

REVISTA TIA

- Revista TIA - Tecnología, Investigación y Academia -
Publicación Facultad de Ingeniería y Red de Investigaciones de Tecnología Avanzada - RITA

Monitoreo de co usando sentinel-5p y gee: caso Cundinamarca en tiempos de covid-19

Autor (es): John. Gualteros, Diego. Hernández, Erika. Upegui

Citar:

Monitoreo de CO usando Sentinel-5p y gee: caso Cundinamarca en tiempos de covid-19 ¹

CO monitoring using Sentinel-5p and GEE: Cundinamarca case in Covid-19 times

John. Gualteros² ; Diego. Hernández³ Erika. Upegui ⁴

Resumen. Debido a la emergencia derivada por el Covid-19 y el confinamiento obligatorio decretado en Colombia el 25 de marzo de 2020, se presenta la oportunidad de revisar indicadores que están asociados a las enfermedades respiratorias en el país y evaluar si los aislamientos decretados por el gobierno nacional tuvieron alguna incidencia en la disminución de los mismos.

El objetivo de este estudio es revisar la variación en monóxido de carbono (CO) presente en el aire que respiraron los habitantes del departamento de Cundinamarca (Colombia) durante los primeros 6 meses de los años 2019 y 2020. El periodo de tiempo seleccionado corresponde a la emergencia por Covid-19 desde sus inicios hasta la reapertura de las actividades económicas, frente al mismo periodo del año 2019 con una industria trabajando a toda marcha.

Con los datos suministrados por el sensor Tropomi de Sentinel 5P – Nivel 2, se crearon imágenes mensuales de CO que fueron descargadas para el periodo de interés con la ayuda de Google Earth Engine. Posteriormente un análisis píxel a píxel fue realizada con la ayuda de Python. Finalmente, las imágenes de la variación de monóxido de carbono fueron representadas en el software QGIS.

Los resultados de este estudio, aunque muestran una variación importante específicamente en los meses de marzo y abril, dejan ver la necesidad de fortalecer la normatividad en temas de calidad del aire en un país cada vez más agobiado por la contaminación atmosférica.

Palabras clave. Monóxido de Carbono, Covid-19, Contaminación ambiental, Sentinel 5P, L2-CO, Tropomi, Google Earth Engine.

Abstract. Due to the emergency arising from Covid-19 and the mandatory confinement decreed in Colombia on March 25, 2020, there is an opportunity to review indicators that are associated with respiratory diseases in the country and assess whether the isolations decreed by the national government had any impact on the decrease thereof.

The objective of this study is to review the variation in carbon monoxide (CO) present in the air breathed by the inhabitants of the department of Cundinamarca (Colombia) during the first 6 months of 2019 and 2020.

The selected time period corresponds to the emergency by Covid-19 from its beginnings until the reopening of economic activities, compared to the same period of 2019 with an industry working at full throttle.

¹ Mesa temática Ciencias ambientales

² Estudiante Ingeniería Catastral y Geodesia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, jagualterosq@correo.udistrital.edu.co

³ Ingeniero Catastral y Geodesia, Matemáticas, Universidad Nacional de Colombia, dieahernandezcas@unal.edu.co

⁴ Doctorado en Geografía y Ordenamiento territorial, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, esupeguic@udistrital.edu.co.

With the data provided by Sentinel 5P – Level 2 Tropomi sensor, monthly CO images were created that were downloaded for the period of interest with the help of Google Earth Engine. Subsequently a pixel-by-pixel analysis was performed with the help of Python. Finally, images of carbon monoxide variation were represented in the QGIS software.

Results of this study, although they show a significant variation specifically in the months of March and April, show the need to strengthen regulation on air quality issues in a country increasingly burdened by air pollution.

Key Words. Carbon Monoxide, Covid-19, Environmental Pollution, Sentinel 5P, L2-CO, Tropomi, Google Earth Engine.

1. Introducción

De acuerdo al estudio ambient air pollution publicado por la Organización mundial de la salud en el año 2016, una de cada nueve (9) muertes estaba relacionada de manera directa con contaminación atmosférica. La situación se vuelve más compleja si se tiene en cuenta que para el continente Americano el mismo estudio (OMS, 2016) muestra que al asociar muertes por cantidad de ingresos, los países de medio y bajo poder en ese indicador son los que muestran cifras más altas en cantidad de fallecidos por enfermedades respiratorias (93.000) si se compara con países de la región con mayor fuerza económica (44.000). En terminos prácticos; los países con menos ingresos tienen 18 muertes por cada 100.000 habitantes y los países de alta capacidad de ingresos 7 muertes por cada 100.000 habitantes en enfermedades asociadas a contaminación atmosférica. Otro de los factores que hay que tener en cuenta para asociar los fallecimientos por calidad de aire es la calidad de vida de las personas. De acuerdo a estudios de la Organización Panamericana de la Salud, las condiciones de vulnerabilidad de las personas están directamente relacionados con riesgos a corto, mediano y largo plazo en temas de enfermedad respiratoria. Los riesgos y efectos en la salud no están distribuidos equitativamente en la población (Balakrishnan, 2014). Las personas con enfermedades previas, los niños menores de cinco años y los adultos entre 50 y 75 años de edad son los más afectados. (OPS, 2020)

