

# OBSERVACIÓN SIMULTÁNEA DE PARÁMETROS ATMOSFÉRICOS CON EL LIDAR DUAL QUE OPERA EN BUENOS AIRES CON UN NUEVO SISTEMA DE DETECCIÓN.

Mario Lavorato<sup>(1)</sup>, Pablo Cesarano<sup>(1)</sup>, Mauricio Pagura<sup>(1)</sup>, Eduardo Quel<sup>(1)</sup>, Juan C. Dworniczak<sup>(1)</sup>,  
Pierre H. Flamant<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>División Radar Láser, CEILAP (CITEFA - CONICET)

<sup>(2)</sup>Laboratoire de Meteorologie Dynamique, École Polytechnique, Palaiseau, France

<sup>(1)</sup>San Juan Bautista de La Salle 4397  
B1603ALO - Buenos Aires, Argentina

TEL: 54-11-4709-8100 ext. 1514 / FAX: 54-11-4709-8228  
e-mail: [mlavorato@citefa.gov.ar](mailto:mlavorato@citefa.gov.ar)

Desde agosto del año 2000, la estación Lidar situada en los suburbios de Buenos Aires (34:33 S / 58:30 O) opera rutinariamente con un nuevo sistema de detección. El Lidar de retrodifusión trabaja en 532 nm con dos telescopios; uno tipo Cassegrain ( $\phi = 8,2$  cm) y el otro Newtoniano ( $\phi = 50$  cm). Este sistema puede medir simultáneamente toda la troposfera hasta la baja estratosfera (<30 Km). El sistema opera en tiempo real para realizar observaciones de: series temporales de la capa límite atmosférica, aerosoles troposféricos y estratosféricos, la altura de la tropopausa y los cirrus (Ej: Estadísticas de series temporales de parámetros ópticos y geométricos asociados al balance radiativo de la atmósfera y estudio del medio ambiente). Finalmente se muestran los resultados preliminares del nuevo sistema de depolarización (en 532 nm) adaptado al telescopio Newtoniano. En el futuro, el nuevo Lidar contribuirá además a la validación de datos satelitales, en particular: EUMETSAT, AQUA y CALIPSO (que será lanzado en el 2004).

A new receiver-detection unit was added in august 2000 to the backscatter lidar, which had been operating in a Buenos Aires suburb for more than 7 years. At present, this lidar operating at 532 nm takes advantage of two different telescope receivers to increase the signal dynamic range and cover a wider altitude and backscatter coefficient ranges. Now, the system can measure simultaneously atmospheric parameters in the whole troposphere starting from 70 m up to the lower stratosphere (about 28 km). The lidar station is intended to measure in real time the atmospheric boundary layer (ABL), troposphere aerosols, stratospheric aerosols, the tropopause height and cirrus clouds. We present preliminary results of a new depolarization system for data detection (at 532nm) adapted to Newtonian telescope. In the near future, the new lidar will also contribute to satellite validation, in particular EUMETSAT, AQUA and CALIPSO (to be launched in 2004).

## I. INTRODUCCIÓN

Los problemas relativos al medio ambiente son una de las mayores preocupaciones de la comunidad internacional. Los científicos han acordado que con respecto al llamado cambio climático es muy necesario el desarrollo de mejores modelos para la predicción de dichos cambios, ya que los actuales poseen mucha incertidumbre. Estas incertidumbres hacen que por un lado se mejoren los modelos predictivos y por otro se mejoren sustancialmente las observaciones mejorando por ende el instrumental utilizado. El balance entre la radiación entrante y saliente de la atmósfera (motor del clima terrestre), el estudio de la temperatura de la superficie que influye en la evolución de la capa límite atmosférica, el seguimiento y evolución de los aerosoles junto con las nubes (en particular los cirrus) en toda la troposfera, son los elementos básicos para un correcto entendimiento de la dinámica de la atmósfera. Las nubes y los aerosoles juegan un papel esencial en la retrodifusión y redistribución de la radiación solar y de la re-irradiación infrarroja emitida por la tierra. Resulta de suma importancia el conocimiento del efecto radiativo en la atmósfera (Ej: parámetros ópticos y geométricos) de los aerosoles y nubes envueltas en la interacción atmósfera-

