

Análisis de las emisiones de NO₂ durante la Jornada Nacional de Sana Distancia mediante imágenes Sentinel-5P

Julio Víctor Sánchez Hernández, Fernando Pech-May, Fernando Vera-Priego,
David Salomón de la O Hidalgo, Luis Antonio López Gómez

Tecnológico Nacional de México Campus de los Ríos, Balancán, Tabasco
México

hjulio288@gmail.com, fernando.pech@cinvestav.mx, fverapriego@gmail.com,
d.delao@itsr.edu.mx, luisjezra@gmail.com

Resumen. La pandemia por COVID-19 ha afectado a millones de personas de todo el mundo. Distintos gobiernos han implementado medidas para reducir sus efectos. En México, se implementó la Jornada Nacional de Sana Distancia. Sin embargo, las medidas tomadas han ocasionado aspectos positivos y negativos en el medio ambiente y en la población tales como la reducción en las emisiones de dióxido de nitrógeno y los efectos económicos, respectivamente. En este artículo se analizan los niveles de dióxido de nitrógeno de los principales estados de la república mexicana utilizando imágenes satelitales multiespectrales obtenidas del satélite Sentinel-5P. Para evaluar la efectividad de la jornada nacional de sana distancia, se analizaron los niveles de emisión antes y durante las medidas tomadas por el gobierno.

Palabras clave: Sentinel-5P, JNS, GEE, NO₂.

Analysis of NO₂ Emissions during the National Day of Healthy Distance using Sentinel-5P images

Abstract. The COVID-19 pandemic has affected millions of people around the world. Different governments have implemented measures to reduce its effects. In Mexico, the National Day of Healthy Distance was implemented. However, the measures taken have caused positive and negative aspects for the environment and the population, such as the reduction in nitrogen dioxide emissions and the economic effects, respectively. This article analyzes the nitrogen dioxide levels of the main states of the Mexican Republic using multispectral satellite images obtained from the Sentinel-5P satellite. To evaluate the effectiveness of the national day of healthy distance, emission levels were analyzed before and during the measures taken by the government.

Keywords: Sentinel-5P, JNS, GEE, NO₂.

1. Introducción

El nuevo virus SARS-COV-2 comúnmente denominado COVID-19, se ha propagado con gran rapidez afectando a millones de personas en casi todo el mundo. Para contener la transmisión de este mortal virus, se han implementado medidas estrictas que van desde el cierre de ciudades y países, hasta el paro de actividades no esenciales. El resultado de estas medidas trajo consigo un aspecto positivo para el medio ambiente, como descenso de las emisiones de dióxido de nitrógeno (NO₂) en las principales ciudades del mundo.

El NO₂ es un gas más pesado que el aire y se toma de referencia para medir los niveles de polución entre las diversas sustancias contaminantes que emiten los vehículos e industrias [9]. Algunos países como China e India son considerados como los principales emisores de contaminantes en el mundo; sin embargo, esto ha cambiado desde la propagación del COVID-19 [8,10]. En México, se implementó la Jornada Nacional de Sana Distancia (JNSD) con el objetivo de contrarrestar posibles contagios entre los mexicanos. En México, se implementó la Jornada Nacional de Sana Distancia (JNSD) con el objetivo de contrarrestar posibles contagios entre los mexicanos.

En este artículo se presenta una evaluación de las emisiones de NO₂ en los principales estados de la República Mexicana mediante imágenes satelitales obtenidas del satélite Sentinel-5P, esta evaluación se realizó con fechas posteriores y dentro del marco de la JNSD.