En Colombia la calidad de aire es un tema de constante debate en todos los círculos académicos y políticos del país, de hecho bajo resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017 el Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible dictó las disposiciones por las cuales debe regularse la calidad del aire en el país estableciendo unos máximos de agentes contaminantes y a partir de la información recopilada de diversos análisis en las estaciones de monitoreo determinar si debe declararse algún tipo de alerta y cuáles son las medidas a tomar a fin de evitar llegar a niveles tóxicos que generen perjuicios en la vida diaria de los colombianos. En el país, los estudios de calidad del aire y monitoreo están a cargo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) que centraliza la información de todas las secretarías del país y realiza una evaluación constante. Según datos del Departamento Nacional de Planeación (DNP), esta entidad pudo determinar que para el año 2015 alrededor de 10.500 muertes del país tuvieron relación directa con enfermedades respiratorias y se pudo verificar más de 67,5 millones de síntomas y enfermedades con relación directa (IDEAM, 2020) esto es más del total de toda la población de nuestro país calculada por el DANE en 48.202.617 de personas. (DANE, 2016). Los costos ambientales asociados a la contaminación atmosférica en Colombia, durante los últimos años se incrementaron pasando de 1,1 % del PIB de 2009 (5,7 billones de pesos) a 1,59 % del PIB de 2014 (12 billones de pesos) y del 1,93 % del PIB en 2015 (15.4 billones de pesos) (IDEAM, 2020). De esta manera, en los últimos años uno de los temas de mayor activismo en la agenda nacional es la calidad del aire y su monitoreo permanente por todos los factores adversos a los que se ven enfrentados los ciudadanos de las grandes ciudades y poblaciones (IDEAM, 2015) cuyo diario vivir se volvió difícil por las insuficientes medidas para garantizar condiciones saludables en materia de aire en sus ciudades.

De otra parte, en enero de 2020 la OMS (Organización mundial de la salud) advirtió de un brote de neumonía sin fallecimientos en Wuhan - China. (OMS, 2020), inicialmente denominado Coronavirus y posteriormente

reconocido como COVID-19. Para mediados de enero se confirmó el primer caso del virus en Tailandia convirtiéndose en el primero fuera del país base (China) y con ello se prendieron las alarmas a lo que podría ser una expansión masiva por todo el continente asiático y posiblemente en todo el mundo. La expansión del virus fue tal que para febrero la cantidad de casos superaba con creces lo inicialmente calculado. En América Latina, el primer caso del nuevo coronavirus data del 26 de febrero de este año (BBC, OMS 2020) un hombre de 61 años proveniente de la región de Lombardía (Italia) se convirtió en el primer caso en la región. En el caso colombiano, el primer caso fue conocido el 6 de marzo por medio de un comunicado entregado por el ministerio de salud en el que se informó que una ciudadana proveniente de Italia dio positivo para la nueva enfermedad. En ese momento fueron activados todos los protocolos desarrollados por la entidad para garantizar el menor impacto de la enfermedad sobre la nación.

En el marco de la pandemia por Coronavirus, una de las primeras acciones para contener el virus fue el confinamiento. En Wuhan, lugar de origen del brote, el aislamiento fue impuesto desde el 23 de enero de 2020 a los 11 millones de habitantes de la capital de la provincia de Hubei. Esta medida ha sido replicada en varios países alrededor del mundo.

En medio de la dificultad generada por la rápida expansión de la pandemia por COVID-19, aparece una oportunidad de recuperación para el medio ambiente. A nivel internacional el gobierno mexicano fue uno de los primeros en adelantar estudios sobre el comportamiento de la calidad del aire en tiempos del coronavirus mediante su Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. La evaluación era más que necesaria pues México es a nivel mundial el país número 48 en el listado de países más contaminados (IQ Air, 2020). Uno de los argumentos para realizar tal afirmación es que del 1 de enero de 2020 al 3 de mayo de 2020 solamente en Ciudad de México se registraron 644 incendios forestales (Mendez, 2020), luego, aunque hubo restricción a la movilidad, los incendios de mayor intensidad contribuyeron a que los habitantes del DF respiraran aire de pésima calidad de acuerdo a las investigaciones.

En Europa, la agencia europea para el medio ambiente realizó un informe (EEA, 2020) el mes de marzo en el que relaciona directamente la mejora en las condiciones ambientales con las medidas drásticas tomadas por los gobiernos para combatir la pandemia, incluso habla de disminuciones de hasta el 50 % de material particulado debido a la reducción de tráfico y otras actividades de la industria de las principales ciudades del continente (EEA, 2020)

En Colombia, la Universidad Nacional de Colombia cuenta con un grupo de investigación dedicado de tiempo completo a temas de calidad del aire. En el trabajo de Mendez (2020) se planteó un análisis más profundo sobre la relación entre las muertes por una deficiente calidad del aire y las enfermedades respiratorias en 4 ciudades distintas del país. Una de las conclusiones más interesantes del estudio fue demostrar que el 95% de las visitas a los servicios de urgencias en las principales ciudades del país estaba relacionado directamente con la calidad del aire.

