

Evaluación preliminar de la calidad del aire urbano ($PM_{2.5}$ – PM_{10} – CO_2) en la ciudad de Rafaela, Santa Fe (Argentina)

Preliminary evaluation of urban air quality ($PM_{2.5}$ – PM_{10} – CO_2) in the city of Rafaela, Santa Fe (Argentina)

Mariana Carrel

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

Antonela Fissore

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

María Cielo Pérez

Facultad Regional Rafaela – Universidad Tecnológica Nacional
mariacieloperez031@gmail.com

RESUMEN

La contaminación del aire es la presencia en la atmosfera de sustancias en concentraciones que impliquen riesgo para salud. La calidad del aire es cuantificable en función de los niveles de contaminación, en donde uno de los principales contaminantes que merece una atención especial es el denominado material particulado (PM) el cual es una mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire. El objetivo de este trabajo es realizar una evaluación preliminar de la calidad del aire urbano de la ciudad de Rafaela utilizando instrumentos digitales de medición continua (AirVisual Pro) colocados en puntos estratégicos del área de estudio. Los resultados del procesamiento estadístico de los datos, aplicando el índice US-AQI, muestran que la calidad del aire es buena a moderada con picos estacionales de concentración de material particulado durante los meses de mayo y noviembre.

PALABRAS CLAVES: Calidad del aire, material particulado, Rafaela, evaluación.

ABSTRACT

Air pollution is the presence in the atmosphere of substances in concentrations that pose a risk to health. Air quality is quantifiable based on pollution levels, where one of the main pollutants that deserves special attention is the so-called particulate matter (PM), which is a complex mixture of solid and liquid particles suspended in the air. The aim of this work is to carry out a preliminary evaluation of the urban air quality of the city of Rafaela using digital continuous measurement instruments (AirVisual Pro) placed at strategic points in the study area. The results of the statistical processing of the data, applying the US-AQI index, show that the air quality is good to moderate with seasonal peaks in the concentration of particulate matter during the months of May and November.

KEYWORDS: Air quality, particulate matter, Rafaela, evaluation.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con UNICEF (2016) y Daly y Cognuk Gonzales (2021), la contaminación del aire es el principal riesgo ambiental para la salud pública en el continente americano. Por esta causa, en Argentina cada año mueren 663 personas por millón de habitantes. Cabe destacar, que las personas jóvenes, en particular, los niños y las niñas, son especialmente vulnerables.

De acuerdo a Clark et al (2020) la contaminación del aire es el resultado de múltiples contaminantes que pueden ser de origen natural procedentes de erupciones volcánicas o tormentas de arena. También pueden ser causadas por acción antrópica, por ejemplo, cuando se queman residuos o combustibles fósiles para calentar un espacio, cocinar o desechar elementos.

La principal fuente de emisión de PM_{10} y $PM_{2.5}$ son los procesos de combustión, en particular de la combustión del carbón y otros combustibles fósiles provenientes del funcionamiento de los automóviles, las centrales eléctricas y las industrias. 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).

En este contexto, es fundamental poder medir la contaminación del aire de acuerdo con estándares internacionales actualizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2021. 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 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente (OMS, 2021).

DESARROLLO

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 (CENSO 2010) y posee una superficie de 36.48 km^2 , mientras que todo el distrito (urbano y rural) abarca aproximadamente 158 km^2 .

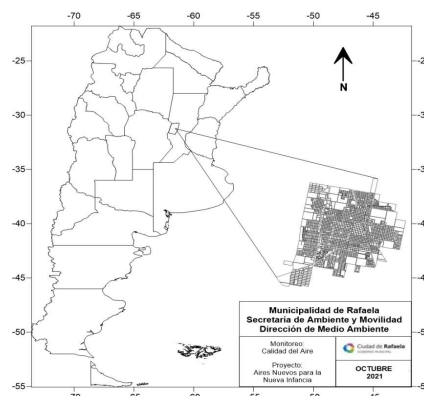


Figura 1: Ubicación geográfica de la ciudad de Rafaela.