2. Antecedentes

Dióxido de nitrógeno (NO₂). Es un gas corrosivo, penetrante y oxidante formado por la combinación de nitrógeno y oxígeno [1]. Se produce naturalmente por incendios forestales, erupciones volcánicas o la descomposición de nitratos orgánicos; el volumen total que se produce de forma natural de este gas es menor a la que se produce por acciones humanas [6]. La mayor parte de su origen es por la oxidación del monóxido de nitrógeno (NO), que se produce en la combustión de los motores de los vehículos; al entrar en contacto con la atmósfera se oxida y se convierte en NO₂ [6]. La exposición continua al NO₂ se relaciona con diversas enfermedades respiratorias como disminución de la capacidad pulmonar, asma, entre otras. Las personas con enfermedades respiratorias crónicas son vulnerables y susceptibles a sufrir severos problemas a causa de este gas. Algunos estudios apuntan que el incremento de NO₂ en las ciudades es uno de los factores de mortalidad [1,6].

Google Earth Engine (GEE). Es una plataforma online gratuita que trabaja con el lenguaje de programación JavaScript; pone a disposición una gran cantidad de imágenes satelitales, actuales e históricas e información completa sobre las misiones espaciales Landsat, Copernicus Sentinel, entre otros [5]. Posee capacidad de análisis a escala planetaria mediante algoritmos de aprendizaje automático para el monitoreo ambiental. Fue creado con la intención de monitorear y medir los cambios que sufre el medio ambiente, así como dirigir recursos

para actuar ante desastres naturales futuros y evitar degradaciones forestales. Ofrece la estructura computacional de Google para analizar todas las imágenes y, por otro lado, puede utilizarse para la medición, reporte y verificación de las iniciativas que buscan detener la deforestación en el planeta [2].

Sentinel-5P. Es el primer satélite del programa Copernicus encargada de monitorear la atmosfera terrestre a escala global; lleva a bordo un sensor denominado TROPOspheric Monitoring Instrument (TROPOMI) que mapea una multitud de gases traza como dióxido de nitrógeno y azufre, ozono, entre otros; los cuales afectan el aire que respiramos y, como consecuencia, nuestra salud y clima [3]. Es considerado una herramienta muy importante en el campo de la investigación, ya que contribuye a la obtención de datos atmosféricos homogéneos y precisos para su aplicación en diversas áreas. Tal es el caso de Muhammad *et al.*, [7] que presentan un estudio donde recopilaron datos ambientales del Sentinel-5P publicados por la NASA y ESA antes y después de las medidas de restricción a causa del COVID-19 en algunos epicentros como Wuhan, Italia, España y EE. UU.

3. Materiales y métodos

La metodología aplicada para esta investigación se dividió en cuatro etapas (ver Figura 1): 1) determinar las áreas de estudio; 2) determinar las series temporales; 3) adquirir las colecciones de imágenes Sentinel-5P; 4) procesar, calcular y representar la información obtenida del satélite.

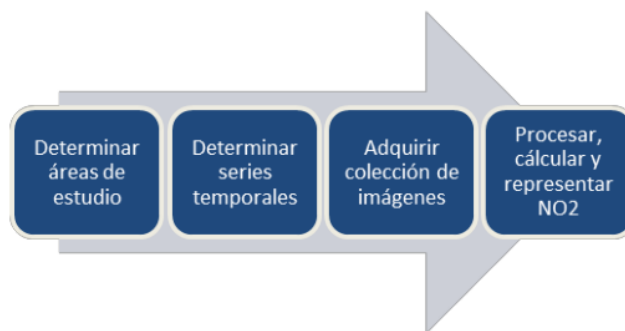


Fig. 1. Metodología propuesta para el análisis de emisiones de NO₂.

