

MONITOREO DE PM₁₀ COMO INDICADOR DE LA CALIDAD DEL AIRE DE CIUDAD Y ANÁLISIS DEL EFECTO DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS

SÁNCHEZ M. Y JHON F.

IfiSur, Universidad Nacional del Sur, CONICET, Departamento de Física - UNS,
Av. L. N. Alem 1253, B8000CPB - Bahía Blanca, Argentina.
e-mail: sanchezmorales@ifisur-conicet.gob.ar

Resumen. *Este trabajo está dirigido al estudio de las variaciones en el nivel de PM₁₀, asociadas a la influencia de las variables meteorológicas en una región y en un periodo específico. El análisis de los datos registrados se hace en forma estadística y se presentan las relaciones con las propiedades de la atmósfera. Las conclusiones obtenidas son teórico-académicas a partir del análisis de los datos y son comparadas con información obtenida de la literatura técnico-científica debidamente referenciada. Esto con el propósito de analizar posibles relaciones entre las cantidades de material aerotransportado y las variables atmosféricas reportadas por organismos dedicados al monitoreo del clima en la región. Se realizó una descripción estadística de los datos y se comprobó la estrecha relación entre las direcciones e intensidades del viento y los valores de PM₁₀ reportados por el sistema de monitoreo. La información obtenida se comparó con información reportada en la literatura para otras ciudades en el mundo. Por último se analizan los resultados según la normativa nacional, los estándares de la agencia ambiental norteamericana EPA y las organizaciones mundiales OMS y BM.*

Palabras clave: PM₁₀, contaminación urbana, calidad del aire, monitoreo.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento en los niveles de contaminantes atmosféricos es un problema complejo, que se asocia generalmente a la urbanización y a la industrialización, pero involucra además aspectos técnicos, geográficos y meteorológicos, propios de cada lugar. Por tanto, es necesario un amplio análisis de las variables relacionadas para determinar adecuadamente los índices de calidad del aire^[1]. El material particulado, *PM*, es uno de esos contaminantes e involucra una serie de elementos de monitoreo que requieren un cuidadoso estudio complementario de la meteorología. Las condiciones de formación, dispersión y transporte de este material se relacionan directamente con variables atmosféricas, las cuales pueden originar rápidos y fuertes cambios de concentración en diferentes lugares y/o periodos, aún en pequeños intervalos de tiempo y distancias^[2]. Su origen también es diverso y existen fuentes antropogénicas y naturales que aportan igualmente cantidades representativas de material a la atmósfera. Los vehículos y las industrias son las fuentes más importantes, pero el material particulado puede incluso generarse a partir de fenómenos como la nucleación^[3] o a partir de la resuspensión de material^[4]. Son muchos los estudios que advierten sobre los peligros para la salud originados por el material particulado aerotransportado^[5]. Dentro de los estudios complementarios para el análisis del material particulado en la atmósfera, uno de los más importantes es el relacionado con la meteorología del lugar. Los sistemas de monitoreo y control, así como los procedimientos de modelamiento requieren de este tipo de información para definir metodologías de medición y modelos de dispersión de contaminantes asociados al material particulado. En este trabajo se presenta un análisis estadístico del monitoreo de *PM₁₀* durante un mes, acompañado con una serie de datos del clima que busca mostrar la relación directa entre las variables meteorológicas y la cantidad de partículas en el aire.

2. METODOLOGÍA

El trabajo se centra en el indicador PM_{10} y las metodologías para su seguimiento, análisis y caracterización. Como ejemplo de una metodología de estudio, se analizaron datos reales para la ciudad de Bahía Blanca y se complementaron con información meteorológica para la ciudad. Se recopilieron 480 datos durante un mes y 130 datos (1 dato/día) a los largo de 9 meses. Además de los datos PM_{10} se registraron los valores de presión, temperatura y humedad del ambiente, vientos (velocidad y dirección), la pluviosidad y la radiación solar (W/m^2) correspondientes. Los datos registrados de PM_{10} , presión atmosférica, dirección y velocidad del viento, corresponden a los reportados en su sitio de red por la “Estación de Monitoreo Continuo de aire de Bahía Blanca, EMCABB”^[6]. Los datos meteorológicos se tomaron del sitio del Servicio Meteorológico Nacional^[7] y del sitio *MeteoBahía*^[8] del instituto Cerzos de Bahía Blanca. Todos los datos tomados se usaron con objetivos estrictamente académicos.

