

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE CIRRUS AÑOS 2005-2006

CIRRUS CLOUDS STATISTICAL ANALYSIS FROM 2005 to 2006

M. B. Lavorato^(1,2), S. G. Lakkis^(3,4), P. O. Canziani^(4,5), H. Lacomí^(1,6)

- 1 División Radar Láser, Dto. Láser, CITEDEF, Juan B. La Salle 4397, B1603ALO, Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina.
- 2 Grupo TAMA, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, París 680, Haedo, Buenos Aires, Argentina.
- 3 Facultad de Ciencias Agrarias, Pontificia Universidad Católica Argentina, Cap. Gral. Ramón Freire 183, C1426AVC, Bs. Aires, Argentina.
- 4 PEPACG (Pontificia Universidad Católica Argentina - CONICET), Cap. Gral. Ramón Freire 183, C1426AVC, Buenos Aires, Argentina.
- 5 Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.
- 6 Grupo SyCE-FRH, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, París 680, Haedo, Buenos Aires, Argentina.

e-mail: mlavorato@citedef.gob.ar

Recibido 30/03/2012; aprobado 01/02/2013

RESUMEN: El presente trabajo corresponde al estudio estadístico de variabilidad en las observaciones de la evolución temporal de los Cirrus medidos con un LIDAR de Retrodifusión en las latitudes medias, sobre Buenos Aires, con 95 observaciones realizadas durante los años 2005 y 2006. Se trabajó con series temporales cuya duración van desde una hora hasta nueve horas de observaciones continuas. Se presentan los parámetros característicos de los Cirrus: Coeficiente de extinción volumétrico y coeficiente de retrodifusión junto con la constante Lidar que los relaciona; el espesor geométrico y el espesor óptico que acompañan al análisis estadístico de su variabilidad. De las evoluciones temporales de las series presentadas se van a determinar por año, cuales corresponden a los Cirrus de la Tropopausa; estos van a ser comparados con el perfil de temperatura del radiosondeo de la estación de Ezeiza.

Palabras claves: Cirrus, LIDAR, extinción, atenuación, retrodifusión, Tropopausa.

Abstract: This work shows an statistical study of Cirrus clouds time series evolution with its temporal variability measured with a backscatter LIDAR System at mid-latitudes over Buenos Aires. This study was made with 95 observations during 2005 and 2006. The time series range goes from one hours up to nine hours of continuous observations. We present the results of processed data about its characteristic parameters: extinction coefficient, backscatter coefficient and LIDAR ratio coefficient, the optical and geometrical thickness and the statistical analysis of its temporal variability. From all series analysed we selected the Tropopause Cirrus profiles and they were compared with the radiosonde temperature profile of the SMN Ezeiza station.

Keywords: Cirrus, LIDAR, extinction, backscattering, Tropopause.

I. INTRODUCCIÓN

El tipo de nube que se encuentran en la Tropósfera superior es el denominado Cirrus compuesto mayoritariamente de cristales de hielo en suspensión con vapor de agua. Los cirrus están ubicados entre los 6 km y la Tropopausa que, en la latitud correspondiente a Buenos Aires, se encuentra entre los 11 km y los 14 km (cuya variabilidad en altura es un factor estacional), donde, los mecanismos de formación y evolución resultan sensibles a las condiciones atmosféricas. El IPCC^[1] ha priorizado el estudio e investigación sobre la formación y evolución de los Cirrus en todo el planeta ya que influyen dinámicamente el balance radiativo terrestre, afectando en forma global, el clima de la tierra^[2]. La inversión térmica que produce la capa denominada Tropopausa^[3], presiona y comprime al Cirrus limitando su evolución hacia la Estratósfera^{[4],[5]}. Estudiar las condiciones atmosféricas en la tropósfera superior a través de los Cirrus, podría darnos importantes indicios sobre los mecanismos que impulsan la formación de los mismos y cómo predecir mejor sus propiedades ópticas, geométricas y radiativas.

Por lo tanto podemos concluir que la variabilidad de la estructura termodinámica de la Tropopausa puede llegar a afectar las propiedades ópticas y sobre todo geométricas de los Cirrus cerca y sobre la transición de gases y partículas en suspensión en la atmósfera en la zona comprendida entre la Tropósfera Superior y la Estratósfera Inferior (TSEI). Esta transición y transporte de componentes atmosféricos, se produce en ambos sentidos, de ahí la complejidad del estudio y comprensión de los mecanismos que regulan y controlan los procesos físicos y fisicoquímicos en la Tropopausa donde los Cirrus nos van a permitir observar y analizar una parte importante de dicha transición^{[6],[7],[8],[9],[10]}.

