

CALIDAD DE AIRE EN INGENIERO WHITE
RELACION entre $PM_{2.5}$ y PM_{10}

PAGANI, MARCIA¹; VITTONI, MARIA V.¹ Y PEREYRA, MARCELO²

1: Comité Técnico Ejecutivo – Municipalidad de Bahía Blanca
Email: cte.monitor2@bb.mun.gba.gov.ar

2: Instituto de Química del Sur- INQUISUR (Depto. Química UNS-CONICET)
Email: mpereyra@criba.edu.ar

Resumen: Desde el año 1997 la Municipalidad de Bahía Blanca realiza monitoreos continuos de contaminantes atmosféricos en aire ambiente. En el año 2012, estos monitoreos se ampliaron al incluir mediciones de $PM_{2.5}$ en la localidad de Ingeniero White. Asimismo, a partir del año 2013, se cuenta con un nuevo equipo de monitoreo continuo de PM_{10} instalado en el mismo sitio, permitiendo de esta manera, monitorear en forma simultánea ambos contaminantes y así poder evaluar comparativamente los resultados de ambas mediciones. El equipamiento, metodología de medición, selección de sitios de muestreo y el sistema de aseguramiento de la calidad responden a los criterios indicados por organismos internacionalmente reconocidos (USEPA, OMS, CONAMA-Chile, MAVDT-Colombia, SEMARNAT-México).

Los resultados históricos de PM_{10} , tanto en Ingeniero White como en otros sitios dentro del partido de Bahía Blanca muestran que las normas han sido superadas en forma reiterada. Por otra parte, no se encuentra localmente regulado el valor de concentración de $PM_{2.5}$, aunque los monitoreos preliminares realizados indican que, sólo en ciertas oportunidades se han superado algunos de los valores de referencia internacionales (USEPA, OMS).

Cuando se dispone de una relación matemática entre mediciones de $PM_{2.5}$ y PM_{10} , es posible establecer concentraciones de $PM_{2.5}$ a partir de valores de concentraciones de PM_{10} en sitios donde no se cuenta con datos de partículas finas. De esta manera sería posible contar con mayor información respecto a exposición a $PM_{2.5}$, cuyos efectos sobre la salud y necesidad de control han sido reportados en Guías de Calidad de Aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS). En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos de dicha relación en el período 2013-2016 para el sitio de monitoreo localizado en la localidad de Ingeniero White. El valor promedio anual calculado de dicha relación es 0,223 siendo inferior a la media característica reportada por varios autores de 0,5. Por otra parte, se observa que esta relación es inversamente proporcional a la concentración de PM_{10} . Es decir, que a menores concentraciones de PM_{10} la relación es de alrededor de 0,4 y a mayores concentraciones de PM_{10} la relación disminuye, aproximándose al valor 0,1.

Palabras clave: Calidad de aire, Material particulado atmosférico, PM_{10} , $PM_{2.5}$.

1. INTRODUCCION

PM_{2.5} es el término que comúnmente se emplea para denominar al material particulado atmosférico suspendido “fino” que posee un diámetro aerodinámico promedio menor o igual a 2,5 micrones. Desde el enfoque de la protección de la salud, el PM_{2.5} corresponde a la fracción respirable de partículas de alto riesgo para la población [1]. Existen en la bibliografía científica internacional numerosas publicaciones de estudios epidemiológicos que reportan una fuerte asociación entre la concentración másica de PM_{2.5} y la salud pública [2-3]. Dentro de los efectos perjudiciales para la salud producidos por este contaminante del aire, se incluye fundamentalmente el aumento de las tasas diarias y anuales de mortalidad vinculadas a afecciones respiratorias y cardiovasculares [4-5].

Durante la década del 1990, la relevante evidencia científica acumulada a lo largo de más de 15 años, fue suficiente como para que los organismos gubernamentales internacionales más destacados (U.S.EPA, CEE) establecieran reglamentaciones para el control de PM_{2.5} [6-7]. En la República Argentina sólo se encuentra regulado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) el valor de concentración de PM_{2.5} en aire ambiente, según lo establecido en la Ley N° 1356/2004 [8].

En la ciudad de Bahía Blanca, la Municipalidad realiza monitoreos continuos de contaminantes atmosféricos en aire ambiente desde el año 1997. Las primeras campañas de mediciones se realizaron en diferentes sitios de la ciudad: Plaza Rivadavia, Deleg. Municipal Las Villas, Complejo Científico Tecnológico del Conicet (ex-CRIBABB), Atlético Comercial, y Deleg. Municipal de Ing. White, entre otros sitios [9].

