

# Dos nuevos sistemas lidar de retrodifusión se incorporan a la red de monitoreo de aerosoles de Argentina: Río Gallegos y Villa Martelli

## Two new backscatter lidar systems are incorporated into the Argentinean aerosol monitoring network: Rio Gallegos and Villa Martelli

S. Papandrea<sup>1</sup>, P. R. Ristori<sup>1</sup>, L. A. Otero<sup>1,2</sup>, R. D'Elia<sup>1</sup>, J. Salvador<sup>1</sup>, J. Quiroga<sup>1</sup>, E. Martorella<sup>3</sup>, A. Pereyra<sup>3</sup>, M. Ferrari<sup>3</sup>, O. Vilar<sup>3</sup>, F. González<sup>3</sup>, M. Mei<sup>1</sup>, J.C. Dworniczak<sup>3,2</sup>, E. Quel<sup>1,2</sup>

*1 División Lidar, CEILAP, UNIDEF (MINDEF - CONICET)  
2 Escuela Superior Técnica, Facultad de Ingeniería del Ejército  
3 CEILAP - UNIDEF - (MINDEF-CONICET)*

*E-mail: papandrasebastian@gmail.com*

Recibido: 12/08/2015; aceptado: 29/04/2016

Con motivo de la erupción el día 4 de junio de 2011 del volcán chileno Puyehue Cordón Caulle que afectara severamente la visibilidad y en especial la aeronavegabilidad se construyó una red de monitoreo atmosférico para la detección de aerosoles, cenizas volcánicas, polvo y quema de biomasa en el marco de un proyecto especial del Ministerio de Defensa. Las estaciones de la red cuentan con un sistema lidar y equipos pasivos complementarios. Actualmente se encuentran instaladas en los aeropuertos patagónicos de San Carlos de Bariloche, Comodoro Rivadavia y Neuquén. Durante junio de 2014 se incorporan dos estaciones más, una en el aeropuerto de Río Gallegos, provincia de Santa Cruz y la otra en Villa Martelli en las instalaciones del CEILAP, en la provincia de Buenos Aires. Con estos equipos es posible en la actualidad estudiar las propiedades ópticas de los aerosoles discriminadas en altura y la evolución de la capa límite atmosférica. En el presente trabajo se describen estas dos últimas estaciones instaladas y las primeras mediciones obtenidas. El sistema emisor está constituido por un láser de Nd:YAG Continuum Surelite. Las longitudes de onda enviadas a la atmósfera son 1064, 532 y 355 nm, correspondiendo a la línea fundamental del láser y a la primera y segunda armónica respectivamente. La recepción está constituida por un telescopio newtoniano. Los detectores son un fotodiodo de avalancha Licel (Si-APD) para el infrarrojo y fotomultiplicadores Hamamatsu para el visible y ultravioleta.

*Palabras Claves: Lidar, fotómetro solar, quema de bioma.*

On the occasion of the eruption on June 4, 2011 the Chilean volcano Puyehue Cordón Caulle, which severely affected visibility, and especially the aerial navigation, an atmospheric monitoring network was built to detect aerosols, volcanic ash, dust and biomass burning in the frame of an especial project of the Ministry of Defense. The network stations feature a lidar system and complemented by passive instrumentation. These lidars are installed in the Patagonian Airport of San Carlos de Bariloche, Comodoro Rivadavia and Neuquén. In June 2014 two more stations, one at the airport in Río Gallegos, Santa Cruz and the other at CEILAP - Villa Martelli, province of Buenos Aires were included to the network. With these instruments it is now possible to study time and space resolved aerosol optical properties of aerosols as well as the atmospheric boundary layer evolution. In this paper we describe the last two stations installed and their first measurements. The transmitter system is a Continuum Surelite Nd:YAG laser. The wavelengths which are sent to the atmosphere are 1064, 532 and 355 nm, corresponding to the laser fundamental line, the first and the second harmonic respectively. The reception consists on a Newtonian telescope. The detectors are a Licel avalanche photodiode (Si-APD) for infrared wavelength detection and Hamamatsu photomultipliers for the visible and ultraviolet wavelength detection.

