

# Variabilidad temporal del PM10 en Bahía Blanca (Argentina) y su relación con variables climáticas<sup>1</sup>

ALICIA M. CAMPO<sup>2</sup> ✉ | MARÍA EUGENIA FERNÁNDEZ<sup>3</sup> ✉ | JORGE O. GENTILI<sup>4</sup> ✉

Recibido: 02/04/2017 | Aceptado: 03/07/2017

## Resumen

La contaminación atmosférica afecta a ciudades y países de todo el planeta. Uno de los contaminantes atmosféricos más comunes es el material particulado atmosférico, que tiene directa incidencia sobre la salud de la población (OMS, 2006). Las condiciones meteorológicas definen en gran medida su concentración a nivel troposférico. Por consiguiente, el objetivo del presente trabajo es analizar la variabilidad temporal del PM10 de la ciudad de Bahía Blanca (Argentina), estableciendo posibles relaciones entre dicho comportamiento y variables físicas y antropogénicas que pueden incidir en su dinámica. Se observó que la concentración del material particulado en Bahía Blanca se relaciona con factores naturales y antropogénicos. El flujo vehicular y las actividades portuarias, principalmente el transporte y almacenamiento de granos, favorecen la producción del contaminante. Esto se manifiesta en una distribución diferencial a lo largo del día y entre días laborables y no laborables. La alta concentración de PM10 se ve afectada por la presencia de vientos de componente Norte y de altas velocidades, que suelen estar acompañados de nubes de polvo y humo. También fenómenos naturales, como la erupción del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle, inciden en los valores hallados.

Palabras clave: Contaminación atmosférica, Material particulado, Variabilidad temporal, Variables climáticas, Bahía Blanca

## Abstract

*PM10's temporal variability in Bahía Blanca (Argentina) and its relation to climate variables*

Air pollution affects cities and countries all over the world. One of the most common air pollutants is particulate matter (PM10) which has a direct impact on people's health (WHO, 2006). The concentration of this pollutant in the troposphere depends principally on weather conditions. This paper seeks to analyse variations in Bahía Blanca (Argentina) PM10 concentration over time by evaluating the relationship between physical and anthropogenic factors that may influence its dynamics. It was observed that variations in PM10 concentrations are related to both natu-

1. El presente trabajo se realizó en el marco del proyecto de investigación "Geografía Física Aplicada al estudio de la interacción Sociedad-Naturaleza. Problemáticas a diferentes escalas tiempo-espaciales", 24/G067, subsidiado por SGCyT, UNS.

2. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur (UNS) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). amcampo@uns.edu.ar

3. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur (UNS). - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). eugenia.fernandez@uns.edu.ar

4. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur (UNS) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). jogentili@uns.edu.ar

ral and anthropogenic factors. Traffic flow and agroindustrial activities, mainly related to grain transport and storage, promote high pollutant concentrations. This is reflected by marked variations of PM10 concentrations throughout the day and between working and nonworking days. PM10 concentrations are affected by Northern, high speed winds, which cause clouds of dust and smoke very often. In addition, results from this investigation revealed that PM10 concentrations may be related to volcanic activity, as the eruption of the Puyehue- Caulle Range.

---

Keywords: Air Pollution, Particulate matter, Temporal variability, Climatic variables, Bahía Blanca

---

## Resumé

### *Variabilité temporelle des PM10 à Bahía Blanca (Argentina): rapport avec des variables climatiques*

La pollution de l'air affecte des villes et des pays dans le monde entier. Les particules en suspension constituent l'un des polluants atmosphériques le plus courants et ont une incidence directe sur la santé des populations (OMS, 2006). Les taux de concentration de ce polluant dans la troposphère dépendent en grande mesure des conditions météorologiques. En conséquence, l'objectif de ce travail est d'analyser la variabilité temporelle des PM10 à Bahia Blanca (Argentina) en identifiant les variables physiques et anthropogéniques susceptibles d'influencer une telle dynamique. Les résultats ont démontré que la concentration de particules en suspension à Bahia Blanca répond à des facteurs à la fois naturels et anthropogéniques. La circulation et les activités portuaires, spécialement le transport et le stockage des grains, favorisent la concentration du polluant. Ceci est particulièrement percevable par des taux de concentration différentiels le long d'une journée et entre des journées ouvrables et pas ouvrables. Pareillement, la concentration des PM10 est affectée par la récurrence des vents du Nord, dont la vitesse est souvent élevée, entraînant des nuages de poussière ainsi que par des éruptions volcaniques, tel que l'éruption du complexe volcanique Puyehue-Cordon Caulle.

---

Mots clef: Pollution de l'air, Matières particulaires, Variabilité temporelle, Variables climatiques, Bahía Blanca

---

## 1. Introducción

Las grandes concentraciones de población en torno a las ciudades generan cambios en el medio natural. Son especialmente significativos aquellos suscitados en la atmósfera terrestre, con alteraciones en las proporciones de los elementos que la componen o el aditamento de sustancias tóxicas. Como consecuencia, la calidad del aire en las zonas urbanas suele disminuir con efectos negativos sobre la calidad de vida y el bienestar de la población. Los focos de calor domésticos, los automóviles y las industrias son los principales causantes de este fenómeno (Fernández García, 2001). Entre los contaminantes atmosféricos más comunes se destaca el material particulado atmosférico (PM10).

El material particulado se define como un conjunto de partículas sólidas y/o líquidas presentes en suspensión en la atmósfera (Mészáros, 1999). Constituye una mezcla compleja de sustancias orgánicas e inorgánicas que presentan una composición física y química variable. Sus características físicas inciden directamente en el transporte, tiempo de permanencia y posibilidad de

deposición. Las características químicas determinan las posibles interacciones con distintas sustancias del aire formando compuestos químicos orgánicos e inorgánicos (García Lozada, 2006). Su incorporación a la atmósfera se produce mediante procesos naturales de tipo físico, químico o biológico o como resultado de actividades antropogénicas (Morales y Leiva, 2006). Entre las partículas originadas por procesos naturales se destacan los aerosoles marinos, la materia mineral, los aerosoles producto de las erupciones volcánicas y las partículas biogénicas (polen, esporas, restos de plantas, virus, etc.). Asimismo, el tráfico vehicular, las actividades agroindustriales, los procesos de combustión y las actividades industriales son los principales procesos antropogénicos producto de los cuales el material particulado se incorpora a la atmósfera (García Aleix, 2012). Se consideran partículas finas al material particulado con un diámetro menor a 2,5  $\mu\text{g}$  (PM2,5). Dentro de las partículas gruesas se incluye al material particulado con un diámetro aerodinámico entre 2,5  $\mu\text{g}$  y 10  $\mu\text{g}$ . El material particulado con un diámetro menor a 10  $\mu\text{g}$  se denomina PM10 y se utiliza como término integrador de partículas finas y gruesas (García Lozada, 2006). El PM10 representa la masa de partículas que ingresa en el sistema respiratorio, generando problemas relacionados con los sistemas respiratorio y cardiovascular (OMS, 2006).

La contaminación atmosférica es una problemática importante que afecta a ciudades de todo el planeta. Es por ello que se han gestado diversas estrategias dirigidas a controlar y evaluar la calidad del aire sobre centros urbanos e industriales. A nivel internacional existe la red BAPMON (*Background Air Pollution Monitoring Network*) que tiene como objetivo monitorear los cambios a gran escala en las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. La misma se inserta dentro del Programa de Vigilancia Atmosférica Global (VAG) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), iniciado en el año 1989.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece criterios de calidad del aire que presenta valores guía de los contaminantes atmosféricos más comunes a partir de numerosos estudios de carácter epidemiológico y sanitario. Las guías de calidad del aire se elaboran para respaldar medidas orientadas a conseguir una calidad del aire que proteja la salud pública en diversas situaciones (OMS, 2006). La *Guía de calidad del aire: actualización mundial 2005* (OMS, 2006) establece una concentración anual media de 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  como el nivel más bajo con el cual se ha demostrado que la mortalidad total aumenta en respuesta a la exposición prolongada de material particulado. Para valores de 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  el riesgo de mortalidad aumenta en un 15 %, mientras que para niveles de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  la mortalidad prematura disminuye en un 6 % con respecto al valor de 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (OMS, 2006). En cuanto a las exposiciones de corta duración determina para el promedio de 24 horas un valor guía de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Aproximándose a dichos criterios, cada país posee normativas específicas al respecto. En la provincia de Buenos Aires (Argentina) el Decreto N° 3395/96 que reglamenta la Ley N° 5965 establece los límites legales correspondientes a niveles de contaminantes en el aire en períodos de tiempo específicos. El límite legal para el PM10 es 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  como media aritmética anual y 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas. Según la normativa, este último valor no puede ser superado más de una vez al año.

La composición y distribución espacio-temporal del material particulado ha sido vastamente estudiado por científicos de todo el mundo (Burton *et al.*, 1996; Kim *et al.*, 2000; Yang, 2002; Blanchard y Tanenbaum, 2003; Grivas *et al.*, 2004; Karar *et al.*, 2006; Celis y Morales, 2007; Gaitán *et al.*, 2007; Johansson *et al.*, 2007; Querol *et al.*, 2008; Bhaskar y Mehta, 2010; Salvador *et al.*, 2011; Allende *et al.*, 2013; Sharma *et al.*, 2014). Con respecto a las concentraciones del contaminante y su relación con las condiciones atmosféricas, Pohjola *et al.* (2002) estudiaron el comportamiento del PM10 y PM2,5 en función de la temperatura, la humedad, las precipitaciones, la presión

atmosférica y la velocidad y dirección del viento, entre otras, para el Área Metropolitana de Helsinki (Finlandia). Unal *et al.* (2011) analizaron la influencia de las variables meteorológicas en la distribución del material particulado en Estambul. Mok y Hoi (2005) realizaron un estudio similar para la ciudad de Macao (China) y Rodríguez *et al.* (2002) para el área rural del este español. García *et al.* (2014) analizaron el comportamiento de los vientos dominantes en la Zona Metropolitana de Guadalajara (México) y su influencia en la acumulación de contaminantes atmosféricos durante el período 2001-2010. Arreola Contreras y González (1999) caracterizaron la relación temporal entre el viento de superficie y la concentración de partículas.