La Tropopausa queda definida como una capa de transición dado por el cambio de pendiente en el perfil de temperatura de la atmósfera. Esta es una definición técnica, que es utilizada por la mayoría de los investigadores especializados en ciencias de la atmósfera. Este cambio de pendiente, en realidad refleja en forma indirecta las alteraciones dinámicas de la atmósfera mediante el análisis del perfil de temperatura

como resultado de múltiples inversiones de temperatura en la TSEI. Esto provoca pliegues en la Tropopausa y produce una mezcla de aire proveniente de la estratosfera y hacia la troposfera^{[11],[12]}. Se cuenta para el presente trabajo con los perfiles de temperatura de los Radiosondeos sobre Buenos Aires (Ezeiza - SMN) y su análisis nos muestra que por lo general los Cirrus que se encuentran a gran altura (por encima de los 12Km) están ligados a la Tropopausa y que por lo general cuando se encuentran Tropopausas múltiples con presencia de Cirrus, estos también se encuentran ligados a las diferentes Tropopausas. En el presente trabajo se procesaron y analizaron todos los datos de las observaciones de Cirrus durante los años 2005 y 2006^{[13],[14],[15],[16]}.

Existe una estrecha relación entre la Tropopausa y los Cirrus de gran altura^[17]. Debido a que los Cirrus que cruzan o atraviesan la Troposfera, encontrarían una zona con temperatura inestable donde no pueden coexistir con el medio; por lo tanto esto lleva a que una parte de dichas nubes tengan que subir y difundirse verticalmente hasta alcanzar la Tropopausa siguiente o simplemente se quedan atrapadas y apoyadas sobre la base de la Tropopausa. De esta manera los Cirrus actúan como marcadores y/o trazadores de las bases de las Tropopausas simples y de las bases y topes de las Tropopausas múltiples.

II. OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es el de estudiar y analizar las observaciones de los Cirrus realizadas durante los años 2005 y 2006 contando con 95 series temporales realizadas mayoritariamente durante el día. Se van a procesar los datos y se obtendrán los parámetros mas significativos característicos de cada serie temporal de Cirrus: espesor óptico y geométrico, con el espesor geométrico se determinarán el tope y la base de la serie y junto con el espesor óptico se van a determinar los coeficientes de atenuación y retrodifusión volumétricos. Finalmente se podrá calcular la relación Lidar que es considerada la firma de cada evento de Cirrus. Los resultados del Tope de los Cirrus serán comparados con el perfil de temperatura obtenido con el radiosondeo. Los niveles o alturas de la Tropopausa se van a calcular a partir de los cambios de pendiente de los perfiles de temperaturas obtenidos con los radiosondeos diarios (lanzados a las 00:00 hs y 12:00 hs UTC que corresponden a las 20:00 hs y 08:00 hs Hora Solar, respectivamente) realizados en la Argentina – Estación Ezeiza por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Por último, se va a trabajar con los datos de las observaciones correspondientes a los Cirrus, que fueron obtenidas a partir de un sistema automatizado de sondeo atmosférico por teledetección Láser más conocido como LIDAR de retrodifusión, sito en Villa Martelli en el Gran Buenos Aires.

III. OBSERVACIONES E INSTRUMENTAL

Para investigar la relación entre la Tropopausa y los Cirrus se analizaron los datos adquiridos durante los años 2005 y 2006 (ver figura 1). Para tal fin fue desarrollado “in situ” un sistema de Sensado Remoto de la Atmósfera con Láser, también denominado LIDAR (Light Detection and Ranging) que viene operando desde 1994. Los niveles de la Tropopausa fueron recuperados de los perfiles de temperatura obtenidos con el radiosondeo diario de las 12:00 hs UTC debido a que la mayoría de los Cirrus fueron observados durante el día.

El estudio simultáneo de los Cirrus denominadas también nubes de hielo consiste en encontrar una fuente de datos adecuada para la detección y análisis de los Cirrus. Diversas técnicas se han desarrollado durante las últimas décadas, para detectar la incidencia de las nubes con sistemas pasivos de observación utilizando radiómetros especiales, observaciones satelitales y análisis a partir de datos de imágenes de nubes pasivas, tales como altura de las nubes superiores^{[18],[19]} o las propiedades microfísicas^[20]. Sin embargo, estas técnicas pueden incluir sesgos significativos debido a la naturaleza ubicua y semitransparente de esas nubes. Esto excluye el uso de datos por teledetección pasiva para estudiar las interacciones entre la estructura termodinámica cerca de la TSEI y las propiedades de los Cirrus.