3. RESULTADOS

En total se tomaron 480 datos a través de la red^[6]. Una representación gráfica de los datos recopilados durante el registro, se presenta en la Figura 1, en la cual se indican los valores mínimo y máximo en el periodo, así como el promedio y la mediana. El análisis estadístico de los datos se presenta en la Tabla 1, donde se pueden observar otras comparaciones para diferentes intervalos. Se destaca que solo el 7,5% de los datos están por encima del valor 150 $\mu g/m^3$, fijado como límite máximo por la norma de calidad de aire ambiente^[9].

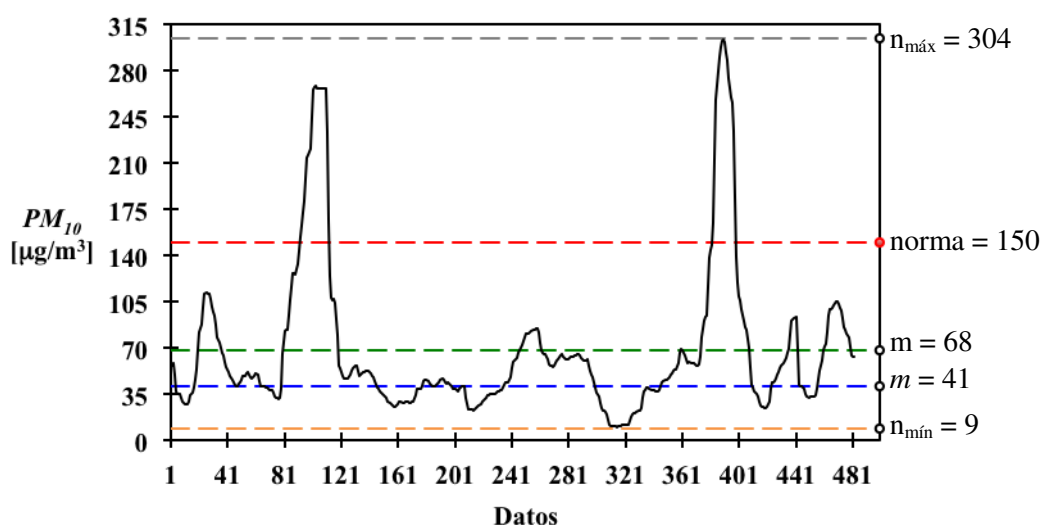


Figura 1. Datos de material particulado PM_{10} [$\mu g/m^3$], registrados durante un mes del sitio de red del centro de monitoreo EMCABB. Se indican los principales estadísticos.

Un análisis de las frecuencias y los principales percentiles se muestra en la Figura 2, donde se puede observar que los valores altos de PM son menos frecuentes, siendo la moda 41 $\mu g/m^3$ y la mediana 48 $\mu g/m^3$.

En cuanto a los valores mínimos, estos se encuentran en su mayoría por debajo de la media y de la moda, presentando un mínimo absoluto de 9 $\mu g/m^3$.