A partir del año 2003, y en función de los resultados publicados en estudios científicos realizados por el área de Epidemiología Ambiental de la Municipalidad [10-12] se instaló la estación de Monitoreo Continuo de Aire (EMCABB I) en el área de influencia de la Delegación Municipal de Villa Rosas. En el año 2012, estos monitoreos se ampliaron al incluir mediciones de PM_{2.5} en la localidad de Ing. White. Posteriormente, en el año 2013, fue instalado en la EMCABB II, ubicada también en Ing. White, un nuevo equipo de monitoreo continuo de PM₁₀, permitiendo de esta manera, monitorear en forma simultánea ambos contaminantes y así poder evaluar comparativamente los resultados de ambas mediciones.

Con relación a las fuentes que contribuyen a la masa total de PM_{2.5}, los diferentes estudios científicos indican que generalmente ocurre la concurrencia de fuentes primarias y secundarias. Las primeras incluyen principalmente: polvo de tránsito vehicular, polvo de erosión del suelo, emisiones industriales, emisiones de automotores, aerosol marino, quema de biomasa. Las fuentes secundarias corresponden a partículas compuestas mayoritariamente por sulfatos (SO₄⁻), nitratos (NO₃⁻) y amonio (NH₄⁺) provenientes de procesos de combustión tanto de fuentes fijas como así también de fuentes de emisión móviles [13-14].

En Bahía Blanca, se han realizado estudios de las fuentes de emisión de material particulado atmosférico y de muestras correspondientes a monitoreos prolongados de PM₁₀ (> 12 meses) [15-17]. Los resultados de estos estudios demuestran que las variabilidades observadas en las concentraciones de PM₁₀ están fuertemente asociadas a factores meteorológicos por un lado, y por otra parte a factores temporales vinculados a actividades antrópicas [18]. Por otra parte, las evaluaciones de los inventarios de emisiones del material particulado suspendido, indican que

las posibles fuentes de emisión son de origen industrial, polvo de erosión y resuspensión de suelos, y el tránsito vehicular en menor medida [19-20]. Dadas la importancia sanitaria y ambiental asociadas al tamaño y composición química de las partículas finas, $PM_{2.5}$, y la reiterada ocurrencia de valores de concentración de material particulado PM_{10} que superaron la norma diaria y anual de dicho contaminante atmosférico [21-22] resulta de gran interés disponer de una relación matemática que permita estimar las concentraciones de $PM_{2.5}$ a partir de valores de concentración de PM_{10} medidos en sitios donde no se disponga de la medición de $PM_{2.5}$. Al respecto, existen estudios científicos que reportan la determinación de la relación entre $PM_{2.5}$ y el PM_{10} , ($PM_{2.5}/PM_{10}$), para diferentes áreas urbanas: Ciudad de México, Santiago (Chile), Birmingham (UK), Sidney (Australia), Hong Kong (China), Bogotá (Colombia), entre otras citables [23-26]. Los resultados de estos estudios indican que existe diversidad en los valores de la relación $PM_{2.5}/PM_{10}$, estas variabilidades han sido asignadas a diferencias en factores geológicos, climatológicos, atmosféricos, y a la diferencia que existe entre las fuentes de emisión, aún en una misma ciudad [27].

En el presente trabajo se presentan, evalúan y discuten los resultados preliminares de las campañas de monitoreo de $PM_{2.5}$ realizadas durante el período de años 2013 a 2016 y correspondientes a 24 horas de exposición. Adicionalmente se realizó el cálculo, análisis y evaluación de la relación $PM_{2.5}/PM_{10}$.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudio

El área de estudio es la localidad industrial y portuaria de Ingeniero White, ubicada en la zona interna del estuario de Bahía Blanca. El censo poblacional del año 2010 indica un total de 10.486 habitantes. Según la clasificación racional del clima de Thornthwaite [28], el clima de la localidad es seco sub-húmedo con nulo o bajo exceso de agua, y por otra parte, de acuerdo a la clasificación de Köppen [29], dicho clima es semi árido. Las precipitaciones medias anuales son del orden de 685 mm y la temperatura media anual es de 15,4 °C para el período de años 1991 a 2000. Los vientos que prevalecen son del sector NNO, con una velocidad media máxima de alrededor de 23 km h⁻¹ (6.39 m s⁻¹, medida a 2 m de altura respecto del nivel del mar) durante primavera y verano (Serv. Meteorológico Nacional, 2002).

Por otra parte, y asociada a la contribución de material particulado atmosférico, la bibliografía reporta que la pérdida de suelo por erosión eólica en Bahía Blanca es de 56.8 t ha⁻¹ [30].

