

## INTRODUCCIÓN

La calidad del aire aparece hoy día como uno de los principales objetos de preocupación entre los distintos problemas ambientales que enfrentan en la Ciudad de México y su zona metropolitana. Es por este motivo que es de vital importancia contar con métodos eficientes de monitoreo para poder analizar espacial y temporalmente la emisión de estos gases.

## OBJETIVO

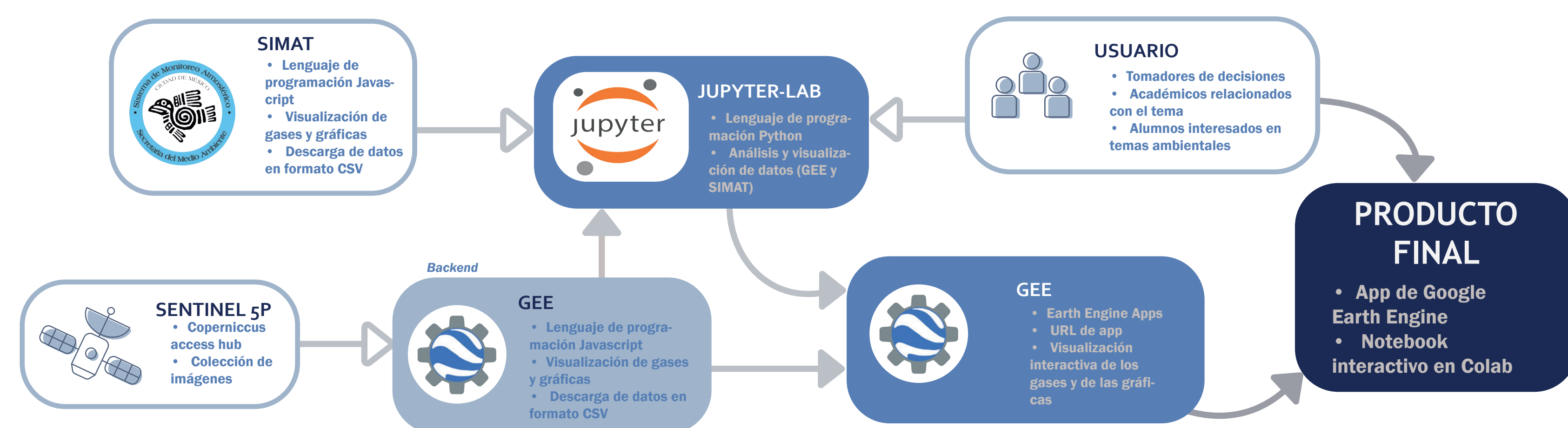
Estimar la concentración de los gases traza (NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) en la Zona metropolitana del Valle de México en el periodo 2019 - 2022 con el sensor TROPOMI del satélite Sentinel-5P mediante la plataforma Google Earth Engine, como una metodología para complementar los registros de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) y brindar una herramienta de consulta y visualización interactiva.

## METODOLOGÍA

**Metodología y herramientas:** Se recopilan y procesan datos satelitales del sensor TROPOMI desde GEE, así como mediciones locales de la RAMA, utilizando JupyterLab y Python. También, se emplean métodos estadísticos y visualización de datos para comparar y evaluar la consistencia y similitud entre las mediciones satelitales y locales, así como la validación de ambas fuentes de datos.

**Análisis espacio-temporal:** Se cartografían las concentraciones de cada uno de los gases mencionados, dividido en dos secciones: a) para los datos de la RAMA, se interpola con el método de Kriging; b) para los datos del sensor TROPOMI, se descarga la colección de imágenes en formato .geotiff desde GEE.

**Producto final y divulgación:** Se desarrolla una aplicación interactiva en GEE para explorar, extraer y visualizar las concentraciones de gases; así como, la creación de un libro interactivo en Colab, como un recurso para consultar, mejorar y reproducir los métodos y hallazgos presentados en este proyecto.



## RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados divididos en tres apartados:

### Distribución temporal

En las Figuras 1 y 2, se toma una muestra del NO<sub>2</sub>, para el 2022 tanto de los datos de TROPOMI como los datos de la RAMA. Se observan los pocos registros recabados de la RAMA (sólo 10 estaciones), en contraste con los datos satelitales que cubren todas las estaciones atmosféricas disponibles en la ZMVM (48 estaciones) para todos los meses del año. En relación a la comparación entre los datos de TROPOMI y la RAMA, se destaca que el NO<sub>2</sub> muestra una fuerte similitud en su comportamiento, a diferencia de los otros gases analizados (Figuras 3-6).