superficie, donde el vapor de agua transporta y aglutina a ambos en las direcciones vertical y horizontal. Es muy importante en las zonas tropicales y de latitudes medias monitorear todos los parámetros relevantes del balance radiativo de la tierra. Por lo tanto los cirrus, los perfiles verticales de aerosoles y la estructura de la CLA (Capa Límite Atmosférica) son internacionalmente reconocidos como elementos importantes para su observación y modelización derivando en un mejor entendimiento del cambio climático<sup>(1)(2)(3)</sup>.

Luego de observar los datos recolectados por las redes de Lidar, resulta esencial que las observaciones tengan un rango dinámico lo más grande posible para registrar simultáneamente el perfil completo de aerosoles y el factor de retrodifusión de las nubes densas. Esto resulta extremadamente complicado para un sistema con un solo telescopio receptor. Para mejorar esto desde mediados del año 2000 se le adicionó al sistema un segundo telescopio. Además al telescopio Newtoniano se le agregó un sistema de depolarización (en 532nm) con un detector adicional para 1064nm. De esta manera, este instrumento con su nueva configuración permite registrar los parámetros de toda la troposfera (desde los 70m de altura) hasta la baja estratosfera (< 30Km).

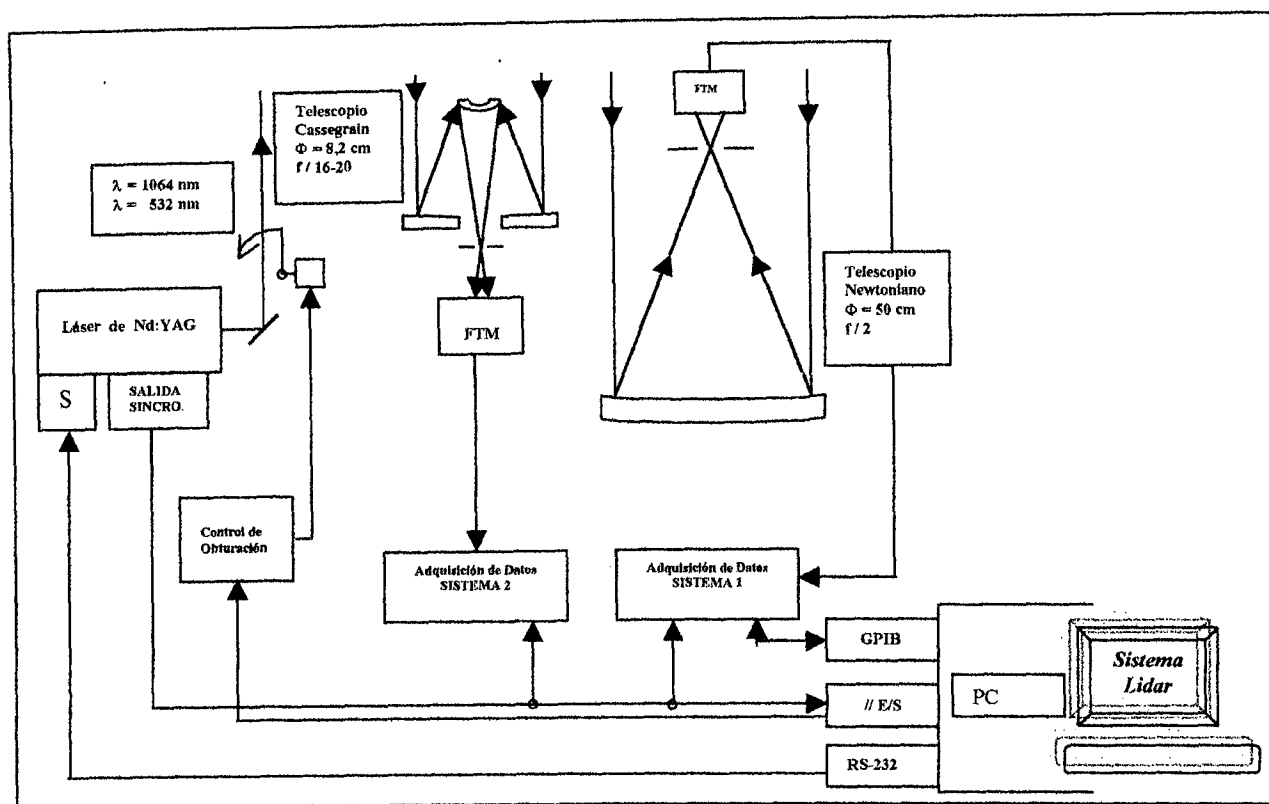


Figura 1: Diagrama Esquemático de la Estación Lidar DUAL.

## II. INSTRUMENTAL

El Lidar de retrodifusión<sup>(4)(5)</sup> cuenta con un láser de Nd-YAG que emite hasta 300mJ de energía por pulso a 532nm y 305mJ en 1064nm, con una frecuencia de repetición de hasta 10Hz. El ancho de los pulsos del láser tanto en 532nm como en 1064nm es de 5ns con una divergencia menor que 0,6mrad. El sistema de recepción cuenta con dos telescopios (Fig.1) que permite la medición simultánea en dos etapas: (i) desde 50m hasta 6Km utiliza un telescopio tipo Cassegrain f/16-20 con espejo primario de 8,2cm de diámetro. (ii) desde 300m hasta 28Km utiliza un telescopio Newtoniano f/2 de 50cm