La ciudad de Bahía Blanca se ha consolidado a partir de la década del ochenta como centro de importantes empresas agroindustriales y del sector petroquímico. La calidad del aire en la ciudad de Bahía Blanca se ve directamente afectada por la realización de dichas actividades (Puliafito y Allende, 2007). Si bien el control de la contaminación ambiental estuvo vigente durante la década de los noventa, fue después del año 2000, luego de una fuga accidental de gas cloro desde una de las plantas industriales, que se redefinió el marco legal con la Ley Provincial 12530, que creó el "Programa Especial para la Preservación y Optimización de la Calidad Ambiental" para el partido de Bahía Blanca. Para la ejecución de este programa se creó el Comité Técnico Ejecutivo (CTE) bajo la órbita municipal que se encarga, entre otras cosas, de monitorear de forma continua las emisiones de contaminantes. En lo que respecta a estudios aplicados a Bahía Blanca, Puliafito y Allende (2007) afirmaron que el PM10 constituye uno de los parámetros más críticos debido al movimiento cerealero del puerto, con excedencias reiteradas en los valores diarios máximos establecidos por la legislación. Además, Puliafito *et al.* (2009) sostienen que los promedios horarios del contaminante para período 1997 - 2002 fueron superiores entre 12 y 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el centro de la ciudad. Por su parte, Orte *et al.* (2013) concluyeron que las mayores concentraciones de PM10 se hallan en la zona industrial, seguido por niveles encontrados en la zona urbana y con valores más bajos en la zona residencial. Colman Lerner *et al.* (2012) compararon concentraciones de PM10 para las ciudades de Bahía Blanca y La Plata y afirmaron que, a pesar de tener características similares en cuanto a su actividad industrial y flujo vehicular, Bahía Blanca presenta mayores valores de contaminación atmosférica que la ciudad de La Plata.

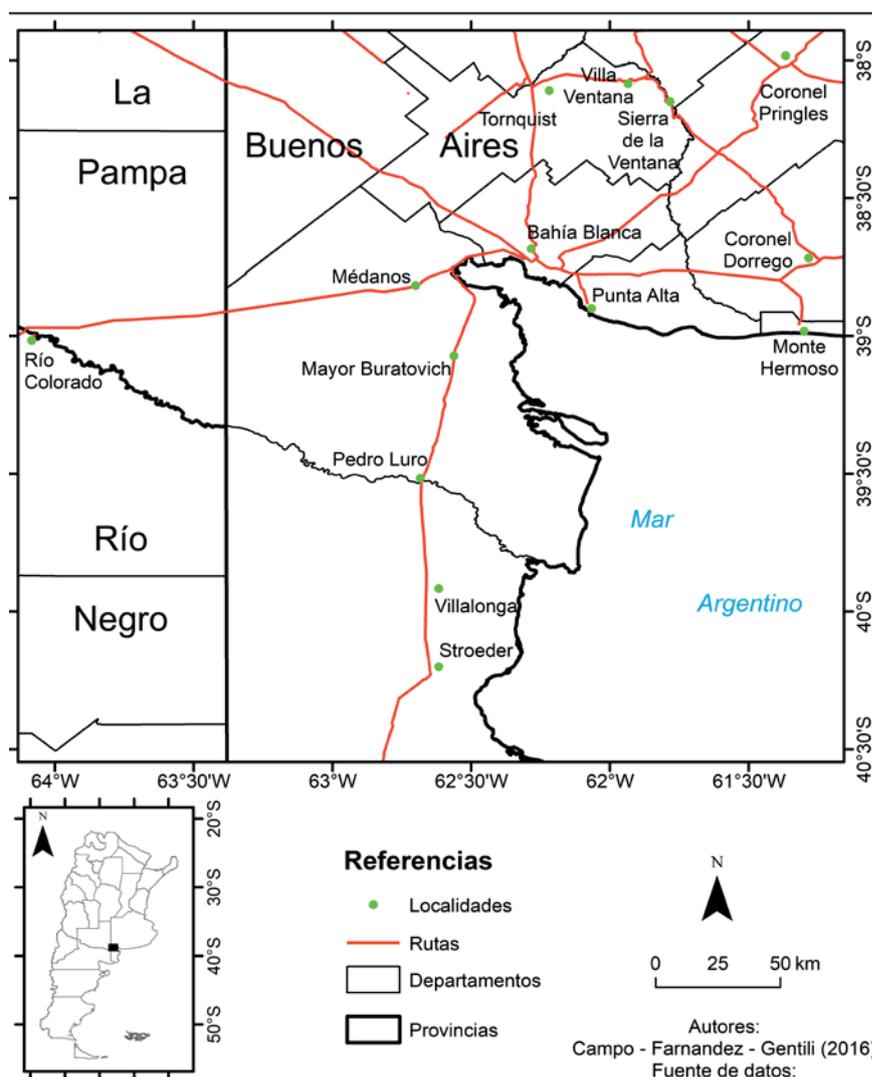
El objetivo del presente trabajo es analizar la variabilidad temporal del PM10 de la ciudad de Bahía Blanca para el período 2010-2012, estableciendo posibles relaciones con variables físicas y antropogénicas que pueden incidir en su dinámica. Ya que los elementos del tiempo juegan un papel fundamental en el transporte y dispersión atmosféricos, se analizó la presencia del contaminante en función de las variables climáticas de la zona de estudio. El conocimiento de dichas relaciones es de gran relevancia para la toma de decisiones en cuanto a políticas de índole ambiental y para la gestión del riesgo. A fin de indagar acerca del posible impacto sobre la salud de este contaminante se hará énfasis en la concentración registrada y los límites legales que establece la normativa correspondiente (Dawidowski *et al.*, 1997). La mencionada presencia del PM10 en la atmósfera urbana (Puliafito y Allende, 2007) justifica el énfasis brindado en esta investigación y su vinculación con elementos climáticos característicos de la región.

### 1.1. Área de estudio

La ciudad de Bahía Blanca está ubicada en el suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina (mapa 1) y constituye la ciudad cabecera del partido homónimo, que cuenta con 301.572 habitantes (INDEC, 2010). Se localiza en la franja de climas templados con veranos e inviernos bien diferenciados y primaveras y otoños moderados (imagen 1B) (Capelli de Steffens *et al.*, 2005).

La dinámica natural produce variaciones en las condiciones atmosféricas en cada momento del tiempo y en cada sitio (Fernández *et al.*, 2014), variabilidad que guarda relación con el movimiento de las masas de aire de distinto origen y características (Campo de Ferreras *et al.*, 2004). El Anticiclón Subtropical del Atlántico Sur origina masas de aire cálidas y húmedas, más influyentes en la estación verano, mientras que el Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur genera una circulación fría y con baja humedad relativa, lo cual obedece a su procedencia austral y trayectoria continental (imagen 1A). El encuentro de estas masas de aire se asocia con la ocurrencia de frentes y la consecuente formación de nubes y posibles precipitaciones (Capelli de Steffens *et al.*, 2005). En la imagen 1B se observa el diagrama ombrotérmico para la ciudad de Bahía Blanca donde se presenta la distribución media anual de las precipitaciones y de las temperaturas. En el período 2001-2010 las precipitaciones fueron máximas en los meses de octubre y febrero. La rosa de los vientos para ese mismo período muestra una clara dominancia de frecuencias de días de viento con dirección NO y una intensidad media cercana a los 20 km/h (imagen 1C). En verano, la región recibe una mayor frecuencia de vientos del sector Norte ya que la circulación del Sistema del Anticiclón del Atlántico Sur se ve acrecentada por la circulación de la Baja Térmica del Noroeste (Campo de Ferreras *et al.*, 2004; Scian, 2010).

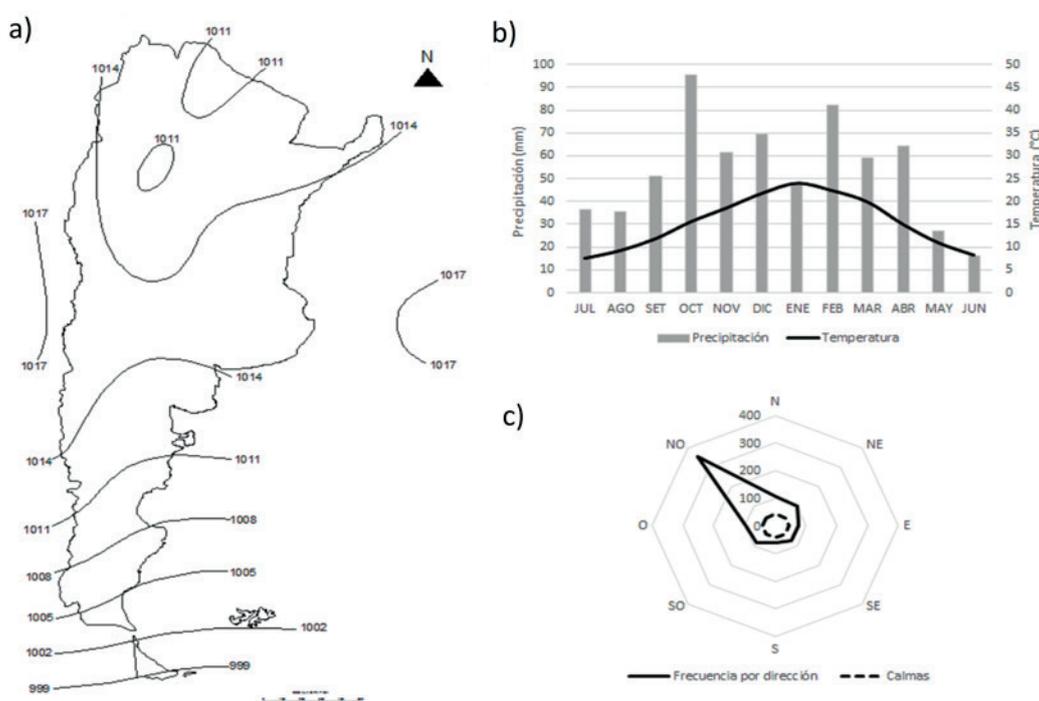
Mapa 1. Localización del área de estudio



