

Instalación de cinco estaciones para el monitoreo de cenizas volcánicas en el territorio argentino: sistemas lidar

Lidia Otero², Pablo Ristori^{1,2}, Eduardo Quel^{1,2}

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Departamento de Ingeniería Electrónica, Medrano 951, (C1179AAQ), C.A.B.A., Argentina

² CEILAP-UNIDEF (CITEDEF-CONICET), División Lidar, Juan B. de La Salle 4397, (B1603ALO), Villa Martelli, Argentina

eduardojquel@gmail.com

Recibido el 21 de marzo de 2016, aprobado el 27 de mayo de 2016

Resumen

Se realiza una breve descripción de la evolución en equipamiento y aplicaciones de la tecnología Lidar en Argentina desde 1989. Se muestra el progreso de trabajos y proyectos, contando con el apoyo de instituciones nacionales como el Ministerio de Defensa, CEILAP, UNIDEF, CONICET, el Servicio Meteorológico Nacional y diversas universidades, así como la cooperación con agencias internacionales de Francia, Italia, Japón, Estados Unidos y Chile. A continuación se reseñan las mediciones atmosféricas realizadas en la ciudad de Buenos Aires de la pluma de cenizas producidas en abril de 2015 por acción del volcán Calbuco. Con el sistema lidar se pudo seguir la evolución espacial y temporal de dicha pluma, manteniendo informada de ella a la aeronavegación.

PALABRAS CLAVE: LIDAR- CENIZAS VOLCÁNICAS – AEROSOL ATMOSFÉRICO – AERONET – CEILAP

Abstract

A brief description since 1989 of equipment and applications evolution related to lidar technology in Argentina is made. Progress of works and projects is described, supported by national institutions: Ministerio de Defensa, CEILAP, UNIDEF, CONICET, Servicio Meteorológico Nacional and several universities. Supported too by cooperation with international agencies from France, Italy, Japan, USA and Chile. In addition atmospheric measurements of ashes plume on Buenos Aires City, due to Calbuco volcano action in april 2015, are shown. Spatial and temporal evolution of the plume was followed.

KEYWORDS: LIDAR - VOLCANIC ASHES – ATMOSPHERIC AEROSOL – AERONET - CEILAP

Introducción

Los comienzos de la tecnología lidar en la Argentina se remontan hacia 1989, cuando en el Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones (CEILAP), actualmente integrante de la Unidad de Estudios Estratégicos para la Defensa (UNIDEF) que depende del Ministerio de Defensa de la República Argentina (MINDEF) y del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), surgió el estudio de la atmósfera aplicando tecnología láser. Sobre la base de trabajos y estudios dedicados a la molécula de ozono (O_3), mediante la absorción de la radiación de láseres de CO_2 , TEA, que se realizaron en colaboración con la *Université Pierre et Marie Curie, del Centre National de la Recherche Scientifique* (CNRS) de Francia. Esos trabajos condujeron posteriormente al estudio de la capa de ozono con sistemas láser. Por otro lado, también interesaba el estudio de la contaminación atmosférica por las partículas en suspensión, conocidas como aerosoles. Todo ello desembocó en el desarrollo de la tecnología lidar, acrónimo de *Light Detection and Ranging*.

Es así como en 1991 mediante un subsidio del CONICET, obtenido por concurso, se comenzó a desarrollar un sistema lidar diseñado para el estudio de aerosoles, contándose con una colaboración con el *Istituto di Fisica dell'Atmosfera del Consiglio Nazionale Delle Ricerche* (CNR) de Italia, analizándose la posibilidad de instalar un sistema en El Leoncito, Observatorio Astronómico del CONICET de Argentina, situado en la provincia de San Juan, en plena Cordillera de los Andes (Comgedutti, *et al.* 1993), la cual finalmente fue desechada atento a los costos de traslado e instalación. Finalmente, en 1994 comenzó a funcionar el primer sistema lidar de Argentina en dependencias del CEILAP (Quel, *et al.* 1994 y Giraldez, *et al.* 1995), iniciándose además una colaboración con la *École Polytechnique* del CNRS de Francia (Lavorato, *et al.* 1996a y Lavorato *et al.* 1996b). En 1996, mediante un proyecto ECOS se comenzaron los primeros estudios sobre la Capa Límite Atmosférica en Buenos Aires, (Fochesatto, *et al.* 1996) con mediciones realizadas con el sistema lidar, así como las primeras detecciones de quemaduras de biomasa y cirrus (Lavorato, *et al.* 1998). En 1995 se comenzó el desarrollo de la tecnología lidar de absorción diferencial con el fin de medir el O_3 estratosférico, teniendo en cuenta el problema del agujero de ozono, que

afecta a las poblaciones del sur del continente sudamericano, o sea de Chile y de la Argentina. Para ello se contó con la colaboración del CNRS de Francia. En 1998 se logró poner en funcionamiento el primer sistema DIAL (*Differential Absorption Lidar*), para medir perfiles de ozono estratosférico en la Argentina. Era de un solo espejo de 50 cm de diámetro, $f/2$, con emisión en 308 nm (láser de excímero) y en 355 nm (láser de *Neodymium Doped Yttrium Aluminium Garnet* (Nd:YAG)).

Se obtuvieron así los primeros perfiles de O_3 medidos sobre Villa Martelli en dependencias del CEILAP (Pazmiño, *et al.* 1999; Pazmiño, *et al.* 2000a; Pazmiño, *et al.* 2000b; Pazmiño, *et al.* 2001a, Pazmiño, *et al.* 2001b). El proyecto continuó con el desarrollo de un sistema de 4 espejos para la colección de señales, con el fin de llevarlo al sur argentino, para medir perfiles en la zona del borde del agujero de ozono. En 2002 se dispuso del sistema de mucho mayor alcance, funcionando a pleno que se montó en un contenedor – laboratorio, donado por el CNRS de Francia. En 2005, y con un importante apoyo de la *Japan International Cooperation Agency* (JICA), se trasladó el contenedor a la ciudad de Río Gallegos, elegida por estar en el borde del agujero de ozono, por un interesante número de noches claras y sin nubes y por estar en el continente. Se instaló en el predio de la Base Aérea Militar de Río Gallegos, donde se disponía de alojamiento para los investigadores. En julio de 2005 comenzaron las mediciones y actualmente continúan regularmente. Se debe señalar que atento a los apoyos sucesivos de JICA, y posteriormente a la obtención de un proyecto SATREPS en Japón, a través de un concurso llamado por la *Japan Science and Technology* (JST) y JICA, el sistema fue actualizado y preparado para continuar funcionando (Wolfram, *et al.* 2001; Meijer, *et al.* 2006; Salvador, *et al.* 2007; Salvador, *et al.* 2015). Desde el año 2008 se integra la red *Network for the Detection of Atmospheric Composition Change* (NDACC), con este sistema lidar.

