

DETECCIÓN DE CONTAMINACIÓN EN LA ATMÓSFERA DE LA CIUDAD DE NEUQUÉN POR QUEMA DE BIOMASA DEL 18 AL 22 DE FEBRERO DE 2015

POLLUTION DETECTION IN THE ATMOSPHERE OF THE NEUQUÉN CITY BY BIOMASS BURNING FROM 18th TO 22nd FEBRUARY 2015

L. A. Otero^{a,b,*}, P. R. Ristori^{a,c}, S. Sambueza^d, S. Brusca^a, M. Herrera^{a,c}, L. Bali^e, A. F. Pereyra^a, E. Martorrella^a, R. L. D'Elia^a, V. E. Fierro^b, G. Franchi^b, C. Repetto^c, O. Vilar^a, J. O. Salvador^{a,c,f}, M. M. Raponi^{a,c}, E. J. Quel^{b,c}

- a. CEILAP- UNIDEF (MINDEF-CONICET) – CITEDEF. Juan Bautista de La Salle 4397 (B1063ALO), Villa Martelli, Provincia de Buenos Aires, Argentina
 b. Universidad de la Defensa Nacional, Escuela Superior Técnica Gral Div Manuel N. Savio - Facultad del Ejército. Av. Cabildo 15 (C1426AAA), C.A.B.A., Argentina.
 c. Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires. Medrano 951 (C1179AAQ), C.A.B.A., Argentina.
 d. Servicio Meteorológico Nacional, Argentina.
 e. Departamento de Modelado y Manejo de Crisis - DMMC, CITEDEF-CONICET. Juan Bautista de La Salle 4397 (B1063ALO), Villa Martelli, Provincia de Buenos Aires, Argentina.
 f. Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Unidad Académica Río Gallegos y CIT Santa Cruz, Río Gallegos, Argentina.

Recibido: 09/02/18; aceptado: 18/03/18

El humo provocado por una importante quema de biomasa en la provincia de Chubut, cerca del Parque Nacional Los Alerces, en febrero de 2015, fue transportado por efecto de los vientos a diferentes zonas de la Patagonia. En este trabajo se presenta la detección de este evento sobre la ciudad de Neuquén por la estación de monitoreo atmosférico instalada en el Aeropuerto Internacional de Neuquén por CITEDEF y operada por personal del Servicio Meteorológico Nacional. Las mediciones realizadas con el sistema lidar muestra las alturas de las distintas capas de aerosoles y el fotómetro solar de la red AERONET/NASA (AErosol RObotic NETwork) detectó valores altos de espesor óptico de aerosoles. Las imágenes satelitales muestran que el humo llegó a la ciudad el 18 de febrero quedando en suspensión por varios días.

Palabras clave: quema de biomasa, AERONET, LIDAR.

The smoke caused by an important biomass burning in the province of Chubut, near Los Alerces National Park, in February 2015, was transported by the effect of winds to different areas of Patagonia. This paper presents the detection of this event over the city of Neuquén by the atmospheric monitoring station installed at the Neuquén International Airport by CITEDEF and operated by staff of the National Meteorological Service. The measurements made with the lidar system show the heights of the different aerosol layers and the AERONET/NASA (AErosol RObotic NETwork) solar photometer detected high values of aerosol optical thickness. The satellite images show that the smoke arrived in the city on February 18, staying in suspension for several days.

Keywords: biomass burning, AERONET, LIDAR.

I. INTRODUCCIÓN

Los aerosoles son partículas en suspensión en la atmósfera, cuyo origen puede ser natural o antropogénico. Eventos como incendios forestales, erupciones volcánicas y sequías producen humo, polvo y gran cantidad de material particulado en suspensión en la atmósfera.

En particular, la quema de biomasa, puede ser de origen natural, por la quema de bosques sin intervención de la mano del hombre, y de origen antropogénico por la quema de pastizales y desechos después de la cosecha. La quema de biomasa es una

fuente importante de contaminación del aire, con impactos globales, regionales y locales sobre la calidad del aire, la salud, el clima y el forzamiento radiativo^{1,2,3,4}.

Básicamente existen dos técnicas de observación remota de aerosoles: la pasiva y la activa. Los fotómetros solares son ejemplos de sensores pasivos, que detectan la irradiancia solar incidente en la superficie terrestre en las regiones ultravioleta, visible e infrarrojo del espectro, que se ve reducida por la presencia de aerosoles. El producto obtenido es el espesor óptico de aerosoles (Aerosol Optical Depth -

* lotero@citedef.gob.ar - lidia1116@gmail.com

AOD). El LIDAR (Light Detection and Ranging) es un sistema de teledetección (monitoreo remoto) activo que utiliza pulsos láser para medir los aerosoles en la atmósfera. Su principio de funcionamiento se asemeja al del radar aunque su longitud de onda es un millón de veces más pequeña, comparable con el tamaño de los aerosoles que mide. Es por esta razón, que un LIDAR permite obtener información de la distribución espacial y temporal de los aerosoles en suspensión^{5,6,7}.