Las principales actividades humanas que se desarrollan dentro del área de estudio están relacionadas con la presencia del mayor puerto de aguas profundas de Argentina, que comprende el puerto de Ingeniero White y una serie de puertos adicionales que están vinculados al funcionamiento del Polo Petroquímico de Bahía Blanca, de establecimientos cerealeros y un puerto de cargas generales. En resumen, el área presenta la concurrencia de una compleja variedad de fuentes fijas y fugitivas de emisión, asociadas a influencias antrópicas y naturales.

Dentro del área descripta, el sitio de toma de muestras se encuentra ubicado de acuerdo a la siguiente referencia: EMCABB II en sitio W: 38°46'53.1"S y 62°16'4.6"O, según se presenta en la Figura 1.

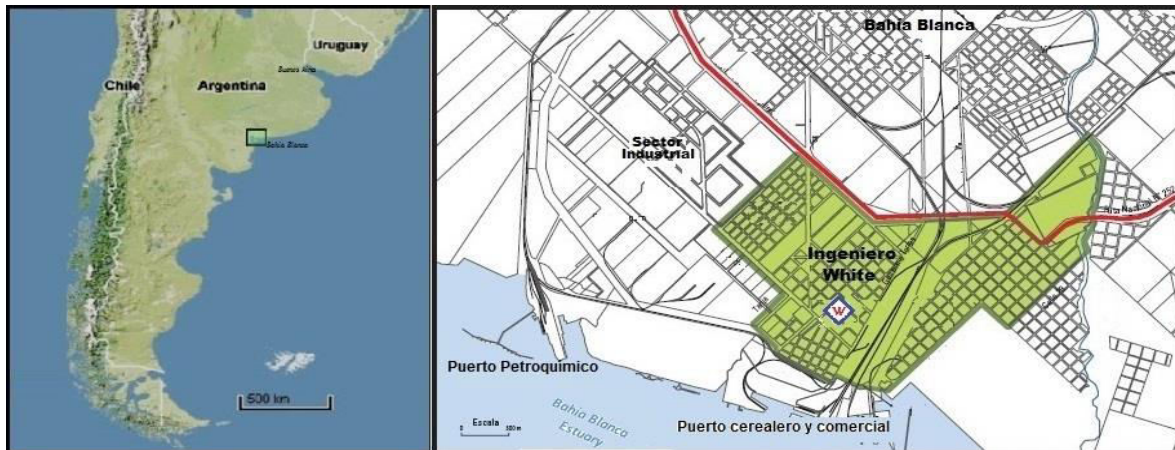


Figura 1. Área de estudio y sitio de toma de muestras

2.2. Toma de muestras y determinación de PM_{10} y $PM_{2.5}$

El muestreo de $PM_{2.5}$ se diseñó para tomar 3 muestras por semana, de acuerdo a lo recomendado por la U.S.EPA. En el período estudiado se tomaron 157 muestras de $PM_{2.5}$. Las muestras de $PM_{2.5}$ fueron tomadas con un equipo marca Thermo Electron Corporation, modelo $PM_{2.5}$ Reference Ambient Air Sampler (RAAS) durante el 10/05/2013 y el 13/10/2016, en el sitio denominado W, dentro del área urbana de Ing. White. Las muestras fueron tomadas en filtros de 47 mm de PTFE precondicionados según las recomendaciones de la U.S.EPA [31], y a un caudal controlado de muestreo de $16,7 \text{ l min}^{-1}$ durante 24 horas. La determinación de la concentración másica de $PM_{2.5}$ se realizó con una microbalanza, marca Sartorius, modelo MESF, resolución: $1 \mu\text{g}$ y platillo para filtros de 47 mm de diámetro. La instalación y operación de la balanza también se realizó siguiendo las recomendaciones internacionales (U.S.EPA). El muestreo y determinación de PM_{10} se realizó en continuo con Analizador de Material particulado PM_{10} , marca Thermo Scientific, modelo TEOM 1405 (Título 40, Parte 53 del Código Federal de Regulaciones de EEUU) [32]. Ambas tomas de muestras de $PM_{2.5}$ y PM_{10} se realizaron a una altura aproximada de 2 m respecto del nivel del suelo, de manera tal de asegurar la representatividad del aire respirado por la población.