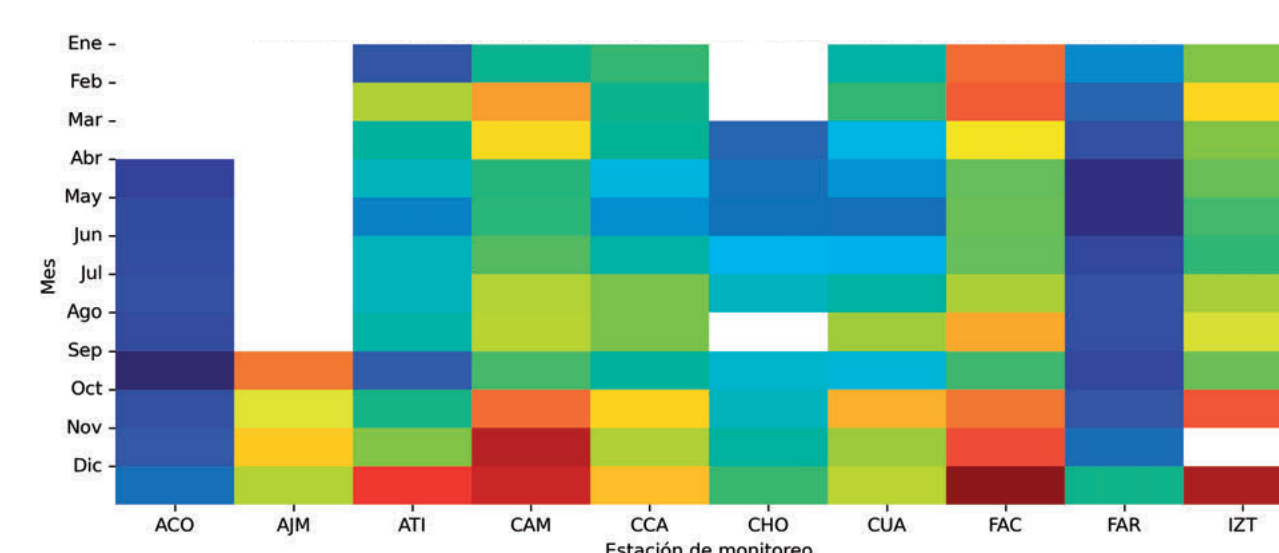


Figura 1. Concentración promedio mensual de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en 2022 (RAMA)