1.a.			1.b		
Material Particulado PM_{10} [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]			Intervalos comparativos con el promedio y la norma, PM		
Estadístico		Valor			
Eventos	n	480	$[PM] < 68$	349	72,7%
Media	m	68	$68 \leq [PM] < 150$	95	19,8%
Mediana	x	48	$150 \leq [PM] < 300$	33	6,9%
Desviación	σ	58	$[PM] \geq 300$	3	0,6%
Varianza	σ^2	3392			
Mínimo	$n_{\text{mín}}$	9			
Máximo	$n_{\text{máx}}$	304	Norma		
Moda	m	41	$[PM] \geq 150$	36	7,5%
Percentil25	P_{25}	37			
Percentil75	P_{75}	74			

Tabla 1. Análisis estadístico de los datos de material particulado PM_{10} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], registrados durante un mes del sitio de red del centro de monitoreo EMCABB. a. Principales estadísticos. b. Distribución comparativa de los datos con la media y la norma.

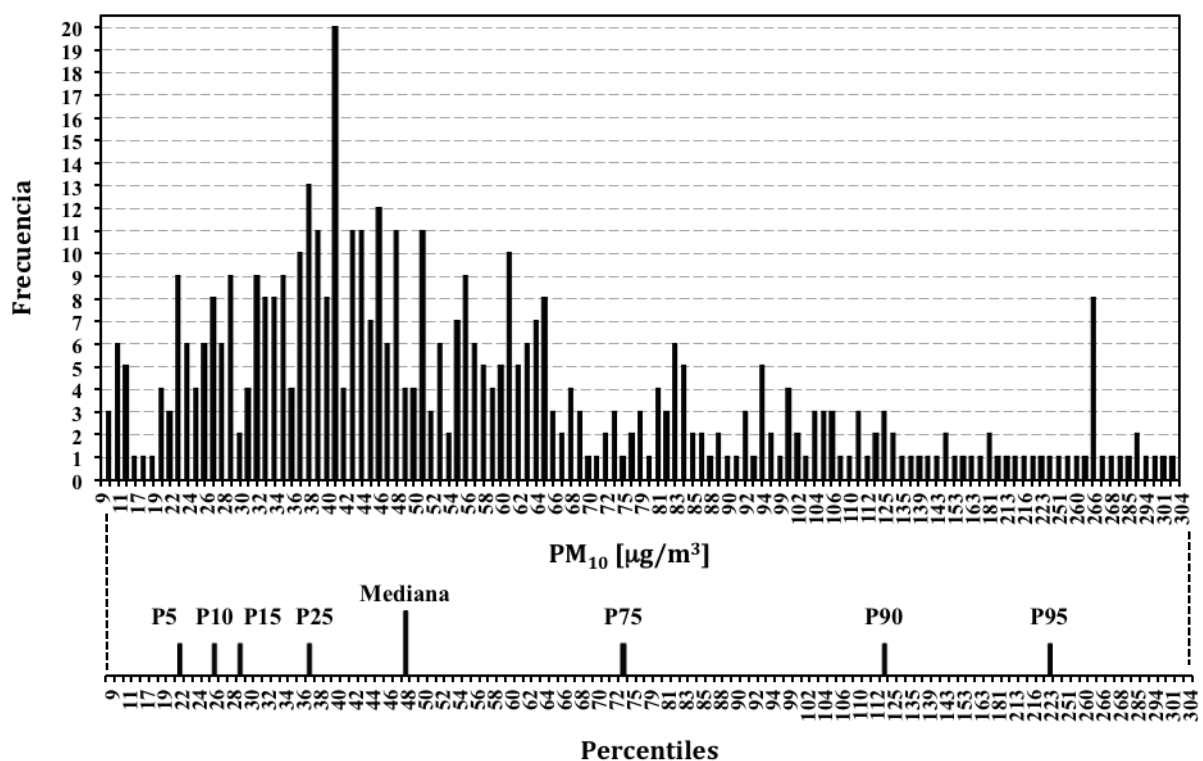


Figura 2. Diagrama de frecuencias para los datos de material particulado PM_{10} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], registrados durante un mes del sitio de red del centro de monitoreo EMCABB. En la escala secundaria se indican los principales percentiles.

