

MONITOREO DE LA TROPOSFERA MEDIANTE UN LIDAR DE RETRODIFUSIÓN EN BUENOS AIRES: RECOPIACIÓN ANUAL DE LAS SERIES DE DATOS ADQUIRIDOS.

Lavorato M. B.⁽¹⁾, Pagura M. R.⁽¹⁾, Cesarano P. A.⁽¹⁾ y Flamant P. H.⁽²⁾.

1 División Radar Láser, CEILAP(CITEFA-CONICET), ARGENTINA
2 Laboratoire de Meteorologie Dynamique, Ecole Polytechnique, FRANCE

mlavorato@citefa.gov.ar

Resumen: Un LIDAR de retrodifusión se encuentra operando en forma continua sobre Buenos Aires (34,6S : 58,5O), por más de ocho años, iniciando sus tareas en agosto de 1995. Grandes series de datos ha sido recolectadas en forma sistemática de: la Capa Límite Atmosférica (CLA), aerosoles naturales o de origen antropogénico, evolución de la tropopausa y la detección y seguimiento de los cirrus. Varias mejoras se han realizado en los últimos años sobre el LIDAR que en sus orígenes operaba en una sola longitud de onda. Se incluyó entre otras cosas un telescopio Cassegrain de 8,2 cm de diámetro para mejorar el rango dinámico, esto permitió un solapamiento del factor geométrico entre los dos telescopios y se lograron obtener señales a muy baja altura. Actualmente, el rango dinámico en 532 nm se extiende desde los 50 m hasta los 22 km de altura durante el día y hasta los 28 km durante la noche. Para incrementar las capacidades de LIDAR se implementó un canal que opera en los 1064 nm y dos canales que operan con un sistema de depolarización en 532 nm. Los objetivos científicos nos motivan a realizar estos trabajos experimentales que nos permitirán intensificar el monitoreo de la troposfera con aplicaciones directas al estudio del balance y transferencia radiativa. Esto nos lleva a mejorar el conocimiento del estado del medio ambiente que nos rodea.

Abstract: From the starting date, back in August 1995, a backscattering LIDAR has been in operation at the location (34,6S 58,5W) on the north border of Buenos Aires City. After eight years of continuous operation, a quite large amount of systematic information has been gathered concerning different parameter related to: Atmospheric Boundary Layer (ABL), natural or anthropogenic aerosols, tropopause height evolution and detection and tracking of cirrus clouds. Several improvements have also been made on the working condition of the LIDAR, after which it is possible to do measurements in both: 1064nm and 532nm wavelengths of the Nd:YAG laser. A second receiving Cassegrain telescope, of 8,2cm aperture, has also been incorporated, to increase the dynamic range and to let the overlapping of the geometric factor with the main receiving telescope, to get measurements of very low altitude signals. At present the dynamic range for 532nm is from 50m to 22km in daytime, and to 28km during the night. Measurements are made through tree different channels, one in 1064nm and two (polarization sensitive) in 532nm. All this experimental work is made primarily to monitor the troposphere aimed to better understand the radiative balance and the radiative energy transfer in the atmosphere, and to participate in the international effort to improve the knowledge of the environmental condition, from a southern monitoring position.

I. INTRODUCCIÓN

Desde agosto de 1995 opera una estación LIDAR de retrodifusión en Buenos Aires (34,6 S, 58,5 W) para aplicaciones climáticas y estudios de procesos regionales en las latitudes medias del hemisferio sur^[1]. El objetivo final es monitorear las propiedades de los cirrus; la presencia de Aerosoles, y la estructura de la Capa Límite Atmosférica (CLA) a largo plazo. Dado que el LIDAR opera en 532 nm, esto permite realizar una comparación directa de las propiedades ópticas de los parámetros atmosféricos en estudio con otras bases de datos disponibles en mundo. En agosto del año 2000 la estación de LIDAR de retrodifusión fue modificada al agregar un telescopio pequeño para extender el rango dinámico de trabajo^[2]. El nuevo sistema permite medir simultáneamente los parámetros atmosféricos localizados en toda la troposfera desde los de 50 m de altura hasta la baja estratosfera. Los datos obtenidos del LIDAR permiten controlar la evolución en tiempo real de los aerosoles troposféricos (parámetros ópticos y sus propiedades radiativas), la presencia de aerosoles estratosféricos, las propiedades radiativas de los cirrus (altura, espesor óptico y geométrico, coeficiente de retrodifusión y de extinción) y por último, permite observar la evolución temporal de la CLA y la altura de la

tropopausa (en este caso la señal LIDAR se adquiere de noche con la atmósfera limpia, se promedian las señales por largo tiempo, sin la presencia de aerosoles. Solo se admite la presencia de cirrus en la troposfera alta. Los datos procesados nos permiten detectar el cambio de densidad producido en la transición troposfera – estratosfera)^{[3],[4]}.

II. INSTRUMENTAL

El LIDAR de retrodifusión se encuentra operando con un emisor láser de Nd-YAG (CONTINUUM-Surelite II) el cual entrega 300 mJ por pulso en 532 nm y 1064 nm polarizados, con una frecuencia de repetición de 10 Hz y 5 ns de ancho de pulso. Un sistema receptor dual (ver Fig. 1) se utiliza para poder manejar una señal con mayor rango dinámico (~36000 entre los 50 m y los 28 Km). Un telescopio Cassegrain se utiliza para cubrir el rango entre los 50 m y 6 Km, mientras que un telescopio tipo Newtoniano de 50 cm de diámetro cubre el rango entre los 300 m y los 28 Km. Ambos telescopios están alineados al cenit y poseen la misma apertura numérica (~ 1,5 mrad). Para reducir el ruido del fondo del cielo durante el día, ambos telescopios tienen instalados frente a los detectores filtros interferenciales en 532 nm y 1064 nm. El telescopio de 8,2 cm de diámetros tiene un

fotomultiplicador para la detección en 532 nm; mientras que el telescopio de 50 cm de diámetro tiene 3 canales de detección. Un fotomultiplicador para 532 nm, polarización paralela, otro de 532 nm para la polarización perpendicular y un fotodiodo PIN para 1064 nm (Fig. 1). Los componentes ópticos con que está implementado el sistema de detección del telescopio de 50 cm son: i) un espejo separador de 2 longitudes de onda ('dicroico' - R = 95% en 532 nm y T = 85% en 1064 nm); y ii) Un cristal cúbico depolarizador que permite separar los haces polarizados, paralelo y perpendicular, en 532 nm (Fig. 1). La señal en 1064 nm es focalizada y enviada sobre un fotodiodo detector (YAG-100 - QE = 50% para 1064 nm) a través de una fibra óptica. Un amplificador de gran ancho de banda y alta ganancia es utilizado para amplificar y acondicionar la señal. A continuación de los detectores (fotomultiplicadores y fotodiodos), la señal LIDAR es filtrada con un filtro pasa-bajos de 800 KHz de frecuencia de corte. Este resulta necesario para eliminar los ruidos provocados por las interferencias radio-eléctricas presentes en la zona. Un osciloscopio digital de 10 bits y 25 MS/s de frecuencia de muestreo, acoplado a una PC es utilizado como sistema de adquisición de datos.

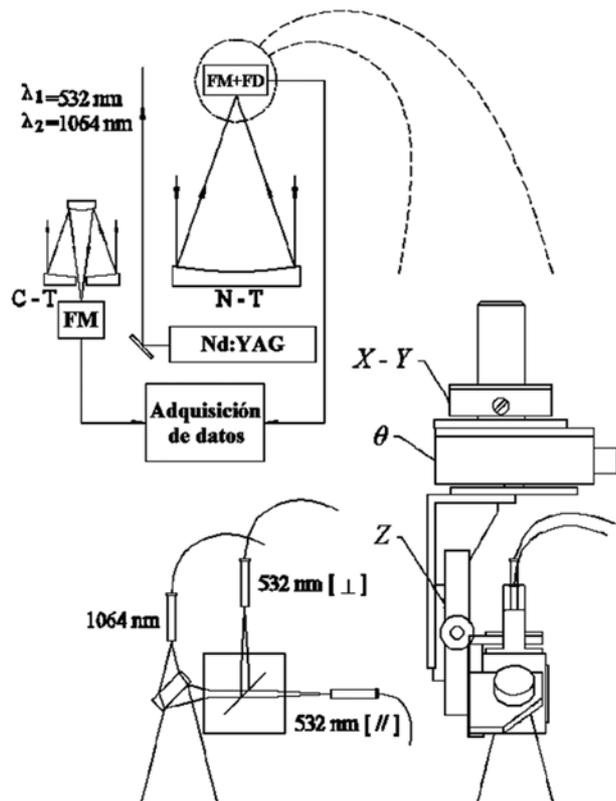


Fig. 1. Esquema del Sistema LIDAR Dual que incluye la depolarización para el telescopio Newtoniano con dos canales para 532 nm y uno para 1064 nm.

III. CONJUNTOS DE DATOS HISTÓRICOS

Durante los últimos ocho años, comenzando a mediados de 1995, han sido registrados una gran cantidad de datos LIDAR de la CLA (Capa Límite Atmosférica), aerosoles de origen antropogénico (Fig. 2) y cirrus a media y gran altura con situaciones meteorológicas muy variadas. La señal eléctrica detectada se denomina $P(R)$, para

procesarla, se normaliza y potencia en rango $P(R)*R^2$, para finalmente linealizarla $\ln[P(R)*R^2]$. De esta forma se simplifica la resolución de la ecuación correspondiente a la inversión LIDAR:

$$P(R) = A \frac{\beta(R)}{R^2} e^{-2 \int_{R_0}^R \alpha(R) dR}$$

CLA y AEROSOLIOS TROPOSFÉRICOS - Buenos Aires - 31/10/2000

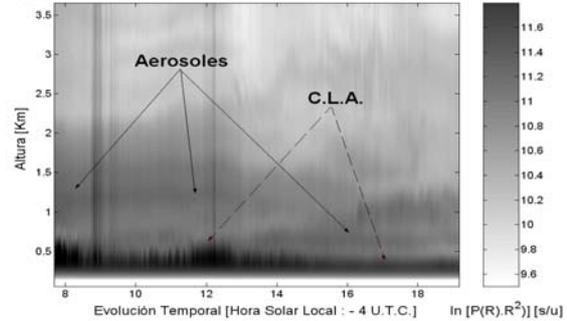


Fig. 2. Evolución temporal del 31/10/2000: detección de CLA y aerosoles troposféricos (Telescopio Cassegrain - 8,2 cm).

La Figura 3 muestra la evolución temporal de una serie de cirrus medidos el 21/03/1996.

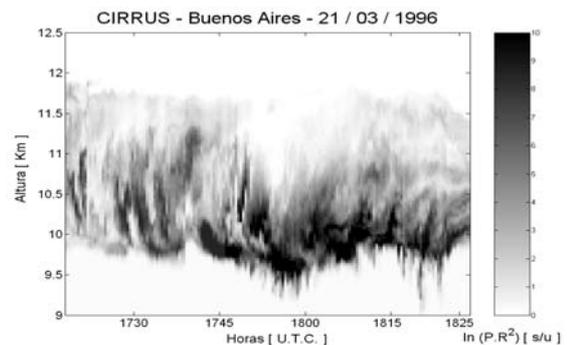


Fig. 3. Serie temporal de una señal LIDAR, corregida en rango, correspondiente a un cirrus (registro del 21/03/1996)

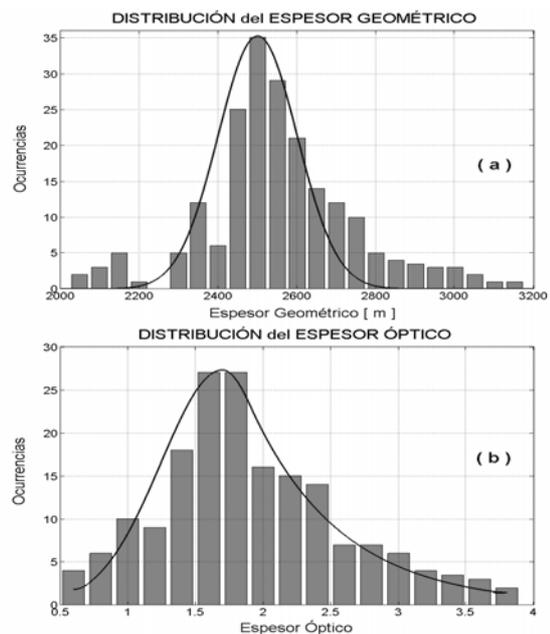


Fig. 4. Histograma de distribución: (a) espesor geométrico y (b) espesor óptico; correspondiente a un cirrus (ver Fig. 2) registrado el 21/03/1996.

La Figura 4 muestra los histogramas correspondientes a los espesores geométrico y óptico de una serie temporal. El espesor óptico se calcula corrigiendo la dispersión múltiple, para ello se utiliza un factor de multiplicación de 0,5. Ambos histogramas han sido ajustados en forma satisfactoria con una señal gaussiana correspondiente a cirrus grueso.

IV. NUEVAS CAPACIDADES

Se ha implementado en forma provisoria, un canal de detección para 1064 nm y un sistema de depolarización para 532 nm, debido a que el láser emite en 532 nm con polarización paralela. El sistema de depolarización permite detectar las componentes paralela y perpendicular de la señal retrodifundida por la atmósfera, por efecto del láser.

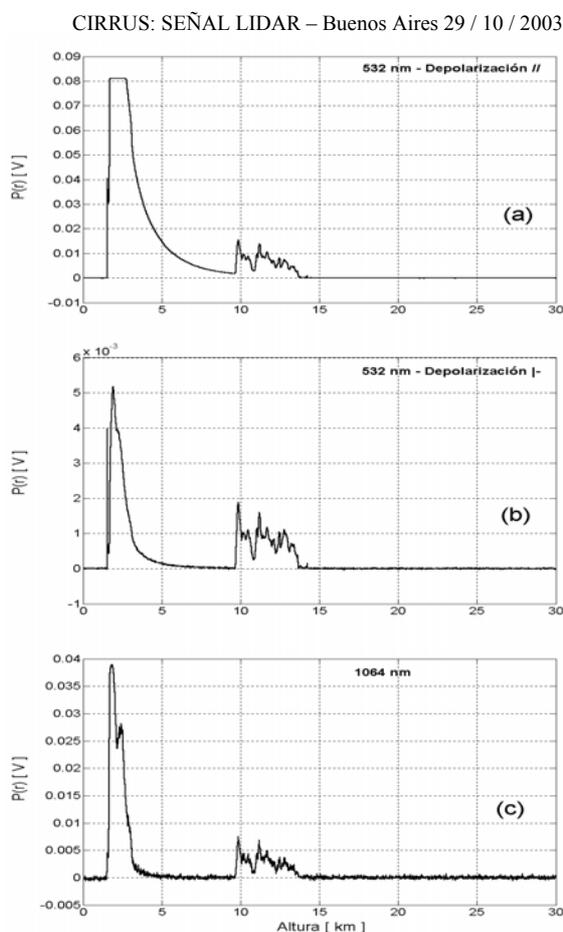


Fig. 5. Cirrus - Evolución Temporal de una señal LIDAR: (a) - 532 nm paralelo; (b) - 532 nm perpendicular, (c) 1064 nm total.

En la Figura 5 se muestra un grupo de señales registradas el 29/10/2003, correspondientes al telescopio Newtoniano donde se observan un grupo de señales adquiridas simultáneamente, de una serie temporal de cirrus, para cada canal de adquisición. Un canal corresponde a la detección, en 532 nm, de la señal con polarización paralela, otro canal con polarización perpendicular y el último canal corresponde a la señal de 1064 nm. En esta figura se puede observar la presencia de un cirrus con un espesor geométrico del orden de los 4 km entre los 9,5 y 13,5 km de altura. El nivel de señal más importante

corresponde a la del canal de depolarización paralela debido a la mayor presencia de moléculas frente a los cristales de hielo y/o partículas. Esta señal posee la misma polaridad que el emisor láser. Para cristales y partículas en suspensión en la atmósfera está el canal de depolarización perpendicular (en este caso con muy baja señal). Esta señal es registrada para poder calcular, posteriormente, el coeficiente de depolarización. Resulta de suma importancia obtener la componente molecular de la depolarización ya que ciertas moléculas (N_2 y O_2) también producen cambios en la depolarización de la señal de retrodifusión del LIDAR.

CIRRUS: SERIE TEMPORAL – Buenos Aires 29 / 10 / 2003

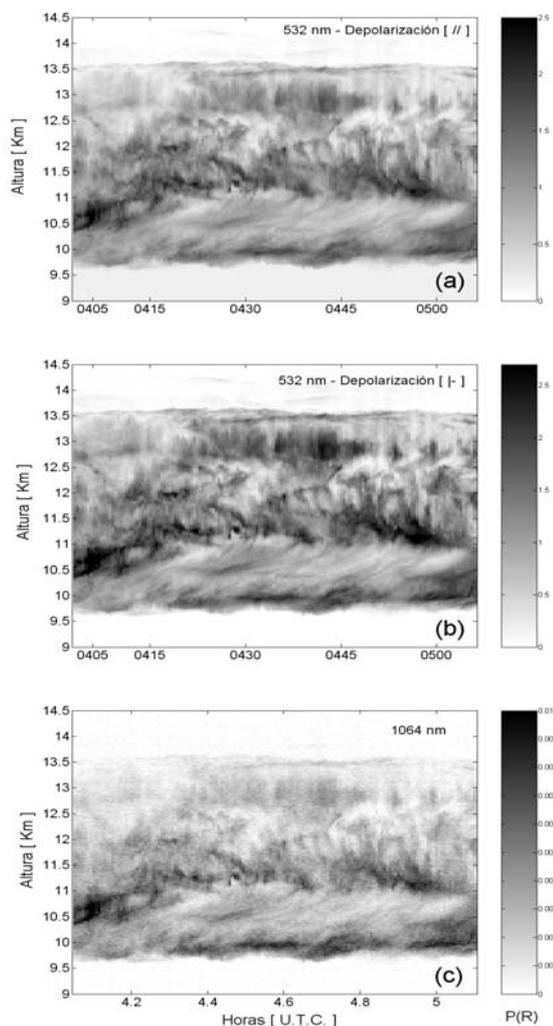


Fig. 6. Cirrus - Evolución de una serie temporal en función de la altura y del tiempo (en UTC) registrada el 29/10/03: (a) 532 nm paralelo, (b) 532 nm perpendicular, (c) 1064 nm total

La Figura 6 muestra la evolución de una serie temporal de una señal LIDAR corregida en rango adquirida el mismo día. Durante menos de una hora el sistema adquirió, promedió y registró las tres señales simultáneamente (ver Fig. 5). Las señales de cada canal fueron adquiridas y promediadas durante 50 s (500 disparos del láser). Estas señales nos permiten calcular y observar los espesores ópticos y el coeficiente de retrodifusión del cirrus observado para toda la serie temporal.

Por ultimo, la Figura 7 muestra dos ejemplos de la detección de la altura de la tropopausa. El caso (a) muestra una medición indirecta debido a la presencia de un cirrus ubicado en el extremo superior de la troposfera. Este extremo, por lo tanto, corresponde a la altura de la tropopausa. La señal LIDAR se promedió el equivalente de 3500 disparos del láser. En el caso (b) se muestra una medición realizada durante una noche despejada con atmósfera limpia (dos horas después de la lluvia). La señal LIDAR fue promediada durante mas de dos horas correspondiendo a 8000 disparos del láser. En ambos casos la altura de la tropopausa fue verificada con los datos obtenidos del radiosondeo de las 0 UTC (Fig. 7-c) proporcionado por el Servicio Meteorológico Nacional.

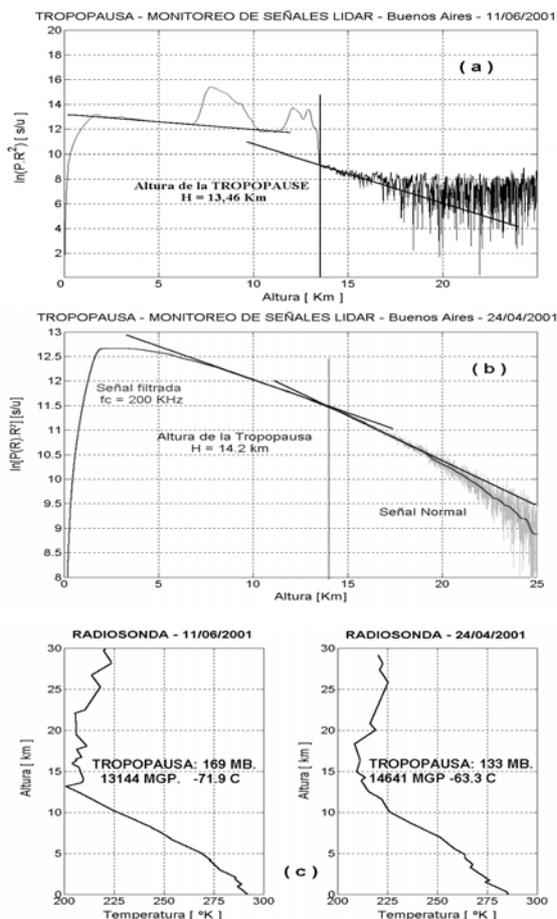


Fig. 7. Detección de la altura de la Tropopausa: (a) con cirrus, (b) Atmósfera limpia, (c) Radiosonda – 0 UTC.

V. CONCLUSIONES

El objetivo primario de este trabajo fue el de presentar, en conjunto, la Estación LIDAR Dual con las nuevas mejoras realizadas hasta la fecha y las mediciones efectuadas en forma simultánea de los principales parámetros de la Troposfera y baja Estratosfera (aerosoles, cirrus, evolución de la altura de la CLA y la altura de la Tropopausa) en los últimos ocho años. Esto resulta de suma importancia para el estudio del medio ambiente y su evolución en la zona Subtropical de América del Sur.

Para mejorar la detección, un sistema óptico de depolarización prototipo asociado a la detección del

telescopio Newtoniano fue implementado en forma provisoria. Esto mejoró las mediciones de los cirrus y se observaron mejoras en la detección y seguimiento de los aerosoles troposféricos. Es muy importante para el estudio del intercambio Troposfera – Estratosfera contar con este tipo de instrumental. Todos los resultados mostrados en el presente trabajo, corresponden a mediciones realizadas regularmente con el LIDAR que opera sobre Buenos Aires (División Radar Laser de CITEFA.)

VI. TRABAJOS FUTUROS

La versión final del sistema óptico de depolarización será implementada en los próximos meses junto con otras mejoras estructurales de la Estación LIDAR. El sistema nuevo de detección va a operar en 532 nm [con dos fotomultiplicadores, uno para cada polaridad de la señal detectada] y en 1064 nm [con un fotodiodo PIN potenciada para esa longitud de onda].

Se prevé a mediano plazo, mejorar el sistema de adquisición de datos para que opere con seis canales de adquisición en forma simultánea (para alta y baja resolución espacial).

Las mediciones futuras para el estudio dinámico y climatológico de la atmósfera sobre Buenos Aires, incluyen: evolución de la Tropopausa, continuar con las mediciones de los cirrus y la CLA; y las mediciones sistemáticas para detectar la presencia y evolución de los aerosoles, principalmente dentro de la CLA.

VII. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo tuvo como soporte técnico y financiero a: CITEFA., CONICET. y SECyT.

Los autores quieren agradecer al Servicio Meteorológico Nacional por los datos meteorológicos locales y satelitales suministrados; además agradecen especialmente por su colaboración al Técnico Juan José Luque y al Técnico Proyectista C. Morales de CITEFA.

VIII. REFERENCIAS

1. M. Lavorato, G. Fochesatto, E.J. Quel, P.H. Flamant, J. Pelon. "Monitoring of Cirrus Clouds and Planetary Boundary Layer in Southern Hemisphere at Buenos Aires (34.6 S, 58.5 W) for Climate Application". *Advances in Atmospheric Remote Sensing with Lidar*. Springer. Berlin 1996, pp.91-94.
2. Lavorato et all. A Dual Backscatter Lidar is Operated in Buenos Aires (34.6 S / 58.5 W) for Determine the Atmospheric Parameters in Cirrus Clouds, Tropospheric Aerosols and ABL. *Lidar Remote Sensing in Atmospheric and Earth Sciences*. 2002, 75-78 – Proceedings ILRC21.
3. S. Elouragini. "Etude des propriétés optiques et géométriques des cirrus par télédétection optique active (lidar) et passive (radiométrie)". These de Doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie (Paris VI). 1991.
4. P. Flamant, S. Elouragini. "Iterative method to determine an averaged backscatter-to-extinction ratio in cirrus clouds". *Appl. Opt.*, 35, p1512, (1996).