En octubre del año 1998 comenzaron a disponerse de los datos generados por un fotómetro solar de la *red Aerosol Robotic Network* (AERONET) de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), instalado en Villa Martelli. Tiempo después se inició la construcción de un lidar Raman multilongitud de onda, que fue concluido hacia el año 2003. La utilización

de ambos instrumentos fue sumamente importante en el estudio de los aerosoles (Otero, *et al.* 2006a; Otero, *et al.* 2006b; Otero, *et al.* 2007; Otero, *et al.* 2008). Estos estudios resultaron exitosos, pues a través de la determinación del tamaño y de las propiedades ópticas de los aerosoles se pudo lograr la identificación de los mismos en varios tipos, a los cuales se agregaron los datos correspondientes a cenizas volcánicas, cuando las cenizas llegaron a Buenos Aires, como se verá más adelante.

Hacia el año 2007 se comenzó a desarrollar la técnica llamada *Differential Optical Absorption Spectroscopy* (DOAS) para la determinación de gases estratosféricos, lo cual le permitió al CEILAP disponer de un instrumento de ese tipo, de desarrollo propio incluidos los algoritmos (Raponi, *et al.* 2007). Es un interesante complemento para el estudio de diversos tipos de contaminación atmosférica.

Debido a la erupción del volcán Puyehue en junio de 2011 comenzaron a suspenderse muchísimos vuelos de y hacia la Patagonia, lo cual llevó a que varias organizaciones del país plantearan la necesidad de contar con instrumental moderno para establecer la posibilidades de realizar vuelos, aun con presencia de cenizas volcánicas, es decir poder informar la situación real. Al poco tiempo, se produjo un hecho realmente inesperado: los vientos trajeron las cenizas volcánicas del volcán Puyehue a Buenos Aires, lo cual hizo que se suspendieran también muchos vuelos internacionales (Otero, *et al.* 2011a). Ello originó numerosas reuniones entre las líneas aéreas y los organismos competentes de la República Argentina, lo cual derivó en que finalmente, el Ministerio de Defensa nacional encargó a un organismo de su dependencia Ciencia, Tecnología y Producción para la Defensa (CITEDEF), más precisamente a la División Lidar del CEILAP, realizar el desarrollo y la puesta en funcionamiento de cinco estaciones para el monitoreo de cenizas volcánicas en el territorio argentino, a ser instaladas en los aeropuertos de: Río Gallegos, Comodoro Rivadavia, Bariloche, Neuquén y Aeroparque de Buenos Aires, y dejando una estación completa que quedara instalada para ser rápidamente desplazada en eventuales emergencias en dependencias del CEILAP en Villa Martelli. Dicho proyecto se puso en marcha el 10 de enero de 2012. El 2 de febrero de ese año se instaló la primera estación en Bariloche, con lo cual

se pudieron reanudar vuelos de y hacia dicha ciudad luego de su cierre en junio de 2011, con las consiguientes pérdidas. El lidar ya había sido construido con fondos provenientes de la colaboración con Japón, por lo cual estaba prácticamente listo para su puesta en funcionamiento, cosa que se logró de inmediato luego del traslado a Bariloche. Las estaciones mencionadas fueron instalándose, concluyéndose en febrero de 2015, con la instalación de la correspondiente al Aeroparque de Buenos Aires. Todas ellas son actualmente operadas por el personal del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), al cual se instruyó mediante cursos especialmente dictados. Es importante destacar que están dotadas de un fotómetro solar de la red AERONET de la NASA, que se ocupa de su calibración, de instrumentos UV-A, UV-B, GUV y Piranómetro, así como de una estación meteorológica y un medidor TOPAS de partículas a nivel del suelo (Ristori, *et al.* 2012; Quel, *et al.* 2015).

Un sistema lidar Raman multiángulo con miras a ser aplicado en el laboratorio Auger, sito en Margüe, provincia de Chubut, Argentina, donde se detecta radiación cósmica de alta energía se ha desarrollado en la División Lidar del CEILAP. Dicha detección requiere, a los efectos de determinar correctamente los parámetros de las partículas que arriban a dicha instalación, de un sistema lidar capaz de medir la atenuación de la atmósfera y poder así calcular con precisión la energía de dichas partículas. Este lidar de desarrollo propio posee características de automatización muy importantes para su operación en dicho laboratorio (Pallotta, *et al.* 2013).

Actualmente, dentro del marco de una nueva colaboración con Japón, a través de un subsidio del JST de dicho país, y en colaboración con la Universidad de Magallanes de Punta Arenas, Chile y la Universidad de Nagoya, de Japón, se ha desarrollado un sistema lidar de alta resolución espectral, con el fin de mejorar las mediciones de las propiedades ópticas de los aerosoles. El sistema se encuentra actualmente en funcionamiento y los primeros resultados se presentarán en un congreso próximo. Así mismo un grupo formado por personal experto, está trabajando en el tema de la determinación de la concentración de aerosoles, en particular de las cenizas volcánicas. Como es sabido, dicha concentración se está estudiando en forma intensa a nivel mundial. Es un parámetro decisivo para la autorización de vuelos comerciales en

particular, atento al gran poder de desgaste de las cenizas volcánicas. Hay varios programas en discusión: *LIRIC*, *GARRLIC*, *POLYPHON* y otros. Se trata de determinar cuál de ellos es el que se aproxima más a los valores reales. Los avances en este sentido son muy interesantes y hay colaboraciones a nivel internacional de gran importancia.

Todos estos trabajos dieron origen a varias tesis doctorales realizadas por el personal de la División Lidar del CEILAP, UNIDEF, tanto en Física como en Ingeniería, algunas defendidas en el exterior y otras en distintas Facultades de nuestro país, entre las cuales se debe contar con la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional.

A continuación, y a modo de ilustración, se describen los resultados obtenidos en las mediciones de las cenizas volcánicas emitidas por el volcán Calbuco, en la estación de Aeroparque de Buenos Aires, a los efectos de que se puedan observar el tipo de mediciones y de resultados que se pueden obtener.

Mediciones con la estación Aeroparque: erupción del volcán Calbuco

El 22 de abril de 2015 a las 17.50 hora local, entró en erupción el volcán Calbuco (41°19'S 72°37'O), situado en territorio chileno. Las cenizas eyectadas a la atmósfera fueron transportadas por los vientos y llegaron a la ciudad de Buenos Aires, siendo detectadas por la estación de monitoreo de aerosoles de Aeroparque. Esta estación, al igual que otras cuatro instaladas todas en dependencias del SMN en los aeropuertos de San Carlos de Bariloche, Comodoro Rivadavia, Neuquén y Río Gallegos, se gestaron bajo el marco de un Proyecto Especial del Ministerio de Defensa. A principios de 2012, ese ministerio solicitó a la División Lidar del CEILAP, la construcción de una red de monitoreo atmosférico para la detección de aerosoles, cenizas volcánicas, polvo y quema de biomasa.

