



## SIMPOSIO INTERNACIONAL INDUSTRIA Y ENERGIA

### Estudio preliminar de la calidad del aire de la ciudad de Santa Clara mediante tecnologías de avanzadas

#### *Preliminary study of the air quality of the Santa Clara city using advanced technologies*

Judit García Gonzalez<sup>1</sup>, Luis Orlando Pichardo Moya<sup>2</sup>

1- Judit García González. Citma VC, Cuba. juditgg@citmavcl.gob.cu:

2- Luis Orlando Pichardo Moya. Citma VC, Cuba. pichardo@citmavcl.gob.cu:

#### Resumen:

- **Problemática:** El monitoreo de la calidad del aire en los países subdesarrollados resulta complejo, costoso y poco viable. Sin estos datos resulta improbable implementar un sistema de evaluación y control de la calidad del aire para mitigar el crecimiento desmedido de la contaminación atmosférica.
- **Objetivo(s):** En este trabajo se propone el uso de las potencialidades que ofrece el Troposferic Monitoring Instrument (TROPOMI) a bordo del satélite Sentinel 5P de la serie Copernicus de la Agencia Espacial Europea para evaluar la calidad del aire de la ciudad de Santa Clara identificando varios elementos de la composición de la atmósfera desde el espacio como son: ozono, CO, SO<sub>2</sub>.
- **Metodología:** El instrumento opera en una configuración de barrido (sin escaneo), con un ancho de franja de ~ 2600 km en la superficie de la Tierra. La presentación de los resultados lo realiza mediante mapas y datos de concentración puntuales, areales y territoriales lo que permite identificar la dinámica y distribución geográfica de la contaminación.

1



**III Convención científica Internacional UCLV 2021**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**ESTUDIO PRELIMINAR DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE SANTA CLARA MEDIANTE**  
**TECNOLOGÍAS DE AVANZADAS**

- **Resultados y discusión:** Se obtuvo concentraciones anuales de monóxido de carbono de  $0.028032886 \text{ mol/m}^2$ , ozono con  $0.121398365 \text{ mol/m}^2$  y dióxido de azufre de  $1.39641\text{E}-07 \text{ mol/m}^2$ . Estos valores se encuentran dentro del rango de valores bajos y para el ozono valores medios.
- **Conclusiones:** Con este trabajo se logra aportar datos al inventario de contaminación atmosférica para el fortalecimiento de la gestión integral de la calidad del aire y apoyar las políticas enfocadas en reducir emisiones.

**Abstract:**

- **Background:** *Air quality monitoring in underdeveloped countries is complex, expensive, and not very viable. Without these data, it is unlikely implementa an air quality assessment and control system to mitigate the excessive growth of atmospheric pollution.*
- **Objective:** *In this work, the use of the potencial offered by Tropospheric Monitoring Instrument (TROPOMI) aboard the Sentinel 5P satellite of the European Space Agency, Copernicus series to evaluate the air quality of the Santa Clara city by identifying various elements of the composition of the atmosphere from space such as: ozone, SO<sub>2</sub>, CO.*
- **Methods:** *The instrument operates in a scanning configuration with a ~ 2600 km swath width on the earth's surface. The presentation of the results is done by means of maps and specific, areal and territorial concentration data, which allows to identify the dynamics and geographical distribution of the pollution.*
- **Results:** *Annual concentrations of carbon monoxide  $0.028032886 \text{ mol/m}^2$ , ozone  $0.121398365 \text{ mol/m}^2$  and sulfur dioxide  $1.39641\text{E}-07 \text{ mol/m}^2$  were obtained. These values are within the range of low values and for ozone average values.*



- **Conclusions:** *With this work it is possible to contribute data to the air pollution inventory to strengthen the comprehensive management of air quality and support policies focused on reducing emissions.*

**Palabras Clave:** Contaminación atmosférica; Calidad del aire; Emisiones gaseosas; Monóxido de carbono; Ozono; Dióxido de azufre.

