

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN DOCK SUD, PCIA. DE BUENOS AIRES, ARGENTINA. ANÁLISIS DE SU COMPORTAMIENTO TEMPORAL EN EL PERÍODO 2011-2017.

REPRESA, SOLEDAD N.¹; ABRIL, GABRIELA A.²; OJEDA, SILVIA³; GARCÍA FERREYRA, MARÍA F.⁴

1: Centro de Investigaciones del Medio Ambiente
Universidad Nacional de La Plata
115 y 47, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
e-mail: sol.represa@gmail.com

2: Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo
Esmeralda 255, Capital Federal, Argentina.
e-mail: gabril@acumar.gob.ar

3: Facultad de Astronomía, Matemática y Física
Universidad Nacional de Córdoba
Av. Medina Allende s/n, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina,
e-mail: ojeda@mate.uncor.edu

4: Consultoría en Aplicaciones Espaciales de Alerta y Respuesta Temprana a Emergencias
Comisión Nacional de Actividades Espaciales
Ruta C45. Km 8. CP 5187 - Falda del Cañete, Córdoba, Argentina
e-mail: fgarciaferreyra@conae.gov.ar

Resumen. *El Polo Petroquímico de Dock Sud es considerado un ícono de la contaminación en el Riachuelo. Desde finales del año 2010, se lleva adelante un monitoreo de la calidad de aire. El objetivo de este trabajo es caracterizar el comportamiento temporal de los contaminantes atmosféricos (NO, NO₂, NO_x, O₃, CO, COVs, SO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}) medidos en el área de Dock Sud, Pcia. de Buenos Aires. Para ello se utilizó información de la estación de monitoreo continuo y automático EMC I Dock Sud, provista por ACUMAR, del período comprendido entre enero de 2011 y febrero de 2017. Se elaboró un análisis temporal de los contaminantes, que incluyó el estudio de las concentraciones en función de distintas variables ambientales y su comparación con normativas vigentes. PM₁₀, PM_{2.5}, O₃ y SO₂ sobrepasaron los niveles guía de OMS en múltiples oportunidades al cabo de un año.*

Palabras clave: Contaminación Atmosférica, Monitoreo, Procesamiento de datos, Dock Sud

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es actualmente uno de los problemas ambientales más severos a nivel mundial [1]. Tal como lo demuestran numerosos estudios, la presencia de contaminantes en el aire afecta de forma considerable la salud de la población [2].

La localidad de Dock Sud se halla a 4 km del centro de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, en el partido de Avellaneda. Está delimitada por el Río de la Plata, el arroyo Sarandí, el Río Matanza - Riachuelo y el Canal Dock Sud. En su interior, alberga dos zonas diferenciadas por

su actividad: el puerto y la zona industrial. El Polo Petroquímico allí ubicado es el más grande del país, con 15,7 ha para operadores de logística petrolera y química y 39,5 ha para la industria del petróleo [3]. A su vez, recibe la influencia del área urbana, de la Autopista “Dr. Ricardo Balbín”, de la Central Termoeléctrica ENDESA y del Complejo Naval Argentino. Entre los numerosos antecedentes y estudios realizados en el área, desde finales del año 2010 la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR) lleva adelante el monitoreo continuo de calidad de aire [4,5].

Como objetivo de este trabajo se plantea identificar las posibles fuentes de aportes de las distintas especies químicas (NO , NO_2 , NO_x , O_3 , CO , COVs , SO_2 , PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$) y caracterizar su comportamiento temporal en el área de Dock Sud, Pcia. de Buenos Aires. Por último, se evaluará si se sobrepasan las concentraciones recomendadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el período de un año.

2. ANÁLISIS Y RESULTADOS

2.1. Caracterización de los datos

Para este trabajo se utilizó la información provista por ACUMAR correspondiente a la estación de monitoreo continuo y automático ubicada en el área de Dock Sud, Partido de Avellaneda (EMC I: $34^{\circ}40'2.55'' \text{ S}$ - $58^{\circ}19'45.23'' \text{ O}$, Figura 1). Los datos fueron obtenidos del portal de ACUMAR: <http://jmb.acumar.gov.ar:8091/calidad/programa.php> (último acceso 15/04/2017).