Este trabajo estudia un evento de transporte de aerosoles detectadas con el sistema LIDAR y con el fotómetro solar de la estación de monitoreo de Neuquén a principios del año 2015.

II. DESCRIPCIÓN DEL EVENTO

El 15 de febrero de 2015 se detectó el comienzo de un incendio en la zona de Cholila provincia de Chubut que se extendió hasta las cercanías del Parque Nacional los Alerces. Una importante extensión de bosques fueron arrasados por el fuego, generando uno de los incendios más grandes que afrontó la provincia de Chubut (Figura 1). Esta quema de biomasa produjo densas columnas de humo que fueron trasladadas por los vientos a otras regiones del país, llegando a la Ciudad de Neuquén el 18 de febrero, permaneciendo en suspensión hasta el 22 de febrero. El fuego se extinguió en los primeros días del mes de abril de 2015.



Figura 1. Diario La Nación (26/02/2015) Foto: Crédito: Twitter @damianzani33.

III. DESCRIPCIÓN DE LA ESTACIÓN DE MONITOREO ATMOSFÉRICO

Ubicación geográfica

La ciudad de Neuquén es la capital de la provincia del Neuquén. Ubicada al oeste de la confluencia de los ríos Neuquén y Limay, que dan origen al río Negro. La estación de monitoreo atmosférico se encuentra instalada en el Aeropuerto Internacional Presidente Juan Domingo Perón (código IATA: NQN) (38°57' S; 68°08' O; 271 m). En la Figura 2 se presenta un mapa de la provincia con la ubicación de la ciudad y el aeropuerto.

Equipamiento de la estación de monitoreo atmosférico

La estación fue puesta en funcionamiento en noviembre de 2013, con el objetivo de suministrar

información de perfiles verticales de aerosoles y nubes para facilitar la aeronavegación y caracterizar los aerosoles en la región⁷. Fue diseñada, construida e instalada por CITEDEF – UNIDEF (MINDEF - CONICET) en el marco del Proyecto Especial del Ministerio de Defensa N°31554/11 siendo operada en la actualidad por personal del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). La Figura 3 muestra una foto del contenedor instalado en el aeropuerto. En las Figura 4 y 5 se muestra parte del equipamiento de la estación, el sistema lidar multi-longitud de onda (Figura 3), alojado dentro del contenedor y el fotómetro solar, que fue integrado a la red AERONET/NASA⁸ (Figura 4) montado en el techo del mismo.



Figura 2. Ubicación geográfica de la Ciudad de Neuquén y del Aeropuerto (www.ign.gov.ar).



Figura 3. Contenedor.



Figura 4. Sistema Lidar.



Figura 5. Fotómetro solar

IV. RESULTADOS

Mediciones satelitales

Para el análisis de este evento de quema de biomasa se utilizaron los datos y productos de los satélites AQUA y TERRA.

En las Figuras 6 y 7 se muestran dos imágenes satelitales centradas en la estación de Neuquén obtenidas con el instrumento MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo del satélite AQUA para el día 18 y a bordo del satélite TERRA para el 20 de febrero de 2015. Los extremos de las imágenes son -36° S; -65° O y -43° S; $-72,5^{\circ}$ O.

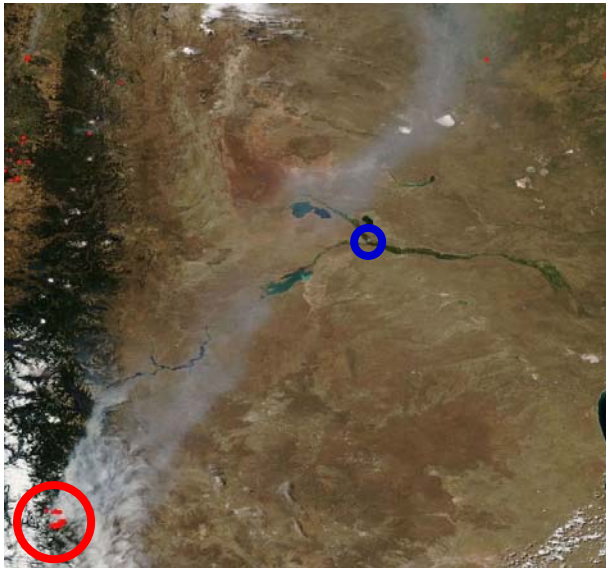


Figura 6. Imagen satelital AQUA/MODIS del 18 de febrero de 2015, (18:35 UTC).