Fuente: elaborado por Campo, Fernández y Gentili (2016)

La localidad se encuentra en el límite sur de la llanura pampeana. Se identifican tres unidades geomorfológicas: las terrazas que se extienden desde el noreste al norte, el valle del río Napostá Grande y la planicie baja, cercana a la costa (Bróndolo *et al.*, 1994). La cercanía al mar puede ser un factor de relevancia a la hora de explicar la presencia de material particulado en la atmósfera, ya que los aerosoles marinos suelen formarse por la acción del viento sobre la superficie de las aguas. Asimismo, los materiales superficiales consolidados característicos de la región (depósitos eólicos de tipo loésico o arenoso fino) (González Uriarte, 1984) se ven expuestos a la abrasión y erosión del viento, produciendo partículas que son introducidas a la atmósfera (García Aleix, 2012)

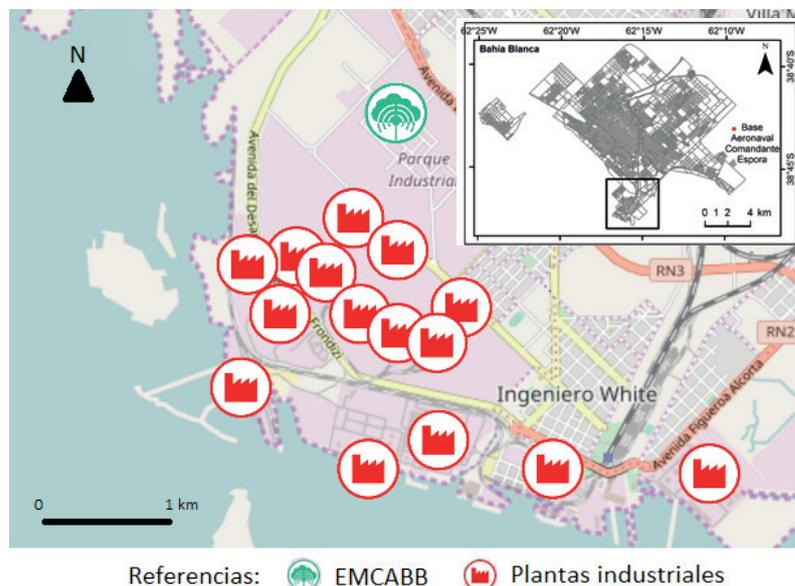
Imagen 1. a) Presión atmosférica media anual para la República Argentina; b) diagrama ombrotérmico y c) rosa de los vientos para Bahía Blanca (2001-2010)



Fuente: elaborado por Campo, Fernández y Gentili (2016) sobre la base de Estadísticas Climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional

La ciudad se ha consolidado como un centro de importancia regional. Constituye un destacado nodo de transportes y comunicaciones con una amplia infraestructura terrestre, marítima y aeroportuaria. En cuanto a su estructura productiva, el Puerto de Bahía Blanca constituye la principal salida para la producción agrícola de la región, cuenca agroexportadora de gran relevancia en la República Argentina. Posee un rol destacado dentro del escenario industrial nacional debido al funcionamiento del Polo Petroquímico de Bahía Blanca, uno de los más importantes del país, localizado sobre la costa y complementado por diversos proyectos emplazados en la zona portuaria, que fomentan la conformación de un sector industrial dinámico y en continua expansión. La imagen 2 muestra la disposición y ubicación de las empresas en la zona. Estas actividades, a través de sus emisiones modifican la composición atmosférica natural y pueden ser fuente de partículas en suspensión en la atmósfera bahiense.

Imagen 2. Ubicación de las empresas de la zona portuaria bahiense, de la Estación de Monitoreo Continuo del Aire de Bahía Blanca (EMCABB) y de la Estación Base Aeronaval Comandante Espora (SMN)



Fuente: esquema generado a partir de <http://www.quepasabahiablanca.gov.ar/> y modificado por Campo, Fernández y Gentili (visitado: 24 de febrero de 2016)

Con respecto a los contaminantes monitoreados en la ciudad, el material particulado constituye el más crítico de la zona portuaria (Puliafito y Allende, 2007; Puliafito *et al.*, 2009; Colman Lerner *et al.*, 2012). Las cargas y descargas de cereales y el traslado hasta lugares de almacenaje constituyen un importante factor de emisión. Las empresas que operan en el puerto de Bahía Blanca realizan estas operaciones dos veces, ya que se recibe el cereal, es almacenado, acondicionado y posteriormente despachado por barco. La excepción la constituyen las oleaginosas, que solo son descargadas una vez (Puliafito y Allende, 2007). El cuadro 1 presenta el balance de emisiones de PM10 generado por las empresas de la zona portuaria para el año 2012, basada en cálculos realizados por el CTE. Además, la acción del viento y la re-suspensión de partículas depositadas en las calles por donde circulan los vehículos inciden en los valores de PM10 registrados en la ciudad (CTE, 2011).

Cuadro 1. Balance de emisiones de las empresas presentes en la zona portuaria para el año 2012

EMPRESA	PM <sub>10</sub> (tn/año)
Cargill	16,07
Cía. Mega	0,30
CPB	59,56
Petrobras	48,78
Profertil	1,65
Solvay Indupa	38,12
Toepfer	50,09
TBB	74,41
Dreyfus	4,62
Moreno	30,20
<b>TOTAL</b>	<b>323,81</b>

Fuente: CTE (2012)

## 2. Metodología

Para analizar el PM10 y su variabilidad temporal se cuenta con datos diarios oficiales de acceso público (<http://www.quepasabahiablanca.gov.ar/>) generados por el CTE. Estos se registran en la Estación de Monitoreo Continuo del Aire de Bahía Blanca (EMCABB), cabina móvil equipada con analizadores de diversos contaminantes, entre ellos material particulado (PM10). El período disponible es 2009-2012 pero dado que para el primer año los datos están incompletos se decidió centrar el análisis en el período 2010 - 2012. Los datos se analizaron mediante técnicas asociadas a la estadística descriptiva.

Paralelamente y a fin de vincular el comportamiento del contaminante con situaciones atmosféricas, se cuenta con datos meteorológicos horarios de la estación Base Aeronaval Comandante Espora del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (imagen 2). En el desarrollo de esta investigación se utilizaron los registros temperatura media, velocidad y dirección de viento y precipitaciones.

## 3. Resultados

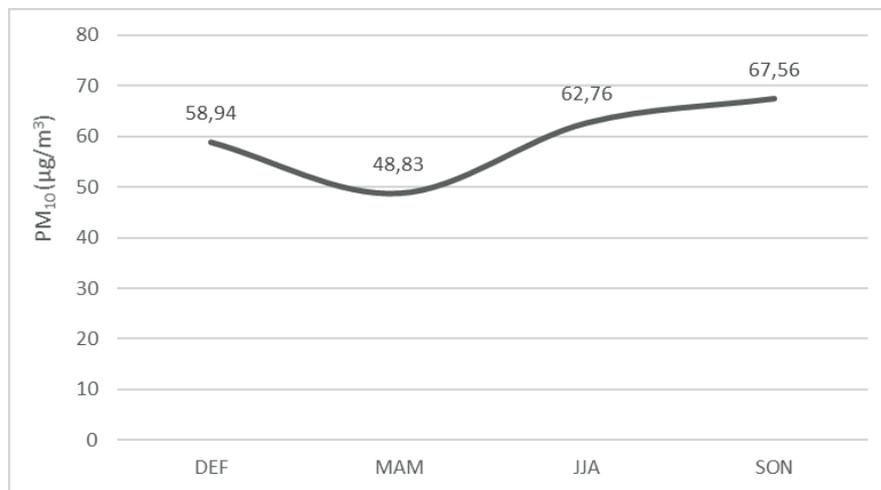
### 3.1. Las variaciones temporales del PM10

Se calcularon los promedios anuales de PM10. El año 2011 fue el que registró mayores valores del contaminante, con un promedio de  $71,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Los años 2012 y 2010 le siguen con valores medios de  $56,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $53,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente. El registro del año 2011 fue claramente influenciado por la erupción del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle, ocurrida en junio de ese año. El componente fino de la ceniza volcánica puede dispersarse sobre áreas muy grandes, incluso llegando a influir sobre el balance energético radiativo de la tierra y causando cambios en el clima (Crutzen, 2006; Kristiansen *et al.*, 2010). Mulena *et al.* (2012) estudiaron la dispersión de las cenizas volcánicas del Puyehue y en las salidas gráficas de ese trabajo puede observarse que el material volcánico alcanza la ciudad de Bahía Blanca a partir del 6 de junio. Cabe destacar que los valores medios registrados en la ciudad superaron a los hallados en ciudades de gran flujo vehicular como Montreal, Toronto, Ottawa, Boston, Washington DC o Filadelfia (Brook *et al.*, 1997; Parkhurst *et al.*, 1999), así como los registrados en las zonas industriales de España, que oscilan entre  $30$  y  $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Querol *et al.*, 2008). Ciudades latinoamericanas con características similares en cuanto a estructura productiva y flujo vehicular, como Puente Aranda (Colombia) o Chillán (Chile) presentaron valores medios anuales de  $72 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $63,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente (Pachón y Vela, 2008; Celis y Morales, 2007). Ciudades del centro y este europeo registraron valores medios anuales entre  $41$  y  $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Houthuijs *et al.*, 2001).

Con respecto a la variación estacional, el gráfico 1 muestra que el valor máximo se registró en primavera. El contaminante manifiesta una curva ascendente desde la estación otoño. Pueden contribuir al mencionado incremento los períodos de polinización correspondientes a la primavera (septiembre, octubre y noviembre) (Borromei y Quattrocchio, 1990) y los períodos de cosechas, que en la región comienzan en el mes de diciembre. El trigo, principal producto transportado en el puerto local en los años analizados, corresponde a la cosecha fina que se inicia en ese mes (Consortio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca, 2015). No obstante, para este período, los mayores valores registrados en invierno y primavera tienen directa relación con la dispersión y re-dispersión de las cenizas del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle que, como se men-

ción, desde junio hasta varios meses posteriores a la erupción incidieron en el espacio aéreo de la ciudad (Mulena *et al.*, 2012).

