

Título: “Dinámica del impacto del uso del suelo en las emisiones de CO”

Yepes Maya, Diego ^a; Navas, Ana Laura ^b; Fabani, María Paula ^{b, c}; Rodríguez, Rosa ^b; Fernández-Maldonado, Viviana ^b.
^a NEST, Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Av. BPS 1303, Itajubá, Brazil
^b Instituto de Ingeniería Química, Grupo Vinculado al PROBIEN (CONICET-UNCo), FI – UNSJ, San Juan, Argentina.
^c Instituto de Biotecnología, FI - UNSJ, San Juan, Argentina.
^d Observatorio Amb. de San Juan; Secretaría de Am. y Desarrollo Sustentable; Gob. de la Prov. de San Juan, Argentina.
 diegoyepes@unifei.edu.br

Resumen

La calidad del aire es un tema de relevancia en la agenda mundial, siendo indicadores clave el monóxido de carbono (CO), los cuales representan peligros significativos para la salud y el ambiente. Por ello, es imperativo controlar y reducir periódicamente las concentraciones de contaminantes atmosféricos para mitigar sus consecuencias nocivas. En este sentido, la investigación tiene como objetivo determinar la distribución espacio-temporal de las emisiones de CO en Argentina de 2019 a 2021. Se utilizaron datos espaciales procedentes de la teledetección, datos geoespaciales ya existentes, sobre calidad del aire. Se empleó Offline stream de la columna total de CO del satélite TROPOMI (Tropospheric Monitoring Instrument) para extraer la mediana de las emisiones anuales (enero 2019 a diciembre 2021) y con Engine Code Editor, los mapas de parámetros de contaminación. Las imágenes fueron filtradas y procesadas con el software QGIS. La distribución espacio-temporal de CO en Argentina mostró que las concentraciones de CO fueron más altas en 2020, y similares en 2019 y 2021, siendo mayores en las regiones del noreste con vegetación densa y mayor densidad poblacional, mientras que las regiones del sur tienen incendios menos frecuentes y niveles más bajos de CO. Este análisis multitemporal ha proporcionado información valiosa sobre la dinámica de las emisiones de CO en Argentina, permitiendo sentar bases para formular estrategias ambientales sostenibles.

Palabras clave: contaminación atmosférica, datos de teledetección, gases de efecto invernadero, gestión ambiental.

INTRODUCCIÓN

La calidad del aire es un desafío global destacado en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, y en Argentina se ve agravado por el desarrollo económico, la urbanización, el consumo de energía y el crecimiento urbano rápido. El monóxido de carbono (CO) y otros contaminantes son preocupaciones significativas para la salud pública y el medio ambiente en el país (Tito et al. 2019).

El monóxido de carbono (CO), proveniente principalmente de la combustión incompleta de combustibles fósiles e incendios forestales, representa una seria preocupación para la salud pública debido a sus efectos nocivos (Gallardo et al. 2012). Estas emisiones también tienen un impacto significativo en el clima, contribuyendo a la formación de ozono y otros contaminantes atmosféricos que afectan el medio ambiente a nivel local y global (Yarragunta et al. 2020).

Los cambios en el uso y cobertura de la tierra son clave para entender las emisiones globales y la dinámica ambiental (Olorunfemi et al. 2020). En Argentina, comprender cómo estos cambios afectan las emisiones de CO es fundamental para una gestión ambiental sostenible en un país con diversos

ecosistemas y extensos paisajes agrícolas (Fernández Maldonado et al 2023).

OBJETIVOS

Este estudio tiene como objetivo investigar la dinámica multitemporal de la emisión de CO en Argentina, impulsadas por cambios en el uso y la cobertura del suelo, utilizando una metodología que integra técnicas de teledetección y modelización atmosférica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Argentina, ubicada entre las latitudes 22° y 56° sur en América del Sur, es un extenso país de 2,780,400 km². Su clima varía desde subtropical cálido en el norte hasta frío en el sur. Con una población de aproximadamente 45,9 millones en 2022, las principales fuentes de contaminación atmosférica son la energía, la agricultura, la silvicultura, el uso de la tierra, la industria y los residuos, destacándose las emisiones residenciales como significativas.