2.3. Validación y análisis estadísticos de los datos

Todas las mediciones fueron validadas siguiendo los procedimientos establecidos en el Manual de Calidad de Monitoreo de Aire desarrollado conjuntamente entre el Comité Técnico Ejecutivo de la Municipalidad de Bahía Blanca (CTE) y el Instituto de Química del Sur, dependiente del CONICET y de la Universidad Nacional del Sur [33]. Estos procedimientos están basados en los procedimientos utilizados por organismos internacionales de reconocido prestigio (U.S.EPA, OMS, CONAMA, entre otros). Los cálculos estadísticos se realizaron utilizando planillas de cálculo Microsoft Excel® y el software Scout 2008 [34]. Las evaluaciones estadísticas de los datos obtenidos se realizaron de acuerdo a guías de la U.S.EPA [35-36]

3. MARCO NORMATIVO Y DE REFERENCIA

La norma de calidad de aire ambiente del Decreto 3395/96, reglamentario de la Ley de la Pcia. de Bs. As. N° 5965, establece una concentración de PM_{10} de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un período de exposición de 24 horas y de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (exposición anual). Esta norma está actualmente en revisión, según lo establece el artículo 3° del citado decreto reglamentario. Respecto al material particulado en suspensión $PM_{2,5}$, el mismo no se encuentra regulado en las leyes provinciales, ni en ordenanzas de la ciudad de Bahía Blanca. Cabe mencionar que en EE.UU, la norma (primaria y secundaria) de calidad de aire es de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 horas, calculada como el promedio de los percentiles 98% de al menos 3 años de medición, y la norma primaria para 1 año de exposición es de $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, calculada como el promedio anual de al menos 3 años de medición. Por otra parte, la Ley 1356 de la CABA, establece como estándares de calidad de aire los valores de $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio de 24 horas) y de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (exposición anual), calculado como la media aritmética. Además de los valores presentados, la OMS publicó las Guías de Calidad del Aire [37] que establecen metas intermedias para concentraciones de PM_{10} y $PM_{2,5}$ destinadas a promover una reducción gradual, de concentraciones altas a otras más bajas. Los valores objetivo final de PM_{10} y $PM_{2,5}$ son: $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente para 1 año de exposición, y para 24 horas de exposición los valores son: $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente para PM_{10} y $PM_{2,5}$.

4. RESULTADOS

4.1. Cálculo de la relación $PM_{2,5}/PM_{10}$ para el período de años estudiado

En la Tabla 1 y la Figura 2 se presentan los resultados de las mediciones diarias correspondientes exclusivamente a los 157 días de muestreo simultáneo de PM_{10} y $PM_{2,5}$.

Parámetro estadístico	unidad	AÑO							
		2013		2014		2015		2016	
		$PM_{2,5}$	PM_{10}	$PM_{2,5}$	PM_{10}	$PM_{2,5}$	PM_{10}	$PM_{2,5}$	PM_{10}
Número de mediciones	---	26	26	28	28	44	44	59	59
Mínimo	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,3	19,6	3,5	10,0	0,8	13,8	0,8	11,2
Máximo	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	23,9	104,9	14,8	122,1	16,1	81,8	28,8	114,6
Promedio	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	9,8	41,5	8,0	30,1	6,1	35,2	9,1	36,1
Mediana	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	10,1	35,8	6,9	27,9	5,7	32,1	8,1	31,5
Percentil 98%	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	23,7	90,4	14,6	85,6	13,9	64,5	18,4	85,2
Desviación estándar	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	5,6	21,4	3,4	20,7	3,2	14,6	5,4	21,4
CV (%)	---	57	52	42	69	52	42	59	59
Normalidad*	---	No Pasa (0,04)	No Pasa (< 0,01)	No Pasa (0,04)	No Pasa (< 0,01)	No Pasa (0,03)	No Pasa (0,03)	No Pasa (<0,01)	No Pasa (< 0,01)
Lognormal*	---	Pasa (0,11)	Pasa (0,75)	Pasa (0,17)	Pasa (0,23)	Pasa (0,11)	Pasa (0,96)	Pasa (0,005)	Pasa (0,55)

* Resultado de la evaluación de la distribución de los datos para un nivel de significación $\alpha=0,05$. Entre paréntesis se informa la probabilidad *p-value* de cada prueba estadística.

Tabla 1. Resultados y datos estadísticos de las mediciones de $PM_{2,5}$ y PM_{10}

No se calcularon los promedios anuales de $PM_{2.5}$ porque el número de mediciones de cada año es insuficiente para obtener valores representativos de la distribución anual de cada contaminante. Mientras que, los resultados y evaluación de los promedios anuales de PM_{10} se pueden calcular a partir de los datos publicados por el CTE [18].

Al observar los resultados obtenidos, se encuentra que un valor de $PM_{2.5}$ superó el valor de referencia de $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de la OMS, aunque no así a los valores de referencia de la U.S.EPA y de la Ley 1356 de la CABA. Por otra parte, se observa que la serie temporal de cada uno de los contaminantes presenta variabilidades estadísticamente similares ($p >> 0,05$).

En la Tabla 1 también se presentan los resultados de la evaluación de la distribución estadística de los datos de ambos contaminantes para cada año del período estudiado. Como se puede observar, se verificó que los datos no pertenecen a una población con distribución normal, y en cambio sí se demostró que la distribución Lognormal es la que ajusta más adecuadamente a cada población anual de mediciones.