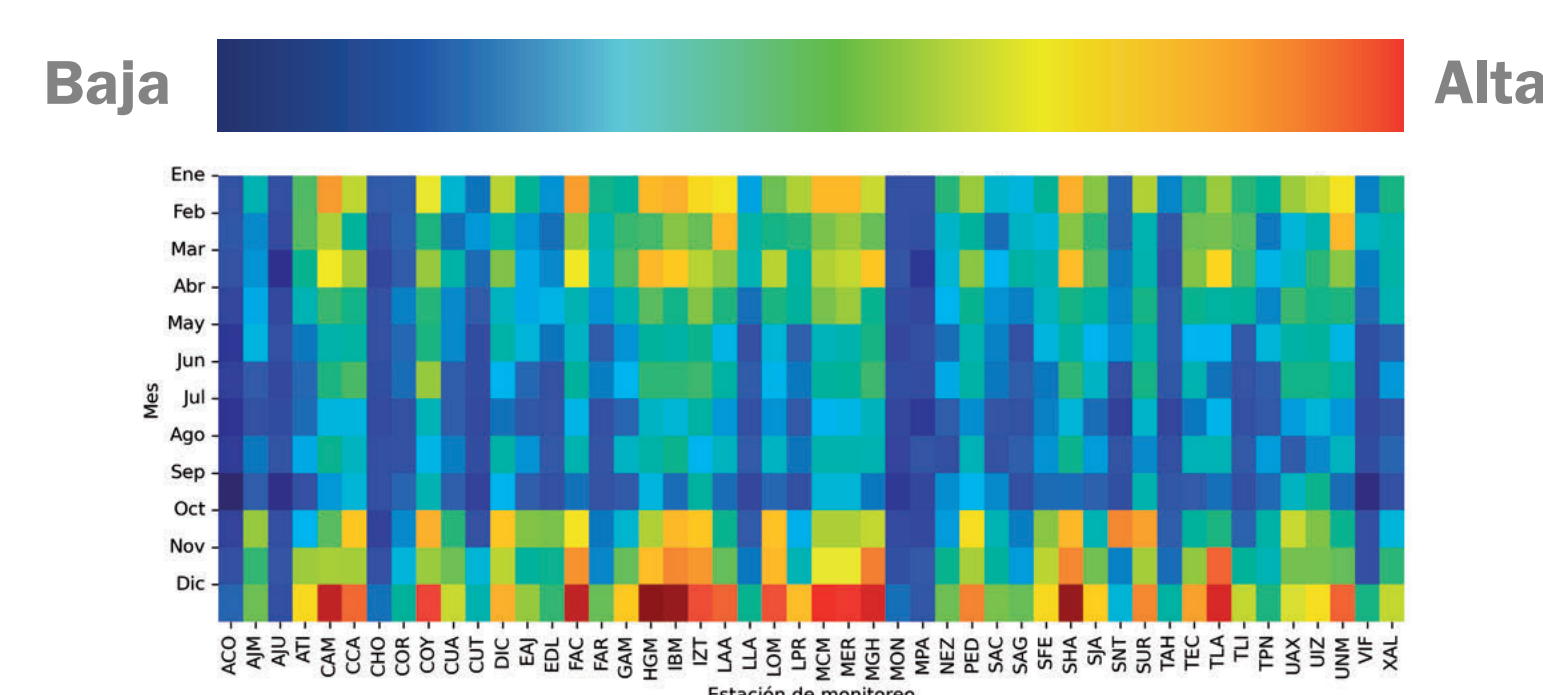


Figura 2. Concentración promedio mensual de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en 2022 (sensor TROPOMI)

### Distribución espacial

Al interpolar los datos de la RAMA mediante el método Kriging ordinario (Figura 7), demuestra que las estaciones de monitoreo resultan insuficientes para cubrir eficazmente la ZMVM, resaltando la importancia de la incorporación de datos satelitales para el monitoreo atmosférico. Asimismo, al observar las imágenes del sensor TROPOMI, hacen referencia a que las concentraciones de NO<sub>2</sub> se distribuyen en el centro de la Ciudad de México en las alcaldías Alvaro obregon, Coyoacán, Iztapalapa, Benito Juárez, Iztacalco, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Gustavo A. Madero y Azcapotzalco y municipios aledaños (Figura 8).

### Validación de datos

Para validar los datos del sensor TROPOMI y los datos de la RAMA, se aplicaron pruebas de correlación de Spearman. De acuerdo con la escala del grado de relación según el coeficiente de correlación mostrado, se obtuvo una correlación positiva considerable para el NO<sub>2</sub>, mientras que para los demás gases traza tienen una correlación positiva media.

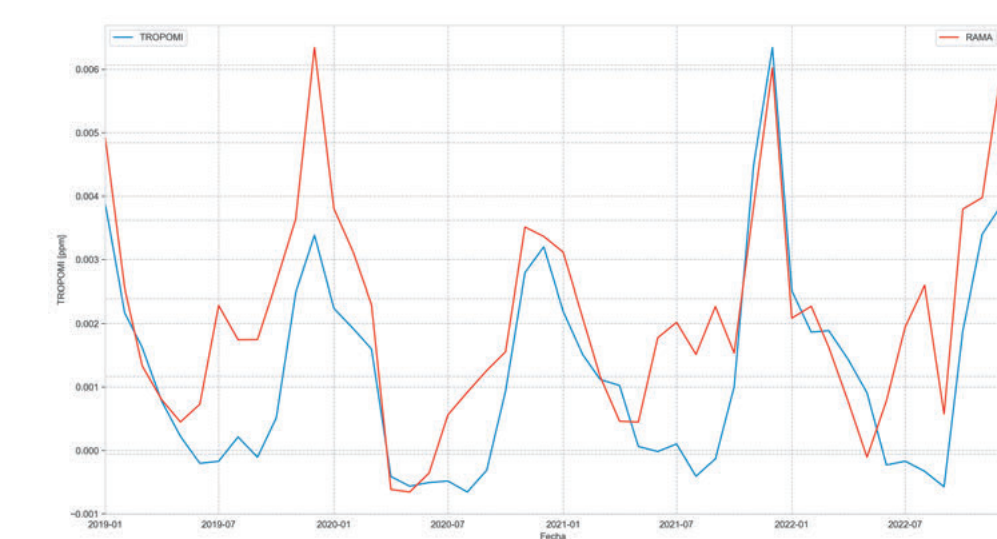


Figura 3. Comparación de la concentración del dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) entre los datos de TROPOMI y la RAMA en el periodo 2019-2022

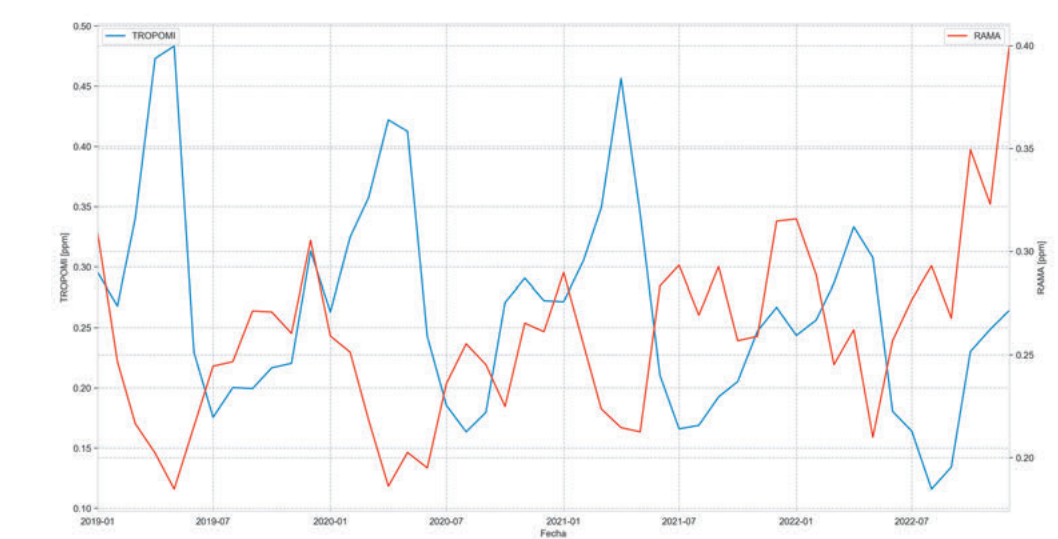


Figura 4. Comparación de la concentración del monóxido de carbono (CO) entre los datos de TROPOMI y la RAMA en el periodo 2019-2022

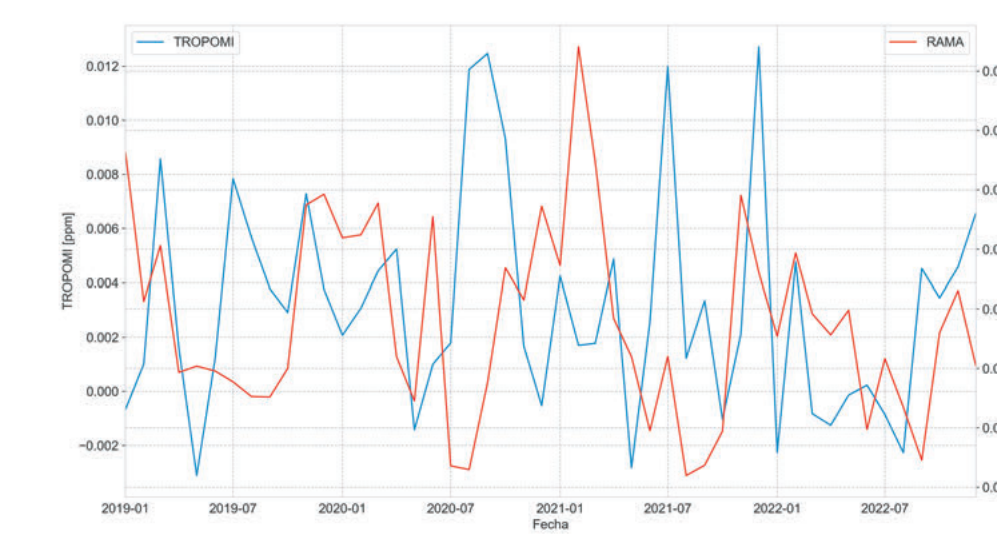


Figura 5. Comparación de la concentración del dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) entre los datos de TROPOMI y la RAMA en el periodo 2019-2022

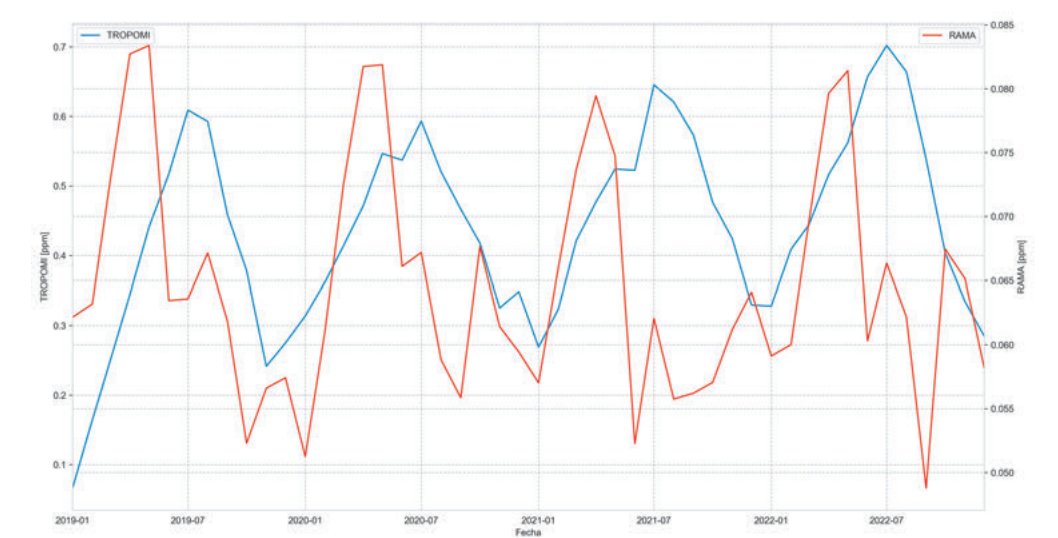


Figura 6. Comparación de la concentración de ozono (O<sub>3</sub>) entre los datos de TROPOMI y la RAMA en el periodo 2019-2022