El clima de Rafaela es cálido y templado con una temperatura (periodo 1945-2020) media anual de 19.3 °C, mínima media de 12.1 °C y máxima media 24.8 °C. La precipitación media (periodo 1930-2020) es 961.5 mm. La humedad relativa promedio (periodo 1970-2020) es de 71.4 %. Los vientos predominantes (periodo 1965-2020) medidos a 10 m de altura son en dirección este la mayor parte del año con variaciones durante los meses de junio, julio y agosto que son predominantemente en dirección sur y presentan una velocidad media anual de 16.75 km/h, mientras que la medición a los 2 m de altura arroja una velocidad media anual de 9.15 km/h. En la Tabla 1 se puede observar la evolución media mensual de las variables climáticas mencionadas anteriormente (Petrabissi et al., 2020).

Tabla 1: Evolución mensual de variables climáticas de interés en el área de estudio.

Variable	Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	Periodo												
Temperatura (°C)	1944-2020	26.3	25.0	22.8	19.0	15.8	12.7	12.2	13.8	16.4	19.7	22.7	25.1
Precipitación (mm)	1930-2020	120.3	117.8	149.5	94.4	46.8	27.1	21.9	25.8	40.8	84.8	108.8	123.5
Humedad Relativa (%)	1970-2020	67.0	72.0	75.0	76.0	78.0	78.0	75.0	70.0	68.0	68.0	65.0	65.0
Viento 2 m (km/h)	1965-2020	8.4	7.8	7.6	7.7	8.2	8.8	10.0	10.7	11.0	10.6	9.8	9.2
Viento 10 m (km/h)	1965-2020	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	16.0	17.0	19.0	20.0	20.0	18.0	16.0
Dirección 10 m (p.c)	1965-2020	E	SE	E	E	E	S-NE	S	S	SE	E	NE	E

La metodología utilizada para medir la calidad del aire urbano contempla la utilización de instrumentos digitales de medición continua 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).



Figura 2: Medidor de calidad de aire AirVisual Pro (IQAIR).

El medidor AirVisual Pro permite medir la calidad del aire urbano en ambientes externos o internos mediante el conteo laser del material particulado (PM_{2.5}, PM₁₀) proveniente del flujo de aire que ingresa al mismo de manera controlada y el que luego es expresado en unidades de concentración (µg/m³). Además, utiliza la concentración de dióxido de carbono (CO₂), temperatura (T°) y humedad relativa (%H°) como variables soporte para cálculo del índice de calidad del aire (AQI). En el área de estudio se colocaron estratégicamente tres medidores¹

¹ Actualmente, se trabaja con dos monitores debido a inconvenientes técnicos en un instrumento.

(Figura 3) en instituciones educativas de primera infancia o cercanas a ellas en el mes de abril del año 2021. En dicha figura, los círculos representan un radio de acción de 5 km. Por lo tanto, la intención es solo cuantificar en la figura el sector del perímetro urbano que cubre el mismo. Los sensores registran una medición cada 15 minutos de las variables mencionadas anteriormente y son descargados vía web para luego ser procesadas estadísticamente de acuerdo con el siguiente protocolo: concentración media anual, percentil 99.7, % de días que supera la norma diaria, % de horas que el valor horario supera la norma diaria y perfil diurno horario de $PM_{2.5}$ y PM_{10} (en un futuro, está previsto analizar la calidad de aire a lo largo del día). Además, para los días del valor del percentil 99.7 se complementa con el valor de la concentración media de CO_2 , la temperatura y la humedad.