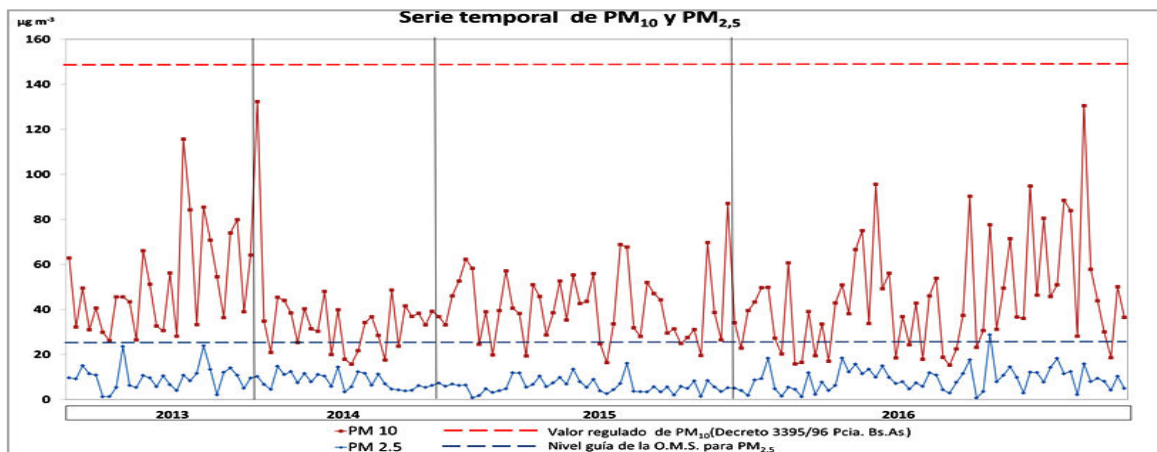


Figura 2. Serie temporal de las mediciones de $PM_{2.5}$ y PM_{10}

Respecto a la relación $PM_{2.5}/PM_{10}$, se calcularon los valores correspondientes de cada una de las 157 muestras. En la Figura 2 se presentan los valores de las gráficas de la dispersión de los pares de puntos [PM_{10} ; $PM_{2.5}$] del conjunto de mediciones de cada año y además del conjunto global de datos de todo el período de toma de muestras. Para cada conjunto de datos anuales se calculó el coeficiente de correlación de Spearman a fin de evaluar la correlación entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} . Los datos de este estadístico calculado y de su correspondiente valor crítico ($\alpha=0,05$) se presentan en la Tabla 2. Se puede observar que para los años 2013 y 2014, el estadístico calculado no supera al valor crítico, lo que significa que no se evidenció correlación entre $PM_{2.5}$ y PM_{10} ($p >> 0,05$). Para el año 2015 se encontró una cierta correlación entre ambos contaminantes ($p \sim 0,05$), mientras que para el año 2016 y para el período completo de años 2013 a 2016, el grado de correlación fue mucho más significativo ($p < 0,001$). En función de este último resultado, se calculó y evaluó la relación $PM_{2.5}/PM_{10}$ para los pares de datos de todo el período de muestreo.