Del análisis de los datos se encontró que 36 valores superan la norma (máximo de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Sin embargo, el promedio general es de 68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, encontrándose que el ~73% de los datos están por debajo de este valor, característico de un aire de “buena” calidad según la norma. En conclusión y según la escala de calidad, el aire de la ciudad solo se consideraría

“insalubre” en los dos periodos indicados, manteniéndose dentro de la norma el resto de los días analizados. Adicionalmente, en la Figura 3, se presentan los índices de calidad de aire y los porcentajes de ocurrencia.

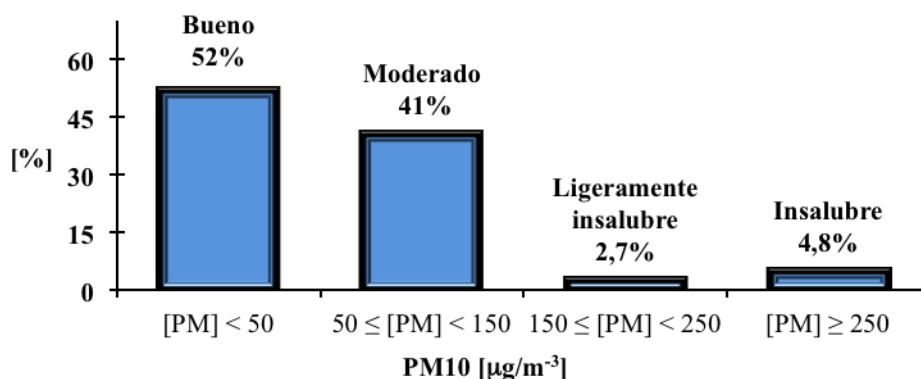


Figura 3. Calidad del aire en porcentaje de ocurrencia durante el mes de registro, PM_{10} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].

4. EFECTO METEOROLÓGICO

Los análisis del clima permitieron comprobar el efecto que tuvieron las variables meteorológicas sobre los valores extremos, máximo y mínimo durante el periodo de recopilación de datos. En la Figura 4 se presentan los datos promedio de PM_{10} durante el periodo de registro y se indican los puntos extremos. En el primer caso las condiciones son de alta humedad con abundantes precipitaciones, mientras la segunda corresponde un periodo seco de muy baja nubosidad.

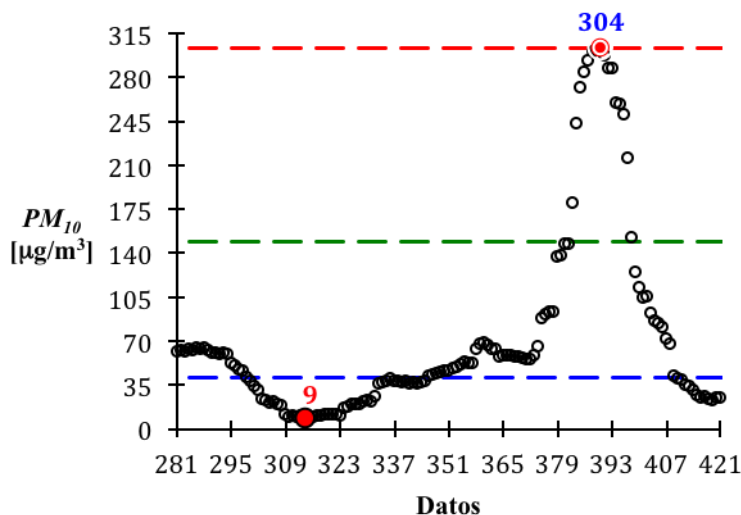


Figura 4. Datos promedio por día y valores máximo y mínimo de PM_{10} durante el periodo de registro.