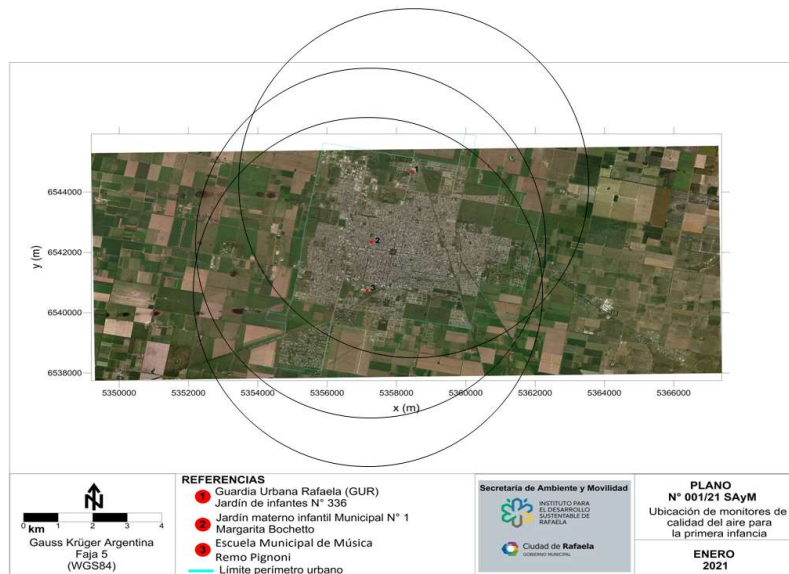


Figura 3: Mapa de ubicación de medidores en el área de estudio.

Por último, se estima el Índice de Calidad de Aire (AQI) referido a la variable material particulado de acuerdo con la Ecuación 1 desarrollada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, 2018).

El monitor AIRVISUAL PRO estima el índice de calidad de aire utilizando los valores de $PM_{2.5}$. Sin embargo, se plantea la fórmula para mencionar la ecuación (1) utilizada por el medidor y además 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_{LO} = Punto de quiebre de la concentración en el límite inferior de la categoría AQI

BP_{HI} = 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 2), cada una con un grado de diferente afectación a corto plazo a la salud pública.

Tabla 2: Categorías correspondientes al Índice de Calidad del Aire (AQI).

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.

RESULTADOS

De acuerdo con el registro continuo de la concentración de material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}), dióxido de carbono (CO_2), temperatura (T°) y humedad relativa (H°) durante un periodo de 12 meses (abril 2021 – marzo 2022), se puede observar que la media mensual del Índice de Calidad del Aire (AQI) (Figura 4) en los puntos de monitoreo Boschetto y GUR presentan una variación estacional de calidad de aire buena y moderada sin diferencias significativas entre ambos puntos de muestreo.

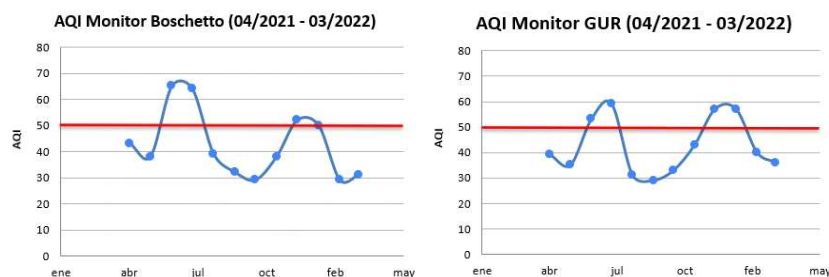


Figura 4: Evolución mensual del Índice de Calidad del Aire (AQI). (La línea de color rojo representa el límite entre una calidad de aire buena y moderada).

De la misma manera que se observa con la variación de AQI en los dos puntos de muestro, la evolución de la concentración media mensual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10} (Figura 5) sigue el mismo patrón con un rango de variación equivalente en los dos sitios de monitoreo continuo.