En lo que respecta al monóxido de carbono (CO), según Landgraf y su equipo (Landgraf et al., 2018) es un gas traza atmosférico importante y en ciertas áreas urbanas, es un importante contaminante atmosférico. Las mediciones de su abundancia global mejoran la comprensión de la troposfera química y transporte atmosférico de largo alcance. Las principales fuentes de CO son la combustión de combustibles fósiles, quema de biomasa y oxidación atmosférica de metano y otros hidrocarburos. Mientras que la combustión fósil de combustible es la principal fuente de CO en las latitudes medias del norte, la oxidación de isoprenos y biomasa, la quema juega un papel importante en los trópicos. Debido a la larga vida útil del metano (CH₄), su oxidación proporciona unos antecedentes casi uniformes sobre la distribución global de CO. El sumidero más importante de CO es su reacción con el radical hidroxilo OH. La vida útil del CO es de varias semanas a varios meses, lo que hace que el CO sea un buen marcador para estudiar procesos de transporte de largo alcance.

En el contexto anterior, este trabajo, realizado desde la academia, busca identificar el lado positivo de la emergencia mundial por el COVID-19; con un enfoque ingenieril en que se pone de evidencia que los temas ambientales que afectan de manera directa a toda la población también deben ser evaluados en situaciones de

emergencia. En Colombia el confinamiento fue impuesto desde el 25 de marzo de 2020, cuenta con algunas excepciones para la movilidad, pero aún no ha finalizado. Esta investigación busca responder la pregunta. ¿Ha mejorado la calidad del aire en el departamento de Cundinamarca desde que llegó la pandemia del covid 19 a Colombia, si se compara el periodo que ha durado la emergencia sanitaria con respecto al año anterior? Para esto se realiza un estudio multitemporal a través de la plataforma Google Earth Engine, usando las imágenes de TROPOMI del Sentinel-5 L2-CO para determinar la variación de monóxido de carbono (CO) en la atmósfera y el impacto de las cuarentenas decretadas por el gobierno nacional de la república de Colombia.

2. Materiales y Métodos

1.1. Zona de estudio

El Departamento de Cundinamarca (figura 1), es uno de los treinta y dos departamentos que, junto con Bogotá Distrito Capital (capital del país ubicada a 2600 msnm), componen el territorio de la República de Colombia. Se localiza en la región central de Colombia, y hace parte de la región Andina. Cuenta con una superficie 24.210 Km², lo que representa el 2.12 % del territorio nacional. De acuerdo Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE el Departamento de Cundinamarca cuenta con una población de 2.721.368 Habitantes (proyecciones para 2016), siendo el cuarto departamento más poblado. La densidad de población en Cundinamarca es de 120,29 hab/Km².



Figura 1 Localización de la zona de estudio

Fuente: Google Earth

De acuerdo con emcolombia.com los recursos naturales más sobresalientes del departamento son el carbón y la sal, principalmente en Zipaquirá, Nemocón y Tausa. También se cuenta con cal, hierro, azufre, esmeraldas, cuarzo, plomo, yeso, cobre y mármol. Los principales productos agrícolas son café, maíz, caña de azúcar, papa, cebada, trigo, yuca, algodón, arroz, frijón y frutas, el departamento es el primer productor de caña de azúcar panelera del país. La lechería se halla muy desarrollada especialmente en la Sabana de Bogotá y en el valle de Ubaté. En la ciudad capital y sus alrededores, se encuentra uno de los sectores más industrializados del país con industrias metalúrgica, farmacéutica, textil y grandes cultivos de flores de explotación. Algunas zonas sufren de alta contaminación ambiental como es el caso de las riberas del río Bogotá y aquellas de alta concentración industrial, como Soacha, Bosa y Zipaquirá.

En cuanto a los incendios forestales, en el año 2016, se identificaron 72.416 hectáreas (ha) de bosque afectadas por incendios asociados a deforestación (UNGRD, 2019), adicionalmente de acuerdo al registro histórico de incendios que se lleva en el país, el departamento de Cundinamarca presenta el porcentaje más alto de eventos a nivel Nacional entre 1921 y 2019, siendo los meses de enero a marzo donde su frecuencia es mayor.

2.2. Datos disponibles

El insumo principal de este estudio fueron imágenes Sentinel 5 capturadas con el sensor TROPOMI producto

nivel-2 CO “Monóxido de Carbono” (disponibles desde 2018 a través del centro de datos de Copernicus) de los periodos mensuales desde el 1 de enero del año 2020 hasta el 30 de junio de 2020 y el mismo periodo de tiempo del año 2019 (Figura 2), visualizadas sobre Google Earth Engine (GEE).