Figura 1. Región Metropolitana de Buenos Aires (izquierda) y ubicación de la Estación de Monitoreo Continuo y Automático de la Calidad del Aire en Dock Sud (EMC I) (derecha). El círculo azul indica el área de influencia de la estación. Fuente: Imagen Sentinel-2 (ESA) 14 de abril del 2017.

Se seleccionaron para su estudio los contaminantes: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de nitrógeno (NO), dióxido de azufre (SO₂), ozono (O₃), material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), hidrocarburos totales (HCT), hidrocarburos metánicos (HCM) e hidrocarburos no metánicos (HCNM).

A su vez, los datos meteorológicos fueron solicitados mediante comunicación personal a ACUMAR. La base de datos suministrada posee información sobre: dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad relativa ambiente, presión atmosférica, precipitación y radiación solar incidente.

Los datos utilizados mantienen una frecuencia horaria, con excepción del material particulado que presentaba diferentes frecuencias temporales en los datos. Esta decisión se debió a diferencias en las frecuencias de medición de los distintos parámetros. Para unificar la serie de estos últimos, se construyeron los datos diarios a través de la media.

Reconociendo el comportamiento temporal del fenómeno estudiado, no se realizaron imputaciones individuales, exceptuando para el día 03/01/2016 donde fue informado un incendio en Dock Sud alterando las series de todos los contaminantes.

Para el tratamiento de los valores informados inferiores a los límites de detección (LD), se los reemplazó, según recomendación de la EPA (Agencia de Protección Ambiental estadounidense), por el valor LD/2 [6]. En la Tabla 1 se presentan los parámetros descriptivos de las series temporales de los compuestos estudiados.

	Fechas de las series	n	Min	Max	Mediana	Desv. estándar	Media
O ₃	01/04/2013 - 01/04/2017	32722	0.001	175.00	27.00	18.01	28.26
NO	01/04/2013 - 01/04/2017	30961	0.24	614.00	5.00	38.08	15.76
NO ₂	01/04/2013 - 01/04/2017	30962	0.38	323.00	16.00	21.8	22.00
NO _x	01/04/2013 - 01/04/2017	30944	0.38	1128.00	23.00	74.00	45.66
CO	01/01/2012 - 01/04/2017	35205	0.03	6.83	0.17	0.42	0.30
SO ₂	01/01/2013 - 01/04/2017	33792	0.001	5400.00	17.00	211.88	75.92
HCM	01/01/2012 - 01/04/2017	39837	0.02	14.00	1.30	0.82	1.31
HCN	01/01/2012 - 01/04/2017	39006	0.02	32.90	0.20	1.36	0.55

HCT	01/01/2012 - 01/04/2017	39461	0.02	34.40	1.60	1.73	1.79
PM ₁₀	01/08/2012 - 31/03/2017	1342	1.00	126.00	21.00	14.26	23.34
PM _{2.5}	03/10/2015 - 31/03/2017	524	3.00	81.09	13.45	10.31	16.01

Tabla 1. - Parámetros descriptivos de las series temporales de los contaminantes estudiados. Todos los valores se encuentran expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con excepción de las concentraciones informadas para el CO que se encuentran en mg/m^3

2.2.1. Metodología de análisis

Como primer paso, se realizó un análisis exploratorio de la base de datos, mediante un análisis estadístico descriptivo y el estudio de su evolución temporal. De esta forma se definieron los períodos temporales de estudio para cada contaminante. Ya que ninguno de los contaminantes abordados en este estudio superó el test de Shapiro-Wilks de normalidad ($p < 0.01$), se trabajó con métodos no paramétricos [7].

Para analizar la relación de la dirección del viento con las concentraciones de los contaminantes, se generaron rosas de concentración, las cuales muestran las direcciones del viento que contribuyeron más a las concentraciones medias totales.

En la estimación de tendencias temporales se utilizó el método Theil-Sen, que tiene como ventaja la obtención de intervalos de confianza precisos incluso con datos no normales y heteroscedasticidad [8, 9]. Para los contaminantes oxidativos que presentan un comportamiento estacional, se realizó una descomposición estacional y de tendencia usando LOESS (método STL) [10].

Todo el trabajo de análisis se realizó con el lenguaje de programación R, trabajando principalmente con los paquetes *openair* y *ggplot*.