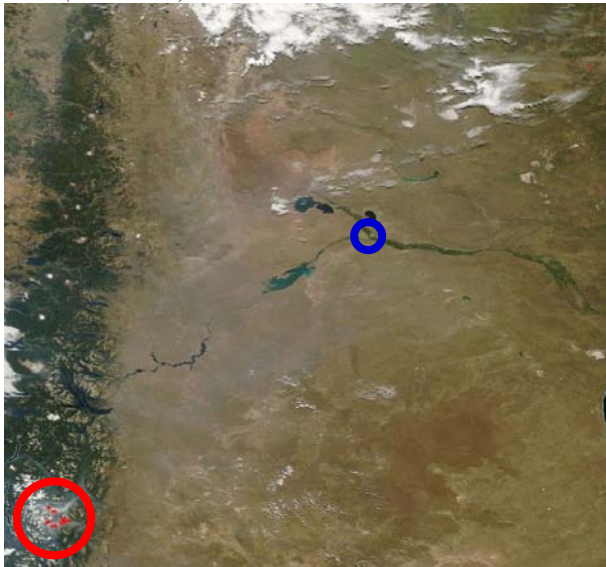


Figura 7. Imagen satelital TERRA/MODIS del 20 de febrero de 2015, (14:10 UTC).

Estas imágenes se llaman color verdadero o color natural (True Color) y se obtienen de la combinación de las bandas 1, 4 y 3 (Rojo = Banda 1, Verde = Banda 4, Azul = Banda 3). Son imágenes de aspecto natural de la superficie de la Tierra, y sus características oceánicas y atmosféricas. En ambas, se puede ver la pluma de humo y los focos de calor (puntos rojos, dentro del círculo del mismo color) que indican la ubicación del incendio. Para el día 18 (Figura 6) se puede observar como la

pluma pasa al borde la ciudad (marcada con un círculo azul). Para el día 20 el humo se extiende sobre la ciudad (Figura 7).

Un producto que brindan las mediciones satelitales para el estudio de quema de biomasa, es el espesor óptico de aerosoles. Estas mediciones cubren grandes extensiones de territorio a diferencia de un fotómetro solar que realiza una medición puntual. En las Figuras 8 y 9 se presenta el espesor óptico de aerosoles en 550 nm (AQUA/MODIS) para los días 18 y 20 de febrero. En ambas Figuras se muestra que los valores de AOD son muy elevados sobre la pluma de humo, entre 0,25 y 1,55.

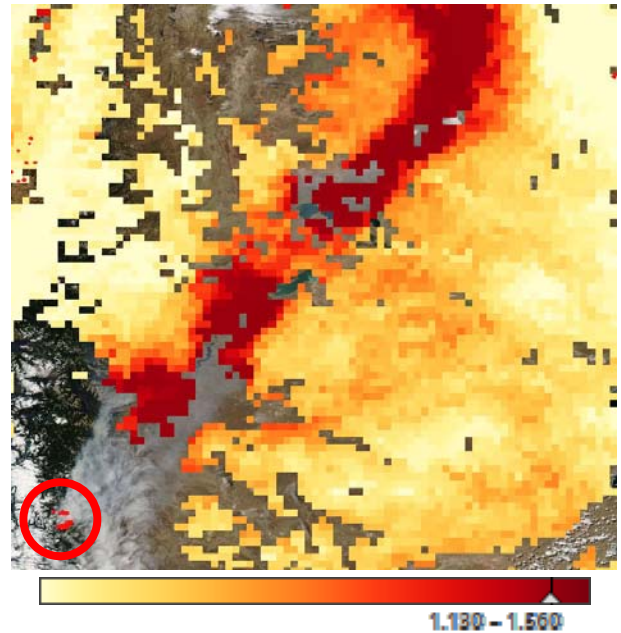


Figura 8. AOD (AQUA/MODIS – 550 nm), 18 de febrero de 2015.