**Keywords:** *atmospheric pollution, air quality, gaseous emissions, carbon monoxide, ozone, sulfur dioxide.*

## 1. Introducción

Dentro de las preocupaciones medioambientales del nuevo siglo, la contaminación del aire se encuentra en el quinto lugar con un 20%, después del cambio climático (53%), cantidad y calidad del agua (29 y 28%), deforestación (28%) y pérdida de la biodiversidad (23%) (Guadarrama, 2015). Los principales impactos de salud pública de la contaminación del aire incluyen tasas en aumento de mortandad, incremento de costos de cuidado de la salud, disminución de la productividad y reducción de la calidad de vida. Muchas enfermedades están asociadas con la contaminación del aire tales como: irritación, daño a las células, incremento en la incidencia de asma, alergias, severidad en el deterioro de la función pulmonar, fibrosis, oncogénesis. (Mihelcic y Zimmerman, 2011; Romero, Diego y Álvarez, 2006)

Los estudios relacionados con la contaminación atmosférica presentan tres niveles atendiendo a su escala espacial y temporal. El nivel global que responde a la escala planetaria con efectos temporales de prolongada manifestación como las emisiones de gases de efecto invernadero y el recalentamiento global. El nivel regional que responde a las características continentales o de grandes zonas rurales y marinas con manifestaciones



**III Convención científica Internacional UCLV 2021**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**ESTUDIO PRELIMINAR DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE SANTA CLARA MEDIANTE**  
**TECNOLOGÍAS DE AVANZADAS**

de efectos temporales de semanas y meses como son los procesos de acidificación de la atmósfera. Y por último el local relacionado con asentamientos urbanos o industriales con efectos inmediatos de la contaminación atmosférica sobre la salud humana o los ecosistemas. (Mihelcic y Zimmerman, 2011;)

Según Cuesta et al (2019) entre las causas fundamentales que generan los problemas de contaminación atmosférica en Cuba tenemos: errores de planificación territorial; uso de tecnologías obsoletas en industrias y el transporte; no existencia de tratamientos en las emisiones a la atmósfera y la deficiente educación ambiental e información a la comunidad.

En Cuba en el estudio de Cuesta et al (2010) se realizó una evaluación cualitativa de la calidad del aire de las principales ciudades del país. En este estudio la ciudad de Santa Clara resultó con categoría de deficiente entre otras 11 ciudades, así como con categoría de mala otras 5 y pésima se encuentran Mariel, Nuevitas, Moa, La Habana, Santiago de Cuba, Cienfuegos y Matanzas.

En la zona de estudio los principales contaminantes emitidos a la atmósfera son producto de las actividades generadoras de la energía, los procesos industriales y otras actividades económicas del territorio. Esos son Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>2</sub> y NO), Monóxido de Carbono (CO) y el Material Particulado menor o igual de 10 y 2,5 micrómetros (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>) y los Compuestos Orgánicos Volátiles diferentes del Metano (COVDM). (Cuesta et al, 2019).

Algunas consecuencias de la emisión de esos gases son: producción de lluvia ácida, destrucción de la capa de ozono, y un incremento del ozono troposférico. (Alfaro et al, 2021)

En los procesos industriales no debe restar importancia el sector de elaboración de productos alimenticios debido que en algunos países reporto las mayores concentraciones de los contaminantes. Por ejemplo en Costa Rica, un estudio de Alfaro et al, (2021) del



**III Convención científica Internacional UCLV 2021**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**ESTUDIO PRELIMINAR DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE SANTA CLARA MEDIANTE**  
**TECNOLOGÍAS DE AVANZADAS**

inventario preliminar de emisiones atmosférica reporto valores de 2622,14 tn/año, 3257,54 tn/año y 346,40 tn/año de NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, y PTS en el 2015 en este sector.

Cuesta et all (2019) plantea que las ciudades con los niveles de calidad del aire catalogadas de mala y pésima requieren de estudios integrales de calidad del aire. Estos estudios los realiza el ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente que opera una red de vigilancia local y regional muy deprimida.

El uso de las tecnologías de punta como los satélites en los estudios medioambientales se ha incrementado al nivel mundial. Como es el caso de Potencial del Instrumento de Monitoreo TROPOsférico (TROPOMI) a bordo del Precursor Sentinel-5 para el monitoreo de la fluorescencia de la clorofila terrestre (Guanter et all, 2015). Además se realizó una validación del instrumento TROPOMI para la radiación ultravioleta por más de 12 países en los que se encuentran Finlandia, Francia, Italia, Grecia, Estonia, Estados unidos, Bélgica, Holanda, España, Australia, Noruega, Israel y Argentina. (Lakkala et all, 2020)

En Cuba como en la mayoría de los países latinoamericanos se dificulta el monitoreo y evaluación de la calidad del aire en todas las ciudades del país debido a la falta de instrumentos con los estándares requeridos para dicha evaluación. La posibilidad del uso del Instrumento de Monitoreo TROPOsférico (TROPOMI) a bordo del Precursor Sentinel-5 para la evaluación de la calidad del aire nos ofrece los datos necesarios para lograr la gestión de la calidad del aire en la región.