*Keywords: lidar, sunphotometer, biomass burning.*

### I. INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de estudiar el impacto de los aerosoles que afectan el territorio argentino, en particular las cenizas volcánicas<sup>1</sup> emitidas por los volcanes ubicados en la Cordillera de los Andes, el polvo patagónico<sup>2</sup> y la quema de biomasa<sup>3</sup> tanto de origen natural como antropogénico, se diseñó, construyó en la División Lidar del CEILAP una red de estaciones de monitoreo atmosférico bajo el marco de un proyecto especial del Ministerio de Defensa<sup>4</sup>. Actualmente están en funcionamiento las estaciones de Bariloche (Río Negro), Comodoro Rivadavia (Chubut), Neuquén (Neuquén) y las

dos nuevas estaciones que se presentan en este trabajo situadas en Villa Martelli (Buenos Aires) y Río Gallegos (Santa Cruz). Las estaciones están equipadas con: un sistema lidar a tres longitudes de onda<sup>5</sup>; un fotómetro solar integrando la red AERONET de NASA<sup>6</sup> y tres sensores de radiación solar: UVA, UVB y piranómetro.

Con estos instrumentos se pueden estudiar las propiedades ópticas de los aerosoles y medir la altura en la capa de atmósfera en que se encuentran. Estos datos son de interés para la población y en especial brindan una información de gran utilidad para la aeronavegación.

## II. DESCRIPCION DEL SISTEMA LIDAR

Ambos sistemas lidar, exhibidos en el presente trabajo, están montados dentro de contenedores marítimos de 6 metros de largo acondicionados como laboratorio de medición. En su interior se instala el sistema lidar, los sistemas informáticos, climatizadores y comodidades para el operador. En el exterior se instalan diversos sensores pasivos: un fotómetro solar integrando la red AERONET de NASA<sup>6</sup>; tres sensores de radiación solar: UVA, UVB y piranómetro. En la Figura 1 se muestran dos fotos de la estación instalada en el Aeropuerto de Río Gallegos.



Figura 1: Estación lidar Río Gallegos.

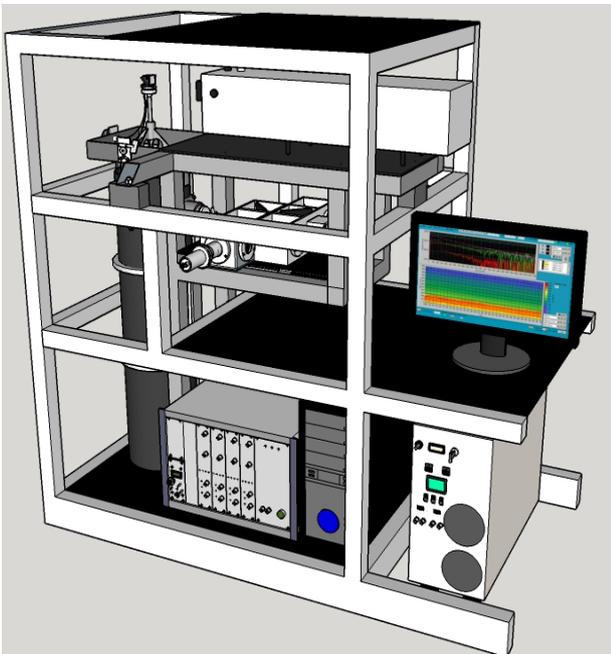


Figura 2: Esquema del sistema lidar.

El sistema lidar está constituido por la unidad de emisión que consiste principalmente en un láser pulsado que emite radiación a la atmósfera, una unidad de recepción de la radiación retrodispersada por la atmósfera, basada en un telescopio, una unidad de selección espectral, denominada caja espectrométrica, compuesta por diversos filtros y lentes y unidades de detección de la radiación recibida, conformada por distintos fotodetectores, un sistema digitalizador y por último la unidad de adquisición, visualización y almacenamiento de datos. Un render 3D del lidar en su conjunto se ilustra en la Figura 2.