Áreas de estudio. Las áreas de estudios para esta investigación se escogieron con base a características que poseen en común cada uno de los estados; una de estas características es la presencia de industrias. Los estados elegidos como zonas de estudio fueron (ver Figura 2): 1) Ciudad de México, capital de la República Mexicana y centro político y económico del país. Su área metropolitana es la novena más poblada del mundo, y la más poblada de Norteamérica; 2) Jalisco,

es la cuarta entidad federativa más poblada de México y uno de los Estados más desarrollados en el país en cuanto a actividades económicas, comerciales y culturales; 3) Nuevo León, es uno de los estados con mejores estándares de vida, principalmente por las condiciones de seguridad pública, eventos culturales, hospitales e instituciones de salud, opciones de entretenimiento, ingreso per cápita, instituciones educativas y ubicación geográfica; 4) Puebla, uno de los estados más poblados del país por detrás del Estado de México, Veracruz, Jalisco y Ciudad de México, el mayor sector de la economía poblana es el de la industria manufacturera, que contempla la maquila, especialmente de productos textiles; 5) Tabasco, con gran riqueza en recursos naturales, además, ofrece una excelente oportunidad para emprender negocios en la entidad. La disponibilidad de su mano de obra y su cercanía con los principales puertos del país y centros de consumo, brindan una inmejorable oportunidad para invertir.



Fig. 2. Metodología propuesta para el análisis de emisiones de NO₂.

Series temporales. Para llevar a cabo la evaluación de las emisiones de NO₂ en las áreas de estudio, se establecieron dos series temporales. La primera temporada de estudio corresponde del 01 de enero al 22 de marzo de 2020, es decir, los días previos a la implementación de la JNSD; la segunda serie temporal corresponde a los días que se implementó la JNSD, del 23 de marzo al 30 de mayo de 2020.

Adquisición de imágenes. Los satélites Sentinel de la ESA recopilan gran variedad de imágenes y datos atmosféricos a escala global. Muchos de estos datos, que cubren un amplio período de tiempo, están disponibles para el público a través de diversas plataformas gratuitas como GEE. Se descargaron datos de las emisiones de NO₂ a través de la plataforma GEE. Los datos recopilados fueron filtrados con base a las series de tiempo establecidas y las zonas de estudios previamente seleccionadas. Para descargar los datos de NO₂ se utilizó la banda *NO₂_column_number_density* que se encuentra en el sensor TROPOMI del

Sentinel-5P; esta banda es la encargada de almacenar los datos relacionados con las emisiones totales de NO₂.

Procesamiento y cálculo del NO₂. Posterior a la selección y filtrado de la colección de imágenes, se calcularon los valores de las emisiones de NO₂. Las columnas de NO₂ se derivan del espectrómetro UVIS¹ de TROPOMI, medidas de radiación solar retro dispersadas en el rango de longitud de onda de 405–465 nm; usa un sistema de procesamiento que se basa en DOMINO² y QA4ECV. La base para el procesamiento es un sistema de modelado de recuperación - asimilación que utiliza un modelo tridimensional global de transporte químico TM5; la recuperación consiste en un procesamiento de 3 pasos [4]:

- Recuperación de la densidad de columna inclinada (SCD)³ a partir de los espectros de irradiancia.
- Separación de la densidad de columna inclinada en la parte estratosférica y troposférica sobre la base de información proveniente de un sistema de asimilación de datos.
- Conversión de la densidad de columna inclina estratosférica y troposférica en densidad.

4. Resultados

La implementación de la JNSD redujo las actividades de transporte, industrias, entre otras. Trajo consigo la reducción en el consumo de energía y una menor demanda de petróleo; estos cambios tuvieron un impacto positivo y significativo en la calidad del medio ambiente. A continuación, se presentan una serie de mapas y gráficas de las emisiones de NO₂ antes y durante la JNSD en los estados en estudio. Dichos datos fueron recolectados del satélite Sentinel-5P y procesados en la plataforma GEE.

4.1. Emisiones de NO₂ previo a la JNSD

En la secuencia de imágenes satelitales que se muestran a continuación se ilustran las emisiones de NO₂ previo a la implementación de la JNSD:

- La Figura 3 hace referencia a la CDMX. Se encontró una concentración media mínima de NO₂ de 0.0000994 Mol/M² y máxima de 0.000359 Mol/M²; el punto más denso de concentración fue en la zona norte del estado.
- La Figura 5 corresponde al estado de Nuevo León; se obtuvo una concentración media mínima de NO₂ de 0.0000460 Mol/M² y máxima de 0.000139 Mol/M²; el punto más denso de concentración fue en la capital del estado (Monterrey).