En este trabajo se propone el uso de las potencialidades que ofrece el Troposferic Monitoring Instrument (TROPOMI) a bordo del satélite Sentinel 5P de la serie Copernicus de la Agencia Espacial Europea para evaluar la calidad del aire de la ciudad de Santa Clara identificando varios elementos de la composición de la atmósfera desde el espacio como son: ozono, CO, NO<sub>2</sub>.



## **2. Metodología**

El TROPOMI es un instrumento óptico para identificar varios elementos de la composición de la atmósfera desde el espacio. Se encuentra a bordo del satélite Sentinel 5P de la serie Copernicus de la Agencia Espacial Europea. El instrumento opera en una configuración de barrido (sin escaneo), con un ancho de franja de ~ 2600 km en la superficie de la Tierra cada 24 horas. La presentación de los resultados lo realiza mediante mapas y datos de concentración puntuales, areales y territoriales lo que permite identificar la dinámica y distribución geográfica de la contaminación.

Los datos se proporcionan en internet mediante la página es el <https://apps.sentinel-hub.com/> a los cuales hay que introducirle el contaminante que se desea determinar y la región a la cual se desean obtener los datos e imágenes, se selecciona la imagen de barrido de esa región que mejor se ajusta. Posteriormente para los datos puntuales se selecciona un punto de la región en que se desean los datos numéricos y las gráficas. Los datos numéricos se pueden guardar en un fichero \*.csv que se pueden exportar al Excel. Para los datos regionales se debe introducir el área que se desean tanto los datos numéricos, gráficas y mapas de distribución de la concentración.

## **3. Resultados y discusión**

En las figuras 1, 3 y 5 se muestran los valores de concentración obtenidos de monóxido de carbono (CO), ozono (O<sub>3</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) para la ciudad de Santa Clara respectivamente. La concentración mensual se refiere desde el 24 de abril hasta el 24 de mayo del 2021, y las concentraciones anuales van desde el 24/5/2020 hasta el 24/5/2021.

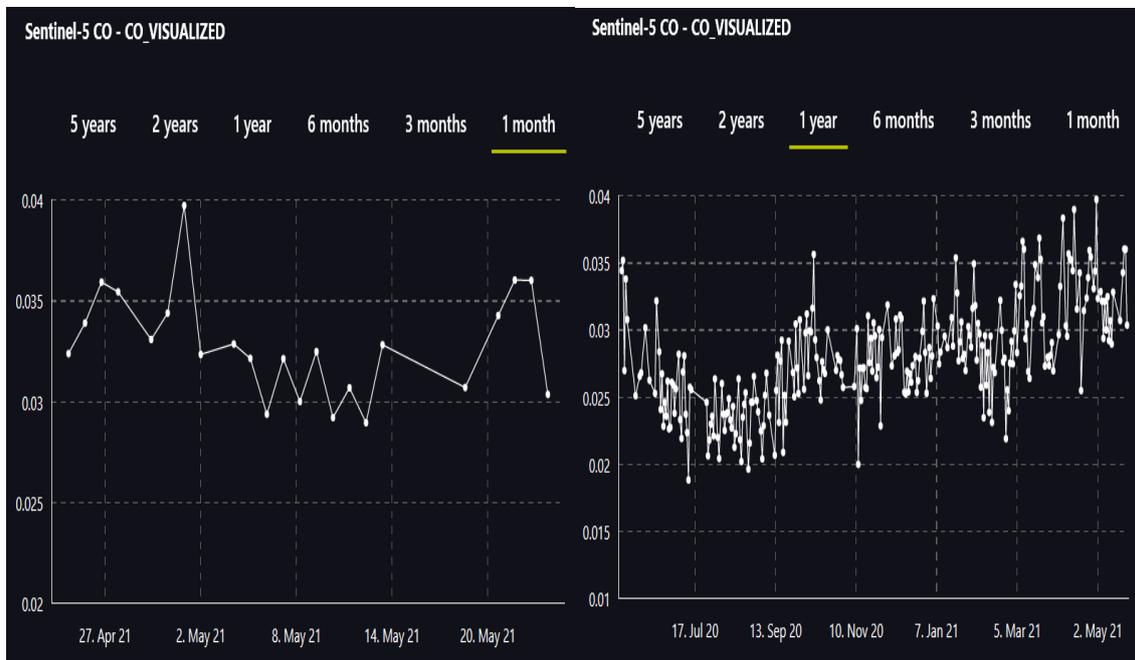
En el caso del monóxido de carbono (ver figura 1), el valor mensual promedio fue de 0.032844202 mol/m<sup>2</sup> oscilando entre un valor mínimo de 0.028963687 mol/m<sup>2</sup> y un valor máximo de 0.0397298 mol/m<sup>2</sup>. El valor anual promedio es de 0.028032886 mol/m<sup>2</sup>, el