### Unidad de emisión

Compuesta por un láser de estado sólido, Nd-YAG, pulsado por una lámpara de xenón, con pulsos de emisión fundamental en 1064 nm de longitud de onda de la que se

obtienen emisiones adicionales de 532 y 355 nm mediante generadores de segundo y tercer armónico, respectivamente. La frecuencia de repetición del láser es de 30 Hz, con un ancho de pulso de 5 a 7 ns. El láser consta de un cabezal óptico (Figura 3) y su unidad de alimentación y refrigeración (Figura 4).



Figura 3: Vista del cabezal laser.



Figura 4: Unidad de alimentación y refrigeración del láser

Dado que para el correcto funcionamiento el cabezal laser debe ser colocado en posición horizontal, se incorpora un prisma en el recorrido del haz láser para redirigir la señal hacia la atmósfera y permitir la alineación del sistema (Figura 5 – Figura 6).

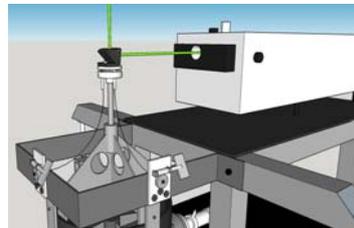


Figura 5: Redireccionamiento del haz laser hacia la atmosfera



Figura 6: Vista lateral del prisma y cabezal laser.

### Unidad de recepción

Un telescopio F5 con distancia focal 1 m y diámetro del primario 20 cm forma parte de la unidad de recepción que tiene la función de recoger y enfocar la señal retrodispersada (Figura 7). El telescopio es del tipo reflector newtoniano y utiliza un solo espejo cóncavo como principal.



Figura 7: Telescopio F5.

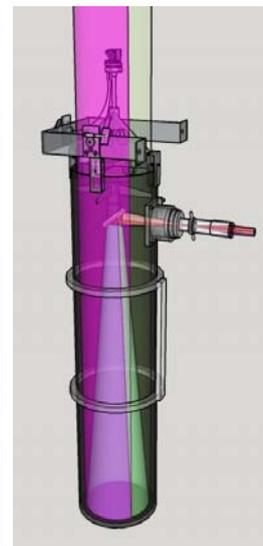


Figura 8. Marcha de rayos en el telescopio.

La luz que ingresa al telescopio se dirige hacia el espejo principal ubicado en el extremo inferior, este refleja los rayos que posteriormente son interceptados en un segundo espejo plano denominado secundario, estos rayos reflejados por el secundario son emitidos hacia el ocular que se conecta mecánicamente a la unidad de selección espectral, caja espectrométrica. La marcha de rayos descripta se ilustra en la Figura 8.

### Unidad de selección espectral. Caja espectrométrica

La versión actual del lidar discrimina las mismas tres longitudes de onda que envía el láser, por lo tanto la unidad de selección espectral separa las tres longitudes de onda retrodispersadas; 1064, 532 y 355 nm. Luego de la separación de las longitudes de onda cada una de ellas llega a su respectivo fotodetector. Una imagen 3D muestra el camino óptico realizado dentro de la caja espectrométrica. (Figura 9).

La figura 10 muestra imágenes de la caja espectrométrica y los detectores del sistema lidar que aquí se presenta.

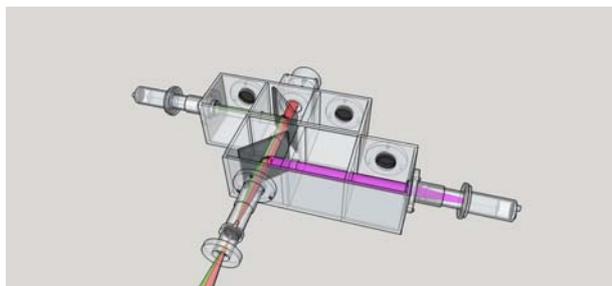


Figura 9: Marcha de rayos en el interior de la caja espectrométrica.



Figura 10: Vistas de la unidad de selección espectral junto a las unidades de detección instaladas.

### Unidades de detección

Para este sistema lidar los transductores utilizados son dos fotomultiplicadores Hamamatsu (Photomultiplier Tube Modules) modelos H10720-110 y H10720-20 para las líneas de 355 y 532 nm respectivamente y un fotodiodo APD Licel (Avalanche Photodiode) del tipo S11518 de Hamamatsu para la señal de 1064nm.

Estos detectores envían la señal ya convertida a valores de tensión a la unidad de digitalización.

### Unidad de digitalización

Esta unidad digitaliza la señal proveniente de los detectores, está conformada por un sistema Licel TR20-160-AP (Figura 11) de 12 Bits y una frecuencia de muestro de 20 MHz dando así una resolución espacial de 7,5 m. La unidad de digitalización está compuesta por cuatro digitalizadores con entradas de señal analógica o de foto-conteo dando un total de ocho canales. En

particular, el sistema lidar con la configuración actual solo utiliza tres canales analógicos. Esta unidad también posee el módulo de alimentación y estabilización térmica del APD (Avalanche Photodiode) dispuesto para la señal de 1064nm.

La unidad de digitalización se vincula a un software dedicado para su configuración, control, adquisición y colección de los datos por esta suministrados para su posterior análisis (Figura 12).



Figura 11: Unidad de digitalización TR20-160-AP.



Figura 12: Vista del lidar y software dedicado.

### Unidad de adquisición, visualización y almacenamiento de datos

Esta unidad tiene como núcleo al software de configuración, control, adquisición y colección de los datos. Este programa hecho íntegramente en LabVIEW 8.6 se vincula con la unidad de digitalización mediante un protocolo TCP/IP por donde se envía toda información referente a las mediciones de los distintos canales. El software permite el control y configuración del láser, controlar los intervalos de medición y la visualización de los perfiles de medición entre otros. La Figura 13 ilustra una de las posibles ventanas donde se muestra en la parte superior la señal instantánea en tiempo real corregida en rango para las tres longitudes de onda y en la parte inferior se grafica para una dada longitud de onda la señal corregida en rango acumulada durante la medición, es decir se muestran todos los perfiles adquiridos hasta el momento, obteniendo así una imagen de la atmósfera en cuanto a la distribución de aerosoles.



Figura 13: Software de adquisición y control.

### III. MEDICIONES Y RESULTADOS

En la semana del 18 al 22 de agosto de 2014 el fotómetro solar detectó un aumento progresivo de los valores de espesor óptico de aerosoles (AOT), pasó de tener 0,05 el día 18 a 0,3 el 22, en el visible. Esto se muestra en la Figura 14 donde se grafica la evolución temporal del AOT. Invertiendo los datos de AOT se puede obtener un parámetro denominado Coeficiente de Angstrom, que es sensible al radio cuadrático medio de la

partícula. Este parámetro graficado versus el AOT permite inferir el tipo de aerosoles presentes usando la tabla publicada en Otero et al., 2006<sup>7</sup>. Este gráfico se muestra para los días de estudio en la Figura 15.

Se puede observar como los valores se agrupan por día caracterizando diferentes tipos de aerosoles, que según la tabla de clasificación<sup>7</sup>, se deduce que en los días 21 y 22 de agosto de 2014 los aerosoles presentes en la atmósfera tienen predominantemente características de quema de biomasa.

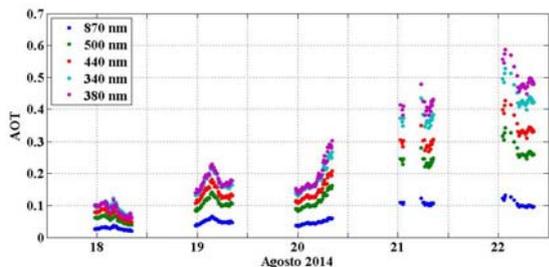


Figura 14: Valores de AOT suministrados por el Fotómetro Solar del 18 al 22 de Agosto.

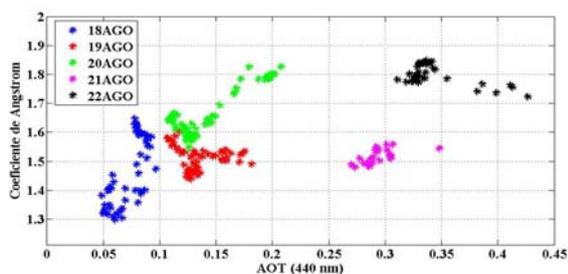


Figura 15: Coeficientes de Angstrom en función del AOT para los días bajo estudio.

En las figuras 16 y 17 se puede observar la medición realizada por el sistema lidar, las mismas muestran la retrodifusión de aerosoles en escala logarítmica para una emisión láser de 1064 nm en unidades arbitrarias.

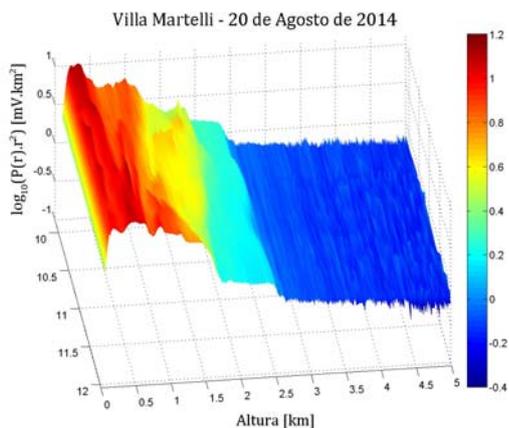


Figura 16: Retrodifusión de aerosoles en escala logarítmica para una emisión láser de 1064 nm para el 20 de Agosto.

Se puede observar la evolución espacio temporal de la capa límite atmosférica y para el día 22 de agosto, una capa de aerosoles sobre ella entre los 2000 y 2500 m.

Para complementar estas mediciones se obtuvieron los focos de calor con los satélites Terra y Aqua, mostrando en la Figura 19 una alta densidad de focos en el norte del país, Paraguay Bolivia y Brasil.

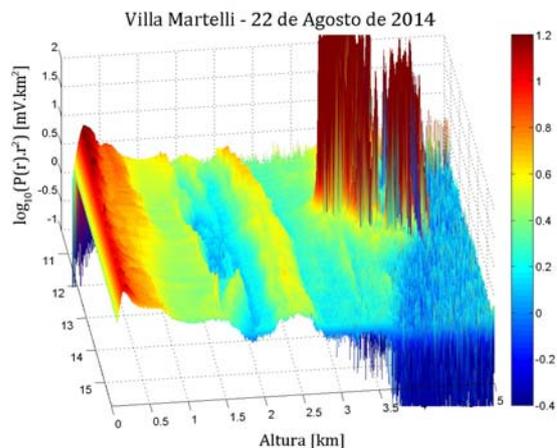


Figura 17: Retrodifusión de aerosoles en escala logarítmica para una emisión láser de 1064 nm para el 22 de Agosto



Figura 19: Focos de calor Terra - Aqua 22/08/14 (FIRMS Web Fire Mapper)

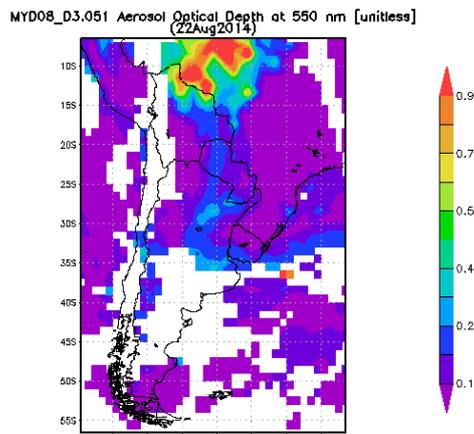


Figura 20: Valores de AOT calculados con el satélite AQUA para el 22 de Agosto de 2014.

En la Figura 20 se calculó el espesor óptico de aerosoles en 500 nm con el satélite Aqua, se puede ver en

esta figura valores muy altos de AOT en Brasil y una pluma en colores azules que ingresa por el norte del país llegando a Buenos Aires.