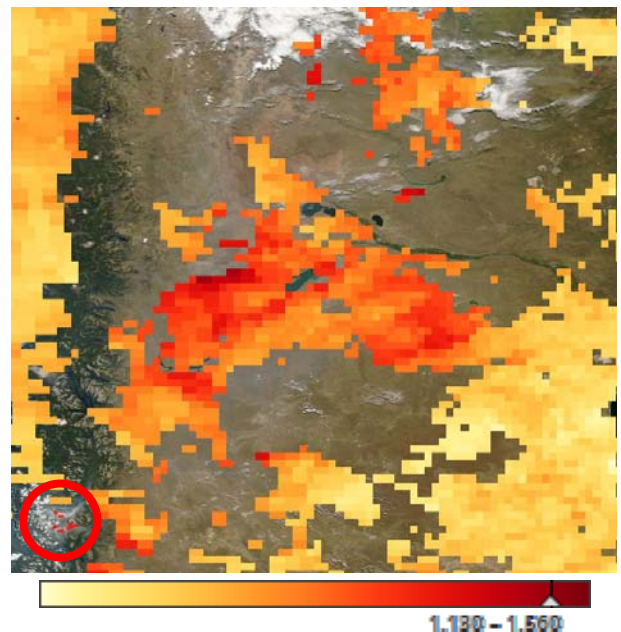


Figura 9. AOD (AQUA/MODIS – 550 nm), 20 de febrero de 2015.

Otro instrumento a bordo del satélite AQUA es la Sonda Infrarroja Atmosférica (Atmospheric Infrared

Sounder - AIRS). Sus mediciones permiten obtener como producto la columna total de monóxido de carbono^{9,10,11}. La resolución de la imagen es de 2 km, la del sensor es de 45 km y el instrumento realiza 14,5 órbitas a la Tierra por día.

Los datos de AIRS proporcionan una observación global diaria detallada del transporte de monóxido de carbono (CO) de la tropósfera media a partir de las emisiones de biomasa. La columna total de CO obtenida del instrumento AIRS indica la cantidad de CO en el perfil de la columna vertical total de la atmósfera (desde la superficie de la Tierra hasta la parte superior de la atmósfera).

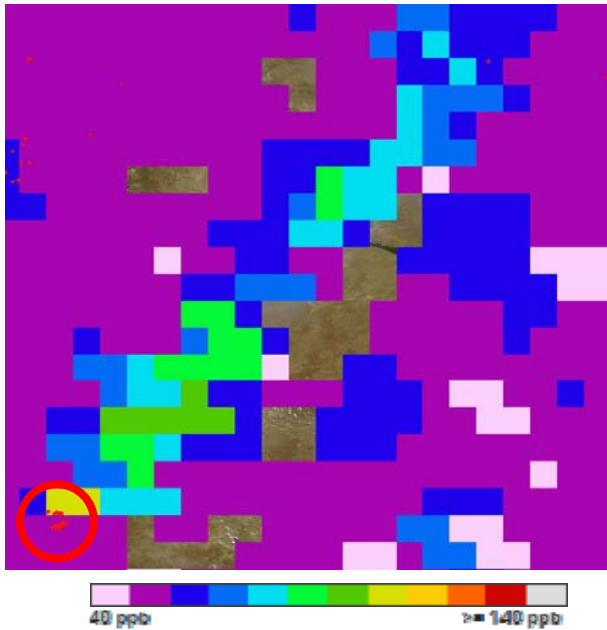


Figura 10. Columna total de monóxido de carbono. AQUA/AIRS (día/noche), 18 de febrero de 2015.

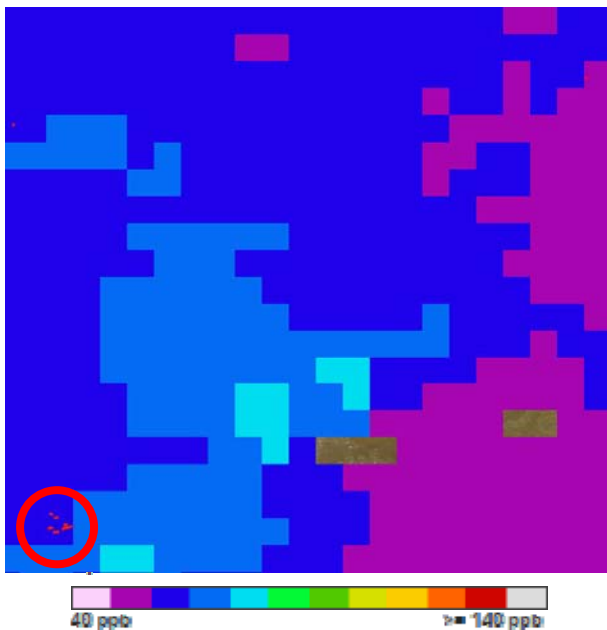


Figura 11. Columna total de monóxido de carbono. AQUA/AIRS, 20 de febrero de 2015.

En las Figuras 10 y 11 se muestra el contenido de CO en la región, observándose valores entre 80 a 100

ppb sobre la pluma de humo del día 18 (Figura 10 - azules entre 50-80 ppb; verde claro entre 80-90 ppb; verde oscuro: 90-100 ppb; amarillo: 100-110 ppb). El CO es un gas tóxico, inodoro e incoloro. El CO se produce por la combustión incompleta de combustibles fósiles y la quema de biomasa. Es un gas que contribuye al calentamiento global y es uno de los compuestos atmosféricos de carbono de vida más larga.

