

CAPAS DE AEROSOL DE ORIGEN AUSTRALIANO SOBRE TERRITORIO ARGENTINO DURANTE NOVIEMBRE 2019

AUSTRALIAN AEROSOL LAYERS OVER ARGENTINE TERRITORY DURING NOVEMBER 2019

L. Otero^{*1,2,3}, F. Casasola^{1,3,4,5}, C. Pereyra^{4,5}, M. Prieto^{4,5}, S. Brusca², and P. Ristori^{2,3}

¹Universidad de la Defensa Nacional, Facultad de Ingeniería del Ejército, Escuela Superior Técnica Grl. Div. Manuel N. Savio, Av. Cabildo 15 (C1426AAA), C.A.B.A., Argentina.

²Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones (CEILAP), UNIDEF (CITEDEF - CONICET), Juan Bautista de La Salle 4397 (B1063ALO), Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina.

³Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires, Medrano 951 (C1179AAQ), C.A.B.A., Argentina.

⁴Servicio Geográfico Militar, Instituto Geográfico Nacional, Av. Cabildo 381 (C1426AAA), C.A.B.A., Argentina.

⁵Dirección General de Investigación y Desarrollo del Ejército Argentino, Azopardo 250 (C1107ADB), C.A.B.A., Argentina.

Recibido: 12/03/2020; Aceptado: 24/03/2020

El 8 de noviembre de 2019 una densa pluma de humo se desprende de las costas de Australia producto de los intensos incendios que afectaron la región. Estas capas de humo son arrastradas por los vientos hasta América del Sur, ingresando a territorio argentino el 14 de noviembre y permaneciendo en suspensión hasta el día siguiente. En este trabajo se analizan las propiedades ópticas de los aerosoles en suspensión con información satelital y mediciones desde terrestres. Se calcula el Coeficiente de Angstrom y se clasifica el tipo de aerosoles presentes. Se destacan valores altos de espesor óptico de aerosoles, de 0,25 en promedio para 440 nm y de 1,2 en el Coeficiente de Angstrom, indicando la presencia de humo en la atmósfera local.

Palabras clave: aerosoles, quema de biomasa, Australia.

On November 8, 2019 a dense feather of smoke was detached from the coasts of Australia due to the intense fires that affected the region. These layers of smoke were dragged by the winds to South America, arriving to the Argentine territory on November 14 and remaining in suspension for a day. In this work, the optical properties of suspended aerosols with satellite information and measurements from terrestrial are analyzed. The Angstrom coefficient is calculated and the type of aerosols present is classified. High values of aerosol optical thickness of 0,25 on average for 440 nm and Angstrom coefficients of 1,2 in the, evidence the presence of smoke in the local atmosphere.

Keywords: wind direction, aerosols, biomass burning, Australia.

<https://doi.org/10.31527/analesafa.2020.31.1.1>



ISSN 1850-1168 (online)

I. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales generan gran cantidad de partículas en suspensión en la atmósfera y aumento de los niveles de monóxido de carbono. La presencia de estas partículas reduce la visibilidad y disminuye la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra. Además, actúan como centros de nucleación de nubes y alteran y modifican el clima y el aire que respiramos [1] siendo perjudiciales para la salud humana.

En el caso particular de las quemadas en Australia, la gran cantidad de hollín generado no solo afectó a toda la región circundante, devastando bosques y la vida silvestre, sino que los efectos se vieron alrededor del planeta, con mediciones del transporte de los aerosoles a miles de kilómetros desde las fuentes de emisión. Un efecto inmediato del hollín acumulado producto de las quemadas fue la alteración de

los cursos de los ríos y la producción de agua potable en el Este de Australia [2].

El objetivo del trabajo es caracterizar los aerosoles de transporte que arribaron desde Australia a territorio argentino durante noviembre 2019 utilizando información satelital y terrestre.

II. DESCRIPCIÓN DEL EVENTO

Los incendios de Australia comenzaron en septiembre de 2019 y se intensificaron en noviembre dadas las condiciones de sequía que afectaron a la región. Fue el segundo verano más cálido registrado y con un régimen de precipitación inferior al promedio para el verano australiano [2]. Estos importantes incendios produjeron densas columnas de humo que se pueden observar en las imágenes satelitales Suomi NPP (National Polar-Orbiting Partnership) VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) presentadas en las Figs.