**III Convención científica Internacional UCLV 2021**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**ESTUDIO PRELIMINAR DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE SANTA CLARA MEDIANTE**  
**TECNOLOGÍAS DE AVANZADAS**

mínimo es de 0.018835669 mol/m<sup>2</sup> y el máximo es de 0.0397298 mol/m<sup>2</sup>. El monóxido de carbono se produce por la combustión incompleta del combustible. Esto generalmente sucede debido a una cantidad insuficiente de aire para la cantidad de combustible. La causa de esta inadecuada proporción de aire-combustible puede ser un equipo mal operado o con poco mantenimiento, limitaciones en el flujo de aire o bajas temperaturas. Las fuentes principales de monóxido de carbono incluyen vehículos, plantas de energía. Las fuentes naturales (como los incendios de bosques) también pueden producir emisiones importantes. (Mihelcic y Zimmerman, 2011). En la ciudad de Santa Clara posee un inventario de vehículos, grupos electrógenos para la generación de electricidad y además se producen pequeños incendios durante la época seca y algunas malas prácticas de quema de caña en los campos alrededores de la ciudad.

En la figura 2 puede observarse la distribución espacial de la concentración de monóxido de carbono en la provincia de Villa Clara. El área que corresponde a la ciudad de Santa Clara tiene bajas concentraciones.





III Convención científica Internacional UCLV 2021  
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas  
ESTUDIO PRELIMINAR DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE SANTA CLARA MEDIANTE  
TECNOLOGÍAS DE AVANZADAS

Figura 1. Concentración de monóxido de carbono ( $\text{mol}/\text{m}^2$ ) mensual y anual en la ciudad de Santa Clara.

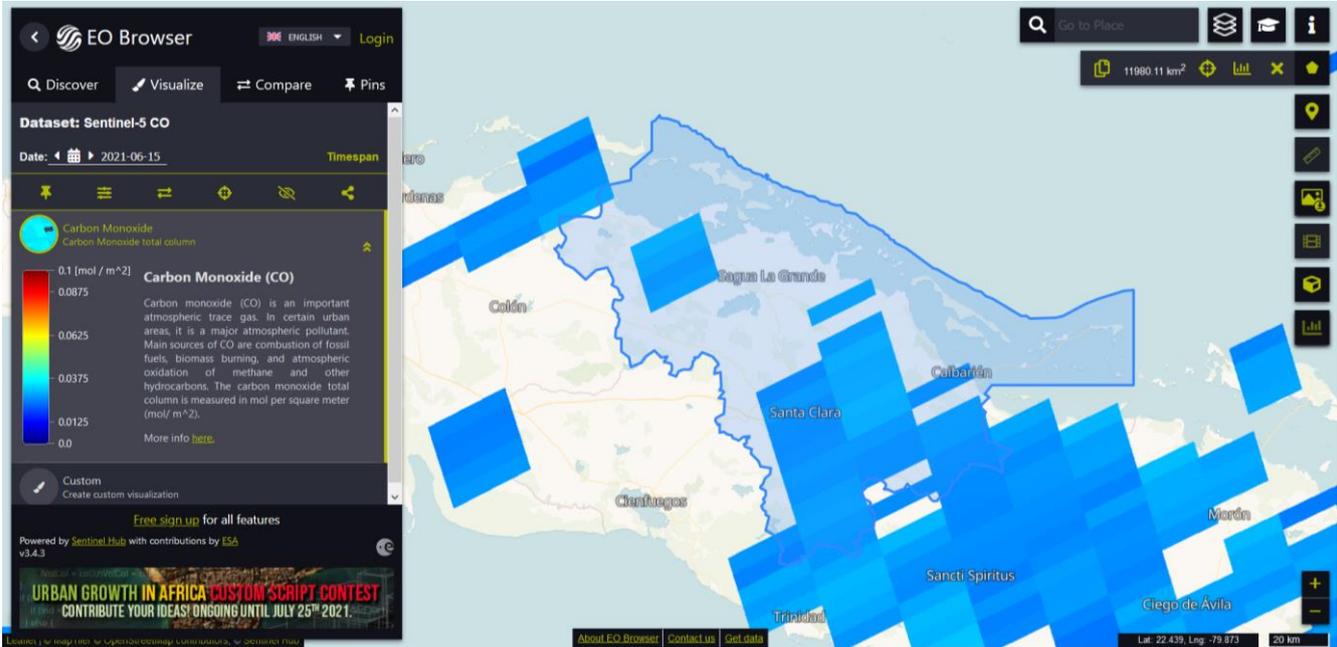


Figura 2. Distribución espacial de la concentración de monóxido de carbono en la provincia de Villa Clara.

El ozono mensual para la ciudad de Santa Clara oscila entre  $0.119572751 \text{ mol}/\text{m}^2$  y  $0.141035154 \text{ mol}/\text{m}^2$  con un valor medio de  $0.128321716 \text{ mol}/\text{m}^2$  y anual presenta una mayor variabilidad entre  $0.105241641 \text{ mol}/\text{m}^2$  y  $0.141035154 \text{ mol}/\text{m}^2$  con un valor medio de  $0.121398365 \text{ mol}/\text{m}^2$  (figura3). En la figura 4 puede observarse la distribución espacial de la concentración de ozono, la cual se corresponde con valores medio de concentración. El ozono no proviene de ninguna fuente directa, es creado por una compleja secuencia de reacciones químicas generadas por la luz del sol de hidrocarburos reactivos. Los hidrocarburos reactivos son una clase de compuestos en los que se incluyen muchos productos industriales, comerciales y personales (benceno, propano, compuestos de la gasolina y otros). Algunos de estos materiales escapan a la atmósfera accidentalmente y otros pueden ser liberados en pequeñas cantidades por medio de descargas autorizadas. Los óxidos nitrosos (notablemente el  $\text{NO}$  y el  $\text{NO}_2$ ) se producen al quemarse un



**III Convención científica Internacional UCLV 2021**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**ESTUDIO PRELIMINAR DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE SANTA CLARA MEDIANTE**  
**TECNOLOGÍAS DE AVANZADAS**

combustible con aire. Cuando estos compuestos están presentes en el aire y el sol se eleva, se inicia una secuencia de reacciones químicas y comienza la formación del ozono. El ozono también tiene un efecto perjudicial en los ecosistemas. Las plantas sensibles pueden ser dañadas por el ozono, haciéndolas mucho más susceptibles a enfermedades, insectos, tensiones climáticas y competitividad. Tal daño a las plantas produce ciertas ondas a través de la cadena alimentaria de los ecosistemas. Como no todas las plantas son similarmente sensibles al ozono, tal contaminación puede reducir la biodiversidad en un ecosistema. En los sistemas agrícolas, el ozono reduce el rendimiento de la cosecha y la productividad de los bosques. El impacto estético también es evidente, ya que el ozono daña la apariencia de la vegetación en los espacios verdes urbanos, los parques nacionales y las áreas de recreación. (Mihelcic y Zimmerman, 2011)

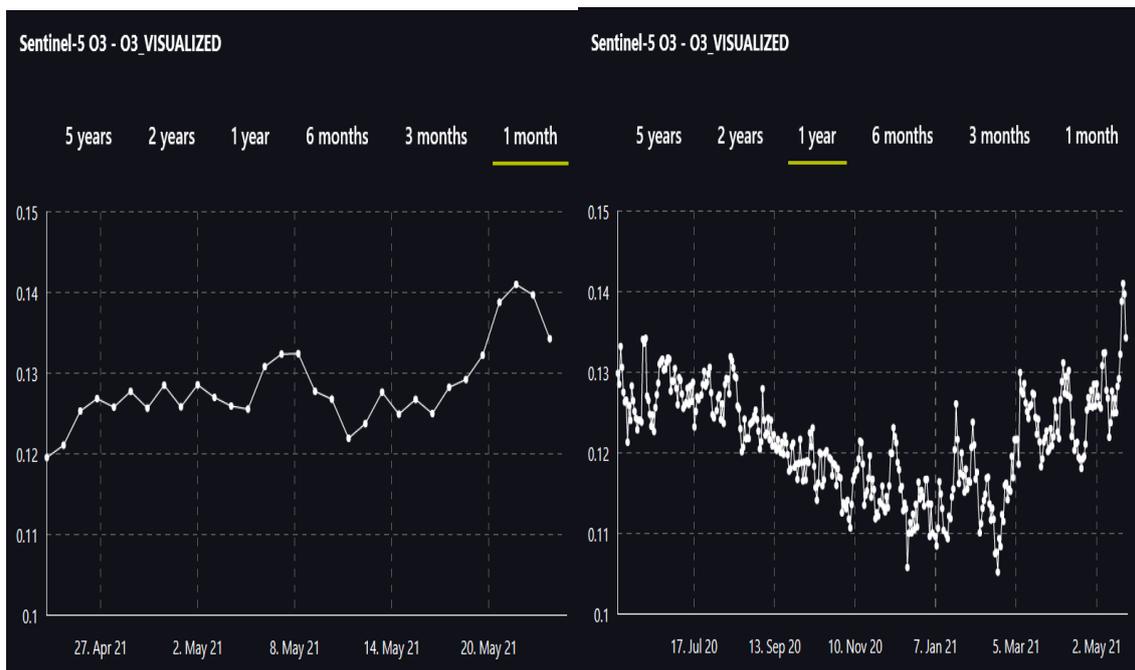


Figura 3. Concentración de ozono ( $\text{mol/m}^2$ ) mensual y anual en la ciudad de Santa Clara.



III Convención científica Internacional UCLV 2021  
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas  
ESTUDIO PRELIMINAR DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE SANTA CLARA MEDIANTE  
TECNOLOGÍAS DE AVANZADAS

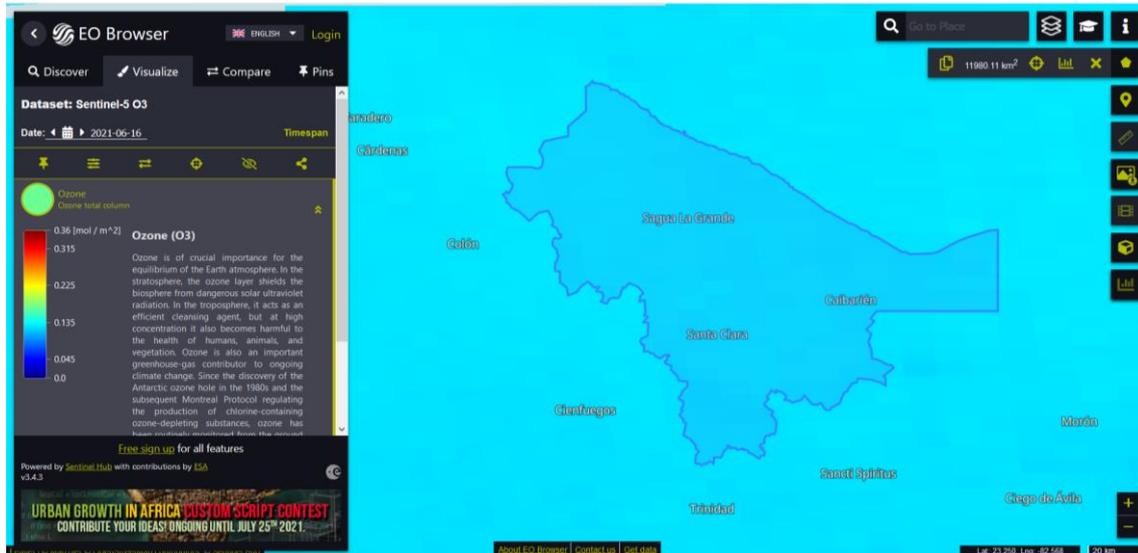


Figura 4. Distribución espacial de la concentración de ozono en la provincia de Villa Clara.