Mediciones desde Tierra

Las mediciones desde Tierra que se utilizan son las obtenidas por la estación de monitoreo ubicada en el aeropuerto de Neuquén.

En las Figuras 12, 13, 14 y 15 se presenta la medición de la retrodifusión de aerosoles ($\text{sr}^{-1}\text{km}^{-1}$) en 532 nm, realizada por el sistema lidar para los días 19, 20, 21 y 22 de febrero respectivamente. En las mismas, se observan capas de aerosoles y la evolución de la capa límite atmosférica. Para el día 19 (Figura 12) se pueden distinguir numerosas capas de aerosoles bien estratificadas, por debajo de los 3 km, por encima se ven nubes. En la Figura 13 se muestra la medición del 20. Se aprecian capas desde los 4 km y al final del día, después de las 18 horas, una nube a 4 km.

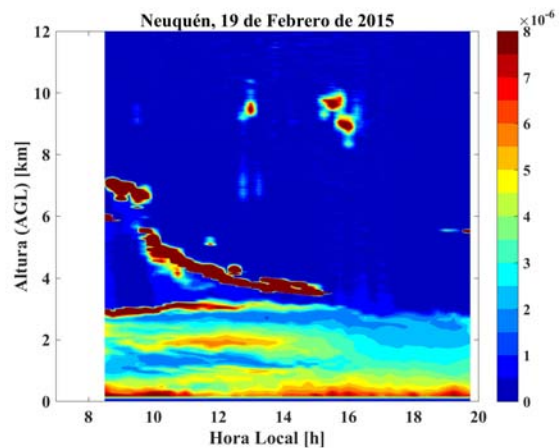


Figura 12. Medición LIDAR, retrodifusión de aerosoles en 532 nm ($\text{sr}^{-1}\text{km}^{-1}$), 19 de febrero de 2015.

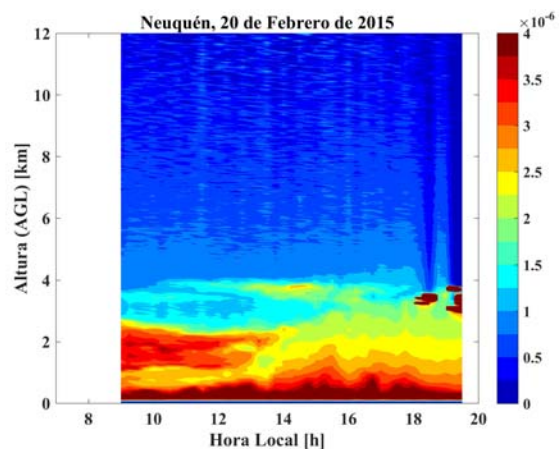


Figura 13. Medición LIDAR retrodifusión de aerosoles en 532 nm ($\text{sr}^{-1}\text{km}^{-1}$), 20 de febrero de 2015.

Para los días 21 y 22 (Figuras 14 y 15) se siguen viendo capas de aerosoles en suspensión por encima de

la capa límite y mezclándose con ella y al final de ambos días la presencia de nubes. Para estos días, la intensidad de la señal es menor que para el día 19 (ver escala de colores), indicando que el evento empieza a dispersarse.

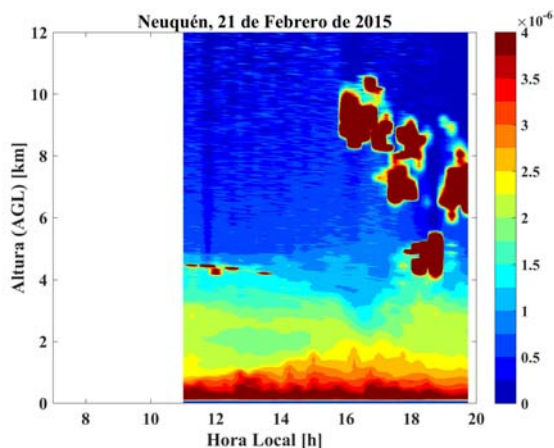


Figura 14. Medición LIDAR, retrodifusión de aerosoles en 532 nm ($sr^{-1} km^{-1}$), 21 de febrero de 2015.