El dato de máxima, correspondiente a $304 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se presentó en un día con condiciones previas de sequía, con temperaturas máximas mayores a los $30 \text{ }^\circ\text{C}$, alta insolación ($\sim 1000 \text{ W}/\text{m}^2$), sin precipitaciones. Los vientos fueron de alta intensidad, con velocidades cercanas a los $60 \text{ km}/\text{h}$ y con predominancia del sector norte. En el caso de los valores bajos de PM_{10} y en particular para el mínimo valor ($9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), las condiciones meteorológicas fueron totalmente inversas al caso del valor máximo. Este valor se presentó después de un periodo lluvioso (46 mm), de alta humedad (80%), baja insolación ($< 250 \text{ W}/\text{m}^2$) y vientos de baja

intensidad.

En general, de los datos obtenidos puede destacarse que las variaciones más importantes en los valores de PM_{10} en la zona de monitoreo, se relacionan directamente con cambios en las condiciones meteorológicas. La variable más relevante es el viento, especialmente en su dirección norte. Los altos valores de material particulado en la atmósfera se presentaron siempre bajo esta condición de viento. De la misma manera, los periodos con predominancia de vientos desde otros cuadrantes están asociados a valores bajos de PM_{10} .

Las razones para estos resultados se relacionan con las características climatológicas y geográficas propias de Bahía Blanca y su región. La zona está rodeada de terrenos secos y semiáridos, que en periodos de alta insolación son erosionados por el viento generando gran cantidad de material particulado. Las condiciones de circulación atmosférica también son importantes, aunque en Bahía Blanca las probabilidades de estancamiento en la atmósfera son bajas pueden presentarse recirculaciones de aire^[10] que mantendrían materiales en suspensión. El clima de Bahía Blanca es en general templado con temperaturas moderadas y escasas precipitaciones, aunque hay gran variabilidad, característica de zonas áridas y semiáridas, que lleva a ciclos de varios años de muy baja a muy alta humedad^[11]. Estas condiciones hacen que la presencia de material particulado de origen natural sea mayor.

Los resultados mostraron una gran incidencia de las condiciones naturales en la generación de material particulado aerotransportado y son comparables a los reportados por el municipio para el mismo periodo^[12]. El valor promedio total de los datos que se reportan en el presente informe fue de $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el Municipio reporta aproximadamente $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en ese periodo (promedio nov-dic.). El promedio anual reportado por el Municipio fue de $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La norma de calidad de aire ambiente (Decreto 3395/96, reglamentario de la Ley Provincial 5965), establece una concentración por día de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anual, por lo tanto en el periodo analizado los valores están cerca del límite permitido, siendo superior en el caso analizado en el informe. Las diferencias se deben al número de datos analizados. El informe del Municipio cuenta con la lista completa de datos y en este informe solo se reporta un número reducido de esos datos, solamente como una metodología de trabajo.

Una comparación de esos valores con los datos reportados por la OMS^[13], para diferentes ciudades en América durante el año 2014, se presenta en la Figura 5. Se incluyeron de manera ilustrativa los valores para Bahía Blanca. Se aclara que se trata de un ejercicio académico para analizar los valores comparativos, requiriéndose en todos los casos un mayor número de datos que permitan comparaciones concluyentes.

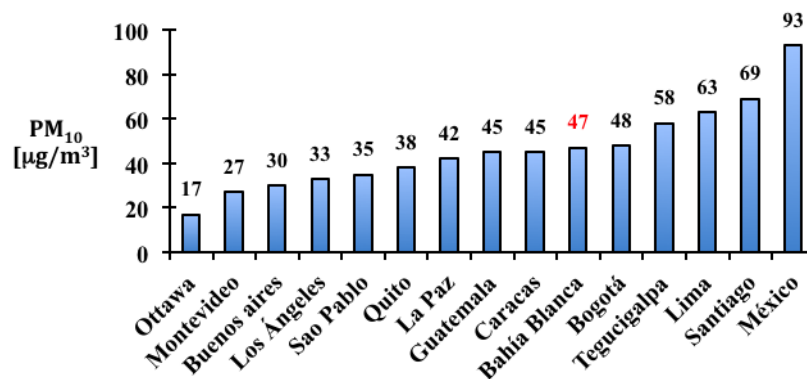


Figura 5. Valores de PM_{10} en diferentes ciudades de América. Los datos corresponden al informe de la Organización Mundial de la Salud, 2014.^[13] El dato para Bahía Blanca corresponde al promedio anual reportado por la Municipalidad, 2014.^[12]

5. CONCLUSIONES

Se analizaron datos de la estación de monitoreo local, tomados del sitio de red de la Municipalidad de Bahía Blanca. El registro se realizó durante un mes y se presentó el estudio estadístico y comparativo de los datos. Adicionalmente se registró información meteorológica para estudiar su relación con las posibles variaciones de PM_{10} en la atmósfera. El parámetro que mayor variabilidad origina es el viento, tanto por su dirección y su intensidad. Los promedios más altos de PM_{10} se producen en condiciones de viento norte. Como se pudo observar, los periodos con valores más altos de PM_{10} corresponden también a periodos de máxima velocidad del viento. Por otro lado, los periodos de alta humedad, siguientes a los niveles más altos de pluviosidad, presentaron los valores más bajos de PM_{10} .

REFERENCIAS

- [1] F. Fujiwara, M. Dos Santos, J. Marrero, G. Polla, D. Gómez, L. Dawidowski, P. Smichowski. "Fractionation of eleven elements by chemical bonding from airborne particulate matter in an industrial city Argentina". *J. Environ. Monit.* 8 (2006) 913-922.
- [2] S. Puliafito, D. Allende, R. Fernández, F. Castro, P. Cremades
New approaches for urban and regional air pollution modelling and management. *Advanced Air Pollution* (2011), Dr. Farhad Nejadkoorki (Ed.), InTech, <http://www.intechopen.com/books/advanced-air-pollution/new-approaches-for-urban-and-regional-air-pollution-modelling-and-management>
- [3] Ch. Stanier, A. Khlystov, S. Pandis. Nucleation events during the Pittsburgh air quality study: description and relation to key meteorological, gas phase, and aerosol parameters. *Aerosol Sci. Tech.* 38(S1) (2004) 253-264.
- [4] H. Bogo, M. Otero, P. Castro, M. Ozafrán, A. Kreiner, E. Calvo, R. Negri
Study of atmospheric particulate matter in Buenos Aires city. *Atmospheric Environ.* 37 (2003) 1135-1147
- [5] B. Brunekreef, S. Holgate. Air pollution and health. *Lancet.* 360 (2002) 1233-1242.
- [6] Gobierno de Bahía Blanca. Comité Técnico Ejecutivo. (2014). Estación de Monitoreo Continuo del aire de Bahía Blanca. <http://www.bahiablanca.gov.ar>
- [7] Servicio Meteorológico Nacional. <http://www.smn.gov.ar>
- [8] MeteoBahia - Carlos Zotelo. Ciencias de la Atmósfera. <http://meteobahia.com.ar>
- [9] Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible, OPDS. Ley Provincial 5965. Decreto 3395/96. <http://www.opds.gba.gov.ar/normativas-provinciales>
- [10] P. Martin, A. Pescio, W. Dragani. Condiciones de estancamiento, recirculación y ventilación en la atmósfera en la zona de Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. XI Congreso Argentino de Meteorología. Mendoza, 2012.
- [11] Mapa Subespacios Significativos "Bahía Blanca". El Centro de Estudios de la Unión Industrial. Descripción del Subespacio de la Aglomeración Urbano-Portuaria de Bahía Blanca. <http://www.uia.org.ar/departamento.do?id=2&nid=1410>
- [12] Gobierno de Bahía Blanca. Medio Ambiente. Informes medioambientales 2014. <http://bahiablanca.gov.ar/subidos/medio-ambiente/pim-2014/1.3%20-%20Subprograma%20Atmosfera.pdf>
- [13] World Health Organization. Ambient (outdoor) air pollution in cities database 2014. http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities/en/