Se utilizaron datos satelitales y geoespaciales para analizar el uso y cobertura del suelo entre 2019 y 2021, empleando una unidad espacial uniforme de 1 km para muestrear 100 polígonos aleatorios por año. Los mapas de uso del suelo se obtuvieron del programa World Cover de la ESA, basados en datos de Sentinel-1 y

Sentinel-2. Se realizó estadísticas descriptivas para la distribución espaciotemporal del CO, junto con GLM gamma que consideraron la interacción entre distintas coberturas de uso de la tierra (LULC) y el área de cada polígono muestreado.

RESULTADOS

La concentración promedio de CO alcanzó su valor más alto en el año 2020, manteniéndose valores similares en 2019 y 2021. En cuanto a la distribución espacial del CO, los valores más altos se encontraron en el noreste argentino, coincidiendo con las zonas de mayor cobertura vegetal como la provincia fitogeográfica Parque Chaqueño con un elevado número de incendios por año (Figura 1).

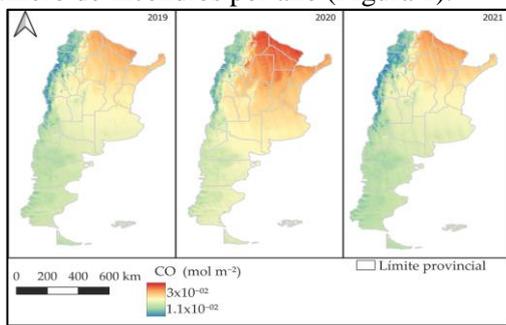


Figura 1. Mapas anuales de distribución de CO (mol m⁻²) para Argentina.

Las variables Antrópica y Climática explicaron el 92% de la variabilidad de las concentraciones de CO en la Cobertura Arbórea - Humedal Herbáceo. Para la cobertura Matorral-Pastizal, las variables antrópicas, climáticas y naturales explicaron el 96% de la variación en las concentraciones de CO (Tabla 2). En la cobertura de Rural-Urbano la variación en las concentraciones de CO se explicó por variables antrópicas, climáticas y naturales (50 % de la variabilidad). Finalmente, en la cobertura de vegetación escasa las variables extracción minera, índice urbano (UI), presión de vapor, velocidad del viento y DEM explicaron el 95,33% de la variación en la concentración de CO (Tabla 2).

Tabla 1. GLM (modelo mínimo adecuado) que explica la variación de la concentración de CO en función de indicadores antrópicos, climáticos y naturales en los diferentes LULC. Las estimaciones de los parámetros y su desviación estándar (\pm SE), los valores p de significancia (* = $p \leq 0,05$; ** = $p \leq 0,01$, * = $p \leq 0,001$).**

LULC	Predictor	Estimador \pm SE	p-valor
	Rutas nacionales	$-2,97 \times 10^{-09} \pm 1,49 \times 10^{-09}$	*