de diámetro. Ambos telescopios apuntan al zenith con un campo de vista < 1,5mrad. Los telescopios están equipados con fotomultiplicadores de alta ganancia. El sistema de adquisición de datos es un osciloscopio digital de cuatro canales (100MHz - 25 MS/s) con 10 bits de resolución vertical. Los datos son grabados en una PC. La figura 2 muestra dos señales adquiridas simultáneamente con una resolución espacial de 6m. Las figuras 3 y 4 muestran las señales de los canales de baja y alta resolución, respectivamente, de cada telescopio<sup>(6)(7)</sup>. El telescopio Newtoniano fue modificado (provisoriamente) para probar el nuevo sistema de depolarización que separa la línea de 532nm en su componente paralela y perpendicular (el láser emite con luz polarizada). Además se detecta la señal de 1064nm (no polarizada) que emite el sistema a la atmósfera. Las figura 5, 6 y 7 muestran los resultados preliminares del nuevo sistema de detección.

La performance de los dos sistemas se entrecruzan entre los 2 y 4 Km de altura (Fig.2). La resolución temporal del sistema es superior a los 5s (considerando un promedio de 50 tiros sucesivos de láser para la CLA y 250 para los cirrus), la resolución espacial mínima es de 1,5m teniendo en cuenta la ambigüedad de la posición y ancho del pulso láser, el tiempo de respuesta del sistema de detección y el rango de integración de la señal.

Se cuenta con datos adicionales proporcionados por: (i) Columna total de radiación solar (300nm - 400nm) proporcionado por un Pyranómetro. (ii) Columna total de radiación selectiva en siete longitudes de onda proporcionado por el fotómetro solar CIMEL. Uno de los canales del CIMEL proporciona datos de contenido total de vapor de agua (espesor óptico en 940nm) y otro sobre contenido total de aerosoles (espesor óptico en 1020nm). (iii) El Servicio Meteorológico Nacional provee la información de radiosondeo y fotos satelitales. (iv) Se cuenta con una unidad local de monitoreo atmosférico (temperatura, humedad, presión).