Los aerosoles, como se dijo, son partículas en suspensión en la atmósfera, cuyo origen puede ser natural o antropogénico. Las fuentes naturales inyectan en el aire polen, esporas, moho, levaduras, hongos y bacterias. Eventos tales como incendios forestales, erupciones volcánicas y sequías también producen humo, polvo y gran cantidad de material particulado en sus-

pensión en la atmósfera.

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 reducción de irradiancia solar incidente en la superficie terrestre producida por los aerosoles en las regiones ultravioleta, visible e infrarrojo del espectro. El producto obtenido es el espesor óptico de aerosoles que se calcula como el logaritmo de la razón entre la radiación medida y la que se observaría en ausencia de ellos. El lidar 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 (Otero, *et al.* 2011b Otero, *et al.* 2012a).

Las erupciones volcánicas, que se producen tanto en Chile como en nuestro país, afectan frecuentemente la región patagónica. El material particulado en suspensión generado por estas erupciones es finalmente depositado en la superficie y afecta la calidad del aire en general, los suelos, las aguas, la salud y el ecosistema. Perjudica por lo tanto la actividad humana en la región ya que produce pérdidas económicas relacionadas con la actividad agrícola-ganadera, el transporte terrestre y aéreo y el turismo (Otero, *et al.* 2012b; Otero, *et al.* 2012c).

Descripción de la estación

La estación de monitoreo atmosférico de Aeroparque se encuentra instalada en la sede del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Av. Dorrego 4019, C.A.B.A., fue puesta en funcionamiento en febrero de 2015, con el objetivo de suministrar información de distribución vertical de aerosoles y nubes para facilitar la aeronavegación y caracterizar los aerosoles en la región, (Otero, *et al.* 2012c; Ristori, *et al.* 2012). La estación fue diseñada, construida e instalada por la División Lidar del CEILAP – UNIDEF (MINDEF - CONICET) en el marco del Proyecto Especial del Ministerio de Defensa N°31554/11 siendo operada en la actualidad por personal del SMN. La Figura 1 muestra una foto exterior del contenedor instalado. El sistema lidar multilongitud

de onda, que se muestra en la Figura 2, actualmente opera con tres canales. En una segunda etapa se agregarán tres líneas Raman, dos de nitrógeno y una de vapor de agua, formando una caja de seis vías. El emisor del sistema es un láser Nd:Yag que emite en forma simultánea 1064 nm, 532 nm y 355 nm con una frecuencia de 30 Hz. La detección se realiza con un telescopio newtoniano f/5 de 1 m de distancia focal. Las señales así colectadas, ingresan a una caja espectrométrica que separa las diferentes longitudes de onda. Mediante fotomultiplicadores, para las señales de 532 nm y 355 nm, y para la de 1064 nm, con un fotodiodo de avalanche, se convierten las señales luminosas en eléctricas. Éstas son digitalizadas, procesadas en tiempo real y posteriormente publicadas en la web. Los resultados obtenidos tienen la capacidad de ofrecer información complementaria para la aeronavegación, en cuanto a la altura y espesor de la capa de aerosoles en suspensión, y también permiten realizar estudios medioambientales que ayudarán a conocer y comprender mejor la calidad del aire de la región.

Resultados y discusión

Este evento fue registrado por el sistema lidar instalado en Aeroparque y por un fotómetro solar, que integrado a la red AERONET de NASA (Holben, *et al.* 1991; Dibovik, *et al.* 2000), que se encuentra en CEILAP (Villa Martelli). Si bien el volcán entró en erupción el 22 de abril, las cenizas volcánicas llegaron por efecto del vien-

to a la ciudad de Buenos Aires el 24 de abril, en la Figura 3 se presenta una imagen satelital AQUA medida con el sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a las 17.40 *Coordinated Universal Time* (UTC) en la cual se ven plumas de cenizas sobre gran parte de la provincia de Buenos Aires, Río de la Plata y costas de Uruguay. En la Figura 4 se puede observar la señal lidar de retrodifusión para 1064 nm en unidades arbitrarias para ese día. En el eje horizontal la hora del día en UTC, en el eje vertical la altura en pies y con la paleta de colores la intensidad de la retrodifusión. En la imagen se puede ver entre los 12200 y 18300 m una capa de aerosoles intensa, que según el estudio de los vientos proviene de la erupción volcánica del Calbuco. En la Figura 5 se presenta para el mismo día el espesor óptico de los aerosoles AOD (*Aerosol Optical Depth*) en 870, 440 y 380 nm medido con el fotómetro solar. Comparando ambas figuras se puede determinar que el evento para ese día comenzó alrededor de las 11.30 UTC y la capa se dispersó para las 20.00 UTC aproximadamente. Un subproducto que se puede obtener por cálculo de las mediciones del fotómetro solar es la distribución en tamaño de los aerosoles. Típicamente la ciudad de Buenos Aires tiene una distribución bimodal con preponderancia del primer modo, o sea de partículas hasta 1 μm . En la Figura 6 se puede ver como la distribución en tamaño para el día 24 de abril tiene aumentado el segundo modo dando cuenta de la presencia de partículas grandes mayores a 1 μm .