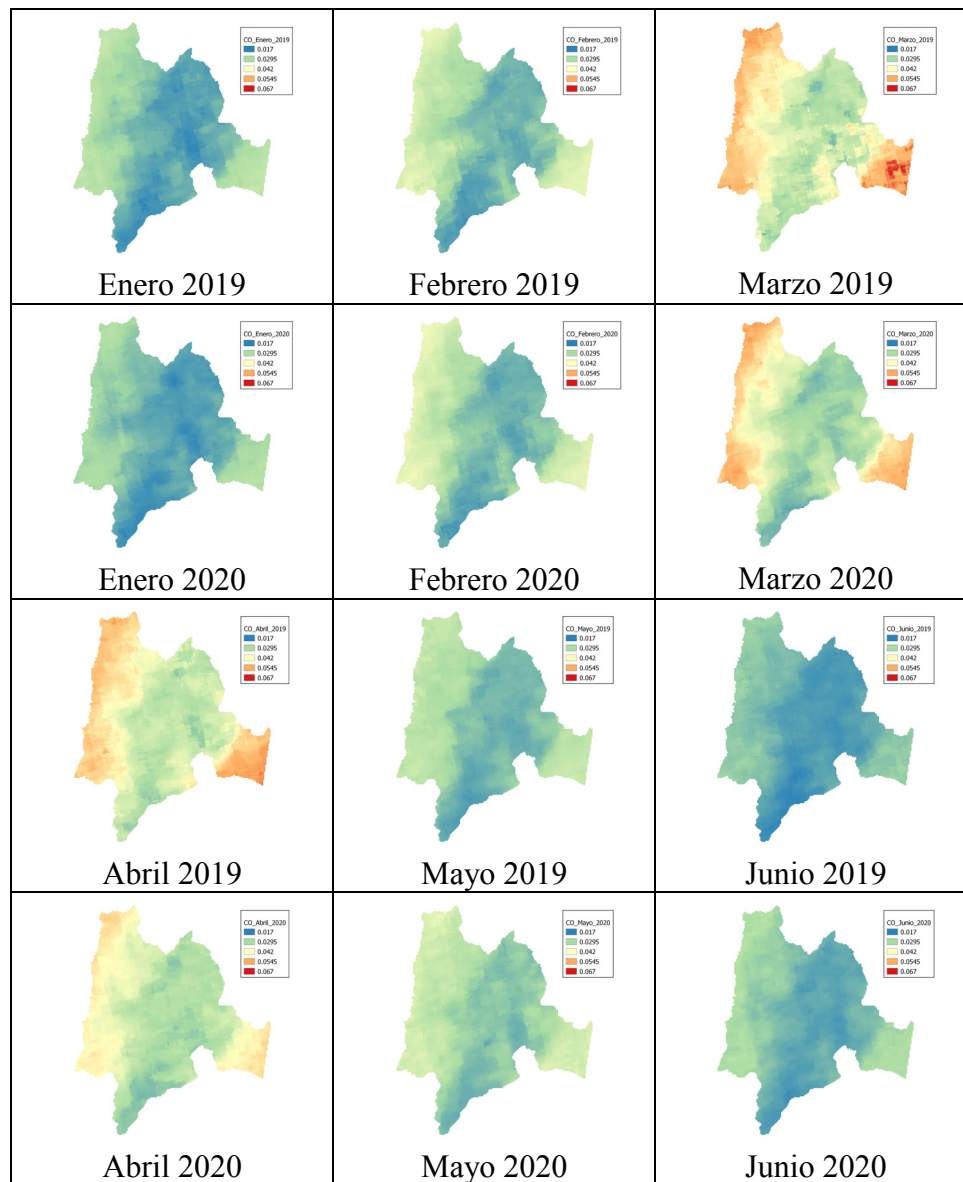


Figura 2 Imágenes mensuales de la zona de estudio de enero a junio de 2019 y 2020

El sensor principal de Sentinel 5 es capaz de detectar radiación ultravioleta (UV), radiación visible (VIS), infrarrojo cercano (NIR) y de longitud de onda corta (SWIR), con lo que es capaz de monitorizar gases como ozono, metano, formaldehído, aerosol, monóxido de carbono, NO₂ y SO₂ en la atmósfera (ESA-2020). En cuanto a de TROPOMI es proporcionar observaciones precisas y oportunas de especies atmosféricas clave, para servicios sobre la calidad del aire, el clima y la capa de ozono. Las observaciones globales diarias de TROPOMI se utilizarán para mejorar los pronósticos de calidad del aire, así como para monitorear las concentraciones de los componentes atmosféricos.

En cuanto a GEE, una de las grandes ventajas es su almacenamiento. La plataforma cuenta con petabytes de información en sus servidores que registran más de 30 años de datos del planeta, esto sirve para que investigaciones de gran impacto a nivel ambiental puedan trabajarse en pocos minutos pues el recurso máquina

pasa muchas veces a un segundo plano. Adicionalmente, plataforma en la nube que nace como una opción de desarrollo para investigadores y curiosos por el estudio de la tierra con el objeto de volver más amigable la visualización de nuestro planeta por medio de imágenes satelitales (Ramos López - 2020).

2.3. Metodología

El flujo metodológico se ilustra en la figura 3. Las imágenes de fueron descargadas y recortadas para la zona de interés, tanto para el año 2019 como para el 2020, en los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio. Los datos recuperados de monóxido de carbono corresponden a la columna vertical total de CO y las unidades se encuentran en mol*m⁻². Posteriormente se realizó el procesamiento de imágenes se realiza sobre Python con el fin de diagnosticar la variación en monóxido de carbono mes a mes y así determinar la variación planteada como objetivo. Este análisis se complementó con los datos estadísticos. Finalmente, la generación de las salidas gráficas se realiza en QGIS.