## III. RESULTADOS EXPERIMENTALES

El sistema opera con dos telescopios acoplados, cada uno de ellos, con un fotomultiplicador de alta ganancia. Para lograr todo el rango dinámico con relación señal / ruido mayor que 2 la señal de cada unidad es desdoblada y amplificada para registrar una señal de baja resolución vertical y otra saturada numéricamente por el sistema de adquisición, es decir de alta resolución vertical

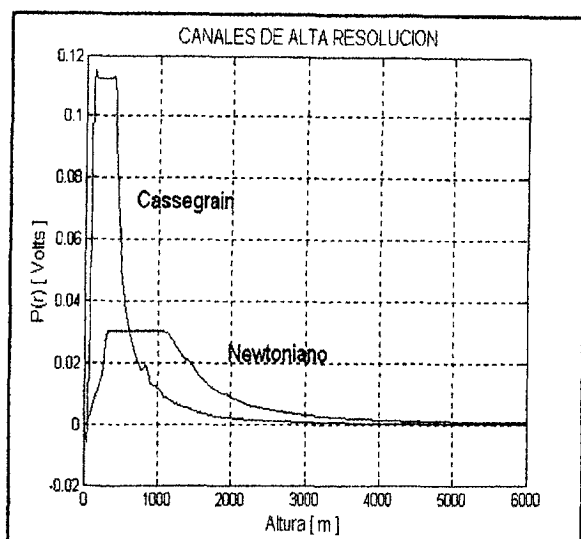


Figura 2: Comparación de Señales entre los telescopios Cassegrain – Newtoniano (11/06/2001)

que mejora el alcance de la misma (estas señales se observan recortadas en amplitud). Por ello es que se registran cuatro canales. En la figura 3 se pueden observar las señales provenientes de cada telescopio y representan las señales de baja resolución. La figura 4 presenta las señales de alta resolución, pudiendo observar la diferencia de nivel con respecto a las de la figura 3.

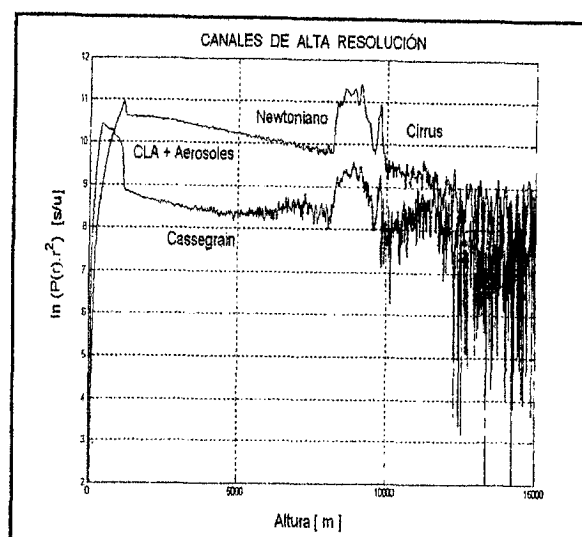


Figura 4: Canales de Alta Resolución (21/06/2001)

En la secuencia de las figuras 5, 6 y 7 se observan los resultados preliminares obtenidos del nuevo sistema de depolarización (sólo operativo para el telescopio Newtoniano) para la línea de 532nm y cuenta con un canal para la línea de 1 micrón, este último muy importante para el estudio, seguimiento y evolución de los aerosoles troposféricos y estratosféricos.

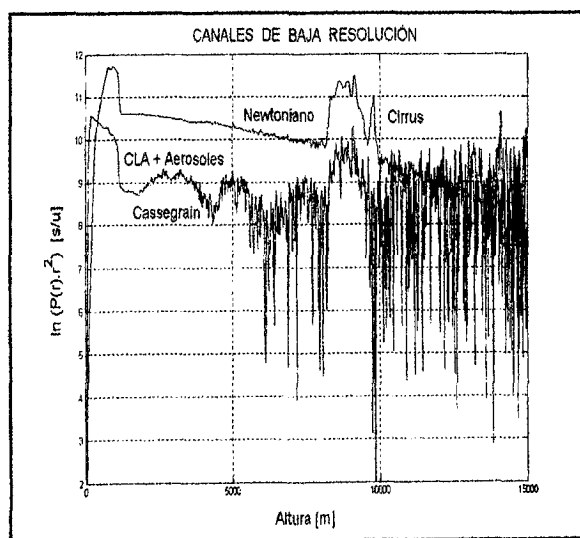


Figura 3: Canales de Baja Resolución (21/06/2001).