El LIDAR de retrodifusión utilizado consta de un emisor Láser de Nd:YAG (Continuun - Surelite II), emite una energía por pulso de hasta 300 mJ en 532 nm con una frecuencia de repetición variable de 1 a 10 Hz, un diámetro de ‘spot’ a la salida de 5 mm con una divergencia del haz inferior a los 0,6 mrad. El ancho del pulso del Láser (altura mitad) es de 5 ns, lo que nos permite obtener, a máxima energía de emisión un pulso con una potencia pico de 60 MW^{[12],[13],[14]}. El conjunto de recepción consta de dos telescopios. Uno de los telescopios es del tipo Cassegrain de 8,2 cm de diámetro cubriendo el rango entre los 50 m y los 6 km, mientras que el otro telescopio es newtoniano con un espejo de 50 cm de diámetro que abarca desde los 500 m hasta los

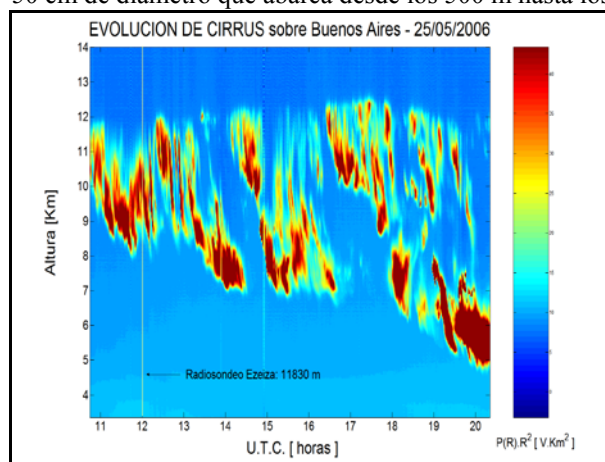


Figura 2 – Evolución Temporal de un CIRRUS - Señal LIDAR del 25 de mayo del 2006.