Arbórea-Humedal	Extracción minera	$-2,14 \times 10^{-09} \pm 2,81 \times 10^{-10}$	***
	Índice de sequía	$-1,50 \times 10^{-04} \pm 3,87 \times 10^{-05}$	***
	Presión	$6,98 \times 10^{-03} \pm 4,33 \times 10^{-04}$	***
Herbáceo	Temp. Max.	$1,16 \times 10^{-04} \pm 3,78 \times 10^{-05}$	**
	Velocidad del viento	$6,57 \times 10^{-04} \pm 9,16 \times 10^{-05}$	***
Matorral-Pastizal	Extracción minera	$-5,15 \times 10^{-10} \pm 1,90 \times 10^{-10}$	**
	Planta de energía	$-3,22 \times 10^{-09} \pm 1,39 \times 10^{-09}$	*
	Aeropuerto	$-1,30 \times 10^{-09} \pm 6,70 \times 10^{-10}$	*
	Presión	$5,96 \times 10^{-03} \pm 3,09 \times 10^{-04}$	***
	Temp. Max.	$1,52 \times 10^{-04} \pm 2,65 \times 10^{-05}$	***
	Velocidad del viento	$3,47 \times 10^{-04} \pm 5,40 \times 10^{-05}$	***
	DEM	$-1,82 \times 10^{-07} \pm 7,65 \times 10^{-08}$	*
Rural-Urbano	Humedad	$-2,95 \times 10^{-07} \pm 1,00 \times 10^{-07}$	**
	Rutas nacionales	$-2,81 \times 10^{-09} \pm 1,61 \times 10^{-09}$	*
	Extracción minera	$-1,11 \times 10^{-09} \pm 2,90 \times 10^{-10}$	***
Vegetación escasa	Presión	$5,68 \times 10^{-03} \pm 4,33 \times 10^{-04}$	***
	Temp. Max.	$1,63 \times 10^{-04} \pm 3,51 \times 10^{-05}$	***
	DEM	$-4,07 \times 10^{-07} \pm 1,56 \times 10^{-07}$	**
	NDVI	$-7,59 \times 10^{-04} \pm 4,04 \times 10^{-04}$	*
	Extracción minera	$-4,99 \times 10^{-10} \pm 2,19 \times 10^{-10}$	*
Vegetación escasa	IU	$8,61 \times 10^{-04} \pm 2,47 \times 10^{-04}$	***
	Presión	$6,68 \times 10^{-03} \pm 3,77 \times 10^{-04}$	***
	Velocidad del viento	$1,02 \times 10^{-04} \pm 4,80 \times 10^{-05}$	*
	DEM	$-3,77 \times 10^{-07} \pm 6,65 \times 10^{-08}$	***

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados del estudio indicaron que las emisiones de CO fueron más altas en 2020, a diferencia de la tendencia observada en otros países donde se reportó una disminución durante el confinamiento por la pandemia de COVID-19 (Muniraj et al. 2023). Esto se atribuye a que ciertas industrias esenciales mantuvieron o incrementaron su producción, contrarrestando las reducciones generales de otras actividades. La distribución espacial del CO, mostró valores más altos en el noreste argentino. Esto podría deberse a los incendios forestales (Bustamante et al. 2014). Además, la actividad humana como la agricultura, ganadería, industrial y el tráfico vehicular es más intensa en el norte de Argentina debido a que tiene una mayor densidad poblacional, lo que contribuye a mayores niveles de CO en el aire (Ginzo et al. 2015).

La proximidad a las extracciones mineras tiene un impacto notable en las concentraciones de CO, que aumentan a medida que la distancia disminuye, debido a las emisiones de compuestos orgánicos volátiles asociados con la extracción de petróleo crudo (Rajabi et al. 2020). La cercanía a las rutas principales en el noroeste de Argentina afectó las concentraciones de

CO en las coberturas de arbórea-humedal herbáceo y zonas de cultivo, aumentando conforme disminuía la distancia a las carreteras debido al intenso tráfico vehicular. Esta situación redujo la capacidad de la vegetación para absorber eficientemente el CO emitido por los vehículos. Además, la descomposición de materia orgánica en los humedales herbáceos contribuye significativamente a las emisiones de CO en estas áreas, tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas. La cercanía a centrales eléctricas y aeropuertos incrementó las concentraciones de CO en la cobertura de Matorral-Pastizal, sugiriendo que estas instalaciones emiten más CO del que las coberturas naturales pueden absorber.