¹ UV Visible

² Algoritmo de recuperación de las columnas de NO₂

³ Proporciona la concentración a un determinado ángulo justo por encima del punto de observación, no proporciona la concentración total

- La Figura 4 corresponde al estado de Jalisco; presentó una concentración mínima media de 0.0000366 Mol/M² y máxima de 0.00008 Mol/M²; el punto más denso de emisiones fue en la ciudad de Guadalajara.
- La Figura 6 se refiere al estado de Tabasco; los valores medios mínimos (0.0000387 Mol/M²) y máximos (0.0000476 Mol/M²) de las emisiones de NO₂ en el estado.
- En la Figura 7 se muestran los valores medios de las emisiones de NO₂ en el estado de Puebla; tuvo un valor mínimo de 0.0000394 Mol/M² y máximo de 0.0000789 Mol/M².

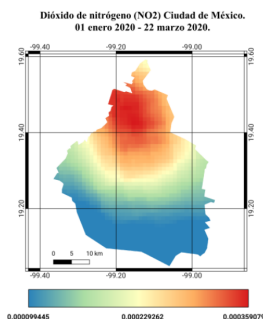


Fig. 3. Imagen satelital de las emisiones de NO₂ en CDMX.

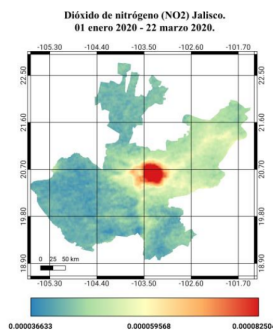


Fig. 4. Imagen satelital de las emisiones de NO₂ en Jalisco.

4.2. Emisiones de NO₂ durante la JNSD

A continuación, se presentan una serie de imágenes satelitales que ilustran las emisiones de NO₂ durante la implementación de la JNSD. En la Figura 8 se presentan los valores medios mínimos y máximos de las emisiones de NO₂ en la Ciudad de México, el valor mínimo corresponde a 0.0000788 Mol/M² y el máximo fue de 0.000178 Mol/M². En la Figura 9 se muestran las emisiones en el

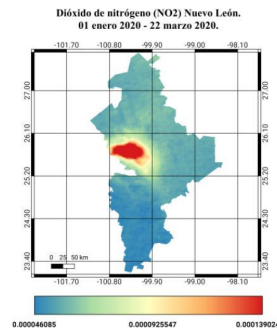


Fig. 5. Imagen satelital de las emisiones de NO2 en Nuevo León.

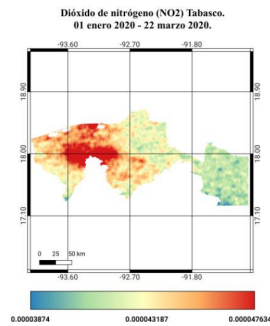


Fig. 6. Imagen satelital de las emisiones de NO2 en Tabasco.

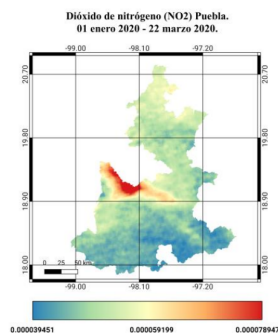


Fig. 7. Imagen satelital de las emisiones de NO2 en Puebla.

estado de Nuevo León, el valor medio mínimo de 0.0000481 Mol/M2 y un valor medio máximo de 0.0000882 Mol/M2. En la Figura 10 se muestran las emisiones registradas en el estado de Jalisco, con un valor medio mínimo de 0.0000366 Mol/M2 y un valor máximo de 0.0000825 Mol/M2. En la Figura 11 se muestran los valores medios mínimos y máximos de las emisiones de NO2 en el estado de Tabasco, los valores registrados fueron 0.0000521 Mol/M2 como mínima y

0.0000641 Mol/M2 como máxima. Finalmente, en la Figura 12 se muestran los registros obtenidos en el estado de Puebla, el valor medio mínimo obtenido fue de 0.0000493 Mol/M2 y el máximo registrado fue de 0.0000808 Mol/M2.

