

# PRIMERAS MEDICIONES CON UN SISTEMA LIDAR MULTILONGITUD DE ONDA EN EL CEILAP

L. Otero<sup>1,4</sup>, D. Lazarte<sup>1</sup>, P. Ristori<sup>2</sup>, E. Wolfram<sup>1,5</sup>, J. Fochesatto<sup>3</sup>, J. Salvador<sup>1,7</sup>, M. Raponi<sup>1,6</sup>, R. D'Elia<sup>1</sup>, O. Vilar<sup>1</sup>, J. Dworniczak<sup>1</sup>, P. Flamant<sup>8</sup>, E. Quel<sup>1</sup>

1. CEILAP (CITEFA-CONICET) - Juan B. de La Salle 4397 - B1603ALO Villa Martelli - Argentina.

2. Laboratoire de Pollution de l'Air et du Sol, École Polytechnique Fédéral de Lausanne, Suisse.

3. Chemistry Department University of Waterloo. Waterloo, Ontario, Canadá.

4. Becaria CONAE. 5. Becario CONICET 6. Becario UNSAM. 7. Becario FRBA UTM

8. Laboratoire de Météorologie Dynamique. École Polytechnique. Palaiseau, France.

lotcro@citefa.gov.ar

Un nuevo sistema LIDAR multilongitud de onda fue diseñado, construido y puesto en funcionamiento en el Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones, CEILAP (CITEFA-CONICET), (34.5° S, 58.5° W). El sistema emisor está constituido por un láser de Nd:YAG Continuum Surelite III PIV (650 mJ @ 1064 nm 10 Hz). Las longitudes de onda enviadas separadamente 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 para 1064 nm está constituida por un telescopio newtoniano de 50 cm de diámetro, f/2 y el detector es un fotodiodo de avalancha Licel (Si-APD). En el caso de la recepción de las otras dos longitudes de onda, se utilizan dos telescopios tipo cassegrain de 8.9 cm de diámetro, f/12 a f/16 y como detectores sendos fotomultiplicadores Hamamatsu 6780-03. El objetivo fundamental de este nuevo sistema es estudiar las propiedades ópticas de los aerosoles discriminadas en altura y la evolución de la capa límite atmosférica.

A new system LIDAR wavelength was designed and constructed at CEILAP (CITEFA-CONICET), (34.5° S, 58.5° W). The emitting system is Nd:YAG Continuum Surelite III PIV (650 mJ @ 1064 nm 10 Hz). The wavelengths are separately send to the atmosphere are 1064, 532 and 355 nm, corresponding to the fundamental line of the laser and to the first and second harmonica. The reception for 1064 nm is constituted by a Newtonian telescope of 50 cm of diameter, f/2 and the detector is avalanche Licel photodiode (Si-APD). For the other two wavelengths, two telescopes are used type cassegrain of 8.9 cm of diameter, f/12 to f/16 and detectors Hamamatsu 6780-03 photomultiplier are used. This new system of measurement allows to study optical properties of aerosols discriminated in height and the evolution of the atmospheric boundary layer.

## I. INTRODUCCIÓN

La técnica LIDAR (Light Detection And Ranging) para sondeo de la atmósfera constituye una potente herramienta para determinar las distribuciones espaciales de aerosoles en tres dimensiones y su evolución temporal, ya sea a escala local o funcionando de manera coordinada en redes. Los datos que proporcionan complementan las medidas efectuadas con otros tipos de sensores terrestres como por ejemplo fotómetros solares y embarcados en satélites, SAGE, TOMS.

La importancia del estudio de los aerosoles atmosféricos radica en el hecho que tienen una gran influencia en el balance radiativo terrestre. Además juegan un papel importante en la química de la atmósfera. Sin embargo, las grandes incertidumbres existentes en el conocimiento de su distribución espacial y en su constitución impiden una cuantificación fiable de sus efectos en el clima y el medio ambiente mediante modelos numéricos. Por otra parte, los aerosoles pueden servir también como trazadores de la estructura de la capa límite atmosférica, de la altura de la capa de mezcla y de flujos de masas de aire, cuyo conocimiento es importante en la inicialización y validación de modelos meteorológicos de escala local y de mesoescala.

## II. OBJETIVO

El objetivo de la construcción de un lidar multilongitud de onda capaz de medir en el espectro visible (532 nm), el infrarrojo (1064 nm) y el ultravioleta (355 nm) es el de enriquecer la información preexistente acerca de aerosoles locales y de transporte. Asimismo es posible obtener datos de telemetría y espesor óptico en función de la longitud de onda, ya sea para la capa límite atmosférica como para nubes y aerosoles de transporte.