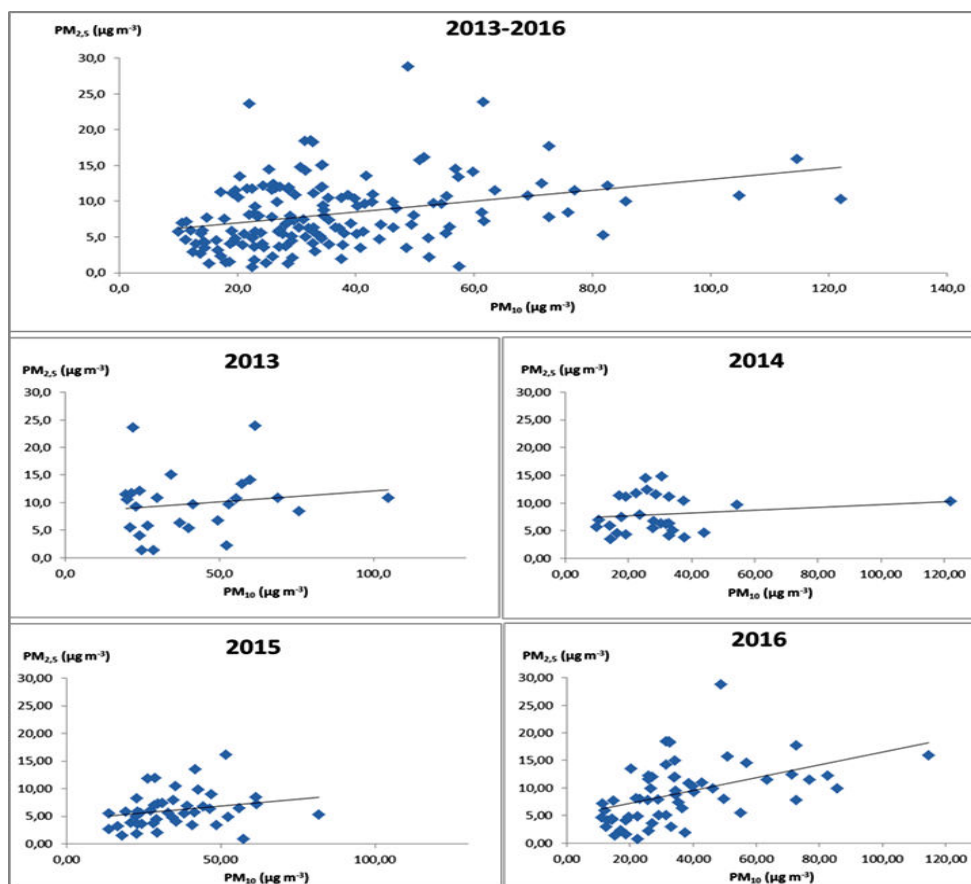


Figura 2. Gráficos de dispersión de PM_{2,5} versus PM₁₀

coeficiente de correlación	Período (año/s)				
	2013	2014	2015	2016	2013-2016
Spearman	0,134 (0,389)	0,028 (0,375)	0,319 (0,298)	0,563 (0,257)	0,350 (0,197)

Tabla 2. Análisis de la correlación PM_{2,5} versus PM₁₀

La evaluación de la distribución de los datos de la relación PM_{2,5}/PM₁₀ indicó que la distribución normal no ajusta adecuadamente a la distribución de los datos ($p < 0,005$), mientras que la distribución Lognormal sí produce un ajuste adecuado ($p > 0,350$). En función del valor obtenido de la media de $-\text{LN}[\text{relación (PM}_{2,5}/\text{PM}_{10})] = 1,5023$ y de su desviación estándar (0,6351), se calcularon la media y el desvío estándar de la relación (PM_{2,5}/PM₁₀), presentados en las ecuaciones (1) y (2), respectivamente:

$$\frac{PM_{2,5}}{PM_{10}} = e^{-1,5023} = \mathbf{0,223} \tag{1}$$

$$\frac{S_{PM_{2,5}}}{PM_{10}} = \mathbf{0,223 * LN(e) * 0,6351 = 0,142} \tag{2}$$

4.2 Evaluación de la relación $PM_{2.5}/PM_{10}$

En la Tabla 3 se presentan los valores de la relación $PM_{2.5}/PM_{10}$ para diferentes ciudades del mundo:

CIUDAD	Relación $PM_{2.5}/PM_{10}$
Ciudad de México, México	0,50-0,70
Santiago, Chile	0,40-0,70
Birmingham, Reino Unido	0,50-0,80
Sidney, Australia	0,29-0,53
Hong Kong, China	0,53-0,78
Kennedy, Colombia	0,19-0,73
Cali, Colombia	0,59
Okha, India	0,16-0,26

Tabla 3. Relación $PM_{2.5}/PM_{10}$ para otras ciudades del mundo

Fuente de emisión de polvo	Relación $PM_{2.5}/PM_{10}$
Caminos/calles pavimentados	0,15
Caminos/calles NO pavimentados (zona residencial o industrial)	0,1
Demoliciones u obras en construcción	0,1
Erosión de viento en áreas de suelo sin cobertura vegetal	0,15
Labranza de suelo agrícola	0,2
Erosión del viento en zonas industriales o mineras	0,15
Manipulación de materiales dispuestos en montículos/pilas	0,15

Tabla 4. Relación $PM_{2.5}/PM_{10}$ propuestos por la U.S.EPA

Por otra parte, la U.S.EPA ha propuesto valores de la relación $PM_{2.5}/PM_{10}$ [38-39] aplicables en el cálculo de contribuciones de $PM_{2.5}$ de emisiones fugitivas de polvo cuando se dispone del valor de concentración másica de PM_{10} . En la Tabla 4 se presentan estos valores. Otras fuentes bibliográficas indican valores de 0,96 (combustión de combustibles o de desechos), y 0,93 (incendios forestales).