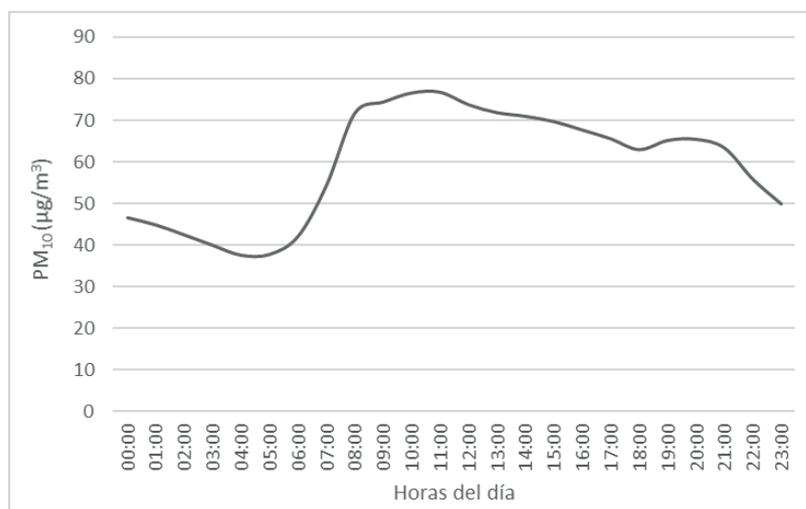
Gráfico 1. Promedios estacionales de PM10 para el período 2010 - 2012



Fuente: elaborado por Campo, Fernández y Gentili (2016)

En cuanto al ciclo diario, pudo comprobarse que el PM10 manifiesta una distribución ascendente desde las 05:00 h, con un máximo alrededor de las 11:00 h, registrando un valor medio máximo de 76,77 µg/m³. Luego experimenta un decrecimiento hasta las 18 h, siempre con registros por encima de los 60 µg/m³. Entorno a las 20 h ocurre un máximo relativo y después de las 21:00 h continúa con el descenso hasta llegar a valores mínimos (37,49 µg/m³) a las 04:00 h (gráfico 2). Este comportamiento se asemeja al hallado por Allende *et al.* (2013) en el Gran Mendoza, Argentina y por Pohjola *et al.* (2002) en Helsinki, Finlandia. Dicha dinámica puede vincularse a la influencia del flujo vehicular en la presencia del contaminante. Cabe destacar que los mayores valores registrados coinciden con los horarios en el que el tránsito vehicular es mayor. Asimismo, puede identificarse un cambio en el comportamiento del PM10 entre las 12:00 h y las 18:00 h con una paulatina disminución en su concentración, lo que se denomina “efecto siesta” (Allende *et al.*, 2014) debido a la baja en la circulación de vehículos en las calles de la ciudad.

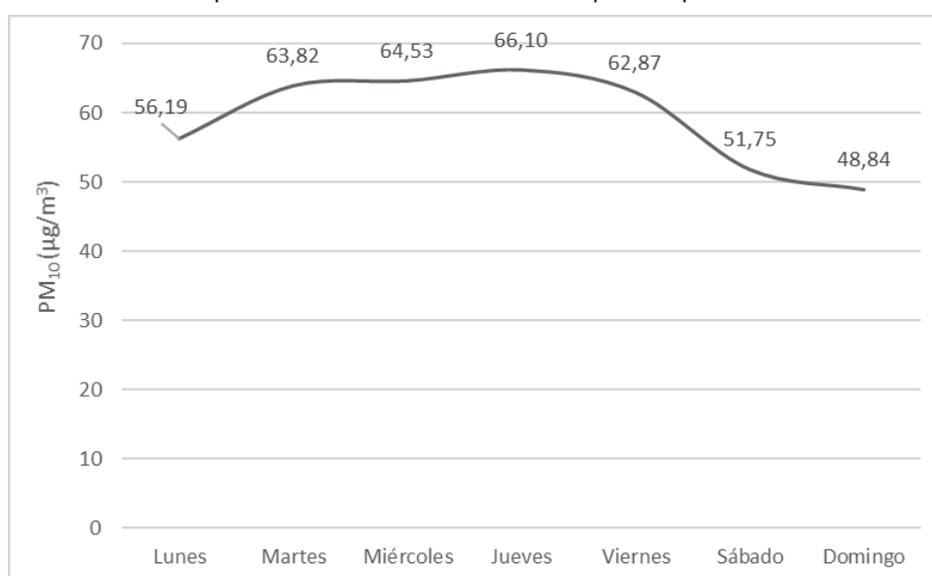
Gráfico 2. Comportamiento horario del PM10 para el período 2010 - 2012



Fuente: elaborado por Campo, Fernández y Gentili (2016)

Finalmente, se caracterizó el comportamiento semanal del contaminante. La concentración del PM10 manifiesta un máximo el jueves y disminuye los días sábados y domingos (gráfico 3). La concentración media de los días laborables (lunes a viernes) fue un 19,7 % mayor que en los días no laborables (sábado y domingo). Grivas *et al.* (2004) hallaron una concentración de PM10 22 % menor los fines de semana en la ciudad de Marusi (Grecia). Chaloulakou *et al.* (2003), Gour *et al.* (2012) y Vinasco y Nastar (2013), entre otros, expusieron una distribución similar. Otros investigadores han hallado máximas concentraciones de contaminantes en un día específico de la semana, como los jueves o los miércoles (Blanchard y Tanenbaum, 2003; Charron *et al.*, 2004; Karar *et al.*, 2006; Unal *et al.*, 2011). Este comportamiento puede explicarse debido a la acumulación del material particulado en la atmósfera producto del desarrollo de actividades industriales durante la semana (Unal *et al.*, 2011). En Bahía Blanca sería necesario evaluar con detalle las emisiones diarias de material particulado por parte del sector industrial y vehicular a fin de determinar su grado de incidencia en la presencia del contaminante en el transcurso de la semana.

Gráfico 3. Comportamiento semanal del PM10 para el período 2010 - 2012



Fuente: elaborado por Campo, Fernández y Gentili (2016)

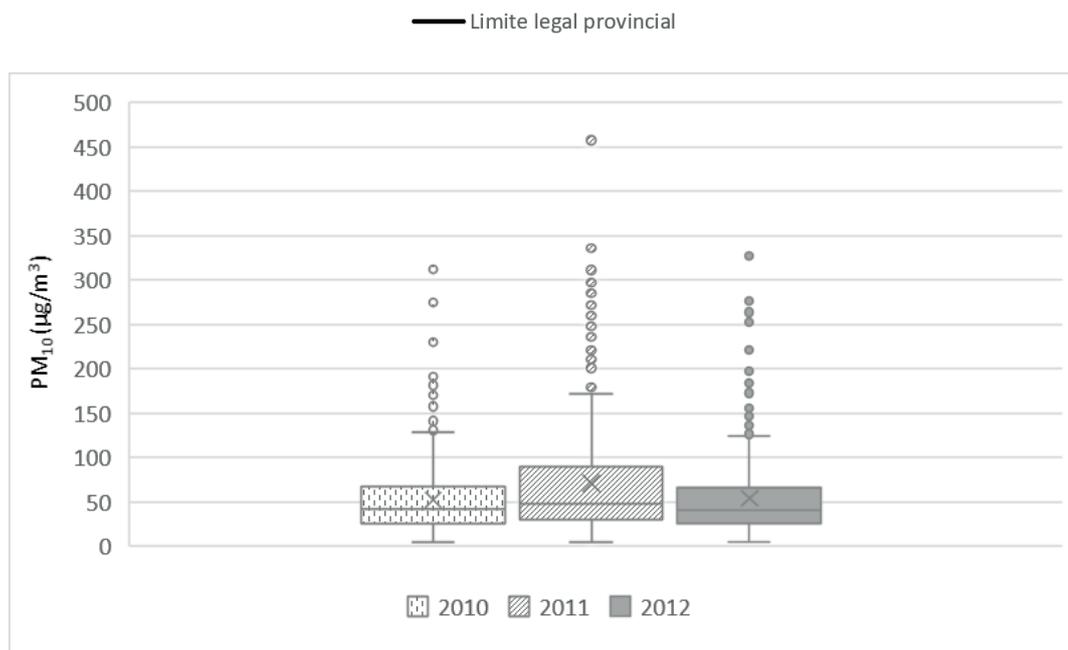
En este sentido, los gráficos 2 y 3 permiten suponer que las actividades antropogénicas locales influyen en la presencia de este contaminante en la atmósfera, ya que las máximas concentraciones coinciden con los días y horarios en los que flujo vehicular y las actividades industriales son mayores. Es posible inferir que el tráfico de la ciudad levanta el polvo de las calles y los motores de combustión eliminan partículas finas que inciden en los valores registrados. Además, coinciden con los días y horarios en los que mayormente se cargan y descargan los cereales en la zona portuaria (comunicación oral de personal de planta del sector industrial).

### 3.2. Comportamiento del PM10 y la legislación vigente

A fin de indagar acerca del impacto ambiental del PM10 se muestran las relaciones entre la concentración registrada y los límites legales que establece la normativa provincial (Decreto N° 3395/96 que reglamenta la Ley N° 5965) (Dawidowski *et al.*, 1997). En el gráfico 4 se representaron los valores diarios de PM10 desagregados para los años de estudio y se indicó con una línea horizontal el límite legal establecido de 150 µg/m<sup>3</sup>.

Se observa que en los tres años considerados el 50 % de los registros diarios no superaron los 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con un mínimo de 4,28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Aquellos que sobrepasaron este valor presentaron una mayor dispersión, siendo 2011 el año que manifestó mayor variabilidad alcanzando un máximo de 458,1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dicho comportamiento puede asociarse a los pulsos eruptivos del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle.