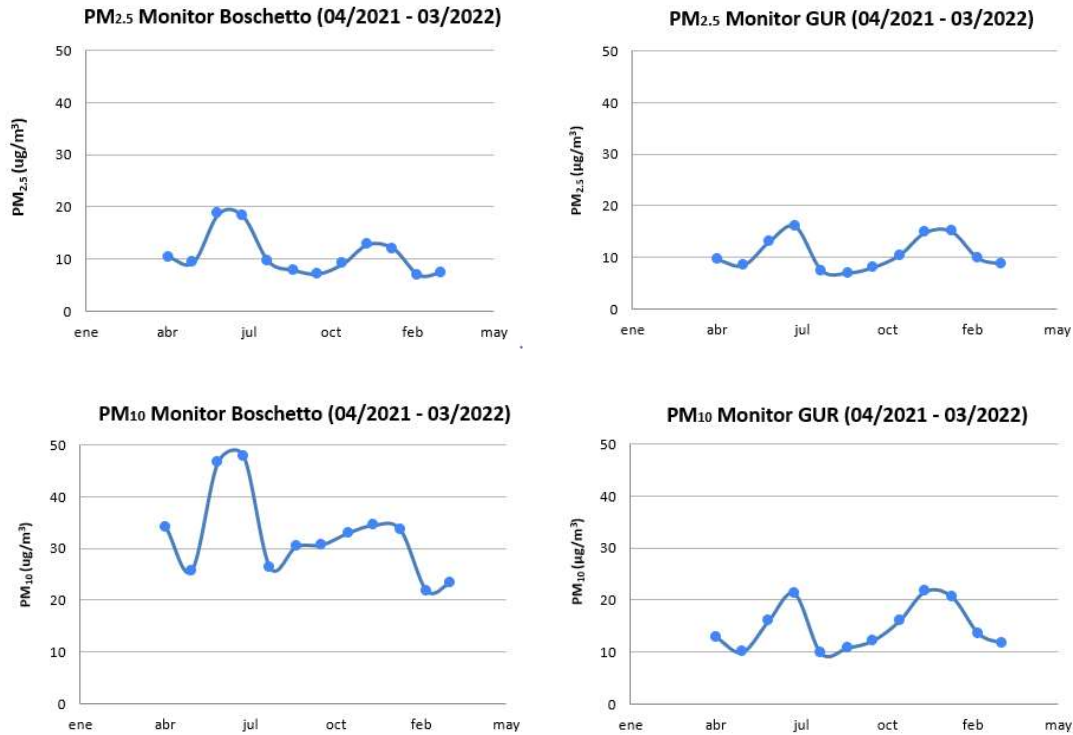


Figura 5: Evolución media mensual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10} en los sitios de monitoreo del área de estudio.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados observados, se puede concluir que la calidad del aire urbano en la ciudad de Rafaela, para el periodo abril 2021-marzo 2022, ha sido de buena a moderada con picos estacionales de concentración de material particulado durante los meses de mayo y noviembre. Sin embargo, el análisis debería contrastarse con un periodo de monitoreo de material particulado ($\text{PM}_{2.5}$ - PM_{10}) de al menos tres años para que el análisis de los datos tenga mayor rigurosidad científica. Además, es necesario analizar cómo se comporta el perfil diurno horario comparando el mismo en los dos sitios de muestreo, y también contemplar en el análisis el valor del percentil 99.7 con los datos de CO_2 , temperatura y humedad relativa.

Cabe destacar, que el presente trabajo reviste carácter de análisis preliminar, por lo tanto, el procesamiento y análisis estadístico completo de los datos en el periodo monitoreado está siendo realizado por personal científico del Grupo de Investigación de Aplicaciones de Métodos Numéricos en Ciencia e Ingeniería (GIAMNCI) de la Facultad Regional Rafaela de la Universidad Tecnológica Nacional en el marco de un proyecto de investigación dentro del Programa de Medio Ambiente, Contingencias y Desarrollo Sustentable. Cabe destacar que se considera relevante la existencia de tres medidores y su ubicación, ya que los mismos están ubicados en

cercanías de instituciones educativas. Además, de acuerdo a los resultados de este estudio se podrían proponer colocar más medidores hasta cubrir la totalidad de las áreas sensibles.

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

- Clark H., Coll-Seck A. M., Banerjee A., Peterson A., Dalglish S. L., Ameratunga S. 2020. "A future for the world's children?" The Lancet. 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.
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). 2016. "Clean the Air for Children. The impact of air pollution on children". 8 pp.
- IQAIR-AirVisual. 2019. Pro Tech Spec. CDI1092.3 INT 171227. 1 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. Ginebra. 16 pp.
- Petrabissi H., Sapino V., Franco L. G. 2020. Boletín agrometeorológico mensual-INTA Rafaela. 12 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. (16):1309-1317 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
- Zamora L. M., Rice J., Koehler K. 2020. One year evaluation of three low cost PM2.5 monitors. Atmospheric Environment. (235): 1 – 11 pp.