Basándose en los valores de la Tabla 3 se puede observar que el valor de la relación $PM_{2.5}/PM_{10}$ obtenida en este trabajo, igual a 0,223, se aproximaría a los valores encontrados en las localidades de Okha (India), Kennedy (Colombia) y Sidney (Australia). La localidad de Okha (India) presenta un escenario con predominancia de aporte de aerosol marino al material particulado atmosférico [40]. La localidad de Kennedy, presenta una alta variabilidad de la relación $PM_{2.5}/PM_{10}$, posiblemente adjudicada al hecho de que es un sitio residencial y comercial con una alta variabilidad horaria de su gran densidad de tránsito vehicular. La baja relación $PM_{2.5}/PM_{10}$ de este lugar ha sido asociada (Rojas et al. 2005) [27] a la resuspensión de polvo de vías de tránsito en mal estado provocada por el tráfico vehicular o la acción del viento. La localidad costera de Sidney (Australia), también presenta una alta variabilidad de la relación $PM_{2.5}/PM_{10}$, Cohen (1999) [25] ha reportado una contribución de diversas fuentes de $PM_{2.5}$, siendo 10% de origen geológico (suelo erosionado por el viento), 10% de aerosol marino, y entre un 75% y 80% de origen antrópico (fundamentalmente de emisiones vehiculares e industriales). Los autores también afirman que la relación $PM_{2.5}/PM_{10}$ reportada disminuye en situaciones de tormentas de polvo o de eventos de fuertes brisas marinas. En función de lo descrito, la relación $PM_{2.5}/PM_{10}$ calculada en este trabajo, resulta asociable a

escenarios en los cuales predominan el aporte de aerosol marino y el aporte geológico del suelo (erosión eólica y/o resuspensión provocada por el tránsito vehicular).

Adicionalmente y teniendo en cuenta los valores de la U.S.EPA, el valor de 0,223 está muy cercano a todos los valores de fuentes de emisión de polvo listadas en la Tabla 4. Esta observación sugiere que existe un aporte significativo de estos tipos de fuentes de emisión de polvo que contribuyen, probablemente de una manera combinada y global en el año, al PM_{2.5} del área estudiada.

5. CONCLUSIONES

- El 99% de los valores obtenidos en el período de monitoreo cumplió con el valor guía de la OMS. El único valor de PM_{2.5}, del día 9/07/2016, superó ese valor guía en un 15%.
- La distribución de los valores diarios de PM_{2.5} se ajusta a una distribución estadística del tipo Lognormal para cada uno de los años estudiados.
- Se evidenció correlación estadísticamente significativa entre PM_{2.5} y PM₁₀ para el conjunto completo de datos del período estudiado.
- El valor de la relación PM_{2.5}/PM₁₀ calculada fue de 0,223 y es un valor muy próximo a los valores reportados para ciudades en las que regularmente predominan las contribuciones del aerosol marino, erosión eólica y la resuspensión debida al tránsito vehicular.
- Los estudios futuros podrían conducir a la simulación matemática de PM_{2.5} a partir de los valores medidos de PM₁₀ a fin de optimizar los esfuerzos de los monitoreos continuos de calidad de aire.

REFERENCIAS

- [1] Standard, I. S. O. 7708. *Air quality—particle size fraction definitions for health-related sampling*. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization (1995).
- [2] Pope III, C. A., Ezzati, M., Dockery, D. W., *N. Engl. J. Med.*, (360), 376-386 (2009).
- [3] Brook, R. D., Rajagopalan, S., Pope, C. A., et al., *Circulation*, 121(21), 2331-2378 (2010).
- [4] Wang, J., Xing, J., Mathur, R., et al., *J. Env. Health Persp.*, 125(3), 400 (2017).
- [5] Lippmann, M., Frampton, M. et al., *J. Env. Health Persp.*, 111(8), 1074 (2003).
- [6] European Commission. Directiva 1999/30/C relativa a los valores límite de SO₂, NO₂ y NO_x, partículas y Pb en aire ambiente. *Diario de las Comunidades Europeas*, 29 (1999).
- [7] NAAQS. National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter; Final Rule. *Federal Register* 62:38, 652-38, 752. (1997).
- [8] Ley N° 1356/2004 de la Ciudad Autónoma de Bs.As., Boletín Oficial de la Ciudad Autónoma de Bs.As. No 2000, Bs.As., Argentina (2004).
- [9] Municipalidad de Bahía Blanca. *Programa Integra de Monitoreo*. Disponible en: <http://www.bahiablanca.gob.ar/equipos-de-trabajo/gestion-ambiental/comite-tecnico-ejecutivo/informes-medioambientales/>
- [10] Carignano, C., et al., *Archivos de Alergia e Inmunología Clínica*, 34(4), 119-128. (2003).
- [11] Carignano, C., et al., *Archivos de Alergia e Inmunología Clínica*, 40(1), 19-24. (2009).