* lotero@citedef.gob.ar

lidia1116@gmail.com

1 y 2 para el día 8 de noviembre y en las Figs. 3 y 4 para el 9 de noviembre. En las figuras se visualiza la costa Este de Australia que fue la zona más afectada. En las Figs. 1 y 3 se muestran las imágenes satelitales con aspecto natural de la superficie terrestre, denominadas imágenes RGB en Color Verdadero (I1-M4-M3), se puede distinguir en color blanco las nubes meteorológicas y en tonalidades de grises translúcidos las capas de humo; en las Figs. 2 y 4 se muestra otra combinación de bandas espectrales (M11-I2-I1), que permite observar, en tonos de azul, las plumas de humo y en tonos rojizos, cicatrices que dejan en la superficie de la tierra los incendios (superficie quemada) [3]. Estas columnas de humo cruzaron el Océano Pacífico alcanzando al continente americano y al territorio argentino a mediados de noviembre.

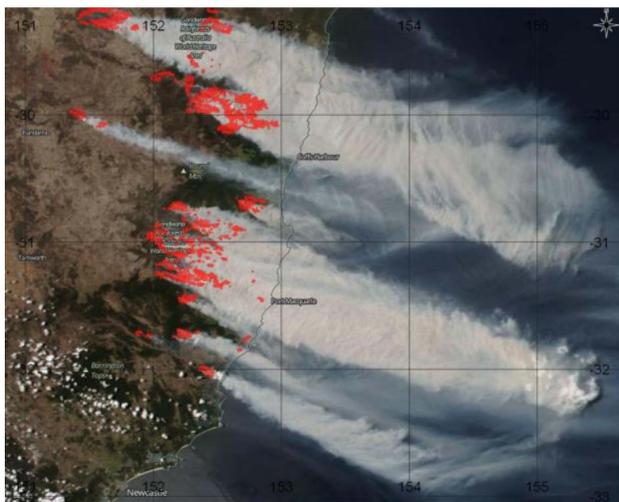


FIG. 1: Imagen satelital del 8 de noviembre de 2019 del sensor VIIRS - Suomi NPP de la costa Este de Australia (combinación: I1-M4-M3).

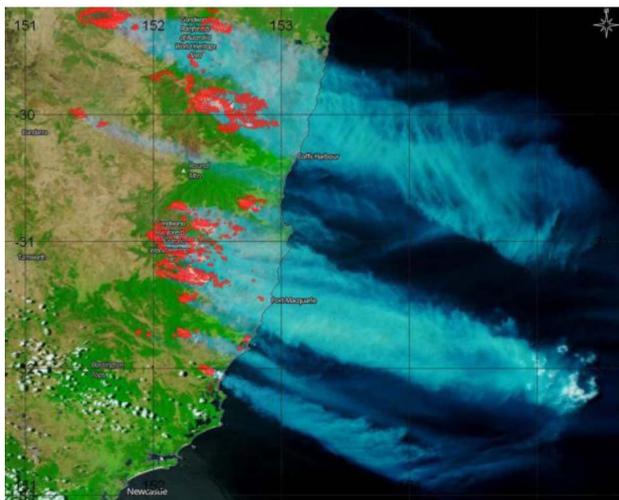


FIG. 2: Imagen satelital del 8 de noviembre de 2019 del sensor VIIRS - Suomi NPP de la costa Este de Australia (combinación: M11-I2-I1).

III. DESCRIPCIÓN DE DATOS PROCESADOS

Para el análisis del evento de intrusión de aerosoles provenientes de la quema en Australia durante noviembre, se

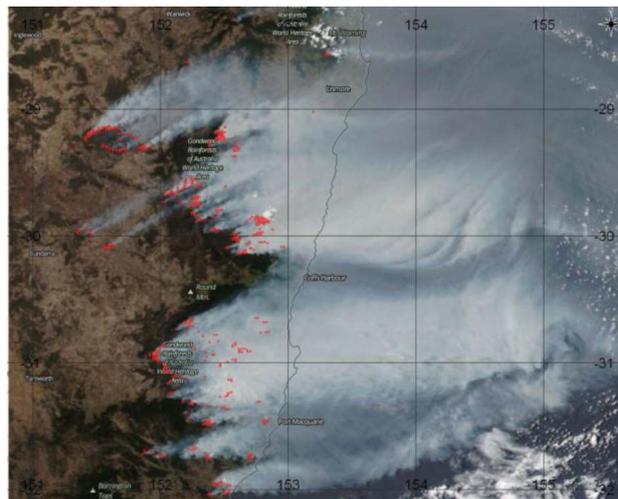


FIG. 3: Imagen satelital del 9 de noviembre de 2019 del sensor VIIRS - Suomi NPP de la costa Este de Australia (combinación: I1-M4-M3).