2.3 Análisis de la meteorología

Los datos meteorológicos suministrados por ACUMAR corresponden al período 01/01/2011 - 30/10/2016, con frecuencia horaria. La temperatura media para el período fue de 18.11 °C (con máxima de 38 °C y mínimas de 0 °C), el porcentaje de humedad relativa media fue de 71.12 %, la presión 0.11 hPa y la radiación solar media de 203,35 W/m^2 .

Para facilitar la interpretación del comportamiento de los vientos, se representaron la velocidad y la dirección del viento como rosas de vientos, donde los ejes radiales indican el porcentaje total de frecuencia de ocurrencia de la dirección del viento. Se realizó una rosa de vientos para el período completo (Figura 2).

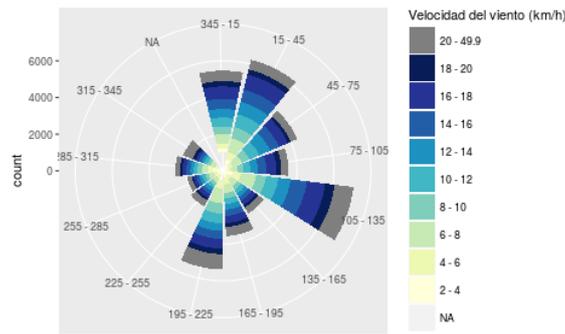


Figura 2. Rosa de los vientos para el período 01/01/2011 - 30/10/2016

Analizando el comportamiento estacional del viento, fue posible observar que las estaciones cálidas (primavera-verano) muestran una mayor incidencia desde el sector E, con mayor frecuencia en el eje E-SE y N-NE; y para las estaciones frías (otoño-invierno) se presentan como direcciones dominantes: S-SW, N, N-NE, E-SE. A lo largo de todo el año, las velocidades menores se registraron desde los sectores W y W-SW, mientras que las velocidades más elevadas se correspondieron con los meses cálidos, desde el sector E-SE. En invierno, con menor frecuencia se registran fuertes vientos provenientes del sector N-NW.

2.3 Análisis de las especies oxidativas: O₃, NO, NO₂, NO_x, CO, SO₂, COVs

2.3.1 Ozono

El ozono es un agente oxidante fuerte, que puede afectar gravemente al sistema respiratorio aún a bajas concentraciones [1]. A escala local, se genera a partir de la reacción entre los NO_x y los COVs [11].

Analizando la dirección de la proveniencia del O₃ detectado por la estación, se observó que las mayores concentraciones fueron registradas desde el sector N-NNE, mientras que las menores desde el ESE (Figura 3). Por otro lado, el estudio de la tendencia temporal general de O₃, por el método Theil-Sen, no indicó una tendencia significativa. Sin embargo, cuando se discriminaron los vientos según su dirección, se observó una tendencia negativa del NW de -2.13 [-3.33, -0.8] µg/m³ por año (p<0.01) y del N de -1.98 [-3.42, -0.03] µg/m³ por año (p<0.1). También se observó una tendencia positiva del S de 2.29 [0.41, 4.19] µg/m³ por año (p< 0.05).

2.3.2 Óxidos de nitrógeno (NO, NO₂, NO_x)

Los óxidos de nitrógeno no sólo son importantes porque participan en la formación de O₃ en la tropósfera, sino que además afectan la salud humana. Están relacionados con edemas pulmonares, aumento de la susceptibilidad a infecciones, daño celular, irritación, reducción de mucosas y deterioro en los cuadros asmáticos.

El NO es un contaminante primario emitido principalmente por la quema de combustibles fósiles. El NO₂ es principalmente un producto secundario de la química atmosférica. Debido a la rápida interconversión entre NO y NO₂, muchas veces se considera NO_x = NO + NO₂. En la Figura 3 se observa que las mayores concentraciones de NO registradas en la estación llegan barriando desde el S al N por el W, probablemente vinculadas al tránsito vehicular de la Autopista Dr. Ricardo Balbín, al Polo Petroquímico Dock Sud y a la urbanización aledaña. En cambio, las concentraciones más bajas llegan desde el NNE y ESE, donde se encuentran el Río de La Plata y una zona de poca urbanización.