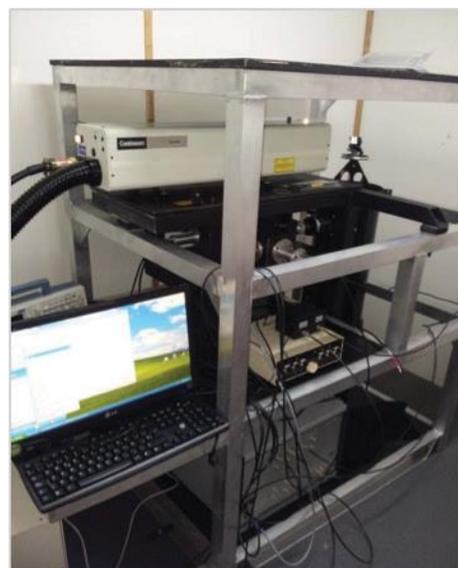


Fig. 1. Estación de monitoreo instalada en la sede Dorrego del SMN

Fig. 2. Sistema lidar

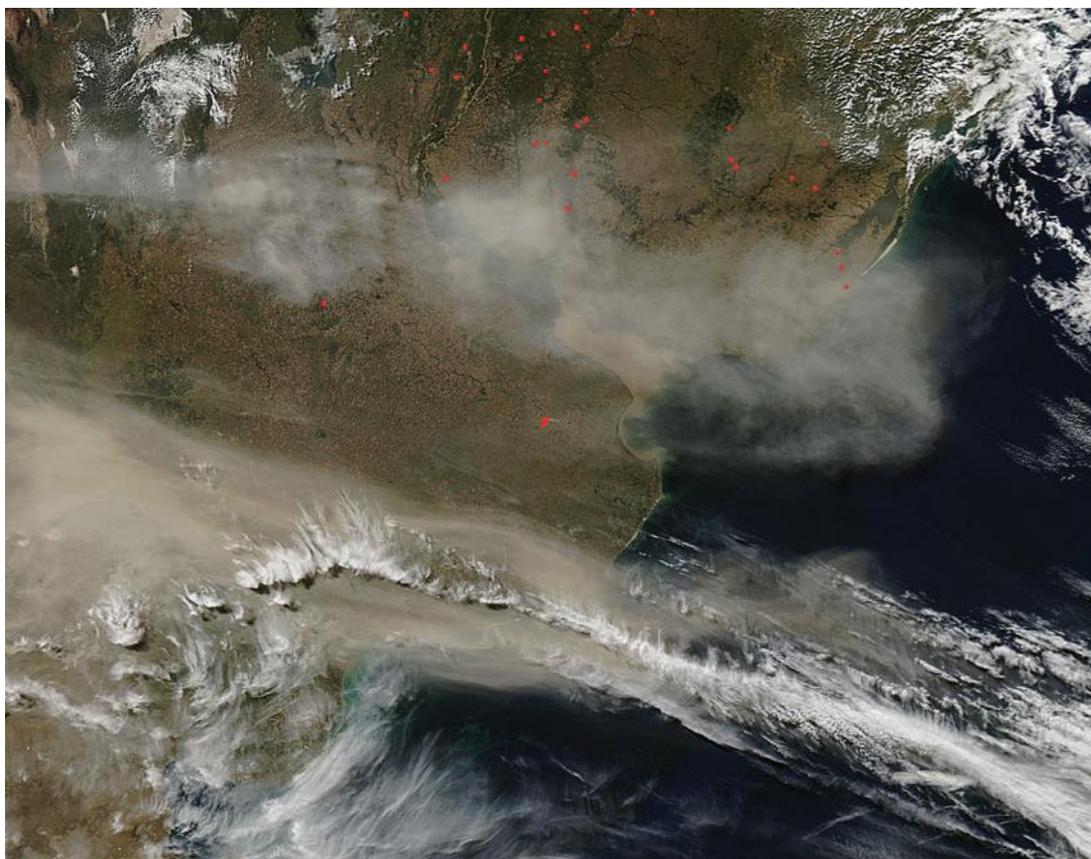


Fig. 3. Imagen satelital AQUA-MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) del 24 de abril de 2015 a las 17.40 UTC (Bandas 1-3-4), tamaño de pixel: 2 km (<http://lance-modis.eosdis.nasa.gov/cgi-bin/imagery/single.cgi?granule=A151141740>)

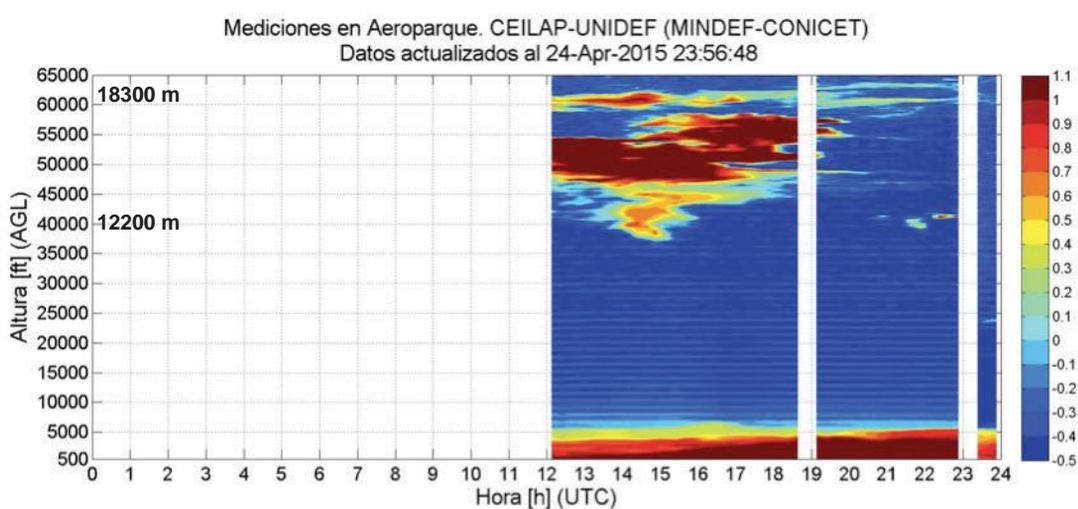


Fig. 4. Señal de retrodifusión en 1064 nm medida con el sistema lidar el 24 de abril de 2015

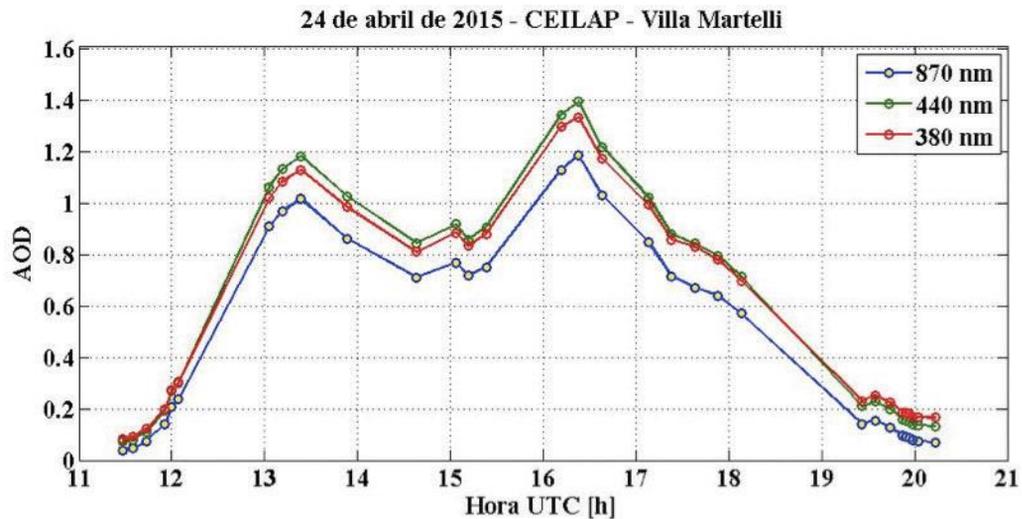


Fig. 5. Evolución temporal del espesor óptico de aerosoles para el 24 de abril de 2015

