genera principalmente en el aire quemando combustible a partir de emisiones de automóviles, camiones, autobuses, plantas de energía, entre otros (Andino et al., 2018; Bechle et al., 2013).



**Figure 1:** Concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en Europa. (ESA, 2020b).

Los contaminantes atmosféricos como el monóxido de carbono (CO) representan uno de los mayores contaminantes de la atmósfera terrestre. Sus principales fuentes productoras responsables de aproximadamente el 80% de las emisiones, son los vehículos automotores que utilizan como combustible gasolina o diésel y los procesos industriales que utilizan compuestos del carbono (Télez et al., 2006; Ubilla & Yohannessen, 2017). La ciudad de Quito en el primer mes de confinamiento por COVID-19 las concentraciones de monóxido de carbono (CO) disminuyeron cerca de un 38% (Zalakeviciute et al., 2020). En base a la bibliografía consultada existen pocos estudios que reportan concentraciones de gases atmosféricos, centrándose solo en los primeros días de la pandemia y las ciudades más pobladas, por este motivo el objetivo de este estudio fue evaluar las variaciones en las concentraciones troposféricas de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO) en los cantones de la provincia de Los Ríos, Ecuador, antes (16 de marzo al 31 de diciembre de 2019) y durante (16 de marzo al 31 de diciembre de 2020) la pandemia de COVID-19.

## 2 Metodología

Ubicación del área de estudio La provincia de Los Ríos se encuentra ubicada en Ecuador, es parte vital de la cuenca del río Guayas, con una extensión de 7 509 km<sup>2</sup>, equivalente al 2,8 Datos atmosféricos y espaciales Los datos atmosféricos de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO) se los obtuvo desde la plataforma del Centro de Acceso Abierto de Copernicus, del instrumento TROPOMI del Sentinel-5P de la Agencia Espacial Europea (ESA, 2020a). El Sentinel-5 Precursor (5P) es un satélite lanzado para vigilar los contaminantes atmosféricos como NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y CO utilizando sensores denominados TROPOMI (Tropospheric Monitoring Instrument), con una temporalidad diaria y resolución espacial de 5,5x5,5 km por píxel para imágenes adquiridas después del 9 de agosto de 2019. Antes de esta fecha, la resolución espacial resolución era de 7x7km (ESA, 2019; Galli et al., 2012; Madkour, 2021; Ogen, 2020; Zheng et al., 2019).

Para la recopilación de los datos atmosféricos se utilizó técnicas de teledetección, empleando Google Earth Engine (GEE), que es una plataforma de computación en la nube, que se especializa en el procesamiento de imágenes satelitales y proporciona un enorme soporte de datos de ráster (Gorelick et al., 2017). En comparación con las herramientas tradicionales de procesamiento de imágenes, GEE está abierto a todos, es fácil de desarrollar algoritmos y puede procesar por lotes los datos de imágenes rápidamente, lo que reduce el coste y la complejidad del análisis de datos geoespaciales (Xia et al., 2020). Para la descarga de los ráster con las concentraciones atmosféricas, se modificó un algoritmo de programación en Phytion (Zhang et al., 2020), estableciendo así los rangos de temporalidad para el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO) en el área de estudio, el cual se muestra en la figura 2.

**1. Código en Google Earth Engine para monóxido de carbono**  
• 2019

```
var collection = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S5P/OFFL/L3_CO")
  .select("CO_column_number_density")
  .filterDate("2019-03-01", "2019-12-31");
var COPREVIO = collection.median().clip(geometry);
var band_viz = {
  min: 0,
  max: 0.05,
  palette: ['black', 'blue', 'purple', 'cyan', 'green', 'yellow', 'red']
};
Map.addLayer(collection, band_viz, 'S5P CO');
Map.setCenter(-80.70, -1.72, 6);
Export.image.toDrive({
  image: COPREVIO.select("CO_column_number_density"),
  description: 'Imagen Descarga',
  scale: 2500,
  region: geometry });
```