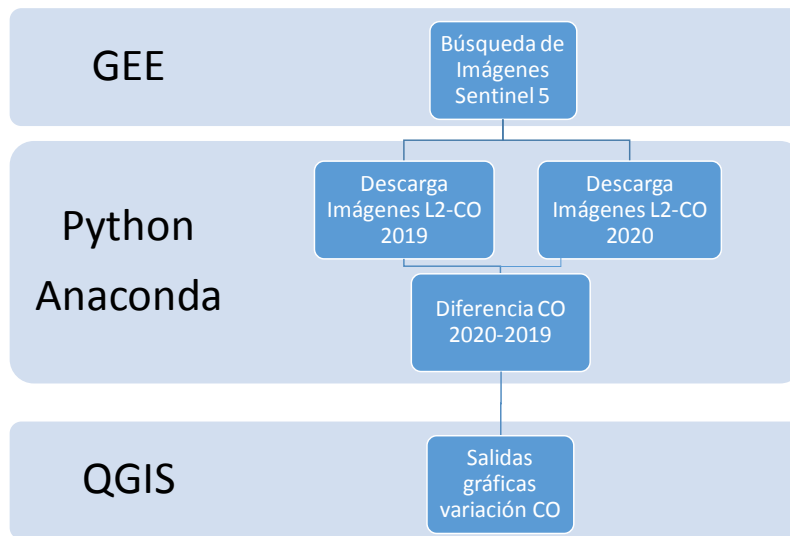


Figura 3 Flujo de trabajo

3. Resultados y análisis de resultados

En total doce imágenes fueron descargadas, seis para el año 2019 y seis para el año 2020 (Figura 2). Los datos estadísticos básicos de las imágenes se resumen la figura 4.

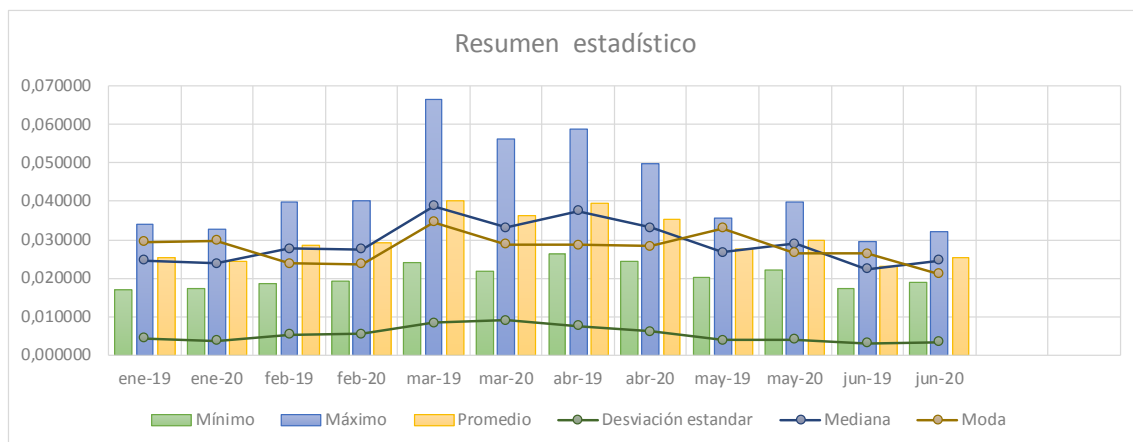


Figura 4 Resumen estadístico de las imágenes mensualizadas

La figura 4 muestra que los valores máximos se presentan entre los meses de marzo y abril tanto de años 2019 como de 2020, lo que también se evidencia en la figura 2, esto corresponde con la época de mayor frecuencia de incendios forestales del departamento. Mientras que el comportamiento de los meses de febrero y mayo es similar y los meses más bajos corresponde a enero y junio, los cuales corresponden con los periodos de vacaciones escolares, que generalmente conlleva a un gran número de empleados también en periodo vacacional.

En Colombia la cuarentena fue decretada el 23 de marzo de 2020 para iniciar dos días después en todo el país. Aunque después del primer caso detectado en el país el seis de marzo varios sectores empezaron disminuir su intensidad de trabajo, como el sector educativo que para mediados del mes iniciaba con opciones remotos. Unido a esto varias ciudades, entre ellas Bogotá, inicio un simulacro de aislamiento desde el 19 de marzo, el cual coincidió con el inicio de la medida de confinamiento obligatorio. Actualmente, esta medida ha sido extendida por octava ocasión consecutiva por el primer mandatario del país y se encuentra vigente hasta el 30 de agosto de 2020. Es por esto que se evidencian reducciones desde el mes de marzo de 2020. Igualmente es importante señalar que desde el 27 de abril de 2020 el Gobierno ha ido autorizando el retorno de la vida productiva para diversos sectores económicos (manufactura y construcción, entre otros) que hacen que hoy el confinamiento tenga 43 excepciones. Esto limita el periodo efectivo en que pueden verse las reducciones de las medidas de confinamiento a los meses de marzo y abril principalmente.

En cuanto a la variación de monóxido de carbono, seis imágenes se generaron, a saber, una por mes. (Figura 5).