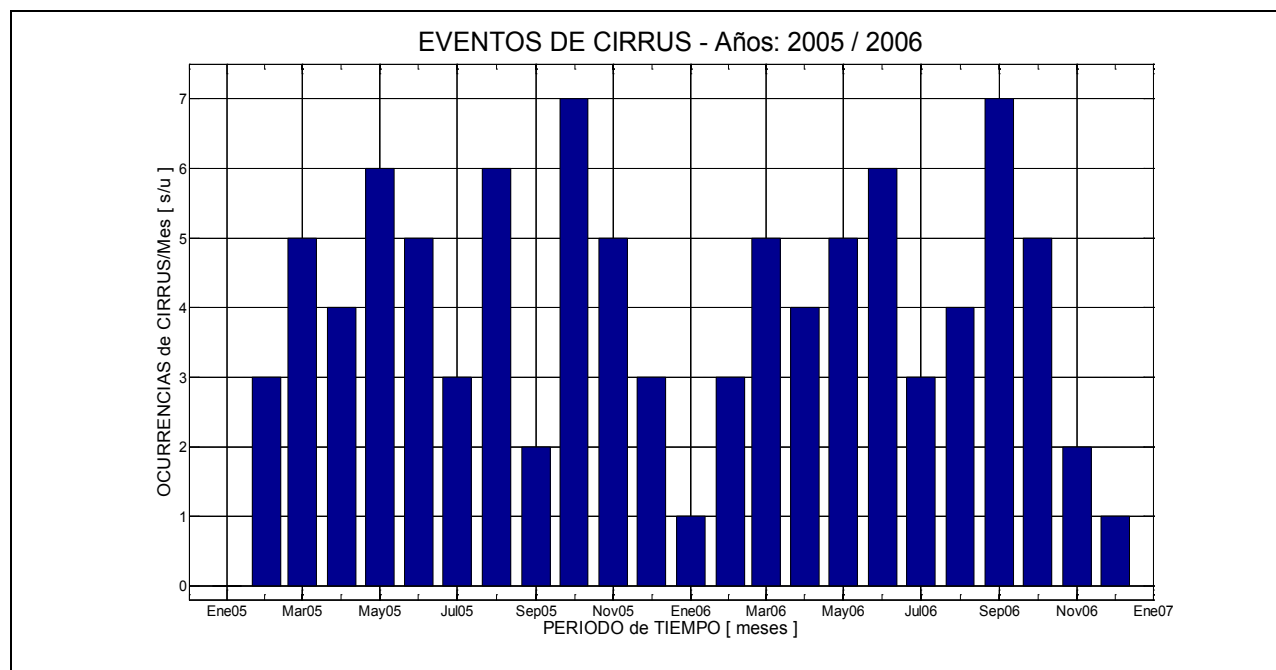


Figura 1 - Ocurencias de Cirrus durante el periodo de estudio.

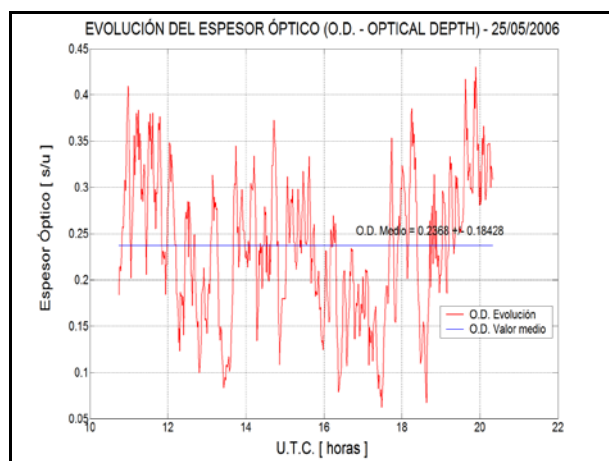


Figura 3 – Evolución Temporal del Espesor Óptico.

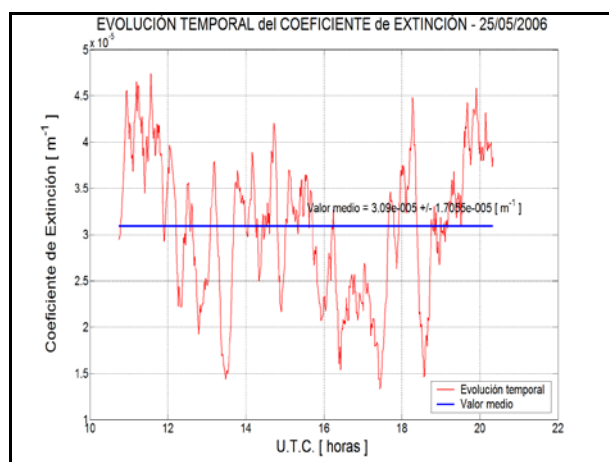


Figura 4 – Evolución Temporal del Coeficiente de Extinción.

23 Km con mediciones diurnas y hasta los 28 Km con mediciones nocturnas lo que permite mejorar y controlar el rango dinámico de la señal. Los dos telescopios apuntan al cenit; ambos telescopios se encuentran diafragmados con campo de visión inferior a 1,5 mrad. Esto permite evitar la posible inclusión, no deseada de los altocúmulos, es decir, de las nubes de agua, ya que éstas limitarían la medición de los Cirrus ya que la altura de la base supera los 6 Km.

VI. RESULTADOS

El criterio adoptado para la detección, selección y verificación de las nubes denominadas Cirrus, coincide con la definición de los Cirrus propuesta por el Grupo de Coordinación Internacional de Estudios de la Atmósfera con Láser (ICLAS), donde quedan definidos los Cirrus a partir de mediciones LIDAR.

Los Cirrus son considerados como capas de cristales de hielo o partículas por encima de los 6 Km situados en una masa de aire a una temperatura menor de 25°C bajo cero. Otra de las características importantes de los Cirrus es que pueden mostrar una gran variabilidad espacial y temporal^{[21],[22]}.

Se presentan dos series de resultados, la primera serie que corresponde a las figuras 2 a 6, representan los resultados del procesamiento de señales realizado a partir de las mediciones hechas el 25 de mayo del 2006. La serie completa corresponde a 593 perfiles registrados donde cada perfil representa 500 disparos de Láser promediados (para mejorar la relación Señal / Ruido).