Se puede observar, comparando las figuras 3 y 4, que la CLA queda muy bien definida en los canales de baja resolución, aún con más detalle en el telescopio Cassegrain, mientras que ese mismo canal a los 2000m pierde resolución vertical (Señal / Ruido < 2).

Vale la pena notar las diferencias entre las señales de baja y alta resolución del telescopio Cassegrain, mientras la de baja permite realizar observaciones a partir de los 100m, la de alta llega con buena resolución vertical a los 4,5Km.

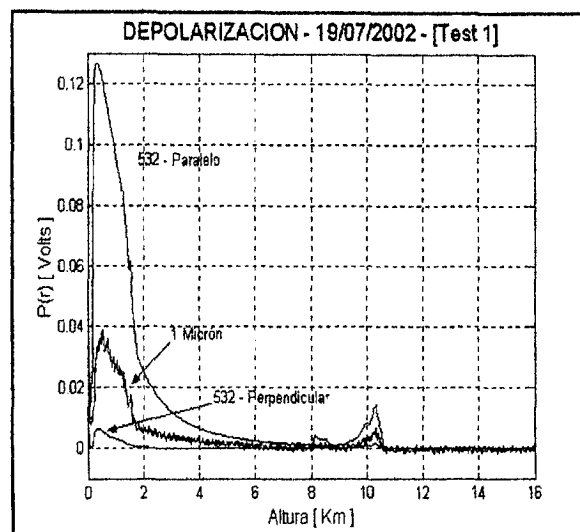


Figura 5: Señal con Depolarizador: Fuerte contenido de aerosoles por debajo de los 2Km.

Las tres figuras presentan características particulares de la atmósfera. En la figura 5 se puede observar además de un cirrus detectado por las tres líneas entre los 8Km y 10Km, que por debajo de los 2Km hay una fuerte presencia de aerosoles. La figura 6 además del cirrus ubicado por encima de los 10Km no se observa una presencia importante de aerosoles obteniendo una señal con mayor contenido molecular que aerosólico. El caso presentado en la figura 7 representa un caso intermedio, se observa un cirrus entre los 8,2Km y los 11Km con un contenido intermedio de aerosoles a baja altura.

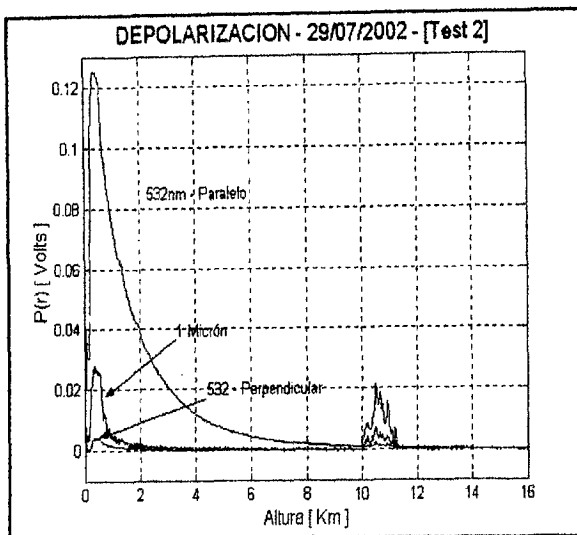


Figura 6: Señal con Depolarizador: Bajo contenido de aerosoles.

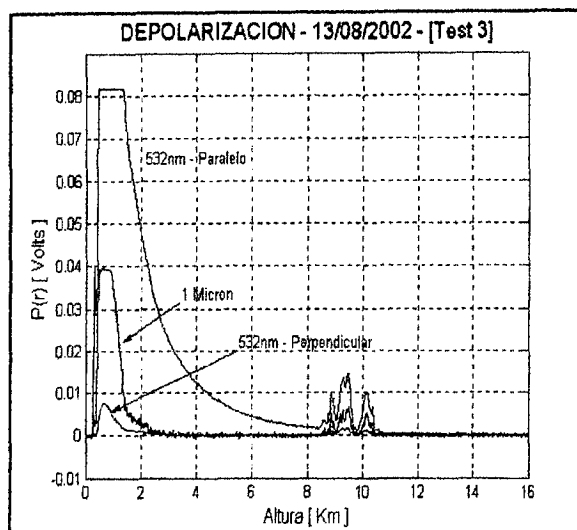


Figura 7: Señal con Depolarizador: Contenido medio de aerosoles a baja altura.

Este nuevo instrumental una vez adaptado y calibrado nos permitirá cumplir con los objetivos científicos detallados a continuación:

- Balance Radiativo de la media y alta troposfera.
- Formación de la nubes de Cirrus y su evolución conectada con variadas situaciones meteorológicas.
- Meteorología de los "Jet stream" y su conexión con la formación de los cirrus y la circulación ageostrópica.
- Aerosoles troposféricos (incluida la quema de biomasa).
- Intercambio Troposfera – Estratosfera.

#### IV. TRABAJOS FUTUROS

El sistema de depolarización montado sobre el telescopio Newtoniano opera satisfactoriamente. Se deberá realizar un montaje más preciso y estable y corregir la alineación de las fibras ópticas. Se deberá

mejorar la detección para 1 micrón (el amplificador) y preparar el sistema para que opere con seis canales de adquisición. Se estudiará el uso simultáneo del sistema con un telescopio adicional para la detección del perfil de vapor de agua en toda la troposfera.

#### V. CONCLUSIONES

Este trabajo pretende informar acerca del nuevo sistema desarrollado en el CEILAP, denominado LIDAR-DUAL, que permite realizar observaciones simultáneas de parámetros atmosféricos (Aerosoles, Cirrus, CLA) en toda la troposfera y en la baja estratosfera, para el estudio del medio ambiente en el territorio Argentino y parte de Sudamérica.

Se ha enriquecido el LIDAR implementando un nuevo sistema óptico de detección (por depolarización en 532nm y detección en 1 micrón) que es de fundamental importancia en el estudio de la evolución de los Cirrus (Hielo - Vapor de Agua) y en la mezcla higroscópica de los aerosoles en las nubes de vapor de agua. Esto sucede en toda la Troposfera siendo muy importante el seguimiento de los Aerosoles en la Troposfera baja (<5Km).

#### VI. REFERENCIAS

- 1 - R. M. Measures. "Laser Remote Sensing: Fundamentals and Applications". In Krieger Publishing Company editor. New York: Wiley, 1984.
- 2 - Hinkley, E.D. "Laser Monitoring of the Atmosphere". Springer-Verlag. 1976.
- 3 - R. Stull. "Atmospheric Boundary Layer". Kluwer Academics Publisher's. Ed. 1994.
- 4 - M. Lavorato, G. J. Fochesatto, E. Quel, P. H. Flamant. Proceeding of International Geoscience and Remote Sensing Society. Vol. I, 2-6, (1996).
- 5 - M. Lavorato, G. J. Fochesatto, E. J. Quel, P. H. Flamant, J. Pelon. Advanced in Atmospheric Remote Sensing with Lidars. Springer Verlag, Berlín, 91-94, (1996).
- 6 - P. Flamant, S. Elouragini. "Iterative method to determine an averaged backscatter-to-extinction ratio in cirrus clouds". Appl. Opt., 35, p1512, (1996).
- 7 - D. Klett. "Lidar inversion with variable backscatter/extinction ratios". App. Opt. 21, p. 4184, (1985).