Gráfico 4. Gráfico de caja de valores diarios de concentración de PM10 para el trienio 2010-2012



Fuente: elaborado por Campo, Fernández y Gentili (2016)

El cuadro 2 muestra el número de días con excedencias desagregados por año. En ciudad de Bahía Blanca, el valor límite se superó más de diez veces en los tres años analizados. Cabe destacar que el año 2011 es el que presenta el mayor número de excedencias. El informe del CTE para ese año asocia dichas excedencias a la erupción del volcán Puyehue (CTE, 2011). En otros estudios Puliafito y Allende (2007) y Puliafito *et al.* (2009) hallaron también excedencias en los valores registrados (período 1997-2005) con respecto a la normativa provincial (11 excedencias en 1998 y 7 excedencias en 2005). Las mismas fueron atribuidas al gran movimiento cerealero del puerto.

Cuadro 2. Excedencias a la legislación provincial en el período 2010 – 2012 e Índice Porcentual de Excedencias

Año	Número de días con excedencias a los valores límite (Legislación provincial)	IPE (Índice Porcentual de Excedencias)
2010	12	3,35
2011	34	9,71
2012	15	4,20
Total período	61	5,73

Fuente: elaborado por Campo, Fernández y Gentili (2016)

A fin de cuantificar la representatividad de la presencia de contaminación atmosférica en lo que respecta a material particulado en la ciudad, se definió el Índice Porcentual de Excedencias de la norma (IPE) siguiendo la metodología implementada por Gaitán *et al.* (2007). Este indicador [1] compara los valores medios diarios registrados con la normativa provincial.

$$IPE = \sum_i \left[ \frac{N_E}{N_D} \right] \cdot 100 \quad [1]$$

donde:

NE: número de días con excedencia al límite legal establecido

ND: número total de datos disponibles para cada estación

El cuadro 2 muestra los valores obtenidos con el Índice de Porcentaje de Excedencias para cada año analizado. En 2011 casi el 10 % de los días analizados sobrepasaron los 150 µg/m³ establecidos por la norma provincial.

Con respecto a los promedios anuales, durante los tres años considerados se excedió la norma provincial y el valor recomendado de la OMS, destacándose el año 2011 con un valor de 71,5 µg/m³. La *Guía de calidad del aire: actualización mundial 2005* (OMS, 2006) afirma que niveles de concentración de 50 µg/m³ anuales se asocian a un riesgo de mortalidad a largo plazo alrededor de un 11 % mayor que con el nivel recomendado en dicha guía, que es de 20 µg/m³, lo que demuestra que los valores de la ley provincial son ampliamente permisivos si se los compara a los recomendados por la OMS (2006).

### 3.3. El PM10 y las variables climáticas

Los elementos del tiempo tienen incidencia directa en el transporte y la dispersión de los contaminantes, por lo cual ningún estudio de calidad ambiental puede prescindir de analizar el comportamiento de las variables climáticas. Es por ello que en el presente trabajo se estudió el comportamiento del PM10 en relación con la dirección y velocidad de viento, la temperatura y las precipitaciones. Estas variables fueron también consideradas por Pohjola *et al.* (2002), Bhaskar y Mehta (2010), Unal *et al.* (2011) y Adam (2013), entre otros.

El viento es uno de los parámetros más influyentes en la concentración de PM10 (Gaitán *et al.*, 2007). Por ello se analizó la relación de su velocidad y dirección (medias horarias) con la concentración del contaminante en la atmósfera de la ciudad de Bahía Blanca. El cuadro 3 muestra que los valores medios de PM10 son directamente proporcionales a la velocidad del viento. Con velocidades medias horarias mayores a 20 m/s la concentración media de PM10 es más de cinco veces mayor a la registrada durante las calmas.

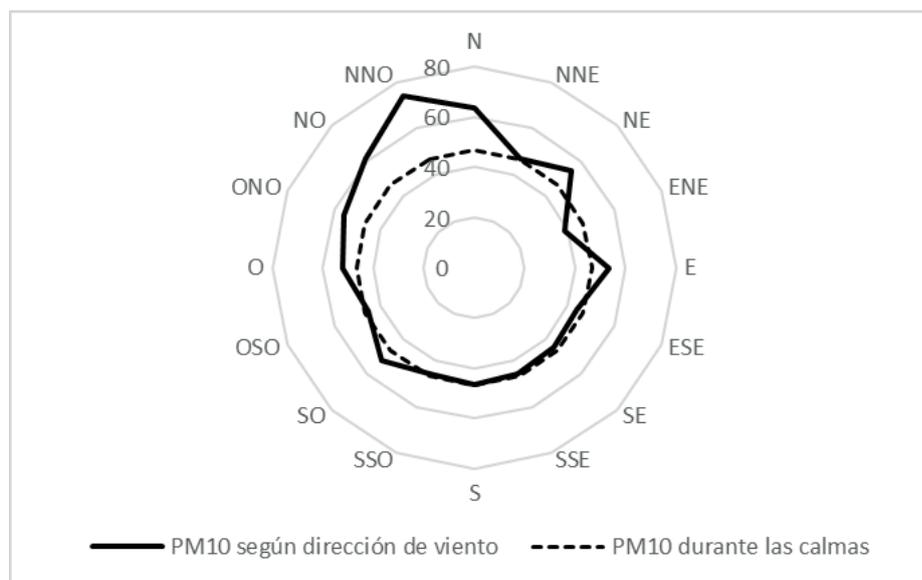
Cuadro 3. Concentraciones medias de PM10 para 2010 - 2012 según rangos de velocidad de viento

		PM10 (µg/m³)
Aire en calma		46,70
Velocidad del viento (m/s)	1 - 10	51,94
	10,1 - 20	85,03
	20,1 - 30	261,47

Fuente: elaborado por Campo, Fernández y Gentili (2016)

En el gráfico 5 se presenta la distribución media de PM10 por dirección de viento y durante las calmas. Se observa que las mayores concentraciones de PM10 se registraron en presencia de viento de componente Norte, destacándose las direcciones NNO, N y NO. Asimismo, en las direcciones E y NE se distinguen máximos relativos. Con vientos del S, SE y ENE las concentraciones disminuyen hasta concentraciones iguales o menores que las registradas durante las calmas. Esto puede dar un indicio del origen del material particulado presente en la atmósfera bahiense. Teniendo en cuenta la ubicación de la estación de monitoreo (imagen 2) es de suponer que los vientos de componente Norte dispersen el material particulado originado por la remoción de los suelos del área circundante, sobre todo en presencia de altas velocidades de viento. La composición de este tipo de partículas se suele corresponder con las características edáficas de la región (García Aleix, 2012). En cambio, con vientos de componente Sur y de altas velocidades, es factible que tenga incidencia la presencia de aerosol marino. Este es formado por la acción del viento sobre la superficie del mar y por la ruptura de las burbujas de aire que alcanzan la superficie de las aguas (García Aleix, 2012). Con vientos de entre 54 y 72 km/h se han llegado a medir concentraciones de más de 1.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ya que el número de partículas formadas es proporcional a la velocidad del viento (O'Dowd *et al.*, 2007). Asimismo, en presencia de direcciones de componente Sur y bajas o nulas velocidades de viento, es factible que el contaminante sea originado por las actividades localizadas en la zona portuaria, cuando el bajo movimiento de aire restringe la dispersión de los contaminantes.

Gráfico 5. Valores medios de PM10 según direcciones de viento y calmas



Fuente: elaborado por Campo, Fernández y Gentili (2016)

El cuadro 4 vincula la dirección y la velocidad de viento con los valores medios de PM10. Puede apreciarse que las mayores concentraciones del contaminante ocurren en presencia de vientos de velocidades mayores a 20 m/s y de componente Norte, destacándose NNO con un valor medio de 298,11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , seguido por el NO con 238,54  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Con vientos del Sur, los valores medios del contaminante son mayores con velocidades entre 10,1 y 20 m/s. Los menores valores se registraron con velocidades menores a 10 m/s.

Cuadro 4. Direcciones y velocidades de viento y valores medios de PM10 (2010-2012)

Direcciones	Velocidad de viento (m/s)		
	1 - 10	10,1 - 20	20,1- 30
E	53,34	-	-
ENE	38,42	68,60	-
ESE	43,85	-	-
N	49,97	85,87	254,21
NE	50,56	95,24	-
NNE	46,06	58,16	-
NNO	49,99	98,97	298,11
NO	49,05	81,46	238,54
O	52,11	-	-
ONO	52,37	66,29	165,69
OSO	45,46	-	-
S	46,24	34,20	-
SE	43,68	88,51	-
SO	51,45	79,30	-
SSE	43,58	69,73	-
SSO	44,18	58,00	-

Fuente: elaborado por Campo, Fernández y Gentili (2016)

Lo descrito anteriormente difiere de lo concluido por otros investigadores, que sostienen que las partículas en suspensión muestran una correlación negativa con la velocidad de viento, lo que indica la predominancia de fuentes contaminantes locales (Arreola-Contreras y González, 1999; Chaloulakou *et al.*, 2003; Grivas *et al.*, 2004; Gaitán *et al.*, 2007; Maraziotis *et al.*, 2008; Bhaskar y Mehta, 2010; Vinasco y Nastar, 2013; Karar *et al.*, 2006). Por el contrario, autores como Yang (2002) para Taiwán, Salvador *et al.* (2011) para Madrid y Adam (2013) para Qena (Egipto) muestran que los valores de material particulado aumentan durante los períodos de tormentas de polvo. En consonancia con ello, parte del material particulado hallado en la atmósfera bahiense es de origen extra local, producto del levantamiento del polvo de superficie ante altas velocidades de viento de direcciones N y NNO. Las mencionadas características meteorológicas pueden asociarse con un estado de tiempo sumamente reconocido por la población del sur bonaerense, al que se denomina viento Norte. Este flujo de aire tiene origen en el Anticiclón del Atlántico Sur y descarga su humedad antes de llegar al sur de la provincia de Buenos Aires, ingresando como una masa de aire seca y cálida de características Tropical Continental (Tc). Suele estar acompañado de nubes de polvo y humo procedente de los incendios estivales recurrentes de los campos de la provincia de La Pampa y del oeste bonaerense, donde la vegetación nativa fue sustituida desde tiempos históricos con cultivos de soja, girasol, trigo y maíz (Capelli de Steffens *et al.*, 2005; Sili *et al.*, 2015). La ocurrencia de este estado de tiempo puede, en consecuencia, relacionarse directamente con el material particulado registrado en la ciudad. Asimismo, en presencia de vientos del Sur y de velocidades entre 10,1 y 20 m/s el registro de PM10 puede ser influenciado por la presencia de aerosoles marinos, producto de la cercanía de la ciudad al mar. Por su mecanismo de producción, es lógico que su presencia aumente en los momentos en los que el viento fue mayor (García Aleix, 2012).