Los resultados de la primera serie corresponden a: Fig. 2: Evolución temporal del Cirrus (~ 9 horas de adquisición ininterrumpidas). Fig. 3: Evolución del Espesor Óptico, parámetro cualitativo del Cirrus. Fig. 4: Evolución del Coeficiente de Extinción de la Serie.

Fig. 5: Evolución del Coeficiente de Retrodifusión de la Serie y Fig. 6: Evolución del factor denominado 'Lidar Ratio' (relaciona los coeficientes de extinción y de retrodifusión).

La segunda serie de resultados, que corresponden a las figura 7 a 13, representan los datos procesados de las mediciones realizadas durante los años 2005 y 2006. Para el análisis de los resultados se procesaron más de 40.000 perfiles de datos con diferentes señales LIDAR, aproximadamente el 90 % de las mismas corresponden a observaciones diurnas y en promedio las series de datos corresponden a 3,5 horas de medición continua.

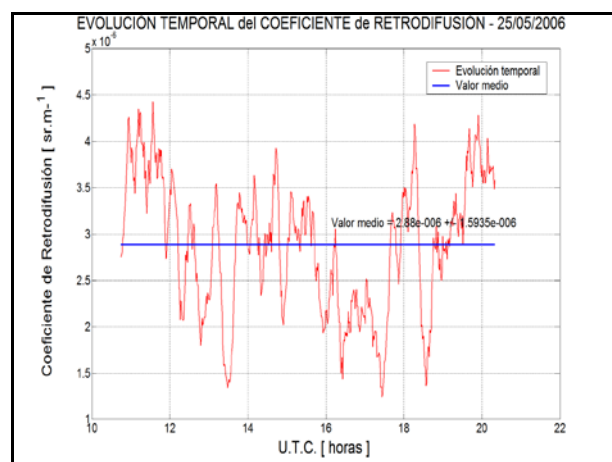


Figura 5 – Evolución Temporal del Coeficiente de Retrodifusión..

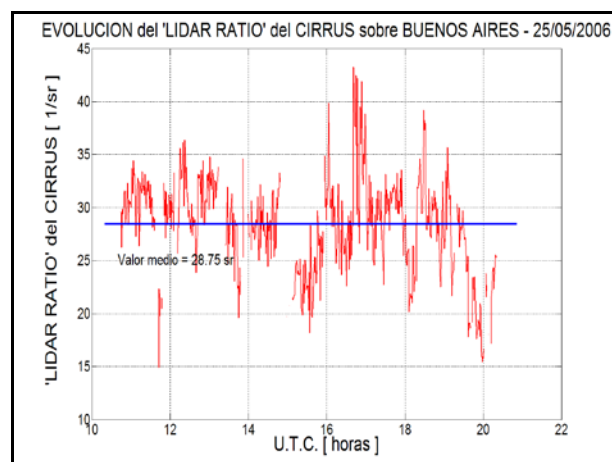


Figura 6 – Evolución Temporal del 'Lidar Ratio'.

La figura 7 representa la evolución bianual del tope de los Cirrus comparado con la altura de la primera tropopausa, dato tomado de la radiosonda de Ezeiza.

Cabe destacar que, en aproximadamente un 80 % de los casos, uno o un número reducido de perfiles de los datos adquiridos, de cada serie temporal, coincide en tiempo con la medición de la radiosonda que se realiza en Ezeiza por el Servicio Meteorológico Nacional; es decir que las mediciones son simultáneas. Se puede observar en dicha figura, además, que hay varios puntos de cruce o coincidencia entre las curvas, lo que nos refleja que

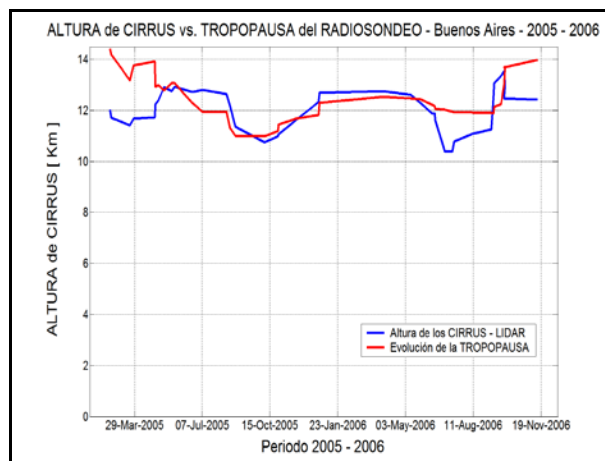


Figura 7 – Evolución Bi-Anual del Tope del Cirrus y la Altura de la 1er. Tropopausa.

varias series corresponden a Cirrus de la Tropopausa y hay otros que sobrepasan la altura de la primer tropopausa del radiosondeo. Las figuras 8 y 9 nos muestran datos estadísticos entre la altura de la Tropopausa dada por el radiosondeo y el tope y base de las series de Cirrus. Datos que se utilizan para caracterizar los tipos de cirrus presentes sobre Buenos Aires.