- [12] Carignano, C., et al., *Archivos de Alergia e Inmunología Clínica*, 39(1), 32-43. (2008).
- [13] Hopke, P., et al., *Journal of Exposure Sc. & Env. Epidemiology*, 16(3), 275-286. (2006).
- [14] Chow, J. C., & Watson, J. G. *Energy & Fuels*, 16(2), 222-260. (2002).
- [15] Morales Del Mastro, A. et al. “Metals, metalloids and ions determination in size-fractionated soils collected in an industrial city of Argentina”, *Colloquium Spectroscopicum Internationale XXXIX*, Figueira da Foz, Portugal (2015).
- [16] Yáñez, M.J. et al. “Caracterización de Material Particulado PM₁₀ mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)”, *Acta Microscópica*, Vol. 25, Supp. A. (2016).
- [17] Morales Del Mastro, A. et al. *Atm. Env.* (98) 299-307(2014).
- [18] Pagani M. et al. “Monitoreo Continuo de Calidad de Aire en Bahía Blanca- Resultados Históricos de PM₁₀”, en *Contaminación Atmosférica en Argentina: V Reunión PROIMCA*. 16 pág. Edit. Universidad Tecnológica. ISBN: 978-950-42-0163-2 (2015).
- [19] Morales Del Mastro, A. et al. Perfiles físicos y químicos de las fuentes de emisión de PM₁₀ en el Polo Industrial de Ing. White, Bahía Blanca, Argentina. *9º Encuentro Internacional ICES*; CNEA. ISBN 978-987-1323-34-0. (2013).
- [20] Dawidowski, L. E. y Pereyra M.T. “Estudio de la Emisión y Recepción de los Aerosoles Troposféricos de la Zona Portuaria e Industrial de Ing. White y Bahía Blanca” Informe 1ª Etapa, convenio UNSAM-CNEA-INQUISUR y Municipalidad de Bahía Blanca (2011).
- [21] Decreto N° 3395/96 de la Pcia. de Bs.As., Boletín Oficial N° 23211, La Plata, (1996).
- [22] Romieu, I., & Borja-Aburto, V., *Salud pública de México*, 39(5), 403-411. (1997).
- [23] Harrison, R., Deacon, A., Jones, M., Appleby, R., *Atm. Env.*, 31(24), 4103-4117. (1997).
- [24] D'innocenzio, F., Di Filippo, et al., *Annali di chimica*, 88(3-4), 281-289. (1998).
- [25] Cohen, D. Seasonal and regional variations in ambient fine particle concentrations and sources in New South Wales: A seven year study, in: *Proceedings Intern. Congress of Biometeorology & Intern. Conf. on Urban Climatology*, Sydney, AU (pp. 8-12). (1999).
- [26] Ho, K., Lee, S., Chan, C., Jimmy, C., Chow, J., Yao, X., *Atm. Env.*, 37(1), 31-39. (2003).
- [27] Rojas, N., & Galvis, *Revista de Ingeniería*, (22), 54-60. (2005).
- [28] Thornthwaite, C. W. *Geographical Review*, 38(1), 55-94. (1948).
- [29] Köppen, W. P, *Grundriss der klimakunde*. (1931).
- [30] Bouza, M., Silenzi, J., Echeverría, N., De Lucia, M., *Aeolian Res.*, 3(4), 427-435. (2012).
- [31] U.S.EPA. Class, I. *Quality Assurance Guidance Document 2.12*. (1998).
- [32] U.S. EPA. *Ambient Air Monitoring Reference and Equivalent Methods*. (2017).
- [33] Municipalidad de Bahía Blanca–CTE. *Manual de Calidad de Monitoreo de Aire*. (2015).
- [34] Scout: A Data Analysis Program Technology Support Project, US EPA. EMSL-LV, Las Vegas, NV 89193–3478 (2008).
- [35] U.S. EPA. *Data Quality Assessment: A Reviewer's Guide*, EPA/240/B-06/002 (2006).
- [36] U.S. EPA. *Statistical Methods for Practitioners*. EPA/240/B-06/003 (2006).
- [37] Organización Mundial de la Salud. *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, O₃, NO₂ y el SO₂: Actualización mundial 2005*. (2006).
- [38] Cowherd, C., Donaldson, J., Hegarty, R., & Ono, D. *Proposed revisions to fine fraction ratios used for AP-42 fugitive dust emission factors*. (2010).
- [39] Pace, T. G. Examination of the multiplier used to estimate PM_{2.5} fugitive dust emissions from PM₁₀. In: *EPA Emission Inventory Conference, Las Vegas NV*. (2005).

[40] George, K., Patil, D., Anil, M., et al., *Env. Sc. & Poll. Res.*, 1-12. (2017).