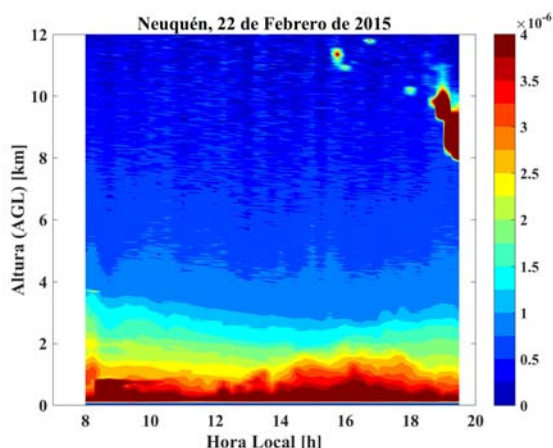


Figura 15. Medición LIDAR, retrodifusión de aerosoles en 532 nm ($sr^{-1} km^{-1}$), 22 de febrero de 2015.

La evolución temporal de espesor óptico de aerosoles (AOD)^{8,12}, obtenidos de la medición directa del fotómetro solar (Nivel 2.0)⁸, en las longitudes de onda 1640, 1020, 870, 675, 500, 440, 380 y 340 nm, se grafica en la Figura 16 para los días 18 al 22 de febrero. En la figura se puede ver como para el día 18, que la pluma pasa por el borde de la ciudad, el fotómetro presenta valores muy bajos del orden de 0,047 en 440 nm (media del día). En cambio, para el día 19 se observan valores elevados de AOD, se tiene una media del día de 0,671 en 440 nm y 0,919 en 340 nm. Para los demás días los valores bajan alcanzando una media aproximada de 0,24 en 440 nm, este valor sigue siendo alto para la región, indicando que aún persisten en partículas en suspensión. Para los días siguientes al 22 se observa que la tendencia es en seguir disminuyendo.

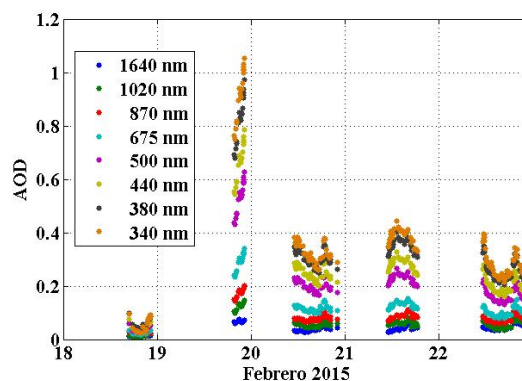


Figura 16. Evolución temporal del AOD del 18 al 22 de febrero de 2015.

En la Figura 17 se grafica el coeficiente de Ångström^{13,14,15}, parámetro que está relacionado con el radio medio de las partículas, versus el espesor óptico de aerosoles en 440 nm.

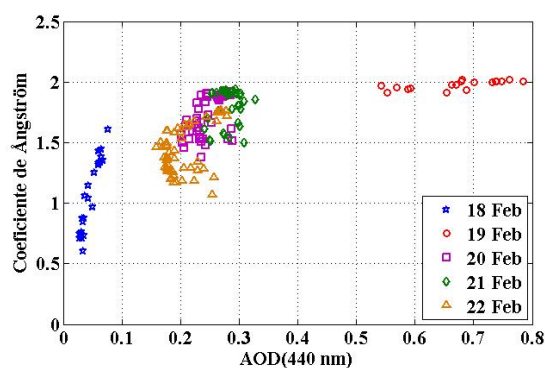


Figura 17. Coeficiente de Ångström versus el AOD (440 nm) del 18 al 22 de febrero de 2015.

Con la Figura 17 y con la ayuda de una tabla de clasificación de aerosoles¹⁶, es posible determinar el tipo de aerosol presente en la atmósfera de la ciudad de Neuquén. Si se observa la figura se puede ver que hay tres grupos bien marcados. El primero es el del día 18 de febrero, mostrando valores menores de 0,1 de AOD (440 nm) y un coeficiente de Ångström entre 0,5 y 1,5, esto es característico de aerosoles del tipo Continental Limpio. Para el día 19, el AOD (440 nm) es mayor a 0,5 y el coeficiente de Ångström en el entorno de 2, característico de quema de biomasa. Los días 20, 21 y 22 presentan las mismas características, con AOD entre 1,5 y 3 y coeficiente de Ångström entre 1 y 2, los aerosoles son del tipo Continental Promedio y Continental Contaminado.

El fotómetro solar además de la medición directa, realiza dos tipos más de medición: planos principales y almucantar⁸. Con estas mediciones y algoritmos de inversión¹² se puede calcular la distribución en tamaño de los aerosoles. En la Figura 18 se presenta la distribución de tamaños para los días 18 y 19 de febrero. Para el día 18 se puede ver que el segundo modo es el dominante, lo cual indica mayor presencia de partículas gruesas. En cambio para el día 19 se muestra un aumento considerable de los modos y una

fuerte dominación del primer modo, característico de partículas finas como es el humo.

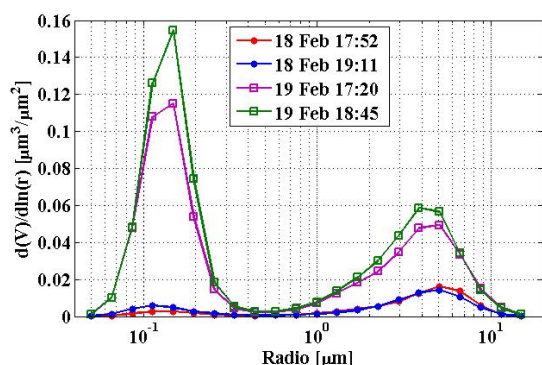


Figura 18. Distribución de tamaño de partículas para los días 18 y 19 de febrero de 2015.

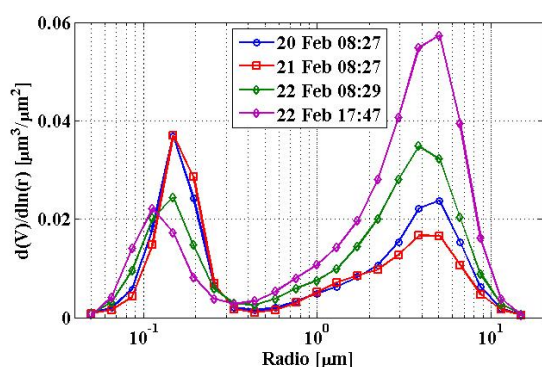


Figura 19. Distribución de tamaño de partículas para los días 20, 21 y 22 de febrero de 2015.

En la Figura 19 se presenta la distribución de tamaño para los días 20, 21 y 22 de febrero. Para los días 20 y 21 aún domina la presencia de partículas finas, pero en menor cantidad (ver que el eje vertical del la Figura 18 es mayor que el de la Figura 19). Para el día 22 ya se observa como vuelve a dominar la presencia de partículas gruesas, típicas de la región.

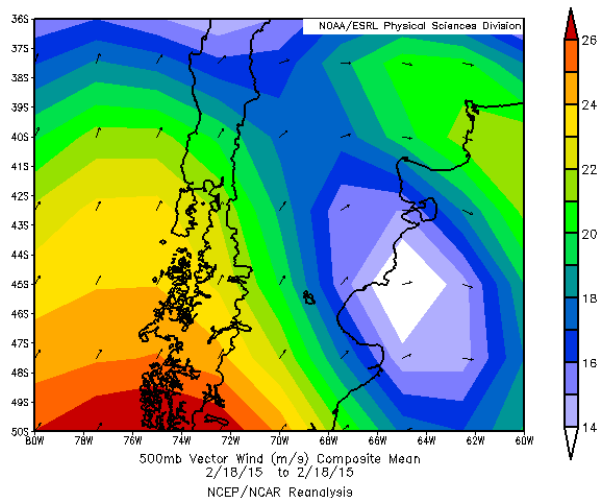


Figura 20. Circulación de viento para el día 18 de febrero de 2018.

Como dato complementario, se calcula para el día 18 de febrero circulación de los vientos (NCEP/NCAR – NOAA, National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research - National Oceanic and Atmospheric Administration)¹⁷ que se muestra en la Figura 20. La circulación favorece la llegada de las columnas de humo desde el incendio a la ciudad de Neuquén.

V. CONCLUSIONES

Se analizó un evento de intrusión de quema de biomasa observado en la estación de Neuquén en febrero de 2015. Esta intrusión se midió con un sistema lidar multi-longitud de onda y un fotómetro solar, ambos instalados en la estación de monitoreo atmosférico del Aeropuerto de Neuquén y puesta en funcionamiento en el marco del Proyecto Especial del Ministerio de Defensa N° 31554/11.

Del análisis de este evento se destaca la fuerte presencia de capas de aerosoles por encima de la capa límite atmosférica, espesores ópticos elevados, tanto los detectados por las mediciones satelitales como por las mediciones de Tierra. En particular, para el día de mayor impacto del evento sobre la ciudad, 19 de febrero, se observan valores de AOD en 440 nm mayores a 0,5 con un coeficiente de Ångström en torno a 2 y la presencia de partículas finas en suspensión. Las mediciones satelitales también mostraron altos valores de CO en la pluma que llega a Neuquén con valores que alcanzan los 100 ppb en algunas zonas.