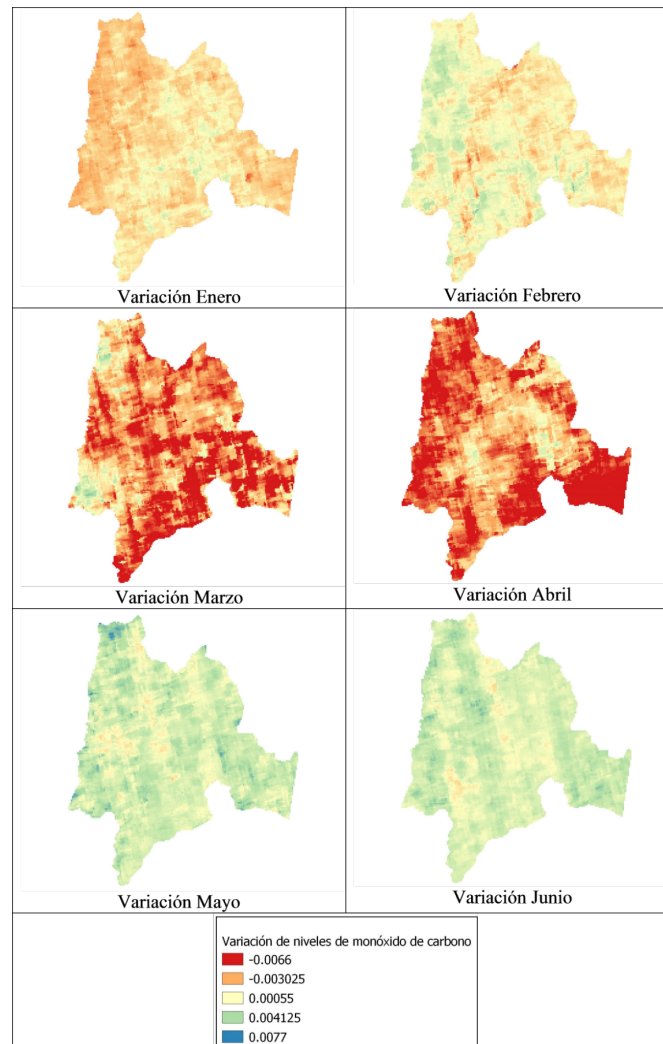


Figura 5 Imágenes de la variación de monóxido de carbono por cada mes analizado

Al analizar las imágenes de cambio en la figura 5, se evidencia que los meses de enero y febrero 2020 comparado con el año 2019 no se visualiza una variación significativa, la principal causa es que a la fecha no había conocimiento de casos de la pandemia Covid-19 en el país. Sin embargo, para los meses de marzo y abril, meses en que se decreta la cuarentena más fuerte en el país el cambio es notorio en todo el departamento, pues implica el cierre de actividades no esenciales y un confinamiento extremo a fin de evitar la propagación de la pandemia en el territorio nacional.

Periodo	Mínimo	Máximo
Enero	-20.83%	16.90%
Febrero	-26.42%	20.23%
Marzo	-67.35%	12.82%
Abril	-45.48%	10.65%
Mayo	-8.88%	21.21%
Junio	-5.56%	20.04%

Tabla 1. Porcentaje de cambio en los periodos analizados

Las variaciones porcentuales mes a mes se presentan en la tabla 1, allí se corrobora numéricamente que las mayores disminuciones se presentan en los meses marzo con una reducción de hasta el 67,35%, aunque se presentan algunos aumentos de hasta el 12,82%, seguido del mes de abril donde las reducciones son hasta del 45,48% localizados principalmente en la capital del país (figura 6), y con alguno aumento de hasta el 10.65%.

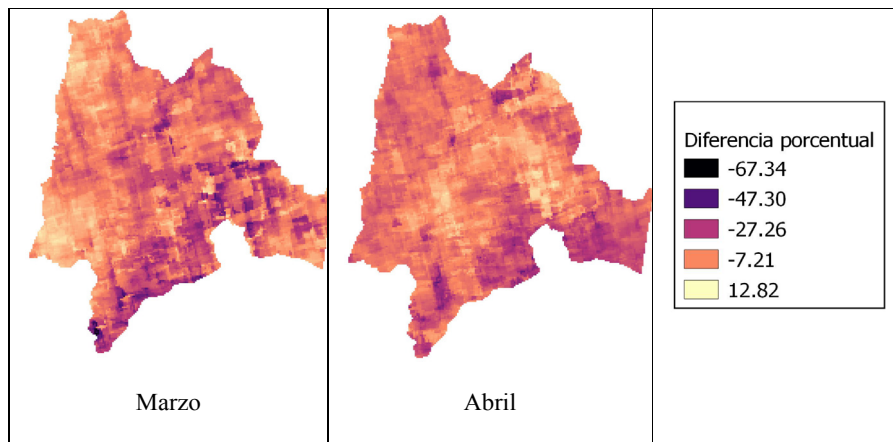


Figura 6 Imágenes de la variación porcentual de monóxido de carbono por los meses de marzo y abril

Para los meses de mayo y junio, donde el gobierno nacional ha ordenado una apertura gradual de los sectores económicos e industriales, nuevamente la presencia de monóxido de carbono es similar entre 2019 y 2020 y en algunas zonas las emisiones de 2020 son mayores a las 2019, debe aclararse que en este mes es donde empieza el aumento significativo de casos por Covid-19 en el país (figura 7).

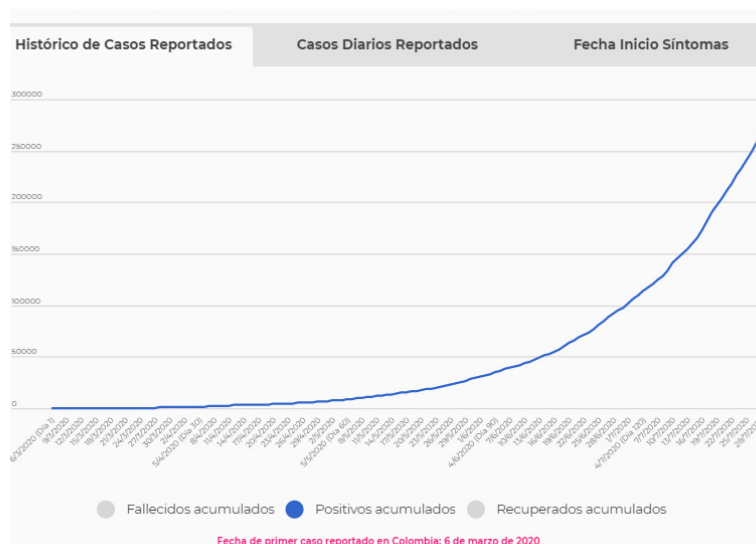


Figura 7 Curva de aumento de contagios en el país, desde el 6 de marzo hasta el 28 de julio de 2020

Fuente: Instituto Nacional de Salud de Colombia - <https://www.ins.gov.co/Noticias/Paginas/Coronavirus.aspx>

De otra parte, la figura 8 ilustra las diferencias de las medidas estadísticas de cada mes analizado y se evidencia que los valores mínimos, máximos, promedios, las medianas y la moda de los meses de marzo y abril disminuyeron de manera importante, lo cual está en concordancia con los efectos de las medidas restrictivas impuestas.

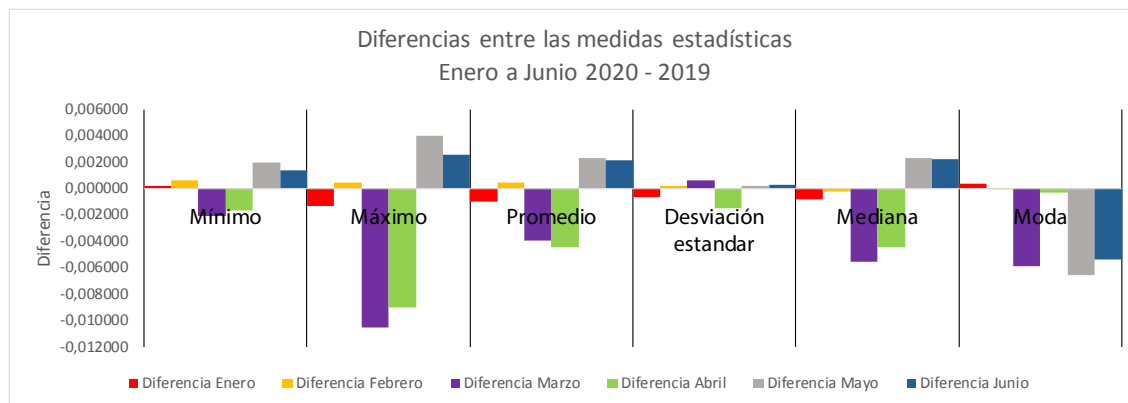


Figura 8 Resumen de la variación en las medidas estadísticas descriptivas de los seis periodos analizados.

En cuanto a trabajos relacionados, varios estudios se han centrado en la utilización de imágenes de TROPOMI en tiempo de covid-19 utilizando diferentes variables ambientales. La mayoría ha utilizado el Dióxido de nitrógeno como indicador y las reducciones de emisión son estimadas alrededor del 20% - 30% (Huang y Sun, 2020; Pacheco et al., 2020; Muhammad et al., 2020; Pei et al., 2020; Urrutia-Pereira et al., 2020); el trabajo de Lerato (Lerato et al., 2020) incluye además el dióxido de azufre como indicador; mientras que el trabajo de (Tobias et al, 2020) incluye además el ozono.

En cuanto a las emisiones de monóxido carbono, el estudio de Kondo-Nakada & Custodio-Urban (2020), encuentran disminuciones hasta del 68%, igualmente se observó una disminución de hasta 77% en las concentraciones de Óxido de Nitrógeno en vías urbanas, y del 54% en las concentraciones de Dióxido de nitrógeno en las mismas zonas. Al comparan los resultados obtenidos por Kondo-Nakada & Custodio-Urban (2020) y los obtenidos en este estudio, las reducciones de monóxido de carbono alcanzadas en el departamento de Cundinamarca son comparables por las alcanzadas en Sao Paulo (Brazil), ya que se disminuyó hasta el 68% en el

mes de marzo y hasta el% en el mes de abril, demostrando que el confinamiento permitió mejorar la calidad del aire en ese periodo de tiempo. No obstante, la reducción de los meses de mayo y junio son menores del 10%, pero el aumento de emisiones en el mismo periodo de tiempo supera el 20% lo que evidencia que la reactivación económica, a pesar de la cuarentena, ha aumentado la velocidad de la contaminación.

4. Conclusión

El uso de imágenes Sentinel 5 L2-CO permite a medición de monóxido de carbono de manera continua convirtiéndose en una herramienta de monitoreo continuo de variables de contaminación atmosférica. El uso de datos de acceso libre junto con herramientas también libres como la plataforma Google Earth Engine y los softwares de procesamiento de datos geoespaciales como Python y QGIS, se configuran en un paquete accesible a todo público para el análisis y monitoreo ambiental que hasta hace poco eran impensables, haciendo que la misión de Sentinel 5 tome gran importancia en cuanto a estudios medioambientales se refiere, pues se convierte en una herramienta capaz de determinar con gran acertividad los cambios generados en la atmósfera y establecer estrategias de cambio no solo a nivel institucional si no a nivel gubernamental.

En el caso del confinamiento debido al covid-19 en Colombia se evidencia una reducción de los niveles de monóxido de carbono en los meses de marzo (68%) y abril (45%), lo que coincide con la época de mayores restricciones en el aislamiento obligatorio, cosa que no ocurre con los meses mayo y junio donde el gobierno nacional ordena una reapertura gradual de las actividades no esenciales y con ello los agentes contaminantes nuevamente aumentan en la atmósfera alcanzando mayores emisiones hasta en un 20%, situación que debe estudiarse en próximas investigaciones para determinar con exactitud la relación entre patologías respiratorias por contaminación en la atmósfera y fallecimientos por Covid-19.

Referencias

Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., Heynen, M., 2004. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58(3), 239-258.

Gao, B. C., 1996. NDWI—a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257-266.

Guanyu Huang & Kang Sun, 2020, Non-negligible impacts of clean air regulations on the reduction of tropospheric NO₂ over East China during the COVID-19 pandemic observed by OMI and TROPOMI, *Science of The Total Environment*, Volume 745, 25 November 2020, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141023>, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720345526>

Hernandez, A., Guzmán, L., López, M. 2012 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del aire (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del aire. Colombia 8p.

Kondo-Nakada Liane Yuri, Custodio-Urban Rodrigo, COVID-19 pandemic: Impacts on the air quality during the partial lockdown in São Paulo state, Brazil, *Science of The Total Environment*, Volume 730, 15 August 2020, 139087, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139087>, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720326048>

Lerato Shikwambana, Paidamwoyo Mhangara, Nkanyiso Mbatha, 2020, Trend analysis and first time observations of sulphur dioxide and nitrogen dioxide in South Africa using TROPOMI/Sentinel-5 P data, 2020, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 91, September 2020, 102130, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102130>, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243419313571>

Pacheco Henry, Stephanie Díaz-López, Emilio Jarre, Henyerlin Pacheco, Williams Méndez, Ezequiel Zamora-Ledezma, 2020, NO₂ levels after the COVID-19 lockdown in Ecuador: A trade-off between environment and human health, *Urban Climate*, Volume 34, December 2020, 100674, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100674>

Pahlevan, N. 2017. Sentinel-2 MultiSpectral Instrument (MSI) data processing for aquatic science applications: Demonstrations and validation. *Science Direct*. 225-432.

Pei Zhipeng, Ge Han, Xin Ma, Hang Su, Wei Gong, 2020, Response of major air pollutants to COVID-19 lockdowns in China, *Science of The Total Environment*, Volume 743, 15 November 2020, 140879, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140879>, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720344089>

Pohl, C., Van Genderen, J. L., 1998. Review article multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. *International Journal of Remote Sensing*, 19(5), 823-854.

Rodríguez, L., Rojas, Y., Blanco, C., Herrera, V., Fernández J., 2018 Short-Term Effects of Air Pollution on Respiratory and Circulatory Morbidity in Colombia 2011–2014: A Multi-City, Time-Series Analysis *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15(8), 1610.

Sulaman Muhammad, Xingle Long, Muhammad Salman, 2020, COVID-19 pandemic and environmental pollution: A blessing in disguise? *Science of The Total Environment*, Volume 728, 1 August 2020, 138820, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138820>

Tobías Aurelio, Cristina Carnerero, Cristina Reche, Jordi Massagué, Marta Via, María Cruz Minguillón, Andrés Alastuey, Xavier Querol, 2020, Changes in air quality during the lockdown in Barcelona (Spain) one month into the SARS-CoV-2 epidemic, *Science of The Total Environment*, Volume 726, 15 July 2020, 138540, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138540>.

UNGRD, Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2019, “Lo que usted debe saber sobre incendios de cobertura vegetal”, Gobierno de Colombia.42p.

Urrutia-Pereira M., Mello-da-Silva C.A., Solé D., 2020, COVID-19 and air pollution: A dangerous association?, *Allergologia et Immunopathologia*, <https://doi.org/10.1016/j.aller.2020.05.004>

Sitios web

Landsberger, J. Citing Websites. In *Study Guides and Strategies*. Último acceso: 13 de Mayo, 2005, de <http://www.studygs.net/citation.htm>.

Mendez, V. Contaminación atmosférica y COVID-19 ¿Por qué la calidad del aire no mejoró en el valle de México. Último acceso: 31 de Julio, 2020, de <https://aida-americas.org/es/blog/contaminacion-atmosferica-y-covid-19-por-que-la-calidad-del-aire-no-mejoro-en-el-valle-de-mexico>

Bruyninckx, H. Air pollution goes down as Europe takes hard measure to combat coronavirus. Último acceso: 21 de Julio, 2020, de <https://www.eea.europa.eu/>

Zhou, F. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. Último acceso: 10 de Julio, 2020. De [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(20\)30566-3/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(20)30566-3/fulltext)

Actas de conferencias

Ranson K.J., Sun G., Kovacs K., Kharuk V.I., 2004 Landcover attributes from ICESat GLAS data in central Siberia. En: *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. Anchorage, EE.UU., 20-24 Septiembre. pp 753–756.