A modo de verificación de la procedencia de la masa de aire que afecto a Buenos Aires en esos días, se calcularon las retrotrayectorias a 48 horas con el modelo HYSPLIT de NOAA en 1000 m, 2000 m y 2500 m (Figura 21), dando como resultado que la masa de aires es originaria del norte del país coincidente con la zona de alta densidad de focos de calor (Figura 19) y altos valores de AOT (Figura 20).

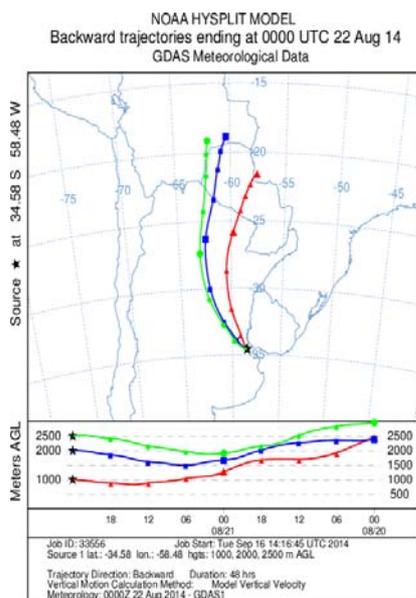


Figura 21: Calculo de retrotrayectorias de masas de aire a 48 horas. Modelo HYSPLIT de NOAA en 1000m, 2000m y 2500m.

#### IV. CONCLUSIONES

Se presentan los dos últimos sistemas lidars multi-longitud de onda puestos en funcionamiento que forman parte de la red de monitoreo para medir la presencia de aerosoles en suspensión en los aeropuertos patagónicos argentinos afectados por las cenizas volcánicas y polvo.

Estos lidars están siendo desarrollados por la División Lidar del CEILAP en CITEDEF. Se puede resaltar como con los datos medidos con el sistema lidar y fotómetro solar y con la información satelital es posible detectar y estudiar la llegada de capas de aerosoles provenientes de la quema de biomasa a la Ciudad de Buenos Aires. La capa de aerosoles según las trayectorias de los vientos provienen del norte del país, arribó a la ciudad a una altura entre los 2000 a 2500 m con un AOT de 0,3 y un coeficiente de Angstrom de 1,8.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a: la red AERONET, NOAA ARL HYSPLIT, JICA, CONICET, ANPCyT y Ministerio de Defensa por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo. También a todo el personal técnico que mantiene en funcionamiento los fotómetros solar y el sistema lidar en las estaciones.

#### VI. REFERENCIAS

- Otero, L., P. Ristori, J. Pallotta, E. Pawelko, P. Ballesteros, F. Orte, G. Nicora, M. Raponi, R. D'Elia, E. Wolfram, J. Salvador, D. Bulnes, E. Martorella, A. Pereyra, F. González, O. Vilar, J. Dworniczak, E. Quel. *Anales AFA*, **23** (1), 148-152, (2012).
- Otero, L., P. Ristori, R. D'Elia, A. Rosales, E. Quel. *Anales AFA*, **21**, 272 – 275, (2010).
- Otero, L., P. Ristori, E. Wolfram, B. Holben, E. Quel. *SPIE* 5887, 257-264, (2005).
- Ristori, P., L. Otero, E. Pawelko, J. Pallotta, R. D'Elia, F. Chouza, F. Gonzalez, J. Dworniczak, A. Pereyra, M. Fernández, S. Lema, N. Sugimoto, E. Quel. *Reviewed And Revised Papers Presented At The 26th International Laser Radar Conference (ILRC 2012)*, **I**, 357 – 360, (2012).
- Otero, L., P. Ristori, E. Pawelko, J. Pallotta, E. Quel. *Opt. Pura Apl.*, **44**, 13–18, (2011).
- Holben B., T. F. Eck, I. Lutsker, D. Tanre, J. P. Buis, A. Setzer, E. Vermote, J. A. Reagan, Y. Kaufman, T. Nakajima, F. Lavenu, I. Jankowiak, A. Smirnov. *Remote Sens.* **12**, 1147-1163, (1991).
- Otero, L., P. Ristori, B. Holben, E. Quel. *Opt. Pura Apl.*, **39** (4) 355-364, (2006).