## III. EL SISTEMA DE MEDICIÓN

El sistema del LIDAR multilongitud de onda emisor está constituido por un láser de Nd:YAG Continuum Surelite III PIV con una energía máxima de 650 mJ a 1064 nm y una frecuencia de repetición de 10 Hz. Las longitudes de onda enviadas separadamente a la atmósfera son 1064, 532 y 355 nm, correspondiendo a la línea fundamental del láser y a la primera y segunda armónica. La recepción para 1064 nm está constituida por un telescopio newtoniano de 50 cm de diámetro, f/2 y el detector es un fotodiodo de avalancha Licel (Si-APD). En el caso de la recepción de las otras dos longitudes de onda, se utilizan dos telescopios tipo cassegrain de 8,9 cm de diámetro, f/12 a f/16 y como detectores sendos fotomultiplicadores Hamamatsu

6780-03 y filtros interferenciales. En la Figura 1 se puede observar un esquema general del equipo.

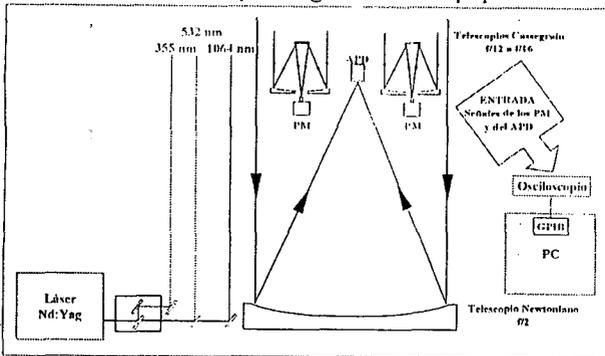


Figura 1. Esquema del sistema lidar multilongitud de onda.

#### IV. LA ECUACIÓN DEL LIDAR

La ecuación básica que rige el comportamiento de la radiación láser al propagarse en la atmósfera se denomina la ecuación del LIDAR:

$$P(\lambda, z) = E_L \frac{A_0 c}{z^2} \zeta(\lambda) \xi(z) \beta(\lambda_i, \lambda, z) e^{-2 \int_0^z \alpha(\lambda, z) dz}$$

donde:

$z$ : altura;

$\lambda$ : longitud de onda;

$E_L$ : es la energía de salida del láser;

$A_0$  es el área de recepción del sistema óptico;

$A_0/z^2$  representa el ángulo sólido de aceptación del receptor;

$c$ : velocidad de la luz;

$\zeta(\lambda)$ : es el factor de transmisión espectral del receptor;

$\xi(z)$ : es el factor de superposición entre la sección irradiada por el láser y el campo de visión del telescopio;

$\beta(\lambda_i, \lambda, z)$ : es el coeficiente de retrodifusión volumétrico en  $\lambda$  para una radiación incidente de longitud de onda  $\lambda_i$ ;

$e^{-\int_0^z \alpha(\lambda, z) dz}$ : es el factor de transmisión atmosférica, según la Ley de Beer-Lambert-Bouguer, con  $\alpha(\lambda, z)$  coeficiente de absorción de la atmósfera para  $\lambda$  a la altura  $z$ .

#### V. INVERSIÓN DE LA ECUACIÓN LIDAR

La obtención de los parámetros atmosféricos de retrodifusión y extinción en función de la altura requiere la inversión de la ecuación LIDAR. La resolución matemática de este problema involucra la resolución de un sistema de una ecuación con dos incógnitas, la extinción atmosférica  $\alpha$  ( $\text{km}^{-1}$ ) y la retrodifusión atmosférica  $\beta$  ( $\text{km}^{-1}\text{sr}^{-1}$ ). Basado en el principio que ambas incógnitas son propiedades intensivas de la materia irradiada es posible concebir una relación constante entre las mismas. En el año 1981 James Klett<sup>(1)(2)</sup> propone un primer algoritmo de inversión de la ecuación LIDAR basado en la hipótesis de una relación constante entre retrodifusión y extinción.

Posteriormente este algoritmo es refinado por Fernald<sup>(3)</sup> (1984) quien considera a la atmósfera como un perfil molecular conocido al cual incorpora un segundo elemento (aerosoles) del cual estima una relación constante entre las variables a resolver. Esta constante de proporcionalidad ( $k_p$ ) es la relación entre la retrodifusión y la extinción aerosólica, la cual es dependiente del tipo de atmósfera, de la longitud de onda de la señal lidar y de las condiciones de humedad del aire. Existe una amplia bibliografía en la cual se estudió como estimarlo<sup>(4)(5)</sup>. A continuación se presenta la ecuación de Fernald<sup>(3)(6)</sup> para el cálculo del perfil vertical de retrodifusión de la atmósfera.

$$\beta_{Total}(\lambda, z) = \frac{P(\lambda, z) \cdot z^2 e^{-\Phi(\lambda, z)}}{P(\lambda, z_0) \cdot z_0^2 e^{-\Phi(\lambda, z_0)}} \cdot \frac{1}{\beta_{Total_0} - \frac{2}{k_p} \int_{z_0}^z \frac{P(\lambda, z) \cdot z^2 e^{-\Phi(\lambda, z)}}{P(\lambda, z_0) \cdot z_0^2} dz}$$

$$\beta_{Total}(\lambda, z) = \beta_{molecular}(\lambda, z) + \beta_{aerosoles}(\lambda, z)$$

donde:

$z_0$ : altura de referencia;

$P(\lambda, z)$ : señal Lidar;

$\beta_{Total_0}$ : retrodifusión total de referencia;

$k_p$ : constante de aerosoles;

$\Phi(\lambda, z)$ : factor de transmisión atmosférica.