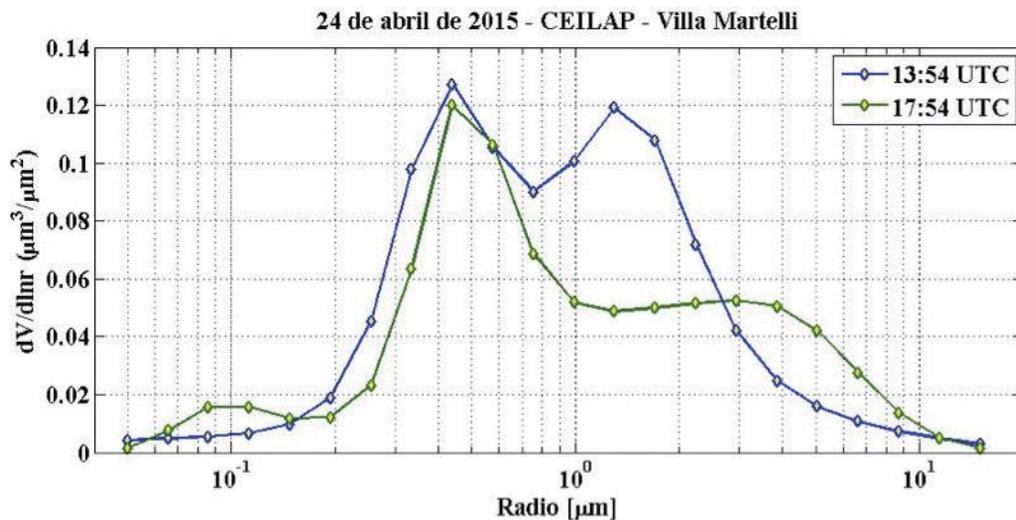


Fig. 6. Distribución en tamaño de aerosoles para el 24 de abril de 2015

Las mediciones para el día 25 de abril se muestran en las Figuras 7, 8 y 9. Para este día se destaca la presencia de una capa bien definida de aerosoles a partir de las 04.00 UTC y que se mantiene prácticamente constante a lo lar-

go del día. Igual situación registró el fotómetro solar mostrando valores de AOD con poca variabilidad y la presencia de partículas grandes debido a que la distribución en tamaños muestra el predominio del segundo modo.

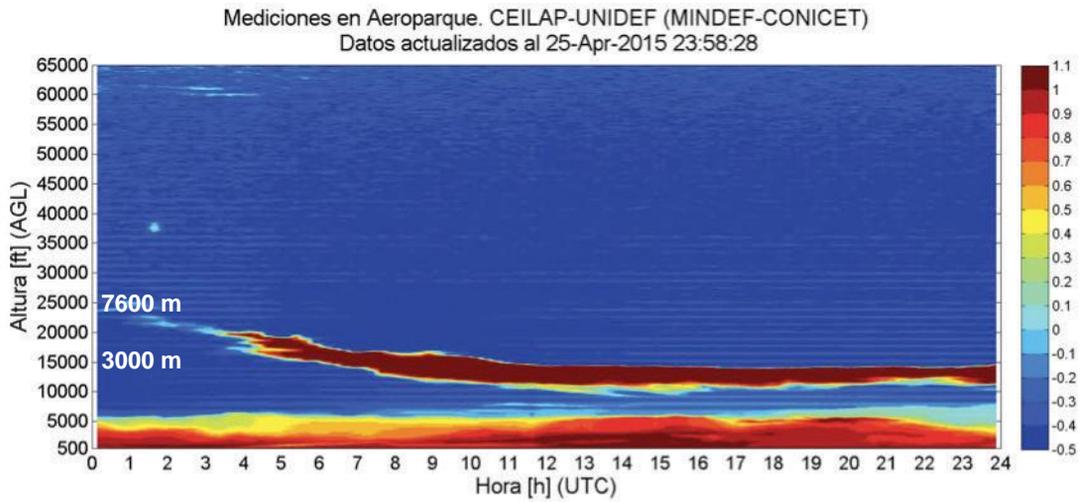


Fig. 7. Señal de retrodifusión en 1064 nm medida con el sistema lidar el 26 de abril de 2015

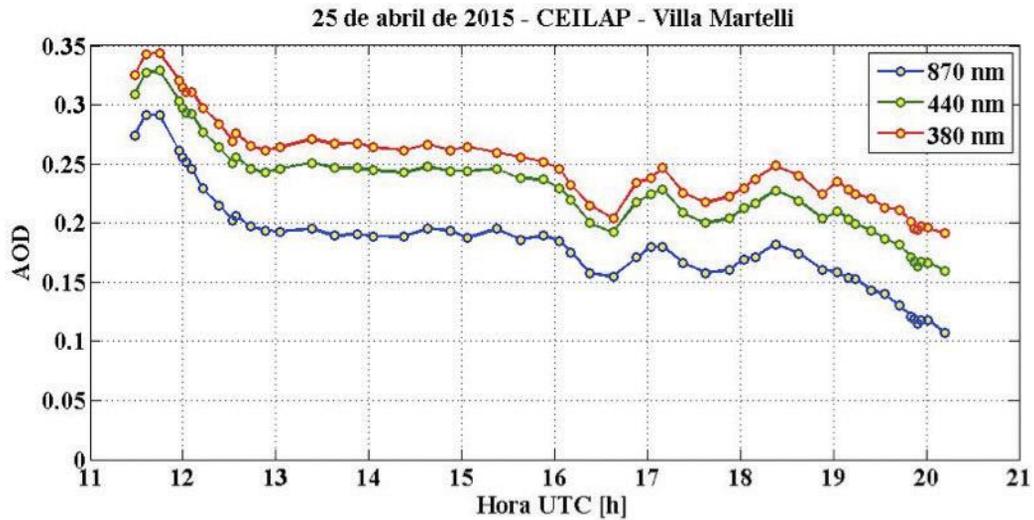


Fig. 8. Evolución temporal del espesor óptico de aerosoles para el 25 de abril de 2015

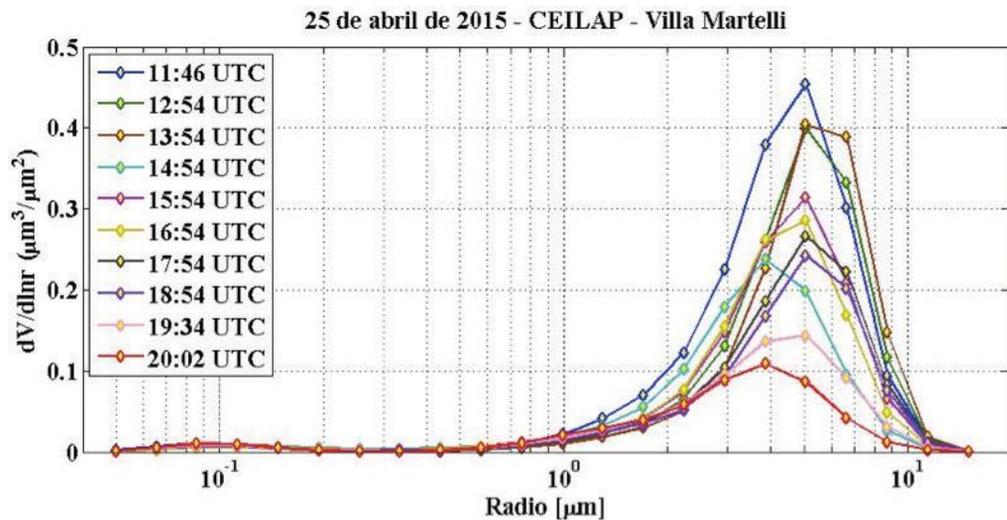


Fig. 9. Distribución en tamaño de aerosoles para el 25 de abril de 2015

La Figura 10 presenta la medición del día 26 de abril, la capa de aerosoles presentes es mucho más fina, y no muestra una gran variabilidad en las mediciones de AOD del fotómetro solar (Figura 11). Cabe señalar, como la distribución

de los aerosoles, Figura 12, empieza a nuevamente dominar el primer modo y dispersarse el segundo, dando evidencia de la deposición de los aerosoles más grandes.