En varias coberturas terrestres como tierras de cultivo, áreas urbanizadas, arbórea-humedal herbáceo y matorral-pastizal, las concentraciones de CO aumentaron con la temperatura ambiental máxima, la velocidad del viento y la presión de vapor, factores que intensifican las emisiones de CO en la atmósfera. En bosques muy secos, el índice de Palmer mostró una relación negativa con el CO, sugiriendo mayores emisiones durante condiciones de sequía. Además, las concentraciones de CO fueron influenciadas por la velocidad y dirección del viento, indicando su dispersión por la atmósfera, mientras que la altitud (DEM) afectó negativamente las concentraciones, siendo más altas en zonas bajas como valles y áreas urbanas cerca del nivel del mar en Argentina. La humedad de la vegetación influyó negativamente en las concentraciones de CO en matorrales y pastizales, mostrando que niveles más bajos de humedad se asociaron con mayores concentraciones de este gas. Además, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) afectó negativamente las concentraciones de CO en tierras de cultivo y áreas urbanizadas, indicando que áreas con una vegetación más densa presentaron niveles más bajos de CO.

El análisis multitemporal de las emisiones de CO en Argentina reveló concentraciones más altas en el noreste debido a vegetación densa y densidad poblacional, mientras que el sur mostró niveles más bajos debido a incendios menos frecuentes. Factores como la proximidad a minas, rutas principales y condiciones ambientales como la temperatura y el viento influyeron significativamente en los niveles de CO.

BIBLIOGRAFÍA

Bustamante, R. O.; Smith, K. G. Fire occurrence and satellite-derived fire frequency (1997–2009) in the Andean–Patagonian forests of Argentina. *International Journal of Wildland Fire* **2014**, *23*, 655–667.

Fernández Maldonado, V. N.; Gatica, G.; Cardús Monserrat, A. L.; Campos, V. E. Evaluación de los cambios en el uso y cobertura del suelo en una ciudad en desarrollo basado en imágenes satelitales. *Revista de Geografía* **2023**, *26*, 04–14.

Gallardo, L.; Escribano, J.; Dawidowski, L.; Rojas, N.; de Fátima Andrade, M.; Osses, M. Evaluation of vehicle emission inventories for carbon monoxide and nitrogen oxides for Bogotá, Buenos Aires, Santiago, and São Paulo. *Atmospheric Environment* **2012**, *47*, 12–19.

Ginzo, H. D. Emisiones de gases de efecto invernadero y mitigación en el sector de uso del suelo, cambio en el uso del suelo y silvicultura: economía del cambio climático en la Argentina. Serie Medio ambiente y desarrollo **2015**, *160*, 1–44.

Muniraj, K.; Panneerselvam, B.; Devaraj, S.; Jesudhas, C. J.; Sudalaimuthu, K. Evaluating the effectiveness of emissions reduction measures and ambient air quality variability through ground-based and Sentinel-5P observations under the auspices of COVID pandemic lockdown in Tamil Nadu, India. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* **2023**, *103*, 3109–3120.

Olorunfemi, I. E.; Fasinmirin, J. T.; Olufayo, A. A.; Komolafe, A. A. GIS and remote sensing-based analysis of the impacts of land use/land cover change (LULCC) on the environmental sustainability of Ekiti State, southwestern Nigeria. *Environment, development and sustainability* **2020**, *22*, 661–692.

Rajabi, H.; Mosleh, M. H.; Mandal, P.; Lea-Langton, A.; Sedighi, M. Emissions of volatile organic compounds from crude oil processing—Global emission inventory and environmental release. *Science of the Total Environment* **2020**, *727*, 138654.

Tito, A.; Messan, F.; Togbenou, K.; Bio Nigan, I.; Dosseh, K. Toxicological responses of Wistar rats exposed to controlled emissions of carbon monoxide and nitrogen dioxide. *WJRR* **2019**, *8*, 09–15.

Yarragunta, Y.; Srivastava, S.; Mitra, D.; Chandola, H. C. Influence of forest fire episodes on the distribution of gaseous air pollutants over Uttarakhand, India. *GIScience & Remote Sensing* **2020**, *57*, 190–206.