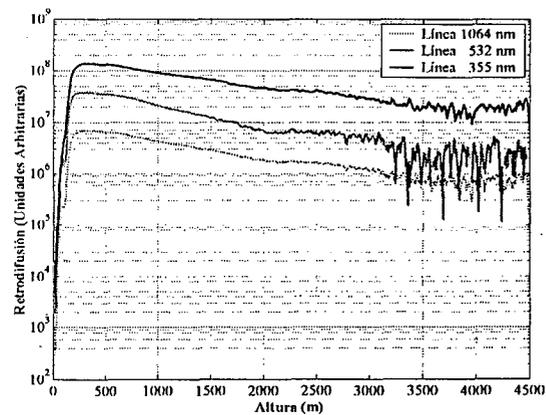


Figura 2. Perfiles de señal retrodifundida en 1064 nm 532 nm y 355 nm para el 24 de Agosto de 2003.

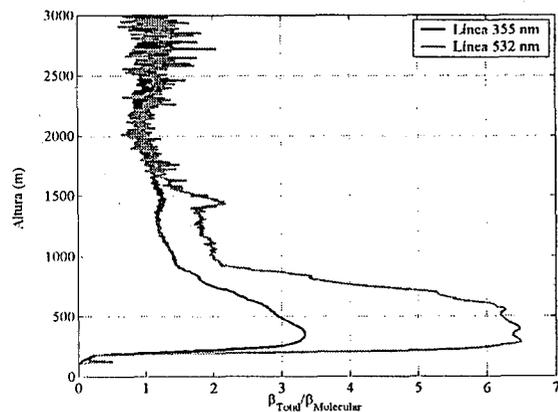


Figura 3. Relación entre la retrodifusión total y la retrodifusión de aerosoles en 532 nm y 355 nm para el 24 de Agosto de 2003.

## VI. RESULTADOS

Se presentan en la Figura 2 los perfiles de señal retrodifundida obtenidos en 1064 nm 532 nm y 355 nm para el 24 de Agosto de 2003. En el momento de la adquisición la zona de mezclado que caracteriza la altura de la capa límite alcanzaba los 650 metros. La densidad de los aerosoles se reduce en un intervalo espacial de 1500 metros (Zona de sostenimiento) en la vertical hasta alcanzar una retrodifusión correspondiente a un perfil molecular. En la Figura 3 se observa la relación entre la retrodifusión total y la retrodifusión de aerosoles, siendo esta última la diferencia entre la retrodifusión total y la retrodifusión molecular. En dicha figura se muestra que la señal a partir de los 1500 m tiende a 1, indicando el comienzo del perfil molecular.

## VII. CONCLUSIONES

Se muestran resultados preliminares de un sistema LIDAR multilongitud de onda. Las señales siguen en líneas generales un perfil de extinción propio de los parámetros atmosféricos medios para el mes de agosto. A partir de información obtenida de la señal LIDAR de la capa límite atmosférica y de información típica de los aerosoles en la región del CEILAP es posible caracterizar la región baja de la atmósfera. Comparando las señales de retrodifusión en las diferentes longitudes de onda se pone en evidencia que los aerosoles presentan un comportamiento espectral fuerte. De ahí la importancia en el desarrollo de este equipo de medición para la caracterización de diferentes masas de aire.

## VIII. REFERENCIAS

1. Klett, J. D., "Lidar calibration and extinction coefficients", *App. Opt.*, 22, 514 - 518, 1983.
2. Klett, J. D., "Lidar inversion with variable backscatter / extinction ratios", *App. Opt.*, 24, 1638 - 1643, 1985.
3. Fernald, F. "Analysis of Atmospheric Lidar Observations: Some Comments", *App. Opt.*, 23, 652 - 653, 1984.
4. Ackermann, J., "The extinction-to-backscatter ratio of tropospheric aerosol: a numerical study", *J. Atm. Oceanic Tech.*, 15, 1043 - 1050 1998.
5. Kovalev, V. A. "Sensitivity of the lidar solution to errors of the aerosol backscatter-to-extinction ratio: influence of a monotonic change in the aerosol extinction coefficient", *App. Opt.* 34, 3457-3462, 1985
6. Ristori, P. Tesis de maestría en ingeniería biomédica. "Análisis de Señales de Retrodifusión Lidar: Aplicación al Estudio de la Dinámica de Capa Límite Atmosférica". Universidad Favaloro, 2002.

## IX. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a: JICA, CONICET, ANPCyT, UNSAM, UTN, CONAE y especialmente al Dr. Marcos Machado por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo.