

Evaluación de la calidad de aire en la Ciudad de Rafaela mediante monitoreo de Material Particulado (PM_{2.5}-PM₁₀).

Air quality assessment in the City of Rafaela through Particulate Matter (PM_{2.5}-PM₁₀).

Presentación: 17/10/2023

Mariana Carrel

Facultad Regional Rafaela – Universidad Tecnológica Nacional (Argentina)
mcarrel99@gmail.com

Antonela Fissore

Facultad Regional Rafaela – Universidad Tecnológica Nacional (Argentina)
antofissore8@gmail.com

Mariana Carrel

Facultad Regional Rafaela – Universidad Tecnológica Nacional (Argentina)
Mariacielopez031@gmail.com

Resumen

El aire es una mezcla de diferentes gases que rodea la Tierra en una capa de varios kilómetros de altura. La contaminación del mismo se debe a la presencia de gases de efecto invernadero (GEI) y el material particulado (PM), es una mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire, en altas concentraciones provocando afectaciones a la salud humana. El objetivo de este trabajo es la evaluación de la calidad del aire urbano en la ciudad de Rafaela utilizando instrumentos digitales de medición continua (AirVisual Pro) colocados en dos puntos estratégicos del área de estudio. Los resultados del MP obtenidos aplicando el índice US-AQI, muestran que la calidad del aire en la ciudad es buena a moderada con picos estacionales de concentración de material particulado durante los meses de invierno coincidiendo con el aumento del uso de leña para calefacción y circulación vehicular.

Palabras clave: Material particulado, Calidad de aire, Contaminación atmosférica, Rafaela.

Abstract

Air is a mixture of different gases that surrounds the Earth in a layer several kilometers high. Its contamination is due to the presence of greenhouse gases (GHG) and particulate matter (PM), a complex mixture of solid and liquid particles suspended in the air, in high concentrations causing effects on human health. The objective of this work is the evaluation of urban air quality in the city of Rafaela through continuous digital measurement instruments (AirVisual Pro) placed at two strategic points in the study area. The PM results obtained, applying the US-AQI index, show that the air quality in the city is good to moderate with seasonal peaks of concentration of particulate matter during the winter months coinciding with the increase in the use of firewood for heating, and vehicular circulation.

Keywords: Particulate Matter, Air quality, Air pollution, Rafaela.

Introducción

El aire es una mezcla de diferentes gases conformando una capa de varios kilómetros de altura que rodea al planeta denominada atmósfera (Ahrens y Henson, 2018). El aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humano. Sin embargo, su contaminación representa un importante riesgo ambiental para la salud, en especial para los sistemas respiratorios y cardiovasculares de la población en general (OMS, 2021). Aunque, la susceptibilidad a la contaminación puede variar de acuerdo a la edad y/o salud de cada individuo, los niños, niñas y las personas mayores son los grupos etarios más vulnerables (Clark et al., 2020).

De acuerdo al Daly y Cognuck González (2021) la contaminación del aire se observa como una neblina grisácea, es decir, la presencia de partículas, gases o materiales en el aire capaces de reducir su calidad y generar un riesgo, daño o molestia grave. En consecuencia, y según una evaluación de la OMS (2021), son más de dos millones las muertes prematuras que se pueden atribuir cada año por los efectos de la contaminación del aire en espacios urbanos abiertos y cerrados.

La principal fuente de emisión de PM_{10} y $PM_{2.5}$ son las emisiones provocadas por la quema de combustibles fósiles para el transporte, los procesos industriales o la producción de energía, las actividades agrícolas y ganaderas, la quema de bosques y residuos sólidos y la energía doméstica (Shiva Nagendra et al., 2021). Las partículas de hasta 10 micras de diámetro, o PM_{10} , entran a las vías respiratorias y pueden llegar a instalarse en los pulmones, de forma que pueden generar graves enfermedades. Las partículas de 2.5 micras de diámetro, o $PM_{2.5}$, se consideran las más dañinas de todas ya que por su tamaño pueden ingresar en el torrente sanguíneo humano y son capaces incluso de llegar al cerebro (Suarez et al., 2014).

La proporción correspondiente a cada uno de los dos tipos de tamaños de material es probable que varíe de manera sustancial entre las ciudades en todo el mundo, en función de la geografía, la meteorología y las fuentes específicas de material particulado de cada lugar (Daly y Cognuck González; Shiva Nagendra et al., 2021).

Metodología

El área de estudio donde se lleva a cabo el trabajo se encuentra ubicada en la ciudad de Rafaela, departamento Castellanos, en el centro oeste de la provincia de Santa Fe (Figura 1). La localidad está representada demográficamente por una población de 110.00 habitantes (ICEDEL, 2010) y posee una superficie de 36.48 km², mientras que todo el distrito (urbano y rural) abarca aproximadamente 158 km².

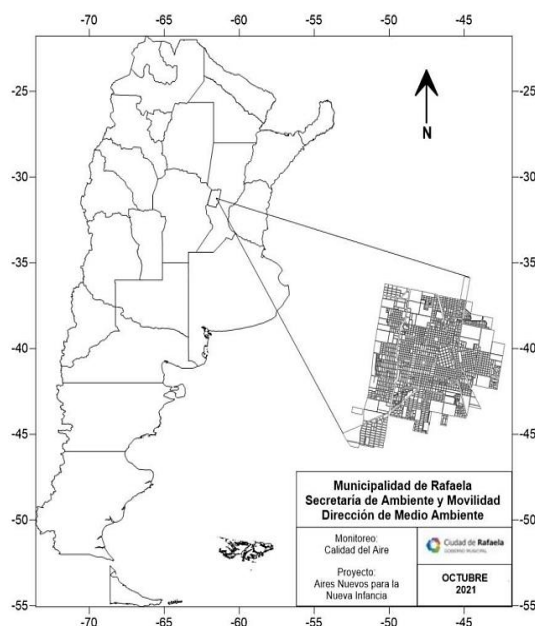


Figura 1-Ubicación geográfica de la ciudad de Rafaela. (Secretaría de Ambiente y Movilidad de la Municipalidad de Rafaela)

La metodología utilizada para medir la calidad del aire urbano contempla la utilización de instrumentos digitales de medición continua de material particulado AirVisual Pro (IQAIR-AirVisual, 2019; Zamora et al., 2020) (Figura 2) los cuales están dotados con tecnología láser, control de flujo de aire y autocalibración paramétrica, almacenamiento de datos y conexión de red tipo inalámbrica (WIFI). En este trabajo se adoptan como criterio los niveles límites de exposición de material particulado propuestos por la OMS para poder estandarizar y orientar la construcción de políticas públicas para combatir la contaminación del aire en la ciudad de Rafaela. En este marco, los niveles definidos para exposición promedio anual a $PM_{2.5}$ y PM_{10} son $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente (OMS, 2021).



Figura 2-Medidor de calidad de aire AirVisual Pro (IQAIR)

El medidor AirVisual Pro permite medir la calidad de aire urbano en ambientes internos o externos mediante el conteo láser del material particulado ($PM_{2.5}$, PM_{10}) proveniente del flujo de aire que ingresa al mismo de manera controlada y el que luego es expresado en unidades de concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Además, cuenta con componentes de auto calibración que consideran los factores como la temperatura, la humedad y el dióxido de carbono que actúan como variables soporte para el cálculo del Índice de Calidad de Aire, aunque en el presente trabajo no se evalúan dichos parámetros.

En el área de estudio se colocaron estratégicamente 2 (dos) medidores que abarcan un radio de acción de 5 km (Figura 3), la ubicación de un medidor es en una institución educativa de primera infancia y otra en una institución local, siendo el primero el Jardín de infantes Boschetto (centro de la ciudad) y el otro en la sede de la Guardia Urbana de Rafaela (GUR) (fuera del casco céntrico), en el mes de abril del año 2021. Los sensores registran una medición cada 15 minutos, aproximadamente, de las variables mencionadas anteriormente y son descargados vía web para luego ser procesadas estadísticamente de acuerdo con la concentración media anual y concentración media mensual (en un futuro, está previsto analizar la calidad de aire a lo largo del día)

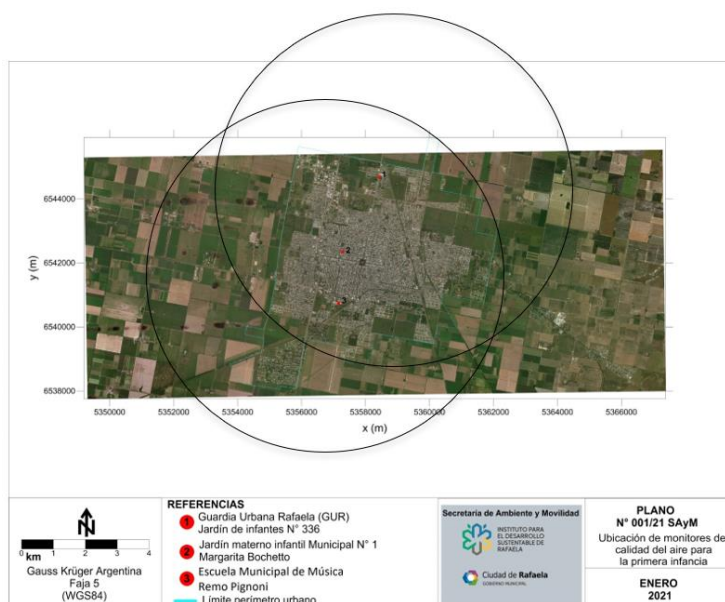


Figura 3-Mapa de ubicación de medidores en el área de estudio

Por último, se estima el Índice de Calidad de Aire (AQI) referido a la variable material particulado de acuerdo con la ecuación del índice de calidad del aire (ecuación 1) desarrollada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, 2018). Se usará para expresar también en un futuro la calidad del aire en términos de PM_{10} y CO_2 .

$$AQI = \frac{I_{HI} - I_{Lo}}{BP_{HI} - B_{Lo}} (C_i - BP_{Lo}) + I_{Lo} \quad [1]$$

Donde:

AQI = Índice de calidad del aire

I_{Lo} = Valor del índice en el límite inferior de la categoría AQI

I_{HI} = Valor del índice en el límite superior de la categoría AQI

BP_{HI} = Punto de quiebre de la concentración en el límite inferior de la categoría AQI

BP_{Lo} = Punto de quiebre de la concentración en el límite superior de la categoría AQI

C_i = Concentración del contaminante

El índice AQI es un número adimensional que puede tomar valores en un rango de 0 a 500 unidades y que por convención se ha dividido en seis categorías (Tabla 1), cada una con un grado de diferente afectación a corto plazo a la salud pública.

Categoría AQI	Rango AQI	Significado
Buena	0-50	La calidad del aire se considera satisfactoria y la contaminación atmosférica presenta un riesgo escaso o nulo.
Moderada	51-100	La calidad del aire es aceptable, pero para algunos contaminantes podría existir una preocupación moderada para la salud de un grupo muy pequeño de personas excepcionalmente sensibles a la contaminación ambiental.
Insalubre para grupos sensibles	101-200	Los miembros de grupos sensibles pueden padecer efectos en la salud. Probablemente no afectará a las personas en general.
Insalubre	201-300	Todos pueden comenzar a padecer efectos en la salud y los miembros de grupos sensibles pueden padecer efectos más graves.
Muy insalubre	301-400	Advertencias sanitarias de condiciones de emergencia. Son mayores las probabilidades de que toda la población esté afectada.
Peligroso	401-500	Alerta sanitaria: todos pueden padecer efectos sanitarios más graves.

Tabla 1- Categorías correspondientes al Índice de Calidad del Aire (OMS, 2015)

Resultados y discusión

De acuerdo con el registro continuo de la concentración de material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) durante el período de 3 años (2021-2023), se puede observar que la media anual del Índice de Calidad del Aire (Figura 5) presenta una variación de buena a moderada en los puntos de monitoreo Boschetto y GUR. Además, se pueden observar un pico estacional para cada año, en ambos lugares de muestreo, en los meses de junio, julio y agosto, que se encuentran por encima de los límites admisibles (AQI 50).

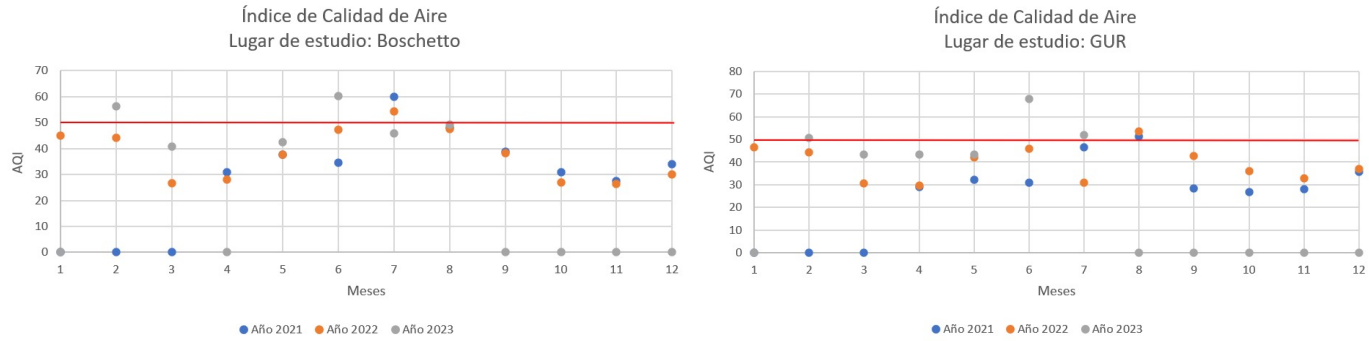


Figura 4- Evolución anual del Índice de Calidad de Aire (AQI) de los años 2021, 2022 y 2023.
 (La línea de color rojo representa el límite entre una calidad de aire buena y moderada)

Con respecto al material particulado 10 (PM10), se observa que supera el límite admisible de concentración (15 microgramos/m³) en todos los años de estudio (Figura 6), indicando así una situación crítica a mejorar. También, puede observarse que hay picos estacionales que se correlacionan con el índice de calidad de aire.

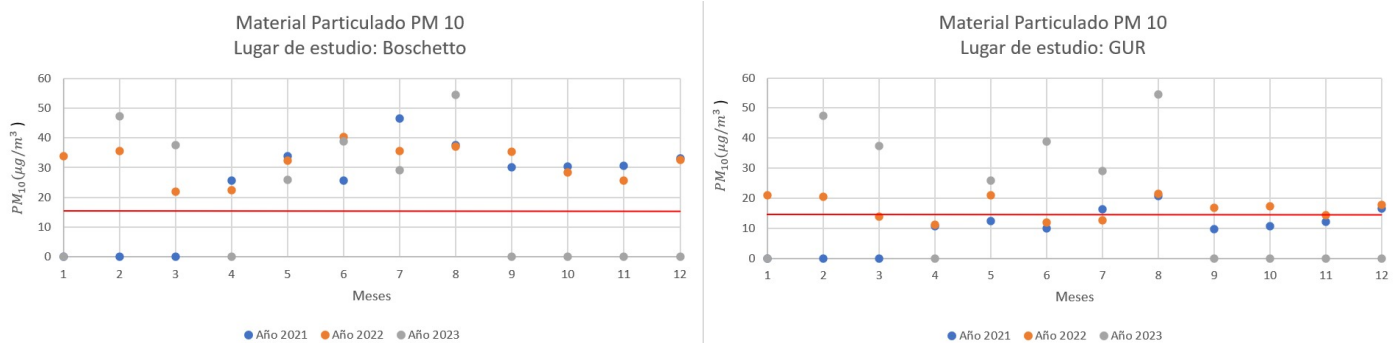


Figura 5-Evolución media anual (µg/m³) de PM10 en los sitios de monitoreo del área de estudio en los años 2021, 2022 y 2023.

En relación al material particulado 2.5 (PM_{2,5}) se observa (Figura 7), al igual que PM₁₀, que se supera el límite admisible de concentración (5 microgramos/m³) en todos los años de estudio, indicando así una situación crítica a mejorar. También, puede observarse los mismos meses con picos estacionales que se correlacionan con el AQI y PM₁₀.