**2. Código en Google Earth Engine para Dióxido de Nitrógeno**

```
var TROPOMISensor = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_NO2")
  .select("tropospheric_NO2_column_number_density");
var NO2Previo = TROPOMISensor.filterDate("2020-03-01", "2020-03-15").mean(); //Primer momento
var NO2Posterior = TROPOMISensor.filterDate("2020-03-16", "2020-03-28").mean(); //Segundo momento
var SimbologiaNO2 = {min:0, max: 0.0002, opacity: 0.70,
  palette: ["black", "blue", "purple", "cyan", "green", "yellow", "red"]};
var SRTM = ee.Image("CGIAR/SRTM90_V4");
var HillShade = ee.Terrain.hillshade(SRTM);
Map.addLayer(ee.Image(0).byte(), {}, "Background");
Map.addLayer(HillShade, {min: 100, max:255}, 'Hillshade');
Map.addLayer(NO2Previo, SimbologiaNO2, 'Emisiones Previas de NO2 troposferico');
var Comparador = ui.Map();
Comparador.addLayer(ee.Image(0).byte(), {}, "Background");
Comparador.addLayer(HillShade, {min: 100, max:255}, 'Hillshade');
Comparador.addLayer(NO2Posterior, SimbologiaNO2, 'Emisiones Posteriores de NO2 troposferico');
var SWIPE = ui.Map.Linker([ui.root.widgets().get(0), Comparador]);
var SWIPE2 = ui.SplitPanel({
  firstPanel: SWIPE.get(0),
  secondPanel: SWIPE.get(1),
  orientation: 'horizontal',
  wipe: true,
  style: {stretch: 'both'}});
ui.root.widgets().reset([SWIPE2]);
var NO2PrevioAOI= NO2Previo.clip(geometry);
var NO2PosteriorAOI= NO2Posterior.clip(geometry);
Export.image.toDrive({
  image: NO2PrevioAOI.select("tropospheric_NO2_column_number_density"),
  description: 'NO2Previo',
  scale: 1100,
  region: geometry});
Export.image.toDrive({
  image: NO2PosteriorAOI.select("tropospheric_NO2_column_number_density"),
  description: 'NO2Posterior',
  scale: 1100,
  region: geometry});
Map.setCenter (-1.72,-80.70, 6)}
```

**Figure 2:** Algoritmo modificado de la Agencia Espacial Europea (ESA) en Phytion.

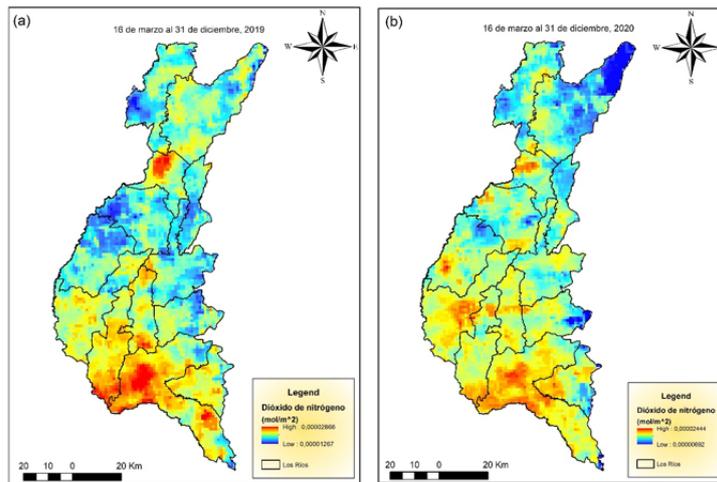
Los ráster se los obtuvo con una extensión de formato Geotiff y georreferenciados al Sistema Geodésico Mundial (WGS-1984), seguidamente se analizó la distribución espacial y los cambios temporales de los niveles de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO). Dicho análisis espacial se lo realizó en base a los 13 cantones que conforman la provincia de Los Ríos, Ecuador, generando estadística descriptiva con ayuda del programa ArcGIS en su versión 10.8 y la herramienta “Zonal Statistics as Table”, utilizando como base el archivo shape provincial de Ecuador obtenido por el Instituto Geográfico Militar y los ráster de las concentraciones atmosféricas.

**Análisis estadístico**

Los datos atmosféricos procedentes del TROPOMI del satélite Copernicus Sentinel-5P fueron procesados para obtener las medias (media  $\pm$  desviación estándar) y máximas concentraciones, expresadas con unidades de mol/m<sup>2</sup>. Se tomó en consideración los 13 cantones que conforman la provincia de Los Ríos, analizando la tasa de variación expresada como porcentaje, dicha tasa representa la diferencia entre las concentraciones de los gases atmosféricos, correspondiente al primer año durante la pandemia del COVID-19, tomando como referencia la fecha en que empezó la cuarentena (16 de marzo al 31 de diciembre de 2020) y el mismo periodo antes de la pandemia (16 de marzo al 31 de diciembre de 2019).