VI. REFERENCIAS

- 1 - Kaskaoutis, D. G., S. Kumar, D. Sharma, R. P. Singh, S. K. Kharol, M. Sharma, A. K. Singh, S. Singh, A. Singh, and D. Singh. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 5424–5444 (2014).
- 2 - Andreae, M.O., Merlet, P. *Glob. Biogeochem. Cycles* 15 (4), 955–966 (2001).
- 3 - Randerson, J.T., Liu, H., Flanner, M.G., Chambers, S.D., Jin, Y., Hess, P.G., Pfister, G., M. C. Mack, K. K. Treseder, L. R. Welp, F. S. Chapin, J. W. Harden, M. L. Goulden, E. Lyons, J. C. Neff, E. A. G. Schuur, C. S. Zender. *Science* **314** (5802), 1130–1132 (2006).
- 4 - Chen, Jianmin, Ch. Li, Z. Ristovski, A. Milic, Y. Gu, M. Islam, S. Wang, J. Hao, H. Zhang, C. He, H. Guo, H. Fu, B. Miljevic, L. Morawska, P. Thai, Y. Lam, G. Pereira, A. Ding, X. Huang, U. Dumka. *Science of the Total Environment*, **579**, 1000–1034 (2017).
- 5 - Otero, L., Ristori, P., Pawelko, E., Pallotta, J. y Quel, E. *Opt. Pura Apl.*, **44**, 13–18 (2011).
- 6 - Otero, L., Ristori, P., Pallotta, J., Pawelko, E., Ballesteros, P., Orte, F., Nicora, G., Raponi, M., D'Elia, R., Wolfram, E., Salvador, J., Bulnes, D., Martorella, E., Pereyra, A., González, F., Vilar, O., Dworniczak, J., Quel, E. *Anales AFA*, **23**, 148 – 152 (2012).
- 7 - Ristori, P., Otero, L., Pawelko, E., Pallotta, J., D'Elia, R., Chouza, F., Gonzalez, F., Dworniczak, J., Pereyra, A., Fernández, M., Lema, S., Sugimoto, N. y Quel, E., Reviewed and Revised Papers Presented at the 26th International Laser Radar Conference, Vol I, 357 – 360. 25-29 (2012).

- 8 - Holben B.N., T.F. Eck, I. Slutsker, D. Tanre, J.P. Buis, A. Setzer, E. Vermote, J.A. Reagan, Y. Kaufman, T. Nakajima, F. Lavenu, I. Jankowiak, and A. Smirnov, *Rem. Sens. Environ.*, **66**, 1-16 (1998).
- 9 - B. H. Kahn, F. W. Irion, V. T. Dang, E. M. Manning, S. L. Nasiri, C. M. Naud, J. M. Blaisdell, M. M. Schreier, Q. Yue, K. W. Bowman, E. J. Fetzer, G. C. Hulley, K. N. Liou, D. Lubin, S. C. Ou, J. Susskind, Y. Takano, B. Tian, and J. R. Worden. *Atmos. Chem. Phys.*, **14**, 399-426 (2014).
- 10 - L. N. Yurganov, V. Rakitin, A. Dzhola, T. August, E. Fokeeva, M. George, G. Gorchakov, E. Grechko, S. Hannon, A. Karpov, L. Ott, E. Semutnikova, R. Shumsky, and L. Strow. *Atmos. Chem. Phys.*, **11**, 7925-7942 (2011).
- 11 - R. C. Levy, S. Mattoo, L. A. Munchak, L. A. Remer, A. M. Sayer, F. Patadia, and N. C. Hsu. *Atmos. Meas. Tech.*, **6**, 2989-3034 (2013).
- 12 - Dubovik O. and M. King. *J. Geophys. Res.*, **105** (D16), 20673-20696 (2000).
- 13 - Ångström, A. *Geografis Annal.*, 2, 156-166 (1929).
- 14 - Iqbal, M., *An Introduction to Solar Radiation*. Academic Press (1983).
- 15 - Middleton W.E. Knowles, *Vision through the Atmosphere*, University of Toronto Press (1952).
- 16 - Otero, L., Ristori, P., Holben, B., Quel, E. *Opt. Pura Apl.*, **39**, 355-364 (2006).
- 17 - Kistler, R., E. Kalnay, W. Collins, S. Saha, G. White, J. Woollen, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, M. Kanamitsu, V. Kousky, H. van den Dool, R. Jenne, M. Fiorino, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **82**, 247-268 (2001).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a: la red AERONET, JICA, CONICET, ANPCyT, UNDEF, al proyecto SAVER.Net, programa UNDEFI y Ministerio de Defensa. También a todo el personal técnico del SMN que mantiene en funcionamiento los fotómetros solares en las distintas estaciones. Se agradece especialmente al Instituto Geográfico Nacional por facilitar el mapa de la provincia de Neuquén usado en el presente trabajo.