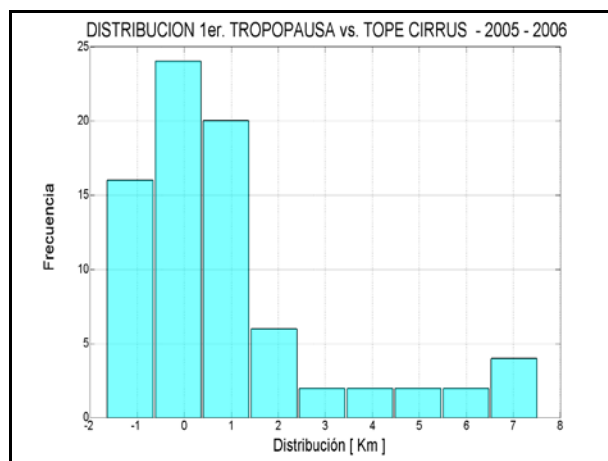


Figura 8 – Distribución Tope vs. Tropopausa

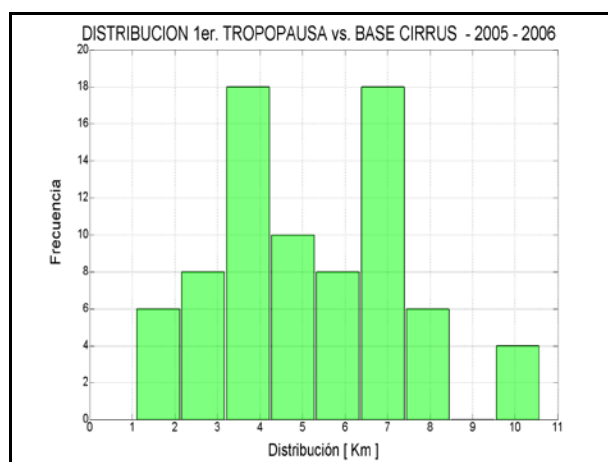


Figura 9 – Distribución Base vs. Tropopausa

Finalmente, las figuras 10 a 13 nos muestran los mismos parámetros que en la primer serie pero en este caso corresponden al período de 2 años donde cada serie está representada por el valor medio del parámetro correspondiente.

Conclusiones

El presente estudio relaciona el tope y la base del Cirrus respecto a la altura de la Tropopausa, esto indica que la mayoría de los Cirrus se encuentran por

debajo de la primer Tropopausa, en este período y con los datos obtenidos, se pudieron detectar algunos casos donde el Cirrus evoluciona por encima de la primer Tropopausa ($\sim 15\%$). Los parámetros característicos de los Cirrus reflejan que en su mayoría son sub visibles y de gran espesor geométrico, esto último resultó consistente con observaciones efectuadas años anteriores. Queda por realizar una mayor cantidad de observaciones estacionales y anuales para poder caracterizar completamente los Cirrus sobre Buenos Aires. Queda pendiente para futuras observaciones el estudio del efecto de múltiple 'scattering' sobre la señal adquirida. Por último se logró observar, al menos con los datos obtenidos durante el 2005 y 2006 un incremento de casos observados de los denominados Cirrus de la Tropopausa.

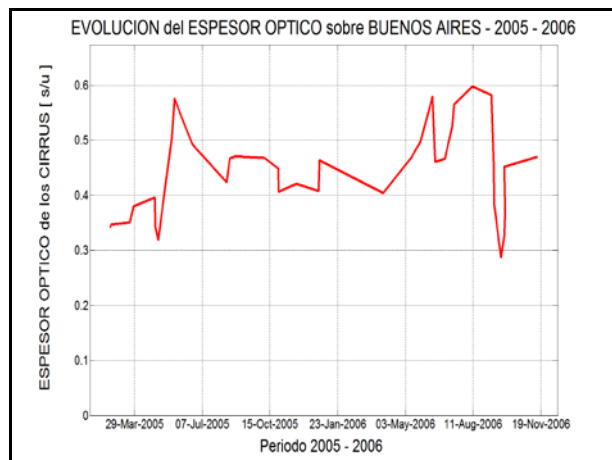


Figura 10 – Evolución Bi-Anual del Espesor Óptico.