El cuadro 5 muestra que a medida que las temperaturas medias diarias aumentan, también lo hacen los valores medios de PM10, como también describieron Chaloulakou *et al.* (2003) y Vinasco

y Nastar (2013). Asimismo, se seleccionaron días con valores diarios por encima de la media correspondiente al período de estudio y se identificaron las anomalías. Esto permitió ver que la concentración media de PM10 para días con anomalías positivas fue de 61,34  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que para aquellos con anomalías negativas (valores por debajo de la media) el valor del contaminante alcanzaba los 55,13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . La relación directa que el contaminante manifestó con la temperatura puede relacionarse con la frecuencia de vientos de componente Norte, que suele ser mayor en verano (Scian, 2010).

Cuadro 5. Valores medios de PM10 según rangos térmicos medios diarios para el período 2010 - 2012

Temperatura (°C)	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
0 - 10	54,17
10,1 - 20	56,70
> 20	65,4

Fuente: elaborado por Campo, Fernández y Gentili (2016)

Por último, se evaluó la incidencia de las precipitaciones en el material suspendido en la atmósfera. Durante los períodos de lluvia ocurren procesos de lavado en las concentraciones de PM10, por lo que los valores promedio del contaminante disminuyen cuando las precipitaciones aumentan (Mok y Hoi, 2005; Bhaskar y Mehta, 2010; Vinasco y Nastar, 2013; Adam, 2013). En Bahía Blanca los días en los que no se registraron lluvias el valor medio de PM10 fue de 59,26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que los días con registro de lluvias el valor hallado fue de 34,01  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 3.4. Excedencias y variables climáticas

Se analizaron las excedencias a la norma provincial en función de los elementos del tiempo del día en que se registraron. Las mismas ocurrieron con velocidades de viento mayores a 8 m/s en todos los casos y en su mayoría superiores a 14 m/s, con direcciones de componente mayoritariamente Norte y Oeste. Cabe señalar que se registraron mayores excedencias a partir de junio del año 2011, como se mencionó anteriormente.

## 4. Conclusiones

En el presente trabajo se analizó el comportamiento temporal del PM10, que constituye uno de los contaminantes más relevantes en la atmósfera bahiense, ya que existen factores naturales y antropogénicos que promueven su producción y permanencia. Si bien las actividades portuarias representan una fuente relevante para el material en suspensión, en el período de estudio pudo observarse que existen también variables naturales que influyen notablemente, como la cercanía al mar y consecuente presencia de aerosoles marinos, la re-suspensión de polvo producto de altas velocidades de viento e incluso la erupción volcánica del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle, ocurrida en junio del año 2011. Asimismo, por tratarse de un centro de importancia regional y un destacado nodo de transportes y comunicaciones, el flujo vehicular representa en la ciudad una fuente importante de PM10. El tráfico levanta el polvo de las calles y los motores de combustión eliminan partículas finas que pueden incidir en alguna medida en los valores registrados.

En relación con el promedio anual de PM10, el año 2011 fue el que registró mayores valores, claramente influenciado por la erupción del Complejo Volcánico mencionado precedentemente. Con respecto a la variación estacional, el valor medio máximo se registró en primavera, seguido del invierno. Dicho incremento obedece también al evento natural ocurrido en junio de 2011. En cuanto a los ciclos diarios y semanales, permiten suponer que las actividades antropogénicas influyen en la presencia de este contaminante en la atmósfera, ya que las máximas concentraciones coinciden con los días y horarios en los que el flujo vehicular y las actividades industriales en la ciudad y zona portuaria son mayores.

A fin de indagar acerca del posible impacto ambiental del PM10 sobre la salud se compararon los valores registrados en la ciudad con los límites legales que establece la normativa provincial (Decreto N° 3395/96 que reglamenta la Ley N° 5965). En reiteradas oportunidades los valores registrados superaron los umbrales establecidos (12 excedencias en 2010, 34 en 2011 y 15 en 2012), como también afirmaron otros autores para la ciudad de Bahía Blanca (Pulíafto y Allende, 2007; Pulíafto *et al.*, 2009). Las excedencias halladas fueron tanto en las medias diarias como en las anuales. El cálculo del Índice Porcentual de Excedencias de la norma (IPE) mostró que en el año 2011 casi el 10 % de los días analizados sobrepasaron los 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Finalmente, se analizó la distribución del PM10 en relación con las variables climáticas. Con respecto a la dirección y velocidad de viento, las mayores concentraciones del contaminante ocurrieron con velocidades mayores a 20 m/s y de componente Norte. Los menores valores del contaminante se registraron con velocidades menores a 10 m/s, con vientos de componente Sur. Además, el PM10 manifestó una relación directa con la temperatura e inversa con las precipitaciones. Este comportamiento permite asociar la permanencia del contaminante en la atmósfera con el estado de tiempo típico en el suroeste bonaerense denominado viento Norte. Las nubes de polvo y humo que suelen acompañar a las masas de aire secas y cálidas pueden contribuir a la presencia de material particulado en la ciudad. Las excedencias a la norma provincial fueron registradas con velocidades de viento mayores a 8 m/s en todos los casos y en su mayoría superiores a 14 m/s, con direcciones de componente mayoritariamente Norte y Oeste.

En síntesis, puede afirmarse que la concentración y comportamiento del material particulado en la ciudad de Bahía Blanca obedece conjuntamente a factores naturales y antropogénicos. El flujo vehicular y las actividades portuarias, principalmente el transporte y almacenamiento de granos, favorecen la producción del contaminante y se manifiesta en una distribución diferencial a lo largo del día y entre días laborables y no laborables. Asimismo, la presencia de vientos de componente Norte y de altas velocidades inciden directamente en la alta concentración del PM10, características relacionadas con el estado de tiempo típico del suroeste bonaerense, el viento Norte, que suele estar acompañado de nubes de polvo y humo. Asimismo, fenómenos de carácter natural como la erupción del Complejo Volcánico Puyehue-Cordón Caulle, ocurrida en de junio de 2011 incidió significativamente en los valores hallados.

## 5. Referencias bibliográficas

- Adam, Mahmoud El-Nouby (2013). "Suspended Particulates Concentration (PM10) under Unstable Atmospheric Conditions over Subtropical Urban Area (Qena, Egypt)". *Advances in Meteorology*, 2013, 1-10. <http://www.hindawi.com/journals/amete/2013/457181/> [consulta: 9 de julio de 2016].
- Allende, David G; Romero, Gerardo E; Cremades, Pablo G; Mulena, Gabriela C y Pulíafto, Salvador E (2013). "Caracterización horaria y diaria de la concentración del número total de partículas en ambientes urbanos y

- suburbanos en Mendoza”. En: Puliafito, Salvador E; Allende, David G y Panigatti, Cecilia (Eds.) *Contaminación atmosférica e hídrica en Argentina Tomo II: contribuciones del IV Congreso PROIMCA y II Congreso PRODECA*, Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, 393–410.
- Allende, David; Pascual, Romina; Ruggeri, María; Mulena, Gabriela C y Puliafito, Salvador E (2014) “Monitoreo e identificación de fuentes de PM10, PM2.5 y PM1 en el área urbana y suburbana del Gran Mendoza”. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 18, 01.19-01.26. <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2014/2014-t001-a003.pdf> [consulta: 9 de julio de 2016].
  - Arreola-Contreras, José Luis y González, Graciela (1999). “Análisis espectral del viento y partículas menores de 10 micrómetros (PM10) en el área metropolitana de Monterrey, México”. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 15 (2), 95-102. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37015205> [consulta: 9 de julio de 2016].
  - Bhaskar, B. Vijay y Mehta, Vikram M (2010). “Atmospheric particulate pollutants and their relationship with meteorology in Ahmedabad”. *Aerosol Air Qual. Res.*, 10 (4), 301-315. <http://aerosol.ieexa.cas.cn/aaqrkw/kw/wqj/201207/W020120731361425397074.pdf> [consulta: 9 de julio de 2016].
  - Blanchard, Charles L y Tanenbaum, Shelley J (2003). “Differences between weekday and weekend air pollutant levels in southern California”. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 53 (7), 816-828.
  - Borromei, Ana María y Quattrocchio, Mirtha (1990). “Dispersión del polen actual en el área de Bahía Blanca (Buenos Aires, Argentina)”. *Anales de la Asociación de Palinólogos de Lengua Española*, 5, 39-52.
  - Bróndolo, Margarita; Campos, Marta; Zinger, Susana; Del Pozo, Olga y Lorda, María Amalia (1994). *Geografía de Bahía Blanca*. Bahía Blanca: Ediciones Encestando.
  - Brook, Jeffrey R; Dann, Tom F y Burnett, Richard T (1997). “The Relationship Among TSP, PM10, PM2.5, and Inorganic Constituents of Atmospheric Particulate Matter at Multiple Canadian Locations”. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 47 (1), 2-19. <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10473289.1997.10464407> [consulta: 9 de julio de 2016].
  - Burton, Robert M; Suh, Helen H y Koutrakis, Petros (1996). “Spatial variation in particulate concentrations within metropolitan Philadelphia”. *Environmental science & technology*, 30 (2), 400-407.
  - Campo de Ferreras, Alicia M; Capelli de Steffens, Alicia M y Diez, Paula G (2004). *El clima del suroeste bonaerense*. Bahía Blanca: Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur.
  - Capelli de Steffens, Alicia M; Piccolo, María Cintia y Campo de Ferreras, Alicia M (2005). *Clima urbano de Bahía Blanca*. Bahía Blanca: Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.
  - Celis, José y Morales, José (2007). “Estudio de la contaminación del aire urbano en una ciudad intermedia: El caso de Chillán (Chile)”. *Atenea*, 495, 165–182. [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-04622007000100010](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-04622007000100010) [consulta: 9 de julio de 2016].
  - Chaloulakou, A; Kassomenos, P; Spyrellis, N; Demokritou, P y Koutrakis, P (2003). “Measurements of PM10 and PM2.5 particle concentrations in Athens, Greece”. *Atmospheric Environment*, 37 (5), 649-660. [https://www.researchgate.net/profile/Pavlos\\_Kassomenos2/publication/222708554\\_Measurements\\_of\\_PM10\\_and\\_PM25\\_particle\\_concentrations\\_in\\_Athens\\_Greece/links/09e4150b5d60667b28000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Pavlos_Kassomenos2/publication/222708554_Measurements_of_PM10_and_PM25_particle_concentrations_in_Athens_Greece/links/09e4150b5d60667b28000000.pdf) [consulta: 9 de julio de 2016].
  - Charron, Aurelie; Harrison, Roy M; Moorcroft, Steve y Booker, Jeff (2004). “Quantitative interpretation of divergence between PM10 and PM2.5 mass measurement by TEOM and gravimetric (Partisol) instruments”. *Atmospheric Environment*, 38 (3), 415-423.
  - Colman Lerner, Jorge Esteban; Morales, Anabella; Aguilar, Myriam; Sánchez, Erika Y; Giuliani, Daniela; Ditondo, Juan; Massolo, Laura; Doderó, Verónica I y Porta, Andrés A (2012). “Concentración de compuestos orgánicos volátiles y material particulado en ambientes urbanos e industriales de dos regiones bonaerenses”. *Actas VII Congreso de Medio Ambiente AUGM*. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26480/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26480/Documento_completo.pdf?sequence=1) [consulta: 9 de julio de 2016].
  - Comité Técnico Ejecutivo (2011). “Monitoreo de Cuerpos Receptores”. *Programa Integral de Monitoreo del Polo Petroquímico y Área Portuaria del Distrito de Bahía Blanca (P.I.M.)*. Duodécima Auditoría.
  - Comité Técnico Ejecutivo (2012). “Monitoreo y Control de los Contaminantes del Agua y de la Atmósfera”. *Control de Emisiones Gaseosas Industriales. Enero-diciembre 2012*.
  - Consorcio de Gestión del Puerto de Bahía Blanca (2015). Comparativo de productos. Puerto de Bahía Blanca. <http://puertobahia blanca.com/estadisticas.html> [consulta: 25 de febrero de 2016]
  - Crutzen, Paul J (2006). “Albedo enhancement by stratospheric sulfur injections: a contribution to resolve a policy dilemma?” *Climatic Change*, 77 (3-4), 211-220.