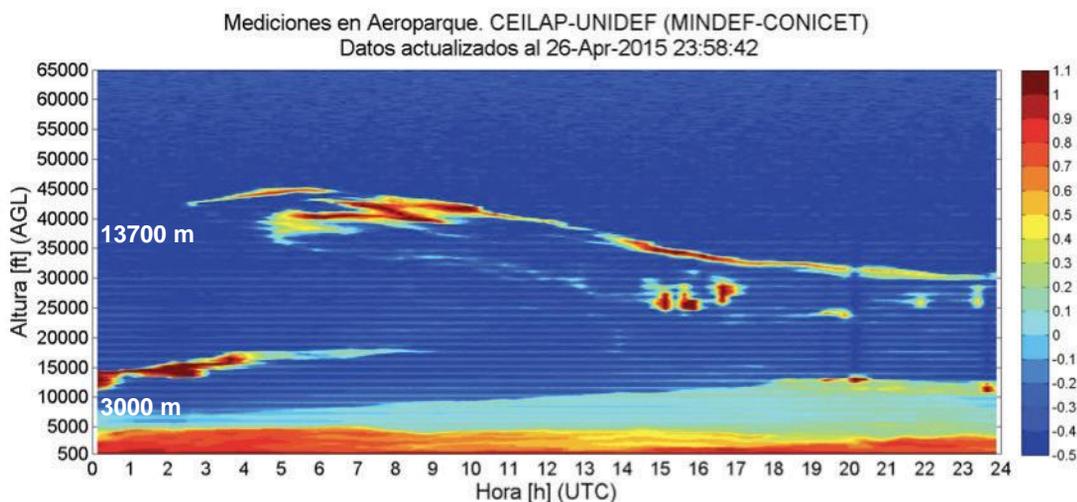


Fig. 10. Señal de retrodifusión en 1064 nm medida con el sistema lidar el 26 de abril de 2015

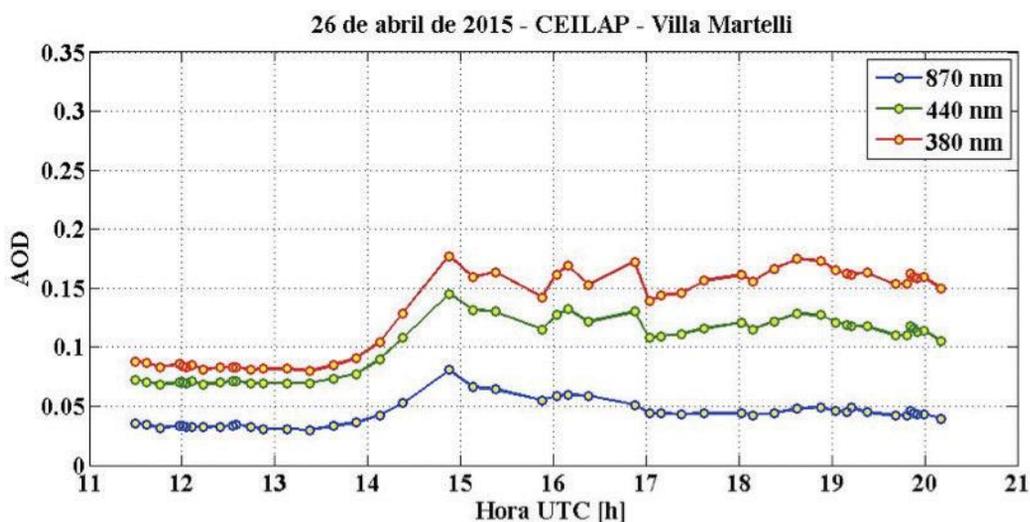


Fig. 11. Evolución temporal del espesor óptico de aerosoles para el 26 de abril de 2015

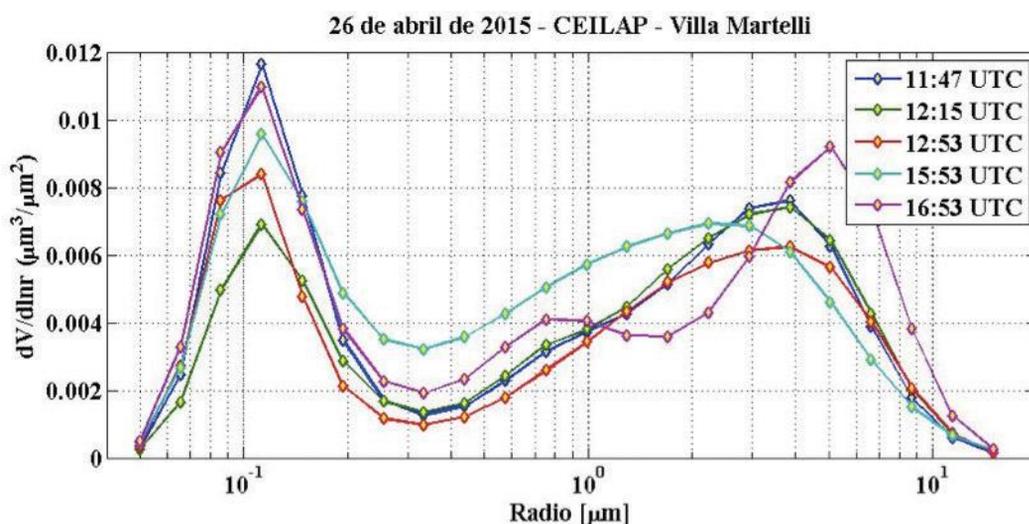


Fig. 12. Distribución en tamaño de aerosoles para el 26 de abril de 2015

Conclusiones

La breve descripción del progreso de los trabajos y proyectos realizados en el tema lidar en la División Lidar del CEILAP, UNIDEF, permite apreciar la evolución de los mismos y el alcance de las nuevas tecnologías desarrolladas, así como las colaboraciones internacionales y la instalación del Observatorio Atmosférico de la Patagonia Austral (OAPA) en el sur argentino. Luego se describen las mediciones realizadas en la estación Aeroparque, en las cuales se registraron las plumas de cenizas volcánicas de la erupción del volcán Calbuco del 22 de abril de 2015, detectadas en la Ciudad de Buenos Aires el día 25 de abril de 2015 con un sistema lidar y un fotómetro solar. Con el sistema lidar fue posible seguir la evolución temporal y espacial de dicha pluma y mantener informado a la aeronavegación de la altura de dicha capa. Con el fotómetro solar se determinó la carga aerosólica total y la distribución en tamaño de las partículas en suspensión.