**3 Resultados y discusión**

Las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) a nivel troposférico en la provincia de Los Ríos, en el primer año de pandemia por COVID-19 (16 de marzo al 31 de diciembre de 2020) y como referencia el mismo periodo antes de la pandemia (16 de marzo al 31 de diciembre de 2019), se muestran en la figura 3. El mapa 2019 (a) revela que las concentraciones de dióxido de nitrógeno van de 0,00001267 a 0,00002866 mol/m<sup>2</sup>. El mapa 2020 (b) revela que las concentraciones van de 0,00000692 a 0,00002444 mol/m<sup>2</sup>.



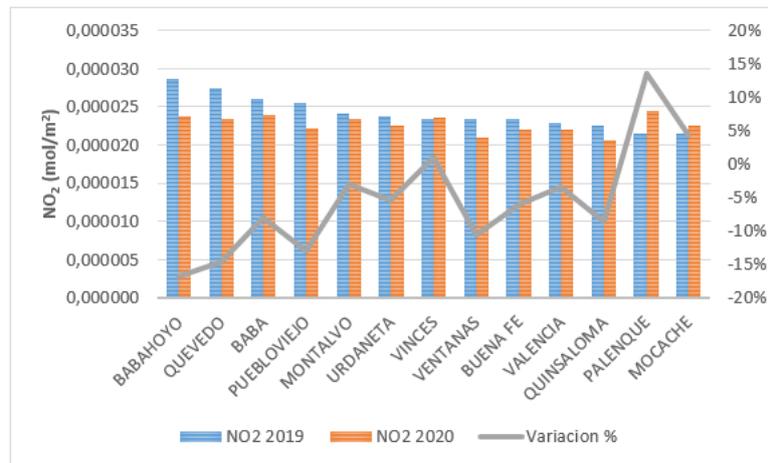
**Figure 3:** Concentraciones de NO<sub>2</sub> en la provincia de Los Ríos, antes (16 de marzo al 31 de diciembre de 2019) y durante (16 de marzo al 31 de diciembre de 2020) la pandemia de COVID-19.

Los promedios en las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en los 13 cantones de la provincia de Los Ríos se muestran en la tabla 1, los primeros lugares pertenecen a los cantones: Baba, Babahoyo y Pueblo Viejo. Las concentraciones para el año 2020 (0,0000182 $\pm$ 0,0000017 mol/m<sup>2</sup>) (16 de marzo al 31 de diciembre de 2020) fueron menores en todos los cantones a comparación del año 2019 (0,0000197 $\pm$ 0,0000016 mol/m<sup>2</sup>) (16 de marzo al 31 de diciembre de 2019), evidenciando una disminución considerable del 8% durante el año de la pandemia.

**Table 1:** Concentraciones de NO<sub>2</sub>, antes (16 de marzo al 31 de diciembre de 2019) y durante (16 de marzo al 31 de diciembre de 2020) la pandemia. Las concentraciones de NO<sub>2</sub> se expresan como media  $\pm$  desviación estándar. El aumento o disminución en las concentraciones se muestra como porcentaje (%).