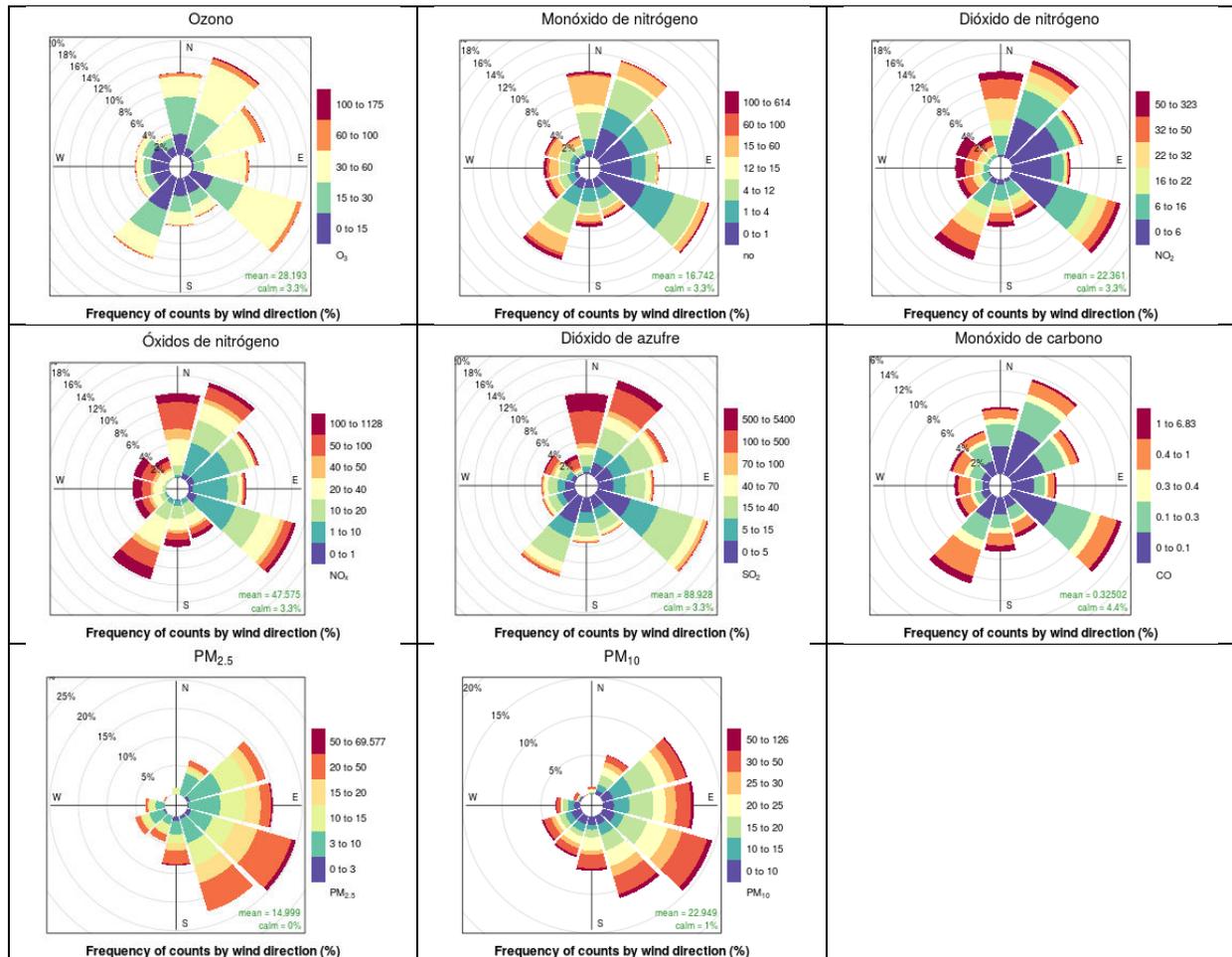


Figura 3. Rosas de concentración para el O₃, NO, NO₂, NO_x, SO₂, CO, PM₁₀ y PM_{2.5}

El análisis de la tendencia temporal, por el método de Theil-Sen, indica que entre las tres especies sólo el NO tiene una tendencia significativa general: $-0.99 [-2.31, -0.07] \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ ($p < 0.1$). Se observó también una tendencia significativa para NO_x con una amplitud

considerable del intervalo de confianza, en la dirección de viento SE, de $-4.29 [-7.57, 0.27]$ $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ ($p < 0.1$) y W, de $-5.23 [-10.64, 0.48]$ $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ ($p < 0.1$); y para el NO del sector SE de $-1.6 [-3.0, 0.0]$ $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ ($p < 0.1$).

2.3.3. Monóxido de carbono (CO)

El principal aporte de CO a la tropósfera se obtiene de la combustión incompleta de combustibles fósiles, a través de la oxidación parcial del metano. La exposición crónica de personas puede afectar al corazón y causar daño al sistema nervioso central [1].

Por el análisis de las rosas de contaminación del CO, se identificó que la llegada de las mayores concentraciones provenía de ESE por el S hasta el W (Figura 3). En el análisis de la serie temporal no se observó una tendencia significativa, en términos generales. Sin embargo, cuando se estudió el aporte desde las distintas direcciones del viento, se observó un aumento leve desde el sector SW ($0.06 [0.01, 0.09]$ $\text{mg}/\text{m}^3\cdot\text{año}$, $p < 0.05$) y S ($0.06 [0, 0.12]$ $\text{mg}/\text{m}^3\cdot\text{año}$, $p < 0.1$), y una disminución desde el NW ($-0.03 [-0.06, 0]$ $\text{mg}/\text{m}^3\cdot\text{año}$, $p < 0.05$), E ($-0.03 [-0.05, -0.01]$ $\text{mg}/\text{m}^3\cdot\text{año}$, $p < 0.01$), N ($-0.05 [-0.09, -0.03]$ $\text{mg}/\text{m}^3\cdot\text{año}$, $p < 0.001$) y NE ($-0.05 [-0.07, -0.03]$ $\text{mg}/\text{m}^3\cdot\text{año}$, $p < 0.001$).

2.3.4. Dióxido de azufre (SO₂)

El SO₂ se emite a la atmósfera mediante la quema de combustibles azufrados o debido a procesos industriales a altas temperaturas que involucren materia prima con alto contenido de azufre (como fundiciones). Este es un gas irritante que puede afectar el sistema respiratorio y reducir la función pulmonar [1]. También es un importante precursor de material particulado.

Durante los años 2014 y 2015, se observó una gran dispersión de las concentraciones de SO₂. Esta particularidad fue consultada con personal técnico de ACUMAR, quienes dieron constancia del correcto funcionamiento de los equipos de medición durante esos años. Al analizar esta anomalía, en una rosa de concentración se observa que los valores extremos provienen del N, NNW, NWW y NE (Figura 3).

Al analizar la tendencia de la serie descompuesta estacionalmente no se encontró que la misma tuviera una tendencia significativa. Sin embargo, cuando se estudiaron las tendencias de las concentraciones según las direcciones del viento, se observó que para el NE existe una tendencia de $19.27 [1.94, 34.89]$ $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ con $p < 0.05$, y del E de $4.45 [0.13, 10.34]$ $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ con $p < 0.1$.

2.3.5 Hidrocarburos metánicos, no metánicos y totales (HCM, HCNM, HCT)

Debido a su efecto directo en la salud humana, los compuestos orgánicos volátiles han estado sujetos a controles estrictos [2]. Experimentan reacciones fotoquímicas y pueden oxidarse para participar en la formación de O₃. A su vez, pueden condensar sobre el material particulado formando aerosoles orgánicos secundarios [12].

Se observó que la tendencia desestacionalizada aumentó para HCT (0.22 [0.12, 0.43] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$, $p < 0.01$) y para HCNM (0.02 [0, 0.08] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$, $p < 0.1$), mientras que HCM no muestra una tendencia significativa.

Respecto a las tendencias desestacionalizadas para las distintas direcciones del viento, para HCT se observó una tendencia creciente en todas las direcciones (NW 0.48 [0.27, 0.65] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$, W 0.41 [0.21, 0.69] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$, SW 0.42 [0.23, 0.57] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$, S 0.44 [0.2, 0.6] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$, E 0.33 [0.16, 0.54] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$, NE 0.38 [0.22, 0.55] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$, N 0.39 [0.21, 0.55] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ con $p < 0.001$ y SE 0.37 [0.16, 0.6] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$, $p < 0.01$).

Lo mismo ocurrió para los HCM: NW 0.31 [0.18, 0.43] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$, S 0.22 [0.09, 0.37] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ y N 0.25 [0.13, 0.35] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$, con $p < 0.001$, W 0.22 [0.05, 0.41] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$, SW 0.26 [0.12, 0.37] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ y 0.21 [0.08, 0.32] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ con $p < 0.01$, SE 0.21 [0.06, 0.39] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ y E 0.17 [0.03, 0.29] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ con $p < 0.05$; pero no así para los HCNM, que mostraron una tendencia pequeña y con menor grado de significancia: NE 0.08 [0.04, 0.15] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ ($p < 0.001$), S 0.06 [0, 0.13] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ y N 0.08 [0.01, 0.17] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ ($p < 0.01$), W 0.05 [0, 0.15] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$, SW 0.04 [0, 0.12] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ y E 0.04 [0, 0.1] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ ($p < 0.1$).

2.4 Análisis de material particulado

El material particulado atmosférico está compuesto por partículas en suspensión que pueden ser emitidas directamente desde distintas fuentes o formadas por la oxidación de contaminantes primarios. Este grupo de contaminantes, además de ser heterogéneo en sus propiedades químicas y físicas, puede tener graves efectos sobre el clima y la salud humana [2].

Las rosas de concentración para PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ indican que la procedencia de las concentraciones más altas de PM_{10} llegan desde NE a WSW, barriendo en sentido horario, siendo el mayor aporte desde el SE (Figura 3). Similar es para $\text{PM}_{2.5}$, salvo que no llegan concentraciones altas desde el W. Esto indicaría un aporte de material particulado desde la zona urbana, la Autopista Dr. Ricardo Balbín, y las instalaciones vecinas hacia el este de la estación de monitoreo.

Por otro lado, la tendencia temporal general no es significativa, en el período analizado, para la variable PM_{10} medida, pero sí lo es en dirección NW obteniendo un crecimiento de 9.73 [0.4, 22.5] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ ($p < 0,1$). $\text{PM}_{2.5}$ tiene una tendencia general significativa de 3,92 [0,08, 7] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ ($p < 0,1$), presentando tendencias significativas en las direcciones NE: 8,84 [3,32, 12,48] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ y E: 9,04 [-0,34, 18,6] $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{año}$ ($p < 0,1$).

La relación encontrada para la tasa $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ es de 0.728 ($p < 0,001$), con un R^2 ajustado de 0.935, lo que significa que alrededor de 72,6 % del PM_{10} está compuesto por $\text{PM}_{2.5}$, una proporción alta si se la compara con la ciudad de Córdoba (66% [13]).

3. COMPARACIÓN CON NIVELES GUÍA DE CALIDAD DE AIRE

La Organización Mundial para la Salud (OMS) ha generado una serie de niveles guías para los cuales el riesgo a padecer enfermedades por exposición a contaminantes atmosféricos se

ve ampliamente reducido [2] . Si bien estos valores están alejados de los parámetros fijados en las regulaciones locales, resulta importante su uso como un indicador del grado de amenaza al cual se encuentran los habitantes de las áreas lindantes al Polo Petroquímico.

Para conocer la calidad del aire respecto a las sugerencias de la OMS, se utilizó el último año de datos completos (30/10/2015 - 30/10/2016). Las concentraciones medidas para los gases se normalizaron a temperatura 25 °C y presión 1 atm. En los casos necesarios, se agruparon los datos a través de las medias móviles para los períodos indicados en las recomendaciones de la OMS. Las concentraciones obtenidas fueron comparadas con los valores sugeridos.

Al analizar los resultados, las concentraciones de NO₂ se mantuvieron bajas, no sobrepasando los niveles recomendados anual y horario (40 µg/m³ y 200 µg/m³, respectivamente). Tampoco se superaron los valores recomendados para CO de 8 h y 1 h (0.01 µg/m³ y 0.03 µg/m³, respectivamente). En el caso de SO₂ se excedió la concentración recomendada para las 24h (20 µg/m³) un total de 2521 veces, principalmente en el período cálido del año. En menor cantidad, el O₃ superó 24 veces las concentraciones recomendadas para las 8 h (100 µg/m³), las cuales pertenecieron solo a 5 días distintos: 12/12/2015 a las 13 h y 14 h, 13/12/2015 de 12 h a 19 h, 05/01/2016 de 10h a 15h, 18/02/2016 a las 14h y el 16/04/2016 de 10 h a 15h. El PM_{2.5} (10 µg/m³) superó el valor recomendado en el período analizado, quedando 44 veces por encima de los valores recomendados para las 24 h (25 µg/m³). A su vez, el PM₁₀ superó 12 veces el nivel recomendado para 24 h (50 µg/m³).

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se propuso identificar los principales sectores de aporte para las distintas especies químicas y caracterizar su tendencia temporal en el área de Dock Sud (Bs. As., Argentina). Para esto, se procedió al uso de dos técnicas estadísticas: el análisis de las rosas de concentración para localizar la ubicación de las principales fuentes de aporte de los contaminantes; y el análisis de tendencia mediante Theil-Sen que brindó información sobre las tasas de cambio dentro del período estudiado.

Así, se pudo identificar un gran aporte de SO₂ desde el sector N del sitio de monitoreo, junto a múltiples fuentes para hidrocarburos y material particulado. A su vez, se vieron mayores concentraciones desde el lado W -de S a N- para el NO_x y del lado S -de SE a W- para el CO. Respecto a las tendencias para HCT, HCM y HCNM se observó un aumento en todas las direcciones del viento, mostrando un mayor crecimiento los HCM respecto a los HCNM. Para PM_{2.5} presentó una importante tasa de aumento en las direcciones NE y E, mientras que el PM₁₀ solo mostró una tendencia creciente desde el sector NW. Por otra parte, se observó un aumento significativo del sector S para O₃ y con una menor tendencia para el CO. Desde este mismo sector, decrecieron también las concentraciones de NO_x, posiblemente asociados a la misma fuente.

Por último, se compararon las concentraciones medidas con los parámetros de calidad de aire propuestos por la OMS, a fin de estimar cualitativamente el grado de peligro al cual está

expuesta la población lindante al Polo Petroquímico. Así, se observó un sobrepaso de los niveles guía para PM_{10} , $PM_{2.5}$, O_3 y SO_2 en múltiples oportunidades al cabo de un año.

REFERENCIAS

- [1] World Health Organization. "Review of evidence on health aspects of air pollution–REVIHAAP Project." *World Health Organization, Copenhagen, Denmark* (2013).
- [2] OMS. Las directrices sobre la calidad del aire en la protección de la salud pública: actualización mundial (2006).
- [3] ACUMAR. Plan Maestro y Reordenamiento Territorial del Puerto Dock Sud (2010)
- [4] ACUMAR. *Monitoreo calidad de aire. Informe trimestral Sep - Nov 2016* (2017)
- [5] ACUMAR. *Monitoreo calidad de aire. Informe trimestral Sep - Nov 2015* (2016)
- [6] EPA. *Guidance for Data Quality Assessment* (2010)
- [7] Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. "An analysis of variance test for normality (complete samples)". *Biometrika*, 52(3-4), 591-611 (1965).
- [8] Theil, Henri. "A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis." *Henri Theil's contributions to economics and econometrics*. Springer Netherlands, (1992)
- [9] Sen, Pranab Kumar. "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau." *Journal of the American Statistical Association* 63.324 (1968): 1379-1389.
- [10] Cleveland, Robert B., William S. Cleveland, and Irma Terpenning. "STL: A seasonal-trend decomposition procedure based on loess." *Journal of Official Statistics* 6.1 (1990): 3.
- [9] World Health Organization. "Review of evidence on health aspects of air pollution–REVIHAAP Project." *World Health Organization, Copenhagen, Denmark* (2013).
- [11] Seinfeld, J. H., Pandis, S. N., & Noone, K. *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change* (1998).
- [11] OMS. Las directrices sobre la calidad del aire en la protección de la salud pública: actualización mundial (2006).
- [12] Atkinson, Roger, and Janet Arey. "Gas-phase tropospheric chemistry of biogenic volatile organic compounds: a review." *Atmospheric Environment* 37 (2003): 197-219.
- [13] López, M. L., Ceppi, S., Palancar, G. G., Olcese, L. E., Tirao, G. y Toselli, B. M. 2011. Elemental concentration and source identification of PM_{10} and $PM_{2.5}$ by SR-XRF in Córdoba City, Argentina. *Atm Env*, 45: 5450 - 5457. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.07.003.