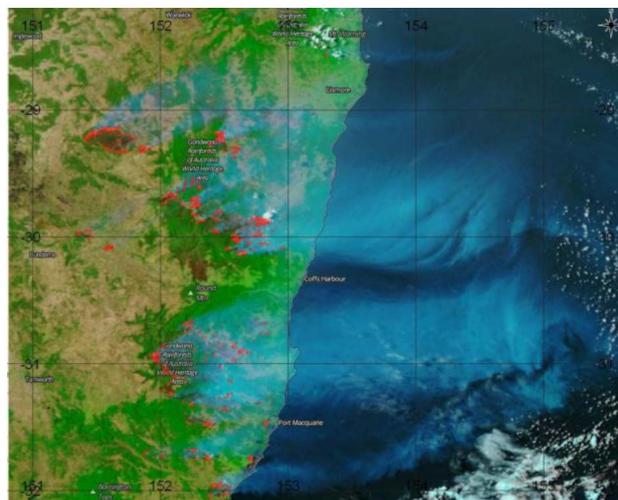


FIG. 4: Imagen satelital del 9 de noviembre de 2019 del sensor VIIRS - Suomi NPP de la costa Este de Australia (combinación: M11-I2-I1).

utilizaron mediciones de sensores en plataformas satelitales y terrestres.

Dentro de las mediciones satelitales se analizaron los datos del sensor OMPS (Ozone Mapping Profiler Suite) [4, 5] instalado en el satélite Suomi NPP para el estudio de la variabilidad espacio-temporal del Índice del Aerosol (AI Aerosol Index). Las mediciones del espesor óptico de aerosoles (AOD - Aerosol Optical Depth) en 550 nm del instrumento MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo del satélite TERRA [6, 7]. Adicionalmente se analizó la presencia de CO (monóxido de carbono) en columna total y del AI sentido por el TROPOMI (TROPospheric Monitoring Instrument) montado en el Sentinel-5P [8, 9].

El AI es un índice cualitativo que indica la presencia de aerosoles en capas altas de la atmósfera, los cuales que absorben la radiación UV. Los principales tipos de aerosol que se detectan con este índice son el polvo del desierto, la quema de biomasa y las columnas de cenizas volcánicas. Una ventaja del AI es que se puede calcular para píxeles de tierra

claros y (parcialmente) nublados.

Los datos de AOD terrestres se obtienen de las mediciones de los fotómetros solares de la red AERONET de las estaciones de Buenos Aires, CEILAP-BA ($34,555^{\circ}$ O; $58,506^{\circ}$ S; 26 m), y Córdoba, Pilar-Córdoba ($31,667^{\circ}$ O; $63,883^{\circ}$ S; 333 m) en Nivel 1,5 (datos donde se han extraído las nubes automáticamente) [10, 11].

El AOD determina la carga total de aerosoles en columna total. Es una magnitud adimensional que indica cuanto se atenúa la radiación solar, a una cierta longitud de onda, al atravesar la atmósfera. Con la dependencia espectral del AOD se puede calcular el coeficiente o exponente de Angstrom, que está relacionado con la distribución cuadrática media de los radios de aerosoles. Relacionando el AOD en 440 nm y el coeficiente de Angstrom es posible clasificar el tipo de aerosol en suspensión utilizando la tabla de clasificación de Otero *et al.*, 2006 [12].

Para determinar la altura de las capas de aerosoles, se analizaron las mediciones del instrumento LIDAR instalado en CITEDEF calculando el coeficiente de retrodifusión atenuada y normalizada de aerosoles en 532 nm [13-15]. Este sistema permite medir perfiles de la atmósfera desde unos pocos metros hasta varios kilómetros, alcanzando la tropopausa.

En la Tabla 1 se presenta un cuadro resumen con las variables analizadas, los sensores y su plataforma.

TABLA 1: Resumen de variables y sensores.

PLATAFORMA	SENSOR	VARIABLE
Satélite Suomi NPP	OMPS	AI
Satélite Sentinel 5P	TOPOMI	CO AI
Satélite TERRA	MODIS	AOD (550 nm) Coef. de Angstrom
Terrestre	LIDAR	Retrodifusión de aerosoles
Terrestre	Fotómetro Solar	AOD (440 nm) Coef. de Angstrom

IV. RESULTADOS

En la Fig. 5 se presenta la evolución espacio-temporal del AI desde el 8 al 13 de noviembre de 2019 medido por el sensor OMPS. En las imágenes se puede observar como una pluma de humo con valores de AI elevados, mayores a 5, se desprende de las costas de Australia el día 8. Esta pluma avanza sobre el Océano Pacífico y llega a las costas de América del Sur el día 13.