Agradecimientos

Los autores agradecen a: la red AERONET de la NASA, y a las siguientes instituciones: JICA, CONICET, MINDEF y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo. También a todo el personal técnico que mantienen en funcionamiento los fotómetros solares en las distintas estaciones y al personal del SMN.

Referencias

- CONGEDUTTI, F.; GOBBI, G.P.; ADRIANI, A.; QUEL, E. J. y ROSITO, C. Sobre la instalacion de un lidar monostatico en el complejo astronomico el leoncito, san juan, argentina. IV Encuentro Latinoamericano sobre Optica, Láseres y Aplicaciones y III Escuela y Taller Internacionales en FOTONICA, Oaxtepec, México, 21 de Junio al 2 de Julio de 1993.
- DUBOVIK, O.; SMIRNOV, A.; HOLBEN, B. N.; KING, M. D.; KAUFMAN, Y. J.; ECK, T. F. y SLUTSKER, I. 2000. Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from aerosol robotic network (aeronet) sun and sky radiance measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 105(D8), 9791-9806.
- FOCHESATTO, G. J.; LAVORATO, M. B.; CESARANO, P.; FLAMANT, P.H.; PELON, J. y QUEL, E. J. Método de estudios de capa límite atmosférica (CLA) mediante un lidar de retrodifusión. 81a. Reunión AFA - Campus Universitario de Tandil, Buenos Aires, 16 - 20 de septiembre de 1996.
- GIRALDEZ, A.; FOUCHESATTO, G.; LAVORATO, M.; ROSITO, C. y QUEL, E. J. Medición de capa límite atmosférica mediante un lidar 80a. Reunión Nacional de Física de Argentina. Bariloche, 2 al 6 de octubre de 1995.
- HOLBEN B.; ECK, T.; LUTSKER, I.; TANRÉ, D.; BUIS, J.; SETZER, A.; VERMOTE, E.; REAGAN, J.; KAUFMAN, Y.; NAKAJIMA, T.; LAVENU, F.; JANKOWIAK, I. y SMIRNOV, A. Aeronet - a federated instrument network and data achieve for aerosol characterization. *Remote Sens.* 12, 1147-1163. 1991.
- LAVORATO, M. B.; FOUCHESATTO, G. J.; QUEL, E. J. y FLAMANT, P.H. Preliminary backscatter lidar measurements of atmospheric boundary layer and cirrus clouds in Buenos Aires (34.5 s/58.5 w). International Conference in Geoscience and Remote Sensing. IEEE Geoscience and Remote Sensing. Lincoln, Nebraska USA Abril 1996a.
- LAVORATO, M. B.; FOUCHESATTO, G. J.; QUEL, E. J.; FLAMANT, P.H. y PELON, J. Monitoring of cirrus, clouds and planetary boundary layer in southern hemisphere at Buenos Aires (34.5 s/58.5 w) for climate applications. 18th International Laser Radar Conference. Berlín, Alemania, Julio 1996b.
- LAVORATO, M. B.; FOUCHESATTO, G. J.; CESARANO, P.; QUEL, E. J.; FLAMANT, P.H. y PELON, J. Large antropogenic burning events at meso-scale and cirrus as observed by lidar in southern hemisphere at Buenos Aires (Argentina) 19th. International Laser Radar Conference, Annapolis, Maryland, USA. 6 al 10 de Julio de 1998.
- MEIJER, Y. J.; BARAY, J. L.; BODEKER, G.E.; CLAUDE, H.; GATHEN, P. VON DER; GODINBECKMANN, S.; HANSEN, G.; LEBLANC, T.; MARCHAND, M.; MCDERMID, I.S.; NAKANE, H.; PAL, S.; QUEL, E. J.; SNOEIJ, P. y SWART, D.P.J. Pole-to-pole validation of gomos ozone profiles by the envisat quality assessment with lidar (equal) project. *Atmospheric Chemistry and Validation of ENVISAT*, 4-7 diciembre de 2006, Frascati, Italy.
- OTERO, L.; RISTORI, P. y QUEL, E.J. Water vapor and atmospheric boundary layer temporal evolution in Buenos Aires, Argentina, during the night january 12, 2008.
- OTERO, L.; RISTORI, P.; HOLBEN, B. y QUEL, E. J. Comparison between aeronet and lidar measurements during an aerosol event in Buenos Aires, Argentina. Reviewed and Revised Papers Presented at the 23rd International Laser Radar Conference Editors Chikao Nagasawa, Nobuo Sugimoto, ISBN 4-9902916-0-3. Part II 743-746, 2006a.
- OTERO, L.; RISTORI, P.; SALVADOR, J.; D'ELIA, R.; PALLOTTA, J.; WOLFRAM, E.; HOLBEN, B. y QUEL, E. J. Lidar and aeronet measurements in Río Gallegos, Patagonia, Argentina. Reviewed and Revised Papers Presented at the 23rd International Laser Radar Conference Editors Chikao Nagasawa, Nobuo Sugimoto, ISBN 4-9902916-0-3. Part II 747-750, 2006b.
- OTERO, L.; RISTORI, P. y QUEL, E.J. Lidar system of six wavelengths at ceilap, Buenos Aires, Argentina. 32nd International Symposium on Remote Sensing of Environment. San Jose, Costa Rica. 25-29 de junio de 2007.
- OTERO, L.; RISTORI, P.; PALLOTTA, J.; PAWELKO, E. y QUEL, E.J. The puyehue-cordón caulle volcanic eruption, june 2011: water vapor, atmospheric boundary layer and aerosol temporal

evolution in Buenos Aires, Argentina. VI Workshop on Lidar Measurements in Latin America. Organizado por: Atmospheric Physics Laboratory of the Institute of Physical Research at University of San Andrés (LFA-UMSA), La Paz, Bolivia September 26 - October 1, 2011a. La Paz – Bolivia, 2011a.

OTERO, L.; RISTORI, P.; PAWELKO, E.; PALLOTTA, J. y QUEL, E.J. Six-year evolution of multiwavelength lidar system at ceilap. *Opt. Pura Apl.*, 44, 13–18. 2011b.

OTERO, L.; RISTORI, P.; PALLOTTA, J.; PAWELKO, E.; y QUEL, E.J. El sistema lidar: sensado y caracterización de aerosoles atmosféricos, Buenos Aires, Argentina. Congreso Argentina Ambiental 2012. Mar del Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina, 2012a.

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. y QUEL, E. Medición de cenizas del volcán Puyehue – Cordón Caulle con un sistema lidar en Buenos Aires, Argentina, durante junio 2011. *Anales AFA*, 23, 148 - 152. 2012b.

OTERO, L.; RISTORI, P.; FERNÁNDEZ, M.; LEMA, S.; PALLOTTA, J.; PAWELKO, E.; CHOUZA, F.; D'ELIA, R. y QUEL, E. J. Detección de cenizas volcánicas en el aeropuerto de San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina el 23 de febrero de 2012. XI Congreso Argentino de Meteorología, Mendoza, Argentina, 2012c.

PALLOTTA, J.; RISTORI, P.; OTERO, L.; CHOUZA, F.; D'ELIA, R.; GONZÁLEZ, F.; ETCHEGOYEN, A. y QUEL, E.J. Remote control and telescope auto-alignment system for multiangle lidar under development at ceilap, Argentina. For The Cta Consortium. Published in Proceedings Of Atmohead 2013: Atmospheric Monitoring For High Energy Astroparticle Detectors.

PAZMIÑO, A.; CESARANO, P.; DWORNICZAK, J. C.; FOCHESSATTO, J.; LAVORATO, M.; QUEL, E. J. y RISTORI, P. Mediciones preliminares del perfil de ozono estratosférico con lidar de absorción diferencial. XI Congreso Argentino de Físicoquímica, Ciudad de Santa Fe, Abril, 1999. Libro de Resúmenes tomo II, p. 298.

PAZMIÑO, A.; GODIN, S.; BEKKI, S.; LAVORATO, M.; QUEL, E. J. y MÉGIE, G. Study of the influence of the antarctic ozone depletion over Ushuaia. Quadrennial Ozone Symposium, Sapporo, Hokkaido, Japón, Julio, 2000. Publicado en los Proceedings of the Quadrennial Ozone Symposium, p. 121-122, 2000a.

PAZMIÑO, A.; LAVORATO, M. B.; FOCHESSATTO, G. J.; RISTORI, P.; CESARANO, P.; CASTELLÓN, E.; QUEL, E. J.; GODIN, S. y MÉGIE, G. Dial system for measurements of stratospheric ozone at Buenos Aires (34° 33' S, 58° 30' W). 20th ILRC (International Laser Radar Conference), Vichy, Francia, Julio, 2000b.

PAZMIÑO, A.; WOLFRAM, E.; LAVORATO, M. B.; QUEL, E. J.; GODIN, S. y MÉGIE, G. Stratospheric ozone profiles measurements by a differential absorption lidar system at buenos aires and its comparison with different satellites. Workshop of Lidar Measurement in Latin - America, Camagüey, Cuba, marzo, 2001.

PAZMIÑO, A.; WOLFRAM, E.; QUEL, E. J.; LAVORATO, M. B.; PIACENTINI, R.; GODIN, S.; PORTENEUVE, J. y MÉGIE, G. Intercomparison of ozone profiles measurements by a differential absorption lidar system and satellites at Buenos Aires, Argentina. 4th Iberoamerican Meeting on Optics and 7th Latin American Meeting on Optics, Lasers, and Their Applications. ISSN 08194-4569-7. Proceedings del SPIE, Vol. 4419, 2001b, pags. 499-502. ISSN 0277-786X / ISBN 0-8194-4126-0. Proceedings of the 27th International Laser Radar Conference, New York, USA, 6-10 July 2015.

QUEL, E.; LAVORATO, M.; DE PABLO PARDO, L.; DWORNICZAK, J.C.; PAGURA, M.; PEURIOT, A.; ROSITO, C.; VILAR, O. Y FOCHESSATTO, G. Lidar de nd: yag para medición de parametros atmosféricos Santiago. 79a. Reunión Nac. de Física de Argentina. Octubre 1994.

QUEL, E.J.; OTERO, L.; Jin, Y.; RISTORI, P.; NISHIZAWA, T.; GONZÁLEZ, F.; PAPANDREA, S.; SHIMIZU, A. y MIZUNO, A. Aerosols monitoring network to create a volcanic ash risk management system in Argentina and Chile. Proceedings of the 27th International Laser Radar Conference, New York, USA, 6-10 July 2015.

RAPONI, M.M.; GONZÁLEZ, F.; RINALDI, H.; WOLFRAM, E.; TOCHO, J. y QUEL, E. J. Espectroradiómetro portátil de alta resolución para sensado remoto atmosférico. Caracterización

y aplicaciones. 92a Reunión Nacional de Física, AFA 24-28 de septiembre de 2007. Salta, Argentina.

Reviewed and Revised Papers Presented at the 24th International Laser Radar Conference. Conference Editor: 24th International Laser Radar. ISBN: 978-0-615-21489-4 Part II, 1072 – 1075, 2008.

RISTORI, P.; OTERO, L.; PAWELKO, E.; PALLOTTA, J.; D'ELIA, R.; CHOUZA, F.; GONZÁLEZ, F.; DWORNICZAK, J.; PEREYRA, A.; FERNÁNDEZ, M.; LEMA, S.; SUGIMOTO, N. y QUEL, E. Development of an argentinean lidar network to monitor the volcanic plume and dust in Patagonia. Reviewed and Revised Papers Presented at the 26th International Laser Radar Conference, Vol I, 357 – 360. 25-29. 2012.

RISTORI, P.; OTERO, L.; PAWELKO, E.; PALLOTTA, J.; D'ELIA, R.; CHOUZA, F.; GONZÁLEZ, F.; DWORNICZAK, J. C.; PEREYRA, A.; FERNÁNDEZ, M.; LEMA, S.; SUGIMOTO, N. y QUEL, E.J. Development of an argentinean lidar network to monitor the volcanic plume and dust in Patagonia. Proceeding of the 26th International Laser Radar Conference. 25-29 June 2012, Porto Heli, Greece, 2012.

SALVADOR, J.; WOLFRAM, E.; ORTE, F.; D'ELIA, R.; QUIROGA, J.; QUEL, E.J.; ZAMORANO, F.; VILLA, I.; OYAMA, H. y MIZUNO, Y. Intercomparison of ozone and temperature profiles during ozitos+ 2014 campaign in Río Gallegos, Argentina.

SALVADOR, J.; WOLFRAM, E.; PALLOTTA, J.; OTERO, L.; D'ELIA, R.; PAZMIÑO, A.; GODIN-BEEKMANN, S.; TATAROV, B.; NAKANE, H. y QUEL, E. J. Observations of stratospheric aerosol derived from ground-based lidar during solar campaign and correction of ozone profiles in Río Gallegos – Argentina. 4 Workshop in Lidar Measurement in Latin America, Ilhabela, Brazil. 17-24 de junio de 2007.

WOLFRAM, E.; PAZMIÑO, A.; LAVORATO, M. B.; QUEL, E. J.; MICHELETTI, M. y PIACENTINI, R. Perfiles de ozono estratosférico medidos con dial en el periodo 2000 y 2001 y ozonosonda sobre Buenos Aires. Anales AFA 2001. vol. 13, 2002, págs. 266-269. ISBN/ISSN: 0327-358X.