- Dawidowski, Laura; Gómez, Darío y Reich, Silvia (1997). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental atmosférico*. Buenos Aires: CNEAA.
- Fernández García, Felipe (2001). Clima y calidad ambiental en las ciudades: propuesta metodológica y su aplicación al área de Madrid. En: Raso Nadal, José Miguel y Martín-Vide, Javier (Eds.) *Proyectos y métodos actuales en Climatología*. Barcelona: Katelani, 41-66. [http://www.geoclima-uam.es/mediapool/128/1280358/data/calidad\\_ambiental.pdf](http://www.geoclima-uam.es/mediapool/128/1280358/data/calidad_ambiental.pdf) [consulta: 9 de julio de 2016].
- Fernández, María Eugenia; Gentili, Jorge O y Campo, Alicia María (2014). "Diseño e implementación de una base de datos geográficos para el análisis de registros de radiación global de Bahía Blanca y Punta Alta". En: Uboldi, Julio A; Guillermo R. Angeles; Gentili, Jorge O; Geraldí, Alejandra M; Melo, Walter D y Carbone, M. Elizabeth (Comp.) *Geotecnologías del sur argentino. Casos de estudio*. Bahía Blanca: Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, 414-422.
- Gaitán, Mauricio; Cancino, Juliana y Behrentz, Eduardo (2007). "Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá". *Revista de Ingeniería*, 26, 81-92. <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n26/n26a11.pdf> [consulta: 9 de julio de 2016].
- García Aleix, J Ricardo (2012). "Evolución de la calidad del aire en el clúster cerámico de Castellón (y su relación con la actividad industrial). Origen y efectos de la contaminación por partículas en suspensión atmosférica". *Tesis Doctoral*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16545/tesisUPV3839.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [consulta: 9 de julio de 2016].
- García Lozada, Héctor M (2006). "Evaluación del riesgo por emisiones de partículas en fuentes estacionarias de combustión. Estudio de caso: Bogotá". *Unidad de Publicaciones*, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- García, Mario; Ulloa, Héctor; Ramírez, Hermes; Fuentes, Miguel; Arias, Silvia y Espinosa, Martha (2014). "Comportamiento de los vientos dominantes y su influencia en la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México". *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1 (2), 97-116. <http://www.reibci.org/publicados/2014/julio/2200120.pdf> [consulta: 9 de julio de 2016].
- González Uriarte, Magdalena (1984). "Características geomorfológicas de la porción continental que rodea la Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires". *Actas 9no Congreso Argentino de Geología*, 556-576.
- Gour, Anunay A; Singh, SK; Tyagi, SK y Mandal, Anubha (2012). "Weekday/Weekend Differences in Air Quality Parameters in Delhi, India". *IMPACT: International Journal of Research in Engineering & Technology*, 1, 69-76. [https://www.researchgate.net/profile/Anunay\\_Gour/publication/269985137\\_WEEKDAYWEEKEND\\_DIFFERENCES\\_IN\\_AIR\\_QUALITY\\_PARAMETERS\\_IN\\_DELHI\\_INDIA/links/549abddb0cf2b80371370e5a.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Anunay_Gour/publication/269985137_WEEKDAYWEEKEND_DIFFERENCES_IN_AIR_QUALITY_PARAMETERS_IN_DELHI_INDIA/links/549abddb0cf2b80371370e5a.pdf) [consulta: 9 de julio de 2016].
- Grivas, G; Chaloulakou, A; Samara, C y Spyrellis, N (2004). "Spatial and temporal variation of PM10 mass concentrations within the greater area of Athens, Greece". *Water, Air, and Soil Pollution*, 158 (1), 357-371. [https://www.researchgate.net/profile/Constantini\\_Samara/publication/227270474\\_Spatial\\_and\\_Temporal\\_Variation\\_of\\_PM10\\_Mass\\_Concentrations\\_within\\_the\\_Greater\\_Area\\_of\\_Athens\\_Greece/links/0c960531d68825228f000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Constantini_Samara/publication/227270474_Spatial_and_Temporal_Variation_of_PM10_Mass_Concentrations_within_the_Greater_Area_of_Athens_Greece/links/0c960531d68825228f000000.pdf) [consulta: 9 de julio de 2016].
- Houthuijs, Danny; Breugelmans, Oscar; Hoek, Gerard; Vaskövi, Eva; Miháliková, Eva; Pastuszka, Jozef S; Jirik, Vitezslav; Sachelarescu, Stela; Lolova, Dobrinka; Meliefste, Kees; Uzunova, Evtimija; Marinescu, Carmen; Volf, Jaroslav; De Leeuw, Frank; Van de Wiel, Henk; Fletcher, Tony; Lebret, Erik y Brunekreef, Bert (2001). "PM10 and PM2.5 concentrations in Central and Eastern Europe: results from the Cesar study". *Atmospheric Environment*, 35, 2757-2771. [http://www.academia.edu/download/43514752/PM10\\_and\\_PM2.5\\_concentrations\\_in\\_Central20160308-22282-2i0it8.pdf](http://www.academia.edu/download/43514752/PM10_and_PM2.5_concentrations_in_Central20160308-22282-2i0it8.pdf) [consulta: 9 de julio de 2016].
- INDEC (2010). Censo Nacional de 2010. Instituto Nacional de Estadística y Censos, Buenos Aires, Argentina.
- Johansson, Christer; Norman, Micheal y Gidhagen, Lars (2007). "Spatial & temporal variations of PM10 and particle number concentrations in urban air". *Environmental Monitoring and Assessment*, 127 (1-3), 477-487. [https://www.researchgate.net/profile/Lars\\_Gidhagen/publication/6809988\\_Spatial\\_temporal\\_variations\\_of\\_PM10\\_and\\_particle\\_number\\_concentrations\\_in\\_urban\\_air/links/0046352d671282e531000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Lars_Gidhagen/publication/6809988_Spatial_temporal_variations_of_PM10_and_particle_number_concentrations_in_urban_air/links/0046352d671282e531000000.pdf) [consulta: 9 de julio de 2016].
- Karar, Kakoli; Gupta, Ajay Kumar; Kumar, Animesh y Biswas, Arun Kanti (2006). "Seasonal variations of PM10 and TSP in residential and industrial sites in an urban area of Kolkata, India". *Environmental monitoring and assessment*, 118 (1-3), 369-381.
- Kim, Bong Man; Teffera, Solomon y Zeldin, Melvin D (2000). "Characterization of PM2.5 and PM10 in the South Coast air basin of Southern California: part 1—spatial variations". *Journal of the Air & Waste Management Association*