El 14 de noviembre de 2019 la masa de humo australiano llega por primera vez sobre territorio argentino, ingresando por Neuquén y cubriendo todo el centro del país. En la Fig. 6 se muestra el mapa de cobertura del AI (OMPS), indicando la presencia de aerosoles en toda la zona.

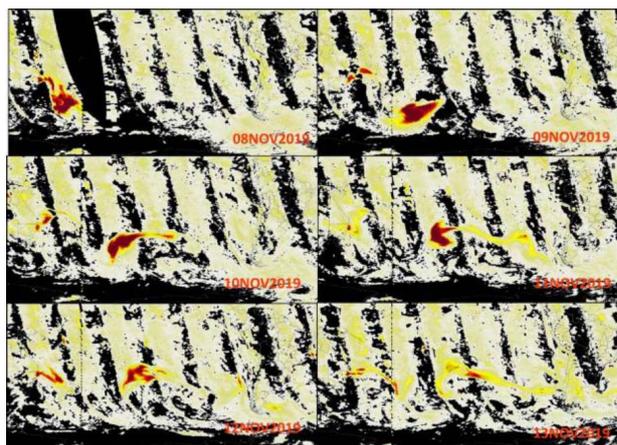


FIG. 5: Evolución espacio-temporal de la trayectoria del humo por medio del análisis del Índice de Aerosol (AI), sensor OMPS, del 8 al 13 de noviembre de 2019.

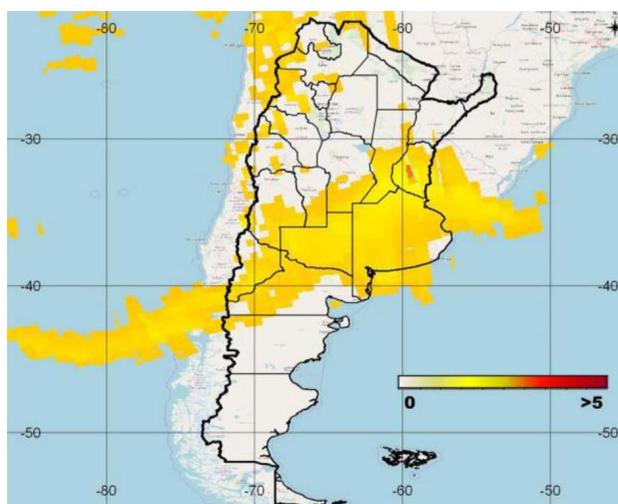


FIG. 6: Índice de Aerosol (AI) medido con el sensor OMPS para el 14 de noviembre de 2019.

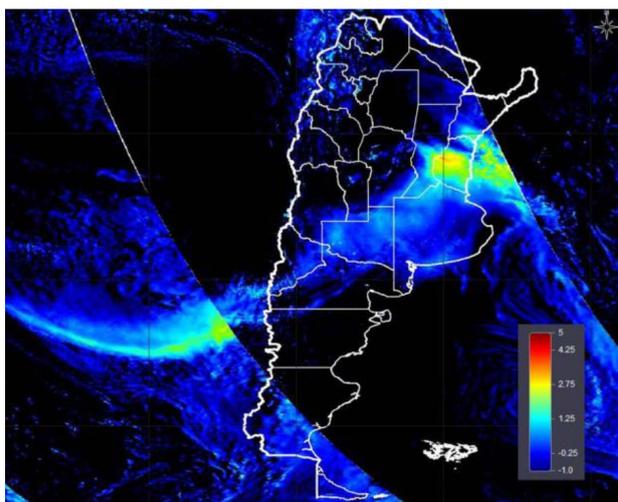


FIG. 7: Índice de Aerosol (AI) medido con el sensor TROPOMI para el 14 de noviembre de 2019.

En la Fig. 7 se presenta la medición del AI del sensor TROPOMI para el 14 de noviembre. La medición del AI del OMPS y la del TROPOMI, muestran valores semejantes en torno a 1 en casi todo el territorio y en particular valores

entre 2 y 3 sobre la provincia de Entre Ríos. Para comparar la cobertura de la medición del AI con los dos sensores, se grafican en la Fig. 8 ambas mediciones superpuestas. Se toma como base la medición del TROPOMI y se superpone el polígono (contorno rojo) de la cobertura del AI del OMPS. Se puede observar que la presencia de aerosoles en capas altas de la atmósfera es la misma para ambos sensores. Estos aerosoles del tipo de quema de biomasa son una de las principales fuentes generación y aumento del CO en suspensión en la atmósfera.

En la Fig. 9 se presenta la abundancia global de CO en columna total medido con el instrumento TROPOMI [16]. Los valores observados en toda la región no son elevados. Se registra un leve aumento en las mediciones del CO en la misma zona donde los valores de AI son altos. Esto se puede observar en la Fig. 10 donde se superpone la medición del CO con la cobertura del AI (OMPS – polígono rojo). Las mediciones de CO alcanzan un máximo de 0,04 mol/m² sobre la provincia de Entre Ríos.

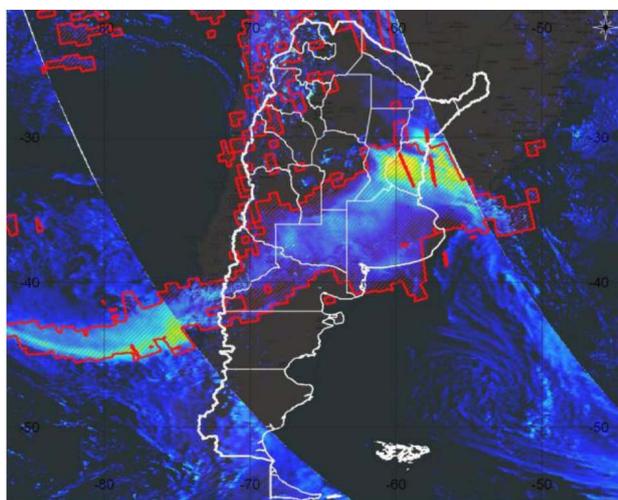


FIG. 8: Comparación de cobertura del Índice de Aerosol (AI) medido con el sensor TROPOMI (en paleta de colores) y el medido por el sensor OMPS (polígono en rojo) para el 14 de noviembre de 2019.

Otra medición de interés para analizar la presencia de aerosoles es el AOD. Un AOD de menos de 0,1 es característico de atmósfera limpia, con muy baja cantidad de partículas en suspensión y máxima visibilidad. El AOD aumenta debido al incremento de partículas en suspensión y esto provoca que la visibilidad se reduzca.

En la Fig. 11 se presenta la medición de AOD en 550 nm del sensor MODIS – TERRA para el 14 de noviembre. Se observan valores máximos de 0,6 al sur de la provincia de Entre Ríos, valores del orden de 0,3 en las proximidades de Ciudad de Buenos Aires y de 0,2 en los alrededores de Ciudad de Córdoba. Esta medición satelital se puede contrastar con las mediciones disponibles de los fotómetros solares de Buenos Aires y Córdoba que se muestra en la Fig. 12. En dicha figura se presenta la evolución temporal del AOD en 440 nm para los días 14 y 15 de noviembre para la estación de Buenos Aires y para el 15 de noviembre para la de Córdoba. En ambas estaciones los valores son superiores a 0,1 durante los dos días.

El cálculo del coeficiente de Angstrom se puede utilizar

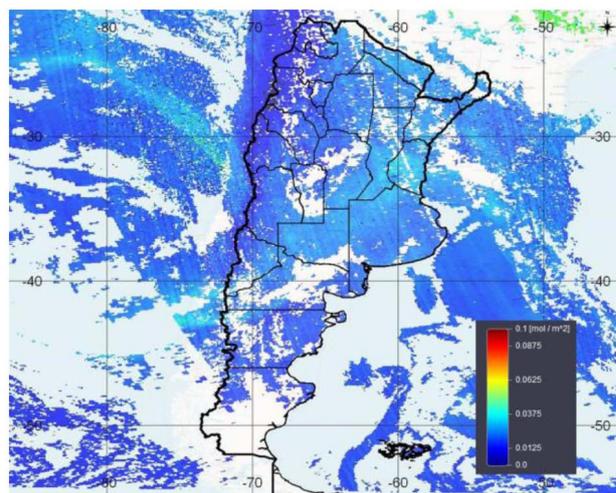


FIG. 9: CO en columna total del TOPOMI-Sentinel-5P para el 14 de noviembre de 2019.

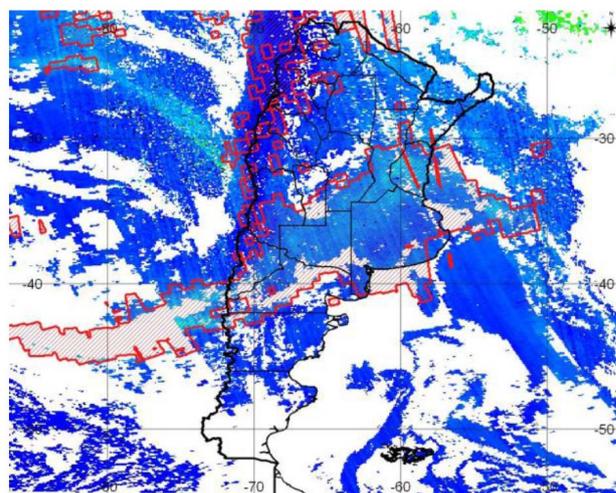


FIG. 10: CO en columna total del TOPOMI-Sentinel-5P y la cobertura del AI (OMPS – polígono rojo).

para proporcionar información adicional relacionada con el tamaño del aerosol. Cuanto mayor sea el coeficiente, menor será el tamaño de partícula. Los valores menores a 1 sugieren el dominio de partículas gruesas (por ejemplo, polvo) y los valores mayores a 1 sugieren el dominio de partículas finas (por ejemplo, humo). En la Fig. 13 se presenta el coeficiente de Angstrom producto MODIS-TERRA, donde se observan valores máximos de 1,8 al sur de la provincia de Entre Ríos (en celeste) y de 1,1 en los alrededores de la Ciudad de Buenos Aires y sur de Santa Fe (en verde).

Con los datos de AOD en 870, 670, 500 y 440 nm de los fotómetros solares de la red AERONET, se calcula el coeficiente de Angstrom. En la Fig. 14 se muestra el AOD en 440 nm versus el Coeficiente de Angstrom, este estilo de gráficos permite clasificar el tipo de aerosoles en suspensión en la atmósfera. Del análisis del gráfico se puede extraer que mayormente las partículas son del tipo Quema de Biomasa y Continental Contaminado, de acuerdo a la tabla de clasificación de Otero *et al.*, 2006 [12].

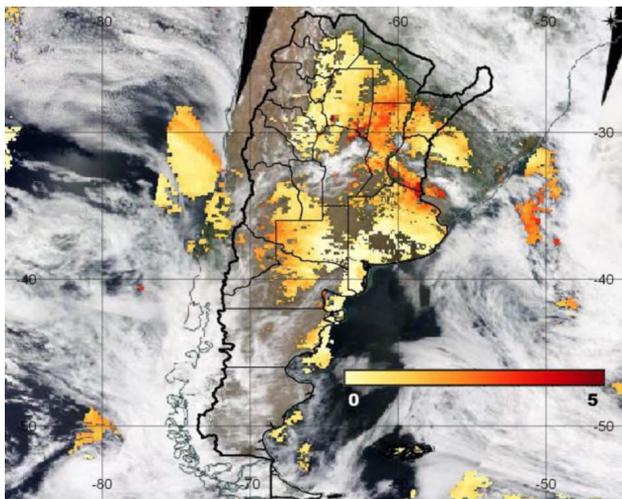


FIG. 11: AOD en 550 nm del MODIS-TERRA para el 14 de noviembre de 2019 (escala logarítmica).

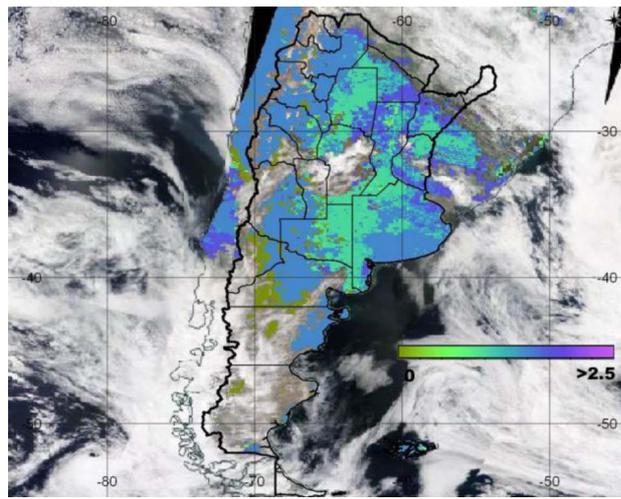


FIG. 13: Coeficiente de Angstrom (Blue) del MODIS-TERRA para el 14 de noviembre de 2019.

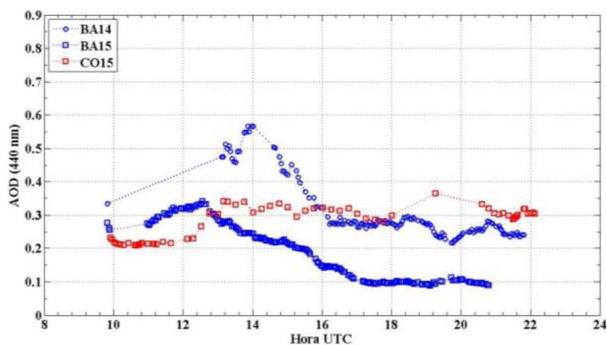


FIG. 12: Evolución temporal del AOD en 440 nm durante el 14 y 15 de noviembre de 2019 (BA: estación CEILAP-BA (azul); CO: estación Pilar-Cordoba (rojo)).

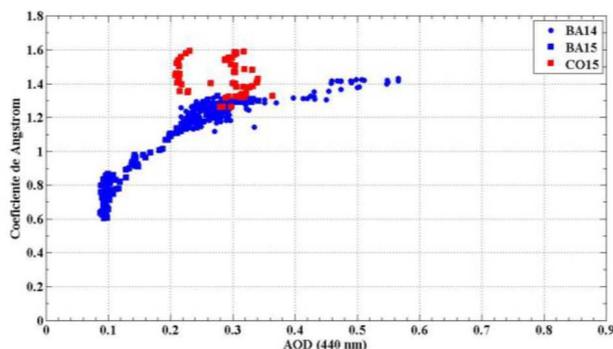


FIG. 14: Coeficiente de Angstrom vs AOD (440 nm) para el 14 y 15 de noviembre de 2019 (BA: estación CEILAP-BA (azul); CO: estación Pilar-Cordoba (rojo)).

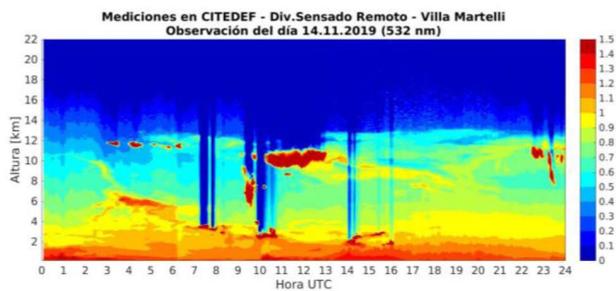


FIG. 15: Evolución espacio-temporal de la retrodifusión atenuada y normalizada de aerosoles en 532 nm para el 14 de noviembre de 2019.

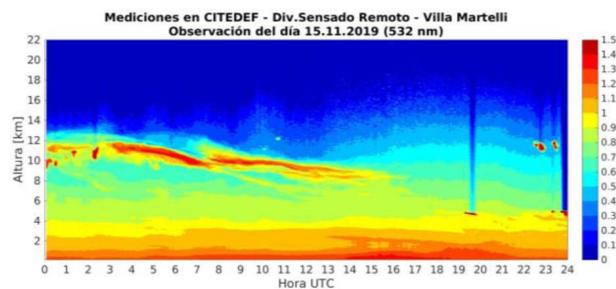


FIG. 16: Evolución espacio-temporal de la retrodifusión atenuada y normalizada de aerosoles en 532 nm para el 15 de noviembre de 2019.

Las mediciones con el sistema LIDAR permitieron determinar las alturas de las capas de aerosoles sobre Ciudad de Buenos Aires. En las Figs. 15 y 16 se presenta la evolución espacio-temporal de la retrodifusión atenuada y normalizada de aerosoles en 532 nm: en el eje horizontal la se muestra la hora en UTC; en el eje vertical la altura en kilómetros y con la paleta de colores se indica la intensidad de la señal, el color azul representa atmósfera libre, molecular (sin partículas en suspensión) y el color rojo indica presencia de material particulado. Para ambos días, se observan, sobre la capa límite atmosférica, numerosas capas de aerosoles bien definidas a distintas alturas y con diferentes intensidades, hasta los 13 km.

V. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se analizó el arribo durante noviembre de 2019 a territorio argentino de plumas de humo provenientes de los intensos incendios en Australia. Del estudio se determinó que las partículas presentaban un AOD del orden de 0,25 en promedio y un Coeficiente de Angstrom de 1,2. Las capas de aerosoles se encontraban por encima de la capa límite atmosférica entre los 2 y 13 km de altura en las proximidades de Ciudad de Buenos Aires. Los valores de CO se vieron ligeramente aumentados sin presentar valores significativos de riesgo para la salud humana. La importancia de realizar este tipo de estudios es poner en

evidencia que los eventos de transporte de aerosoles pueden recorrer cientos de kilómetros desde su origen y afectar el clima, calidad del aire y visibilidad de otras zonas muy distantes desde la fuente de emisión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a: la red AERONET, JICA, CONICET, ANPCyT, UNDEF, Proyectos UNDEFI, UTN y Ministerio de Defensa por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo. También a todo el personal técnico de NASA, CITEDEF y SMN, que han mantenido en funcionamiento los fotómetros solares y especialmente al Téc. Raúl D'Elia.

REFERENCIAS

- [1] G. A. D'Almeida, P. Koepke y E. P. Shettle. *Atmospheric aerosols: Global climatology and radiative characteristics*. (A. Deepak Publishing, Hampton, Virginia, 1991).
- [2] <http://www.bom.gov.au/climate/current/season/aus/summary.shtml>.
- [3] J. T. Randerson, Y. Chen, G. R. van der Werf, B. M. Rogers y D. C. Morton. Global burned area and biomass burning emissions from small fires. *J. Geophys. Res.* **117**, G04012 (2012).
- [4] <https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/suomi-npp>.
- [5] https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/OMPS_NPP_NMMIEAI_L2_2/summary.
- [6] <https://modis.gsfc.nasa.gov>.
- [7] R. C. Levy, S. Mattoo, L. A. Munchak, L. A. Remer, F. Sayer A. M. and Patadia y N. C. Hsu. The Collection 6 MODIS aerosol products over land and ocean. *Atmos. Meas. Tech.* **6**, 2989-3034 (2013).
- [8] *SSP Mission Performance Centre Carbon Monoxide, (Copernicus Sentinel 5 Precursor Tropospheric Monitoring Instrument (S5P/TROPOMI) Carbon Monoxide total column level 2 data product). V01.03.02, ISSUE 1.4.* <https://doi.org/10.5270/S5P-1hkp7rp>. 2020.
- [9] O. Torres, P. K. Bhartia, J. R. Herman, Z. Ahmad y J. Gleason. The Collection 6 MODIS aerosol products over land and ocean. *J. Geophys. Res.* **103**, 17, 099-17, 110 (1998).
- [10] B. Holben, T. F. Eck, I. Slutsker, D. Tanre, J. P. Buis, A. Setzer, E. Vermote, J. A. Reagan, Y. Kaufman, T. Nakajima, F. Lavenue, I. Jankowiak y A. Smirnov. AERONET- A federated instrument network and data archive for aerosol characterization. *Remote Sens. Environ.* **66**, 1-16 (1998).
- [11] O. Dubovik y M. King. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements. *J. Geophys. Res.* **105**, 20, 673-20, 696 (2000).
- [12] L. Otero, P. Ristori, B. Holben y E. Quel. Espesor óptico de aerosoles durante el año 2002 para diez estaciones pertenecientes a la red AERONET – NASA. *Opt. Pura Apl.* **39**, 355-364 (2006).
- [13] L. Otero, P. Ristori, B. Holben y E. Quel. Aerosol Optical Properties by Means of a Sunphotometer and Lidar System in Buenos Aires Argentina. *Opt. Pura Apl., Especial Third Workshop "Lidar Measurements in Latin America"* **39**, 43-47 (2006).
- [14] L. Otero, P. Ristori, E. Pawelko, J. Pallotta y E. Quel. Six-Year Evolution of Multiwavelength Lidar System at CEI-LAP. *Opt. Pura Apl., Especial V Workshop on Lidar Measurements in Latin America* **44**, 13-18 (2011).
- [15] P. Ristori, L. Otero, Y. Jin, B. Barja, A. Shimizu, A. Barbero, J. Salvador, J. Bali, M. Herrera, P. Etala, A. Acquesta, E. Quel, N. Sugimoto y A. Mizuno. SAVER.Net lidar network in southern South America. *EPJ Web Conf.* **176**, 09011 (2018).
- [16] J. Landgraf, J. aan de Brugh, R. Scheepmaker, T. Borsdorff, H. Hu, S. Houweling, A. Butz, I. Aben y O. Hasekamp. Carbon monoxide total column retrievals from TROPOMI shortwave infrared measurements. *Atmos. Meas. Tech.* **9**, 4955-2016 (2016).