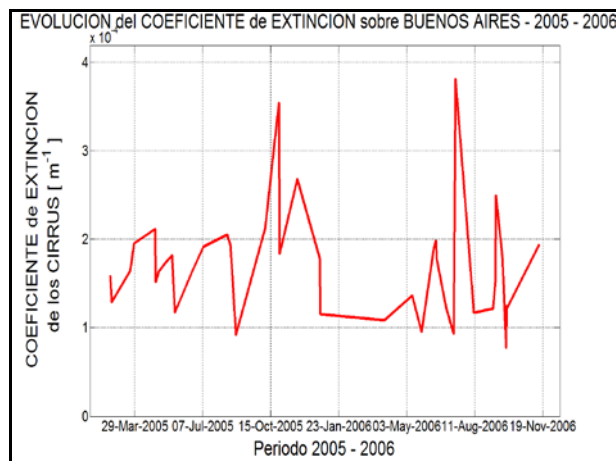


Figura 11 – Evolución Bi-Anual del Coeficiente de Extinción.

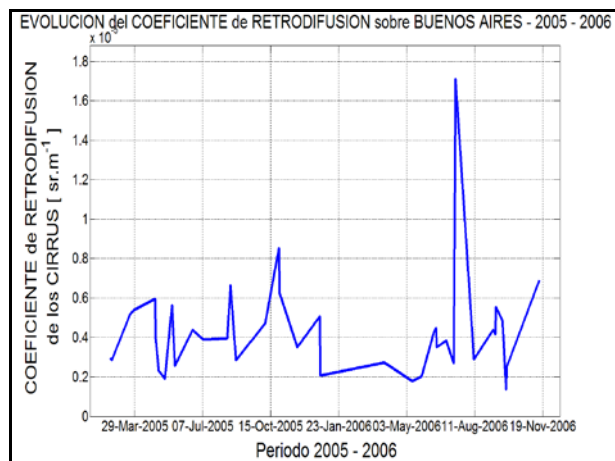


Figura 12 – Evolución Bi-Anual del Coeficiente de Retrodifusión.

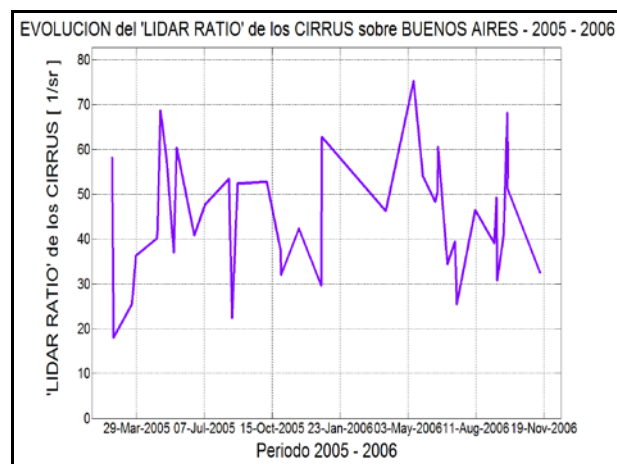


Figura 13 – Evolución Bi-Anual del 'Lidar Ratio'.

Agradecimientos.

Los autores agradecen al 'Centro de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa' (CITEDEFF) por el apoyo dado para el mantenimiento de la Estación LIDAR; a la 'Pontificia Universidad Católica, Facultad de Ingeniería de la cual depende el PEPACG (UCA – CONICET) y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET) PIP 2007 – 1813.

Referencias.

- 1 - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001), The Scientific Basis, edited by: J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C. A. Johnson, 881 pp., Cambridge Univ. Press, New York.
- 2 - Solomon, S., et al.: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change - Technical Summary, in Climate Change 2007: The Physical Science Basis., edited by S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. Averyt, M. Tignor, and H. L. Miller, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. 2560.