El dióxido de azufre tiene concentraciones mensual promedio de  $2.475E-05 \text{ mol/m}^2$  con valores máximo de  $0.000513454 \text{ mol/m}^2$  y valor mínimo de  $-0.000710455 \text{ mol/m}^2$  (figura 5). La concentración anual promedio es de  $1.39641E-07 \text{ mol/m}^2$  con valores máximo de  $0.001069371 \text{ mol/m}^2$  y valor mínimo  $-0.000884649 \text{ mol/m}^2$ . En la figura 6 se muestra la distribución espacial de la concentración de dióxido de azufre en la que puede observarse tonalidades que representan concentraciones muy bajas y zonas en la que no es detectable dicho contaminante.

El azufre está presente en muchas materias primas, incluyendo petróleo, carbón, aluminio, cobre y hierro. Cuando estos combustibles se queman o estos metales se extraen del mineral, el azufre puede oxidarse produciéndose diferentes gases de óxido de azufre. El más común de éstos es el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ). En el caso de la ciudad de Santa Clara estas fuentes serán los grupos electrógenos, el horno de fundición de la fábrica de Planta Mecánica, las fábricas de alimentos (panaderías, matadero, torrefactora de café), hospitales entre otros que presentan calderas.



III Convención científica Internacional UCLV 2021  
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas  
ESTUDIO PRELIMINAR DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE SANTA CLARA MEDIANTE  
TECNOLOGÍAS DE AVANZADAS



Figura 5. Concentración de dióxido de azufre ( $\text{mol}/\text{m}^2$ ) mensual y anual en la ciudad de Santa Clara.

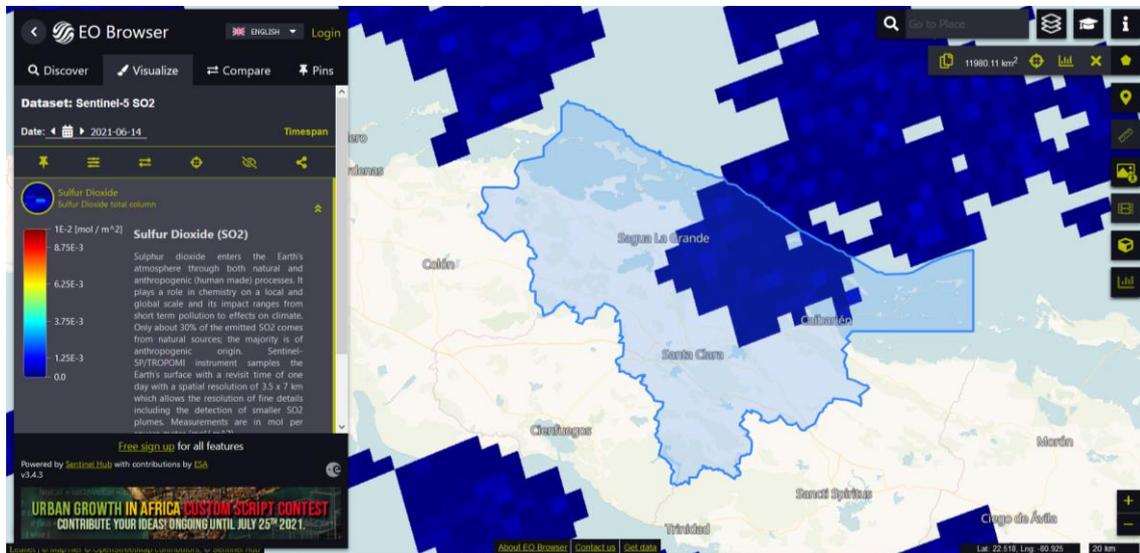


Figura 6. Distribución espacial de la concentración de dióxido de azufre en la provincia de Villa Clara.



Entre los contaminantes evaluados el ozono presenta una distribución de la concentración en valores medios, mientras que para el monóxido de carbono y el dióxido de azufre presenta distribución en bajas concentraciones. Estos resultados pudieran estar relacionados y corresponder con los resultados alcanzados por Cuesta et al (2010) donde la ciudad de Santa Clara resultó con categoría de deficiente. No obstante para ello deben calcularse los indicadores de calidad del aire y realizar la evaluación cualitativa.