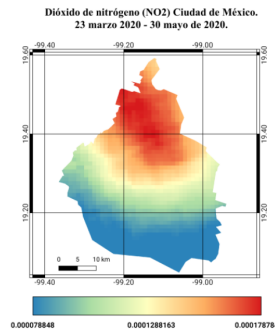


Fig. 8. Emisiones de NO₂ en CDMX durante la JNSD.

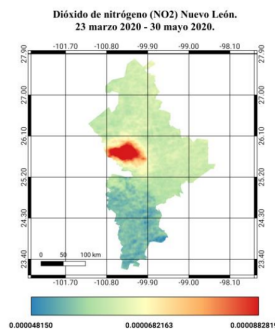


Fig. 9. Emisiones de NO₂ en Nuevo León durante la JNSD.

4.3. Variación de las emisiones de NO₂

A continuación, se presentan las gráficas comparativas de los valores medios mínimos y máximos previo y durante la implementación de la JNSD.

En la Figura 13 se presenta la gráfica de los valores medios mínimos por estado, se puede observar que la CDMX presentó un descenso significativo en las emisiones mínimas de NO₂, por otra parte, el estado de Jalisco mantuvo constante la emisión de NO₂ y el resto de los estados en estudio presentaron un incremento en los valores medios mínimos de emisiones de NO₂.

En la Figura 14 se muestra la gráfica comparativa de los valores medios máximos de NO₂ por estado, en ella se aprecia que la CDMX y Nuevo León tuvieron una baja en sus niveles máximos de emisión de NO₂; Jalisco y Puebla mantuvieron sus niveles máximos de emisión, por otro lado, Tabasco incrementó sus niveles máximos de emisión de NO₂.

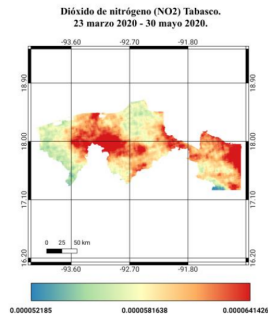


Fig. 10. Emisiones de NO₂ en Tabasco durante la JNSD.

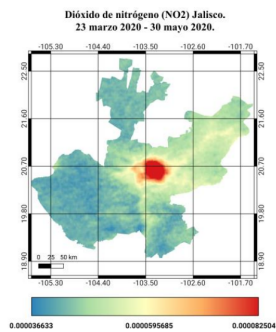


Fig. 11. Emisiones de NO₂ en Jalisco durante la JNSD.

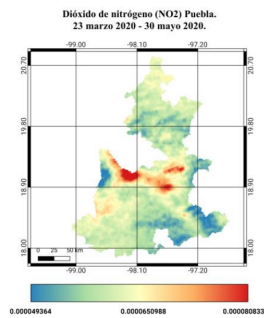


Fig. 12. Emisiones de NO₂ en Puebla durante la JNSD.

5. Conclusiones

SARS-CoV-2 es una grave pandemia que amenaza y afecta la salud pública y las actividades económicas de diferentes países del mundo. Sin embargo, trajo consigo un aspecto positivo para nuestro planeta, la reducción de la contaminación. Este impacto positivo en el medio ambiente puede ser temporal, pero los

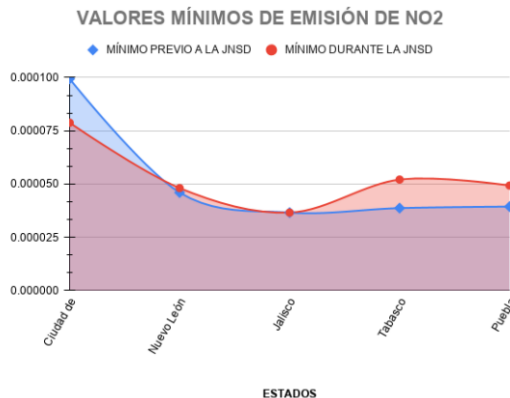


Fig. 13. Comparación de emisiones mínimas de NO2 por estado.

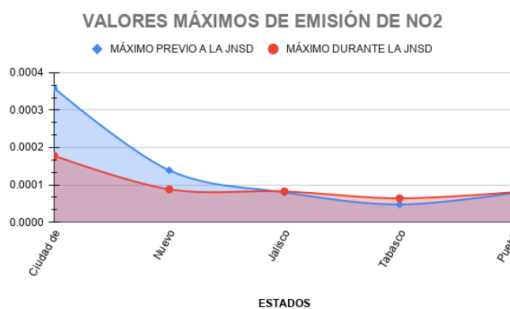


Fig. 14. Comparación de emisiones máximas de NO2 por estado.

gobiernos y las personas deberían aprender de estas medidas de mitigación para saber cómo reducir la contaminación a largo plazo.

El proyecto Sentinel-5P de la ESA, produce datos abiertos de alta resolución espacial, disponibles en línea y casi en tiempo real con el objetivo de monitorear la calidad del aire a escala local, nacional o global, un argumento aún más importante de la fiabilidad de estos datos es la cobertura global diaria, que proporciona una superficie continua de datos, mostrando la distribución espacial de diferentes contaminantes durante un tiempo específico. Sin embargo, existen algunas limitaciones en el uso de datos de Sentinel-5P, como la presencia de nubes y el número de observaciones por día, que no son suficientes para un monitoreo detallado, ya que los contaminantes pueden dispersarse fácilmente en la atmósfera.

Por otro lado, los resultados expuestos anteriormente demuestran el descenso de los niveles de NO2 en los estados de CDMX, Nuevo León y Jalisco, lo cual quiere decir que su población ha seguido las indicaciones del gobierno federal. Sin embargo, según los datos recabados los estados de Puebla y Tabasco

no mostraron cambios significativos en sus niveles de NO₂, lo que nos hace concluir que en estos estados no se siguieron las normas de sana distancia y como consecuencias los números de contagios han ido en aumento.

Referencias

1. Centro de Monitoreo de Calidad del Aire del Estado de Querétaro: Dióxido de nitrógeno (2017), <http://www.cemcaq.mx/contaminacion/bioxido-de-nitrogeno-no2>
2. Ruiz de Eguino, I.A.: Towards ndvi-based continuous monitoring for energy transport infrastructure maintenance (2018)
3. European Space Agency: Sentinel-5P (2017), <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p>
4. Forero Castro, D.D.: Metodología para la incorporación de datos del sensor tropomi del satélite sentinel 5-p al monitoreo de la calidad del aire en Bogotá D.C., <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/23649/ForeroCastroDiegoDaniel2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
5. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R.: Google earth engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment* 202, 18–27 (2017), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900>
6. Instituto para la Salud Geoambiental: Dióxido de nitrógeno no2 (2020), <https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-nitrogeno-no2>
7. Muhammad, S., Long, X., Salman, M.: COVID-19 pandemic and environmental pollution: A blessing in disguise? *Science of The Total Environment* 728, 138820 (2020), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720323378>
8. National Center for Biotechnology Information: Wuhan seafood market pneumonia virus isolate wuhan-hu-1, complete genome (2019), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/MN908947.2>
9. Valenzuela, A.: ¿Qué es el dióxido de nitrógeno? (2015), <https://www.rtve.es/noticias/20150118/dioxido-nitrogeno/1083180.shtml>
10. World Health Organization: Novel coronavirus (2019-ncov): situation report (2020), <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/330775/nCoVsitrep30Jan2020-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>