- ciation, 50 (12), 2034-2044. <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10473289.2000.10464242> [consulta: 9 de julio de 2016].
- Kristiansen, NI; Stohl, A; Prata, AJ; Richter, A; Eckhardt, S; Seibert, P; Hoffmann, A; Ritter, C; Bitar, L; Duck, TJ y Stebel K (2010). "Remote sensing and inverse transport modeling of the Kasatochi eruption sulfur dioxide cloud". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115 (D2). <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2009JD013286/full> [consulta: 9 de julio de 2016].
  - Maraziotis, E; Sarotis, L; Marazioti, C y Marazioti, P (2008). "Statistical analysis of inhalable (PM10) and fine particles (PM2.5) concentrations in urban region of Patras, Greece". *Global NEST Journal*, 10 (2), 123-131. [http://journal.gnest.org/sites/default/files/Journal%20Papers/123131\\_496\\_MARAZIOTIS\\_10-2.pdf](http://journal.gnest.org/sites/default/files/Journal%20Papers/123131_496_MARAZIOTIS_10-2.pdf) [consulta: 9 de julio de 2016].
  - Mészáros, Ernő (1999). *Fundamentals of Atmospheric Aerosol Chemistry*. Budapest: Acad.Kiado.
  - Mok, Kai Meng y Hoi, Ka In (2005). "Effects of meteorological conditions on PM10 concentrations-A study in Macau". *Environmental monitoring and assessment*, 102 (1-3), 201-223. [http://repository.umac.mo/dspace/bitstream/10692/775/1/8014\\_0\\_Mok\\_Hoi\\_EMA\\_2005.pdf](http://repository.umac.mo/dspace/bitstream/10692/775/1/8014_0_Mok_Hoi_EMA_2005.pdf) [consulta: 9 de julio de 2016].
  - Morales, Raúl GE y Leiva, Manuel A (2006). "Distribución y concentraciones críticas de material particulado en la ciudad de Santiago". En: Morales, Raúl GE (Ed.) *Contaminación atmosférica urbana: Episodios críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria, 107-172.
  - Mulena, Gabriela C; Allende, David; Puliafito, Salvador E y Lakkis, Susan Gabriela (2012). "Estudio de la dispersión de cenizas volcánicas del Puyehue: simulaciones y validación". *Av. Energías Renov. Medio Ambiente*, 16, 7-14. [http://www.uca.edu.ar/uca/common/grupo72/files/Asades\\_2012a\\_-1-.pdf](http://www.uca.edu.ar/uca/common/grupo72/files/Asades_2012a_-1-.pdf) [consulta: 9 de julio de 2016].
  - O'Dowd, Colin y De Leeuw, Gerrit (2007). "Marine aerosol production: a review of the current knowledge". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365 (1856), 1753-1774. <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/roypta/365/1856/1753.full.pdf> [consulta: 9 de julio de 2016].
  - OMS (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre: actualización mundial 2005. [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf) [consulta: 9 de julio de 2016].
  - Orte, Marcos; Colman Lerner, Jorge E; Morales, Anabela; Barrionuevo, Paula; Aguilar, Myriam; Giulani, Daniela; Doderó, Verónica; Massolo, Laura; Matamoros, Natalia; Sánchez, Erika y Porta, Andrés (2013). "Estudio del material particulado inhalable y contaminantes asociados en las ciudades de La Plata y Bahía Blanca". En: Puliafito, Salvador E; Allende David G y Panigatti Cecilia (Eds.) *Contaminación atmosférica e hídrica en Argentina Tomo II: contribuciones del IV Congreso PROIMCA y II Congreso PRODECA*, Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, 595-602.
  - Pachón, Jorge Eduardo y Vela, Hugo Sarmiento (2008). "Análisis espacio-temporal de la concentración de metales pesados en la localidad de Puente Aranda de Bogotá-Colombia". *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 43, 120-133. <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/ingenieria/article/view/18764/16073> [consulta: 9 de julio de 2016].
  - Parkhurst, William J; Tanner, Roger L; Weatherford, Frances P; Valente, Ralph J y Meagher JF (1999). "Historic PM2.5/PM10 concentrations in the southeastern United States—Potential implications of the revised particulate matter standard". *Journal of the Air & Waste Management Association*, 49 (9), 1060-1067. <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10473289.1999.10463894> [consulta: 9 de julio de 2016].
  - Pohjola, Mia A; Kousa, Anu; Kukkonen, Jaakko; Härkönen, Juh; Karppinen, Ari; Aarnio, Paivi y Koskentalo, Tarja (2002). "The spatial and temporal variation of measured urban PM10 and PM2.5 in the Helsinki metropolitan area". *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 2 (5-6), 189-201.
  - Puliafito, Enrique; Rey Saravia, Fernando; Pereyra, Marcelo y Pagani, Marcia (2009). "Calidad del aire en el Polo Petroquímico de Bahía Blanca". En: Puliafito, Enrique y Quaranta, Nancy (Eds.) *Contaminación atmosférica en Argentina: contribuciones de la II Reunión Anual PROIMCA*. Mendoza: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, 113-121.
  - Puliafito, Salvador E y Allende, David G (2007). "Calidad del aire en ciudades intermedias". *Revista Proyecciones*, 5, 33-52. [https://www4.frba.utn.edu.ar/sectip/proyecciones/pdf/v5\\_2.pdf#page=33](https://www4.frba.utn.edu.ar/sectip/proyecciones/pdf/v5_2.pdf#page=33) [consulta: 9 de julio de 2016].
  - Querol Xavier, Alastuey Andrés, Moreno Teresa, Viana Mar, Castillo S, Pey Jorge, Rodríguez Sergio, Artiñano Begonia, Salvador Pedro, Sánchez M, García Dos Santos S, Herce Garraleta MD, Fernandez-Patier R, Moreno-Graud S, Negral L, Minguillón MC, Monfort E, Sanz MJ, Palomo Marín R, Pinilla-Gil E, Cuevas E, De la Rosa J, Sánchez de la Campa A (2008). "Spatial and temporal variations in airborne particulate matter (PM10 and PM2.5)

- across Spain 1999– 2005”. *Atmospheric Environment*, 42 (17), 3964-3979. <http://80.24.165.149/webproduccion/PDFs/08ART25.PDF> [consulta: 9 de julio de 2016].
- Rodríguez, Sergio; Querol, Xavier; Alastuey, Andrés y Mantilla, Enrique (2002). “Origin of high summer PM10 and TSP concentrations at rural sites in Eastern Spain”. *Atmospheric Environment*, 36 (19), 3101-3112. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135223100200256X> [consulta: 9 de julio de 2016].
  - Salvador, Pedro; Artiñano, Begonia; Viana, Mar M; Querol, Xavier; Alastuey, Andrés, González- Fernández, I y Alonso, R (2011). “Spatial and temporal variations in PM10 and PM2.5 across Madrid metropolitan area in 1999-2008”. *Procedia Environmental Sciences*, 4, 198–208. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029611000508> [consulta: 9 de julio de 2016].
  - Scian, Beatriz (2010). Clima. Bahía Blanca y Sudoeste Bonaerense. En: Paoloni Juan Darío (Ed.) *Ambiente y recursos naturales del partido de Bahía Blanca*. Bahía Blanca: EdiUNS, 27-83.
  - Sharma, Atul Prakash; Kim, Ki-Hyun; Ahn, Ji-won; Shon, Zang-ho; Sohn, Jong-Ryeul; Lee, Jin-Hong; Ma, Chang-Jin y Brown, Richard J (2014). “Ambient particulate matter (PM10) concentrations in major urban areas of Korea during 1996–2010”. *Atmos. Pollut. Res.*, 5, 161–169. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1309104215303548> [consulta: 9 de julio de 2016].
  - Sili, Marcelo; Guilbert, Martine y Bustos Cara, Roberto (2015). *Atlas de la Argentina Rural*. Buenos Aires: Capital Intelectual.
  - Unal, Yurdanur S; Toros, Hüseyin; Deniz, Ali e Incecik, Selahattin (2011). “Influence of meteorological factors and emission sources on spatial and temporal variations of PM10 concentrations in Istanbul metropolitan area”. *Atmospheric Environment*, 45 (31), 5504-5513. [https://www.researchgate.net/profile/Selahattin-Incecik/publication/257521483\\_Influence\\_of\\_meteorological\\_factors\\_and\\_emission\\_sources\\_on\\_spatial\\_and\\_temporal\\_variations\\_of\\_PM10\\_concentrations\\_in\\_Istanbul\\_metropolitan\\_area/links/00b4952a9cade49260000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Selahattin-Incecik/publication/257521483_Influence_of_meteorological_factors_and_emission_sources_on_spatial_and_temporal_variations_of_PM10_concentrations_in_Istanbul_metropolitan_area/links/00b4952a9cade49260000000.pdf) [consulta: 9 de julio de 2016].
  - Vinasco, Juan Pablo Silva y Nastar, Teresita DRC (2013). “Variación espacial y temporal de concentraciones de PM10 en el área urbana de Santiago de Cali, Colombia”. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, (12), 129-141. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231130851011> [consulta: 9 de julio de 2016].
  - Yang, Kuang-Ling (2002). “Spatial and seasonal variation of PM10 mass concentrations in Taiwan”. *Atmospheric Environment*, 36 (21), 3403-3411. <http://www.atmos.pccu.edu.tw/duststorm/paper/spatial%20and%20seasonal%20variation%20of%20pm10%20mass%20concentrations%20in%20taiwan.pdf> [consulta: 9 de julio de 2016].

## Sobre los autores/as

### ALICIA MARÍA CAMPO

Doctora en Geografía. Directora de la Revista Universitaria de Geografía. Directora de Proyectos de Investigación en la Universidad Nacional del Sur y Universidad Nacional del Comahue, de proyectos internacionales de la Secretaría de Políticas Universitarias y del Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Recibió el premio *Al Mérito Geográfico 2005* otorgado por la Sociedad Argentina de Estudios Geográficos. Distinguida como experta en gestión urbana y medio ambiente invitada por la Universidad de Chile. Ha orientado su investigación en la línea de Geografía Física Aplicada al estudio de la interacción sociedad-naturaleza y se ha especializado en climatología e hidrografía urbana.

### MARÍA EUGENIA FERNÁNDEZ

Licenciada y Profesora en Geografía graduada en la Universidad Nacional del Sur. Actualmente se halla inscripta en el Doctorado en Geografía de la Universidad Nacional del Sur. Becaria del Instituto Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Observadora Meteorológica de Superficie graduada del Servicio Meteorológico Nacional.

### JORGE O. GENTILI

Licenciado y Doctor en Geografía (Universidad Nacional del Sur - Argentina) y Especialista en Sistemas de Información Geográfica (Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Colombia). Asistente de Docencia (Climatología, Cartografía General y Temática y Sistemas de Información Geográfica I - DGYT - UNS). Investigador Asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Miembro del Consejo Editorial (DGYT-UNS) y del Comité Editor de la Revista Universitaria de Geografía (Argentina) y del *Journal of Molinai* (Chile). Evaluador de revistas. Director de tesis y becarios de grado y posgrado.