#### **4. Conclusiones**

Mediante el uso de tecnologías avanzadas (TROPOMI) pudo evaluarse las concentraciones de varios contaminantes atmosféricos para la ciudad de Santa Clara. Se obtuvo concentraciones anuales de  $0.028032886 \text{ mol/m}^2$  de monóxido de carbono,  $0.121398365 \text{ mol/m}^2$  de ozono y  $1.39641\text{E-}07 \text{ mol/m}^2$  de dióxido de azufre. Las concentraciones de monóxido de carbono y dióxido de azufre se representan valores bajos mientras que la concentración de ozono está en valores medios.

Con este trabajo se logra aportar datos al inventario de contaminación atmosférica para el fortalecimiento de la gestión integral de la calidad del aire y apoyar las políticas enfocadas en reducir emisiones.

#### **5. Referencias bibliográficas**

- Alfaro-Alfaro D., Salas-Morelli L., Sánchez-Mejías B., Mora-Barrantes J., Sibaja-Brenes J. P., Borbón-Alpizar H. (2021). Preliminary inventory of atmospheric emissions (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and TSP) from different industrial sectors in Costa Rica. *Uniciencia* Vol. 35(2), pp. 1-13, July-December. DOI: <http://dx.doi.org/10.15359/ru.35-2.5>. E-ISSN: 2215-3470.
- Cuesta, O., Wallo, A., Montes de Oca, L., Pierra, A., Tricio, V. (2010): Calidad del aire en zonas urbanas de Cuba. CONAMA 11. Congreso de Medio Ambiente, España 2010. <http://www.conama10.es/web/index.php>



**III Convención científica Internacional UCLV 2021**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**ESTUDIO PRELIMINAR DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE SANTA CLARA MEDIANTE**  
**TECNOLOGÍAS DE AVANZADAS**

- Cuesta-Santos, O., González-Jaime, Y., Sosa-Pérez, C., López-Lee, R., Bolufé-Torres, J., Reyes-Hernández, F. (2019). La calidad del aire en La Habana. Actualidad. Revista Cubana de Meteorología, Vol. 25, No. 3, septiembre-diciembre, ISSN: 2664-0880.
- Guanter L., Aben I., Tol P., Krijger J. M., Hollstein A., Köhler P., Damm A., Joiner J., Frankenberg C., and Landgraf J. (2015). Potential of the TROPOspheric Monitoring Instrument (TROPOMI) onboard the Sentinel-5 Precursor for the monitoring of terrestrial chlorophyll fluorescence. *Atmos. Meas. Tech.*, 8, 1337–1352, 2015. [www.atmos-meas-tech.net/8/1337/2015/](http://www.atmos-meas-tech.net/8/1337/2015/). doi:10.5194/amt-8-1337-2015
- Lakkala, K., Kujanpää, J., Brogniez, C., Henriot, N., Arola, A., Aun, M., Auriol, F., Bais, A. F., Bernhard, G., De Bock, V., Catalfamo, M., Deroo, C., Diémoz, H., Egli, L., Forestier, J.-B., Fountoulakis, I., Garane, K., Garcia, R. D., Gröbner, J., Hassinen, S., Heikkilä, A., Henderson, S., Hülsen, G., Johnsen, B., Kalakoski, N., Karanikolas, A., Karppinen, T., Lamy, K., León-Luis, S. F., Lindfors, A. V., Metzger, J.-M., Minvielle, F., Muskatel, H. B., Portafaix, T., Redondas, A., Sanchez, R., Siani, A. M., Svendby, T., and Tamminen, J. (2020). Validation of the TROPOspheric Monitoring Instrument (TROPOMI) surface UV radiation product, *Atmos. Meas. Tech.*, 13, 6999–7024, <https://doi.org/10.5194/amt-13-6999-2020>
- Mihelcic, James R. y Zimmerman, Julie Beth. (2011). Ingeniería ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño. Primera edición: Alfaomega Grupo Editor, México. ISBN: 978-607-707-317-8
- Romero Placeres, M., Diego Olite, F. y Álvarez Toste, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Rev Cubana Hig Epidemiol*; 44(2).