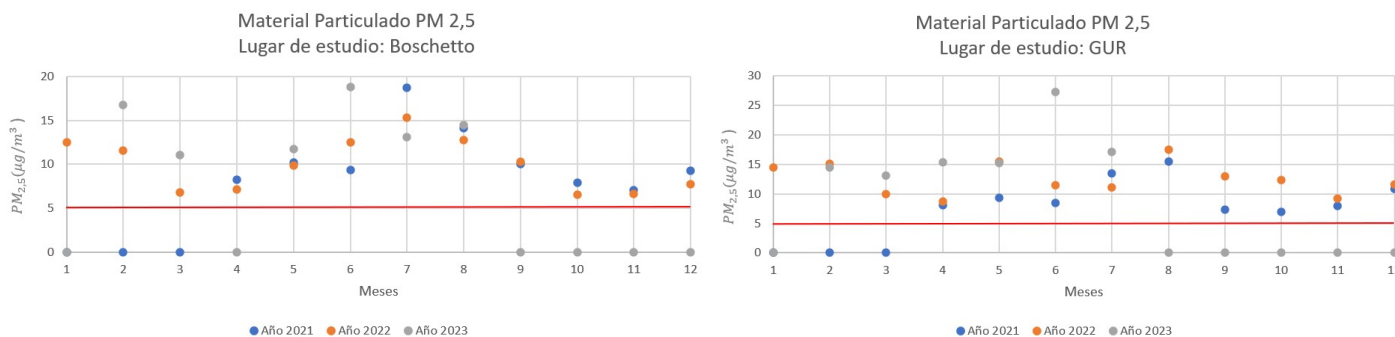


Figura 6-Evolución media anual (µg/m³) de PM2.5 en los sitios de monitoreo del área de estudio en los años 2021, 2022 y 2023.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados observados, se puede concluir que la calidad del aire urbano en la ciudad de Rafaela, para el periodo 2021- 2023, en relación con el índice de Calidad de Aire (AQI) ha sido de buena a moderada con picos estacionales de concentración de material particulado durante los meses de junio, julio y agosto debido a que son meses de invierno donde los ciudadanos para garantizar su confort, calefaccionan sus hogares con el uso de leña, se movilizan con mayor frecuencia en

vehículos motorizados; sumado a que en los últimos años se vivió situaciones de sequía provocando la permanencia de polvo en el ambiente en mayores concentraciones.

También, se puede observar que la ciudad de estudio está fuera de los límites de concentración media anual de PM10 y PM2.5, ya que los niveles recomendados en las Guías de Calidad de Aire de la OMS actualizadas (2021) son de 5 µg/m³ para el material particulado 2.5 y 15 µg/m³ para el material particulado 10, superando dichos valores pudiéndose deber a la falta de conciencia ambiental ciudadana. A su vez, cabe destacar que las concentraciones de PM10 son mayores a las de PM2.5 debido a que el primero toma todas las partículas menores o iguales a 10 micras de diámetro, en cambio el PM2.5 sólo considera a las partículas ultra finas de hasta 2.5 micras.

Para revertir esta situación y prevenir futuros efectos adversos sobre la salud como ser la agudización de las enfermedades respiratorias, cardiovasculares y pulmonares entre otras, se debe comenzar con la concientización ciudadana, además de establecer Normas restrictivas y su implementación para las inversiones futuras, como ser, medios de transporte menos contaminantes, viviendas energéticamente eficientes, construcciones más limpias, generación de energías limpias y mejor gestión de residuos industriales y municipales permitirían reducir importantes fuentes de contaminación del aire.

Agradecimientos

Este trabajo se llevó a cabo bajo la dirección del Dr. Ing. Juan J. Nittmann perteneciente al Grupo de Investigación en Aplicaciones de Métodos Numéricos en Ciencia e Ingeniería (GIAMNCI) de la UTN Facultad Regional Rafaela. Se Agradece especialmente a la Secretaría de Ambiente y Movilidad de la Municipalidad de Rafaela por el apoyo técnico e institucional. Además, se agrade a la empresa suiza IQAir por el aporte de los medidores en el marco del proyecto internacional "aires nuevos para la nueva infancia".

Referencias bibliográficas

- Ahrens C. D., Henson R. 2018. Essentials of meteorology: An invitation to the atmosphere. CENGAGE Learning. 550 pp.
- Clark H., Coll-Seck A. M., Banerjee A., Peterson A., Dalglis S. L., Ameratunga S. 2020. "A future for the world's children?" A WHO-UNICEF-Lancet Commission. The Lancet Commissions. 54 pp.
- Daly A., Cognuk González S. 2021. Calidad del aire: es el momento de actuar. Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). 64 pp.
- Instituto de Capacitación y Estudios para el Desarrollo Local (ICEDEL). 2010. Datos poblacionales de Rafaela - Censo 2010. Municipalidad de Rafaela. 14 pp.
- IQAIR-AirVisual. 2019. Air Visual Pro User Guide. IQIAR-AG(Switzerland). 32 pp.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2021. Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire: partículas en suspensión (PM2.5 y PM10), ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono. Resumen ejecutivo. Organización Mundial de la Salud – OMS. 16 pp.
- Shiva Nagendra S. M., Schlink U., Müller A., Khare M. 2021. Urban air quality monitoring, modeling and human exposure assesment. Springer. 454 pp.
- Suarez L., Mesías S., Iglesias V., Silva C., Cáceres D., Ruiz Rudolph R. 2014. Personal exposure to particulate matter in commuters using different transport modes (bus, bicycle, car and subway) in an assigned route in downtown Santiago, Chile. Environ. Sci. Process & Impacts. 9 pp.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). 2018. Technical assistance document for the reporting of daily air quality - The Air Quality Index (AQI). EPA-454/B-18-007. 22 pp