- 3 - WMO (1957), Definition of the tropopause, WMO Bull., 6, 136.
- 4 - Sunilkumar, S. V., and K. Parameswaran (2005), Temperature dependence of tropical cirrus properties and radiative effects, *J. Geophys. Res.*, 110, D13205, doi:10.1029/2004JD005426.
- 5 - Cantrell, W., and A. Heymsfield (2005), Production of ice in tropospheric clouds: A review, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 62(7), 2352–2372.
- 6 - Heymsfield, A. J., and L. M. Miloshevich (2003), Parameterizations for the cross-sectional area and extinction of cirrus and stratiform ice cloud particles, *J. Atmos. Sci.*, 60, 936–956.
- 7 - Holton, J. R., P. H. Haynes, M. E. McIntyre, A. R. Douglass, R. B. Rood and L. Pfister, 1995: Stratosphere-troposphere exchange. *Reviews of Geophysics*, 33, 403–439.
- 8 - Shepherd T. G.: Issues in Stratospheric-tropospheric coupling, *J. of the Meteorol. Society of Japan*, 80, 769–792, 2002.
- 9 - Stohl et al.: Stratosphere-troposphere exchange: A review, and what we have learned from STACCATO, *J. Geophys. Res.*, 108(D12), 8516, doi:10.1029/2002JD002490, 2003.
- 10 - Seidel, D.J and Randel, J. W.: Variability and trends in the global tropopause estimated from radiosonde data, *J. Geophys. Res.*, 111, D21101, doi:10.1029/2006JD007363, 2006.
- 11 - McFarquhar, G. M., Heymsfield A. J., Spinhirne J., Hart B., (2000), Thin and subvisual tropopause tropical cirrus: Observations and radiative impacts, *J. Atmos. Sci.*, 57, 1841 – 1853.
- 12 - Garrett, T. J., et al. (2005), Evolution of a Florida cirrus anvil, *J. Atmos. Sci.*, 62, 2352–2372.
- 13 - Lakkis S.G.; Lavorato M.B.; Canziani P.O. (2009), Monitoring cirrus clouds with LIDAR in the Southern Hemisphere: a local study over Buenos Aires. 1. Tropopause heights. *Atmos. Res.*, doi:10.1016/j.atmosres.2008.08.003
- 14 - M. Lavorato, P. Cesarano, E. Quel and P. Flamant, “A dual receiver-backscatter lidar operated in Buenos Aires (34.6 S / 58.5 W) to ”. *Proceeding: 21th ILRC (International Radar Laser Conference)*, pp75-78, Quebec – Canada, (2002).
- 15 - M. Lavorato, M. Pagura, P. Cesarano y P. Flamant, “Monitoreo de la troposfera mediante un lidar de retrodifusión en Buenos Aires: recopilación anual de las series de datos adquiridos”, *Anales Asociación Física Argentina*, ISSN:: 0327-358 X, vol 16, p.275-278, (2004).
- 16 - M. Lavorato, P. Flamant, J. Porteneuve, M. Pagura, P. Cesarano y P. Canziani, “Monitoring of the troposphere by backscatter lidar in Buenos Aires (34.6 S / 58.5 W): Overview of the multi year data set and implementation of new IR channels and depolarization capability”. *Proceeding: 22th ILRC (International Radar Laser Conference)*, pp156-159, Matera – Italy, (2004).
- 17 - Lakkis, G; Lavorato, M.; Canziani P., Monitoring cirrus clouds with LIDAR in the Southern Hemisphere: a local study over Buenos Aires. 1. Tropopause heights. *Atmospheric Research* (2009), doi:10.1016/j.atmosres.2008.08.003.
- 18 - Rossow, W. B., and L. C. Garder (1993), Cloud detection using satellite measurements of infrared and visible radiances for ISCCP, *J. Clim.*, 6, 2341– 2369.
- 19 - Naud, N., M. Haeffelin, P. Muller, Y. Morille, and A. Delaval (2004), Assessment of MISR and MODIS cloud top heights through comparison with a back-scattering lidar at SIRTa, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L04114, doi:10.1029/2003GL018976.
- 20 - Daloze, J.-F., and M. Haeffelin (2005), Validation of SAFNWC/MSG cloud top height using ground-based lidar and radar measurements, in *Visiting Scientist Report*, CMS Lannion.
- 21 - Chiriaco, M., H. Chepfer, V. Noël, A. Delaval, M. Haeffelin, P. Dubuisson, and P. Yang (2004), Improving retrievals of cirrus cloud particle size coupling lidar and three-channel radiometric techniques, *Mon. Weather Rev.*, 132, 1684– 1700.
- 22 - Sassen, K. (1991), The polarization lidar technique for cloud research: A review and current assessment, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 72, 1848– 1866.