N	Cantones	NO <sub>2</sub> 2019(mol/m <sup>2</sup> )	NO <sub>2</sub> 2020(mol/m <sup>2</sup> )	Variación %
1	BABA	0,0000219 $\pm$ 0,0000014	0,0000193 $\pm$ 0,0000014	-12%
2	BABAHOYO	0,0000218 $\pm$ 0,0000023	0,0000201 $\pm$ 0,0000017	-8%
3	PUEBLOVIEJO	0,0000210 $\pm$ 0,0000017	0,0000193 $\pm$ 0,0000011	-8%
4	MONTALVO	0,0000208 $\pm$ 0,0000014	0,0000188 $\pm$ 0,0000023	-10%
5	QUEVEDO	0,0000207 $\pm$ 0,0000023	0,0000183 $\pm$ 0,0000019	-11%
6	VINCES	0,0000202 $\pm$ 0,0000013	0,0000195 $\pm$ 0,0000014	-4%
7	VALENCIA	0,0000192 $\pm$ 0,0000014	0,0000155 $\pm$ 0,0000027	-19%
8	URDANETA	0,0000190 $\pm$ 0,0000017	0,0000178 $\pm$ 0,0000023	-6%
9	BUENA FE	0,0000184 $\pm$ 0,0000016	0,0000169 $\pm$ 0,0000016	-8%
10	VENTANAS	0,0000183 $\pm$ 0,0000015	0,0000179 $\pm$ 0,0000013	-2%
11	QUINSALOMA	0,0000181 $\pm$ 0,0000013	0,0000169 $\pm$ 0,0000015	-6%
12	PALENQUE	0,0000181 $\pm$ 0,0000015	0,0000181 $\pm$ 0,0000017	0%
13	MOCACHE	0,0000180 $\pm$ 0,0000015	0,0000178 $\pm$ 0,0000016	-1%
<b>Media</b>	.....	0,0000197 $\pm$ 0,0000016	0,0000182 $\pm$ 0,0000017	-8%

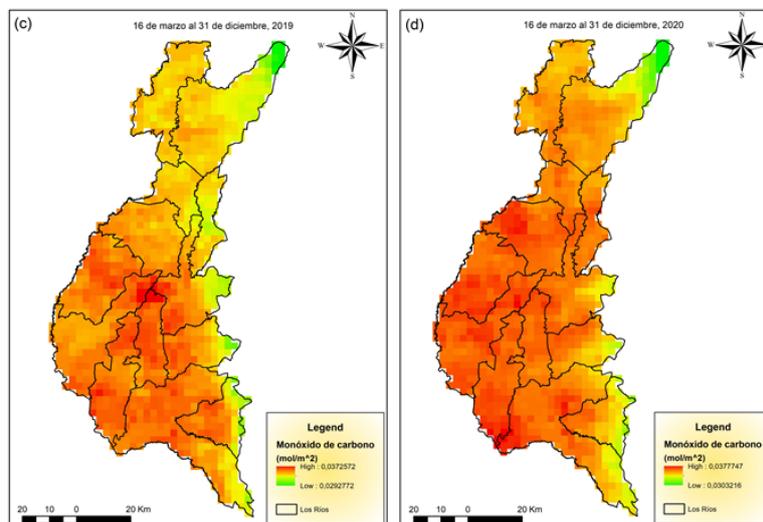
Al igual que las medias reportadas, las concentraciones máximas de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), para el año 2020 (16 de marzo al 31 de diciembre de 2020) fueron menores a comparación del año 2019 (16 de marzo al 31 de diciembre de 2019), a excepción de los cantones: Palenque, Mocache y Ventanas, tal como se demuestra en la figura 4.



**Figure 4:** Concentraciones máximas de NO<sub>2</sub> en la provincia de Los Ríos, antes (16 de marzo al 31 de diciembre de 2019) y durante (16 de marzo al 31 de diciembre de 2020) la pandemia de COVID-19.

Estos resultados son coherentes en comparación con otras investigaciones realizadas en Ecuador y otros países (Zalakeviciute et al., 2020). A pesar de que existe una disminución de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) considerable del 8% la Organización de las Naciones Unidas destaca que la crisis generada por la pandemia de COVID-19 solo ha desencadenado la disminución de gases a corto plazo (ONU, 2020), pero existe una buena oportunidad para comprender de las actividades de bloqueo aplicadas sobre cómo minimizar el nivel de concentración de contaminantes del aire a largo plazo (Gautam, 2020). Según (Donkelaar et al., 2010) la contaminación del aire contribuye a la gran carga mundial de enfermedades respiratorias como por ejemplo: neumonía, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, asma y posiblemente la tuberculosis. Por lo que puede existir una correlación fuerte entre los lugares con mayores concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) con los casos de fallecimiento por COVID-19 (Pacheco et al., 2020).

Las concentraciones de monóxido de carbono (CO) a nivel troposférico en la provincia de Los Ríos, en el primer año de pandemia por COVID-19 (16 de marzo al 31 de diciembre de 2020) y como referencia el mismo periodo antes de la pandemia (16 de marzo al 31 de diciembre de 2019), se muestran en la figura 5. El mapa 2019 (c) revela que las concentraciones de dióxido de nitrógeno van de 0,02928 a 0,03726 mol/m<sup>2</sup>. El mapa 2020 (d) revela que las concentraciones van de 0,03032 a 0,03777 mol/m<sup>2</sup>.



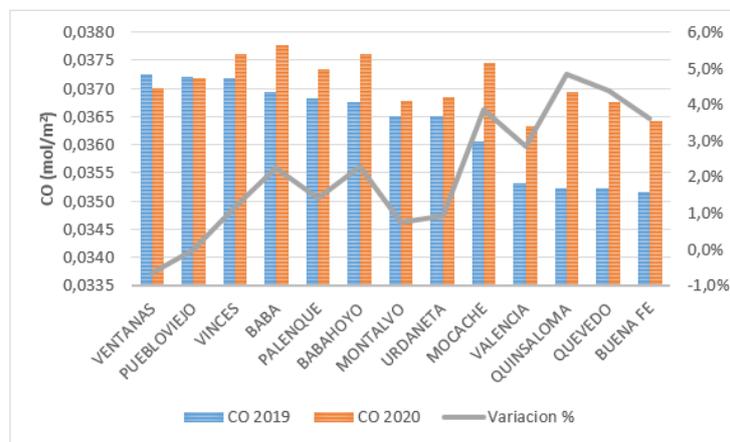
**Figure 5:** Concentraciones de CO en la provincia de Los Ríos, antes (16 de marzo al 31 de diciembre de 2019) y durante (16 de marzo al 31 de diciembre de 2020) la pandemia de COVID-19.

Los promedios en las concentraciones de monóxido de carbono (CO) en los 13 cantones de la provincia de Los Ríos se muestran en la tabla 2, los primeros lugares pertenecen a los cantones: Pueblo Viejo, Baba y Palenque. Las concentraciones para el año 2020 ( $0,03601 \pm 0,00061 \text{ mol/m}^2$ ) (16 de marzo al 31 de diciembre de 2020) fueron mayores en todos los cantones a comparación del año 2019 ( $0,03508 \pm 0,00070 \text{ mol/m}^2$ ) (16 de marzo al 31 de diciembre de 2019), evidenciando un aumento considerable del 3% durante el año de la pandemia.

**Table 2:** Concentraciones de CO, antes (16 de marzo al 31 de diciembre de 2019) y durante (16 de marzo al 31 de diciembre de 2020) la pandemia. Las concentraciones de CO se expresan como media  $\pm$  desviación estándar. El aumento o disminución en las concentraciones se muestra como porcentaje (%).

N	Cantones	CO 2019(mol/m <sup>2</sup> )	CO 2020(mol/m <sup>2</sup> )	Variación %
1	PUEBLOVIEJO	0,03610 $\pm$ 0,00048	0,03644 $\pm$ 0,00029	1,00%
2	BABA	0,03595 $\pm$ 0,00043	0,03672 $\pm$ 0,00035	2,10%
3	PALENQUE	0,03576 $\pm$ 0,00045	0,03668 $\pm$ 0,00035	2,60%
4	VINCES	0,03562 $\pm$ 0,00051	0,03674 $\pm$ 0,00029	3,10%
5	BABAHOYO	0,03545 $\pm$ 0,00076	0,03594 $\pm$ 0,00094	1,40%
6	MOCACHE	0,03516 $\pm$ 0,00036	0,03662 $\pm$ 0,00040	4,20%
7	URDANETA	0,03508 $\pm$ 0,00112	0,03565 $\pm$ 0,00089	1,60%
8	VENTANAS	0,03506 $\pm$ 0,00118	0,03592 $\pm$ 0,00075	2,40%
9	MONTALVO	0,03488 $\pm$ 0,00133	0,03499 $\pm$ 0,00111	0,30%
10	BUENA FE	0,03455 $\pm$ 0,00029	0,03553 $\pm$ 0,00039	2,80%
11	QUEVEDO	0,03442 $\pm$ 0,00044	0,03607 $\pm$ 0,00036	4,80%
12	QUINSALOMA	0,03409 $\pm$ 0,00062	0,03605 $\pm$ 0,00039	5,80%
13	VALENCIA	0,03391 $\pm$ 0,00109	0,03483 $\pm$ 0,00146	2,70%
Media	.....	0,03508 $\pm$ 0,00070	0,03601 $\pm$ 0,00061	3%

Al igual que las medias reportadas, las concentraciones máximas de monóxido de carbono (CO), para el año 2020 (16 de marzo al 31 de diciembre de 2020) fueron mayores a comparación del año 2019 (16 de marzo al 31 de diciembre de 2019), a excepción del cantón Ventanas, tal como se demuestra en la figura 6.



**Figure 6:** Concentraciones máximas de CO en la provincia de Los Ríos, antes (16 de marzo al 31 de diciembre de 2019) y durante (16 de marzo al 31 de diciembre de 2020) la pandemia de COVID-19.

Estos resultados demuestran que ni la pandemia de COVID-19 es capaz de frenar los niveles de monóxido de carbono (CO) en la provincia de Los Ríos, Ecuador, un comportamiento similar se observa en las emisiones diarias de otros gases contaminantes a nivel mundial, que disminuyeron en los primeros días de la pandemia a causa de la cuarentena para posteriormente aumentar (Parra, 2020). Estos aumentos pueden verse influenciados debido a que las medidas adoptadas por varios países sobre el aislamiento se flexibilizaron, provocando un incremento en el tráfico vehicular. Tal como lo establece la Organización de las Naciones Unidas, argumentando que la crisis generada por la pandemia de COVID-19 solo ha desencadenado la disminución de gases contaminantes a corto plazo (ONU, 2020).

## 4 Conclusiones

El presente estudio reveló la mejora en la calidad del aire debido a las disminuciones encontradas en las concentraciones de dióxido de nitrógeno durante la pandemia de COVID-19, sin embargo, la pandemia no tiene un aspecto positivo en las emisiones de monóxido de carbono en la provincia de Los Ríos, debido a que los niveles durante la pandemia fueron mayores en todos los cantones a comparación del año 2019. Estos resultados demuestran que las disminuciones de los gases contaminantes fueron momentáneos a consecuencia de la desaceleración económica del Ecuador, por tal motivo es indispensable fomentar la economía circular y la utilización de energías renovables, y así mejorar la calidad del aire a largo plazo.

## 5 Referencias bibliográficas

- Andino, M. A., Hidalgo, S. P., & Ladino, L. A. (2018). Comparación de los Niveles de Concentración de Ozono Troposférico y Dióxido de Nitrógeno en Ecuador y Otras Latitudes. *Bionatura*, 3(2).
- Bechle, M. J., Millet, D. B., & Marshall, J. D. (2013). Remote sensing of exposure to NO<sub>2</sub>: Satellite versus ground-based measurement in a large urban area. *Atmospheric Environment*, 69(2), 345–353.
- Chen, H., Guo, J., Wang, C., Luo, F., Yu, X., Zhang, W., Li, J., Zhao, D., Xu, D., Gong, Q., Liao, J., Yang, H., Hou, W., & Zhang, Y. (2020). Clinical characteristics and intrauterine vertical transmission potential of COVID-19 infection in nine pregnant women: a retrospective review of medical records. *The Lancet*, 395(10226), 809–815.
- Donkelaar, A., Martin, R. V., Brauer, M., Kahn, R., Levy, R., Verduzco, C., & Villeneuve, P. J. (2010). Global estimates of ambient fine particulate matter concentrations from satellite-based aerosol optical depth: Development and application. *Environmental Health Perspectives*, 118(6), 847–855.
- ESA. (2019). Copernicus Sentinel-5 Precursor operations change: improved spatial resolution. Sentinel Online.
- ESA. (2020a). European Space Agency. Sentinel-5p.
- ESA. (2020b). La contaminación del aire sigue siendo baja ya que los europeos se quedan en casa. THE EUROPEAN AGENCY.
- Galli, A., Butz, A., Scheepmaker, R. A., Hasekamp, O., Landgraf, J., Tol, P., Wunch, D., Deutscher, N. M., Toon, G. C., Wennberg, P. O., Griffith, D. W. T., & Aben, I. (2012). CH<sub>4</sub>, CO, and H<sub>2</sub>O spectroscopy for the Sentinel-5 Precursor mission: An assessment with the Total Carbon Column Observing Network measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, 5(6), 1387–1398.
- Gautam, S. (2020). The Influence of COVID-19 on Air Quality in India: A Boon or Inutile. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 104(6), 724–726.
- Gonzalez, Barragan, R. M., Luis, S., & Marisol, R. (2020). Influencia de las variables climáticas en el rendimiento de cultivos transitorios en la provincia Los Ríos, Ecuador. *Centro Agrícola*, 47(4), 54–64.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Remote Sensing of Environment Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 2016.
- Guerrero, S. (2020). Coronavirus en Ecuador: Una opinión desde la academia. *LA GRANJA: Revista de Ciencias de La Vida*, 32(2), 7.
- Hashim, B. M., Al-Naseri, S. K., Al-Maliki, A., & Al-Ansari, N. (2021). Impact of COVID-19 lockdown on NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> concentrations and assessing air quality changes in Baghdad, Iraq. *Science of the Total Environment*, 754(2), 141978.
- Kaplan, G., & Avdan, Z. (2020). COVID-19: Spaceborne Nitrogen Dioxide Over Turkey. *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A - Applied Sciences and Engineering*, 21(2), 251–255.
- Lipsitch, M., Swerdlow, D. L., & Finelli, L. (2020). Defining the Epidemiology of Covid-19 — Studies Needed. *New England Journal of Medicine*, 382(13), 1194–1196.
- Madkour, K. M. (2021). The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences Monitoring the impacts of COVID-19 pandemic on climate change and the environment on Egypt using Sentinel-5P Images, and the Carbon footprint methodology. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, xxxx.
- Nakada, L. Y. K., & Urban, R. C. (2020). COVID-19 pandemic: Impacts on the air quality during the partial lockdown in São Paulo state, Brazil. *Science of the Total Environment*, 730, 139087.
- Ogen, Y. (2020). Assessing nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-19) fatality. *Science of the Total Environment*, 726, 138605.

- Ogonaga, S., & Chiriboga, S. (2020). Descriptive Analysis of the Provinces and Cities Most Affected. *Revista Del Grupo de Investigación En Comunidad y Salud*, 5(Especial 1), 67–82.
- ONU. (2020). Las emisiones de CO2 rompen otro récord: un calentamiento global catastrófico amenaza el planeta. *Mirada Global Historias Humanas*.
- Pacheco, H., Díaz-López, S., Jarre, E., Pacheco, H., Méndez, W., & Zamora-Ledezma, E. (2020). NO2 levels after the COVID-19 lockdown in Ecuador: A trade-off between environment and human health. *Urban Climate*, 34(2), 100674.
- Scifo, P. (2020). Informe de COVID-19 en Ecuador. IPSOS.
- Sharma, S., Zhang, M., Anshika, Gao, J., Zhang, H., & Kota, S. H. (2020). Effect of restricted emissions during COVID-19 on air quality in India. *Science of the Total Environment*, 728, 138878.
- Téllez, J., Rodríguez, A., & Fajardo, Á. (2006). Carbon monoxide contamination: An environmental health problem. *Revista de Salud Publica*, 8(1), 108–117.
- Tobías, A., Carnerero, C., Reche, C., Massagué, J., Via, M., Minguillón, M. C., Alastuey, A., & Querol, X. (2020). Changes in air quality during the lockdown in Barcelona (Spain) one month into the SARS-CoV-2 epidemic. *Science of the Total Environment*, 726, 138540.
- Ubilla, C., & Yohannessen, K. (2017). Contaminación Atmosférica Efectos En La Salud Respiratoria En El Niño. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28(1), 111–118.
- Xia, Z., Guo, X., & Chen, R. (2020). Automatic extraction of aquaculture ponds based on Google Earth Engine. *Ocean and Coastal Management*, 198(March), 105348.
- Zalakeviciute, R., Vasquez, R., Bayas, D., Buenano, A., Mejia, D., Zegarra, R., Diaz, V., & Lamb, B. (2020). Drastic improvements in air quality in Ecuador during the COVID-19 outbreak. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(8), 1783–1792.
- Zheng, Z., Yang, Z., Wu, Z., & Marinello, F. (2019). Spatial variation of NO2 and its impact factors in China: An application of sentinel-5P products. *Remote Sensing*, 11(16), 1–24.