### Concentración anual de gases traza en 2019

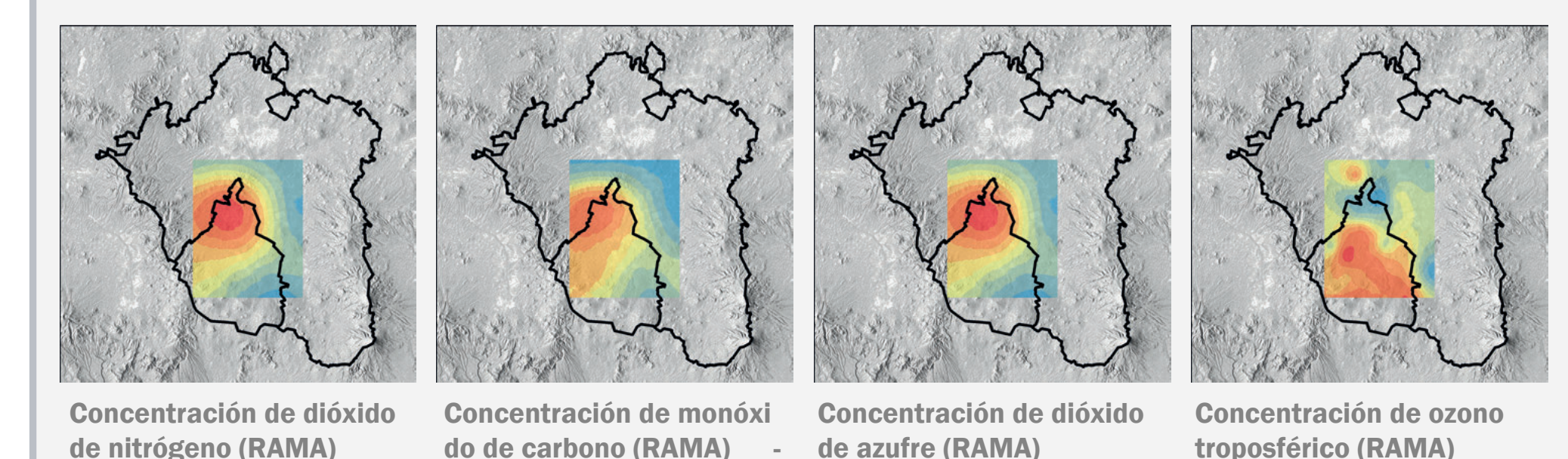


Figura 7. Distribución espacio temporal de los gases traza en la ZMVM en el año 2019 con datos de RAMA

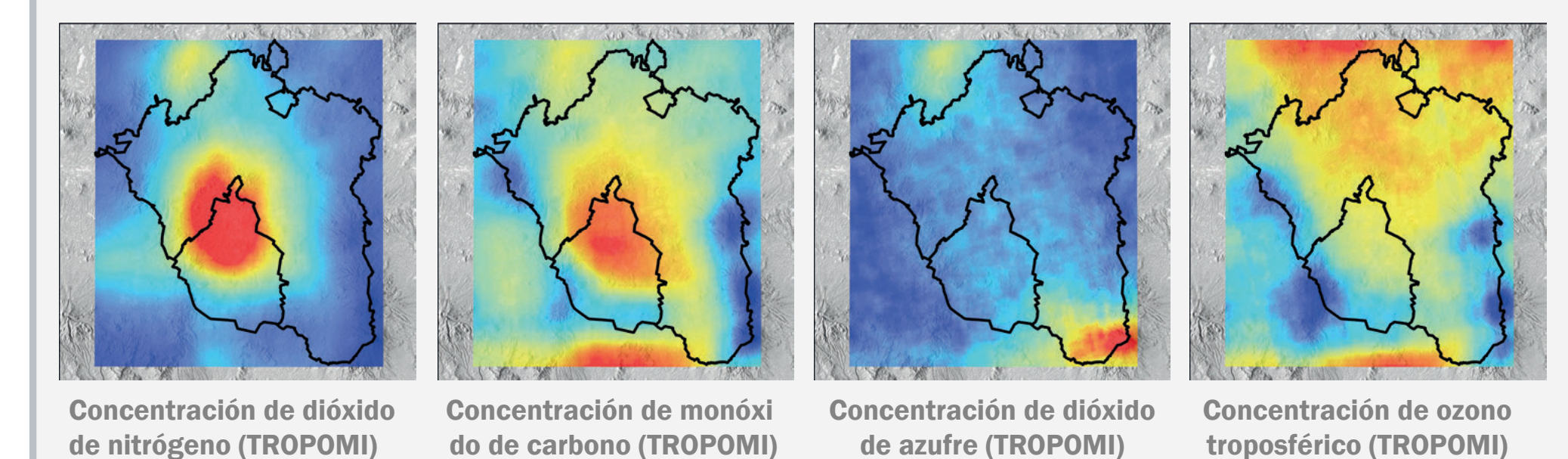


Figura 8. Distribución espacio temporal de los gases traza en la ZMVM en el año 2019 con datos del sensor TROPOMI

## CONCLUSIONES

Se lograron comparaciones significativas entre los datos de TROPOMI y la RAMA, en términos de patrones, similitudes y comportamientos generales de los gases analizados.

La distribución espacial de la concentración de los gases traza en la ZMVM, responde a las zonas conurbadas de la Ciudad de México, donde hay mayor densidad poblacional y se concentran las actividades económicas.

En general, las observaciones por satélite pueden aportar información adicional sobre la variabilidad temporal y espacial, en especial del dióxido de nitrógeno, en las proximidades de las grandes ciudades, que permitan complementar mediciones tradicionales de la calidad del aire como las estaciones de monitoreo atmosférico.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias por los aportes, el apoyo, la experiencia y el conocimiento de los asesores mencionados para presentar este trabajo. Con una mención especial, al Dr. Wolfgang Stremme, quien es investigador del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático del grupo de Espectroscopia y Percepción Remota, por su valiosa aportación al desarrollo del proyecto.

Conoce más escaneando los códigos QR

