

Detección de Procesos de Intrusión de Masas de Aire Utilizando un Análisis Estadístico de Series Temporales de Fotómetros Solares

L. A. Otero^{1,3}, P. R. Ristori^{1,4}, G. J. Fochesatto¹, E. J. Quel¹, B. Holben²

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

(2) NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, U.S.A.

(3) Becaria CONAE.

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

lotero@citefa.gov.ar

Se presenta una metodología de tratamiento de datos de propiedades ópticas de masas de aire con el fin de detectar y estudiar procesos de intrusión de intercambio regional basados en las anomalías del espesor óptico de aerosoles en la atmósfera. La metodología utilizada se basa en el cálculo de un estimador de segundo orden dependiente de una ventana móvil ajustable en el tiempo con el fin de computar su variabilidad multiescala: desde procesos de ciclo diurno hasta aquellos de escala sinóptica.

Usando el análisis multidimensional de descomposición en valores singulares del ensamble espectral de las propiedades ópticas de la masa de aire se detectaron los episodios de intrusión. Luego con el análisis unidimensional de varianza se identificaron las escalas temporales dominantes en dichos eventos. Los datos utilizados en este trabajo se basan en el espesor óptico de aerosoles atmosféricos obtenidos mediante fotómetros solares que operan en la banda espectral (380 nm – 870 nm) de la red AERONET / NASA ubicados en la región centro-norte Córdoba CETT (Centro Espacial Teófilo Tabanera de CONAE, 31.5° S, 64.4° W) y en la Pampa Húmeda, Buenos Aires CEILAP (Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones, CONICET-CITEFA, 34.5° S, 58.5° W).

An statistical methodology of data processing of the air masses optical properties is presented. The main objective of this work is the detection and study of intrusion process accounting for regional air masses exchange based on atmospheric aerosols optical thickness anomalies. The statistical methodology is based on the calculation of a second order temporal series estimator, which is dependent of an adjustable timeframe moving window data. This statistical estimator serve to analyses the multiscale variability process from diurnal cycle to a synoptic scale. A multidimensional singular value decomposition of the ensemble spectral of the aerosol optical thickness of the air mass was used to detect intrusion time episodes independently. Therefore, using the unidimensional analysis of variance, the dominant temporal scales in these events were identified. This work are based on the atmospheric aerosols optical thickness data obtained by sun photometers that operates in spectral band (380 nm – 870 nm) of network AERONET/NASA. Data analyzed comes from the region center-north Córdoba CETT (Centro Espacial Teófilo Tabanera of CONAE, 31.5° S, 64.4° W) and from the Humid "Pampa", Buenos Aires CEILAP (Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones, CONICET-CITEFA, 34.5° S, 58.5° W).

I. INTRODUCCIÓN.

Las propiedades ópticas de la masa de aire son una característica sensible a las mediciones con fotómetros solares en las bandas de transmisión atmosféricas ubicados tanto en superficie como en plataformas satelitales. En particular, dichas propiedades ópticas pueden ser utilizados como elementos que permiten evaluar el impacto de procesos meteorológicos que generan episodios de contaminación ambiental. Por otro lado, si consideramos las mediciones ópticas en un punto veremos que la estimación de las series temporales de parámetros ópticos contienen embebida la información de las diferentes escalas atmosféricas dominantes en el tiempo. En este trabajo se describe una metodología para la detección de episodios de intrusión regional de masas de aire y su calibración mediante un análisis multivariado en descomposición de valores singulares en el tiempo. Los datos utilizados en este trabajo se basan en series temporales diurnas del espesor óptico de aerosoles atmosféricos obtenidos mediante fotómetros solares en la banda espectral (380 nm - 870 nm) de la red AERONET / NASA⁽¹⁾ ubicados en la región centro-norte Córdoba CETT (Centro Espacial Teófilo Tabanera de CONAE) y en la Pampa Húmeda,

Buenos Aires CEILAP (Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones, CONICET-CITEFA).

Los datos de Buenos Aires corresponden al período Octubre-Diciembre de 1999, Enero-Diciembre del 2000 y 2001 así como también el período Enero-Febrero del 2002. Los datos de Córdoba corresponden al período Octubre-Diciembre de 1999 y Enero-Noviembre del 2000. Tanto los datos de Buenos Aires como los de Córdoba pertenecen al Nivel 2 de la red AERONET, es decir, son datos donde se les ha extraído la contribución al espesor óptico por parte de la cobertura nubosa y además fueron recalibrados y revisados por dicha red.

II. METODOLOGÍA DE CÁLCULO.

Los procesos de intrusión de masas de aire se caracterizan por producir un cambio en las propiedades ópticas de las masas de aire que se reflejan sobre los diferentes momentos estadísticos de la serie temporales espectrales de AOT (Aerosol Optical Thickness, espesor óptico de aerosoles, τ). Una metodología simple que surge en consecuencia es la evaluación del momento de segundo orden, varianza de la serie temporal, para poder extraer los episodios que se buscan. Adicionalmente se presenta el problema de que dicho proceso debe evaluarse en un cierto número de días de acuerdo a la

escala atmosférica dominante. Para ello, con el objetivo de determinar la posición de los eventos y calibrar de esta forma el ancho de la ventana de temporal de evaluación de la varianza se efectuó un análisis de descomposición en valores singulares. Realizando entonces una descomposición en valores singulares (SVD), se pueden calcular y evaluar los coeficientes temporales de expansión de la señal de AOT^(2, 3, 4, 5).

La matriz de datos está formada por los valores medios diarios del AOT entre las 1000 a 1400 hora solar y en el intervalo $0.01 < \tau < 3$. Asimismo, se eliminaron los días con una sola medición por su baja representatividad estadística y se completó con cero los días lluvia, según la base de datos GCPC (Global Precipitation Climatology faltantes en la serie ocasionados por episodios de Project-Laboratory for Atmospheres NASA Goddard Space Flight Center). Por otro, lado se calculó un estimador estadístico unidimensional de segundo orden dependiente de una ventana móvil ajustable en el tiempo, $\sigma_{iq}^{(6,7,8)}$ para el mismo conjunto de datos, con el fin de computar nuevamente la variabilidad del espesor óptico de una manera más simple.

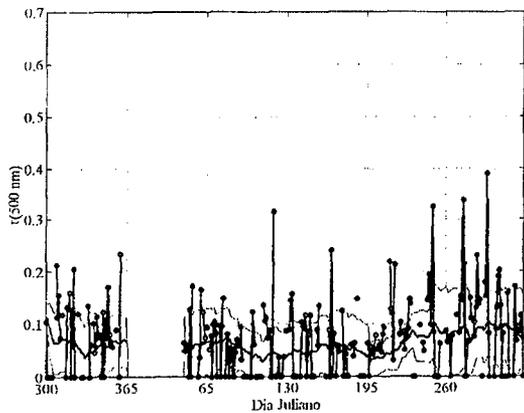


Figura 1. Espesor óptico de aerosoles atmosféricos para 500 nm en la estación de Buenos Aires para los años 1999 y 2000. Valor medio (línea negra sin marcador), desvío estándar (sombreado gris).

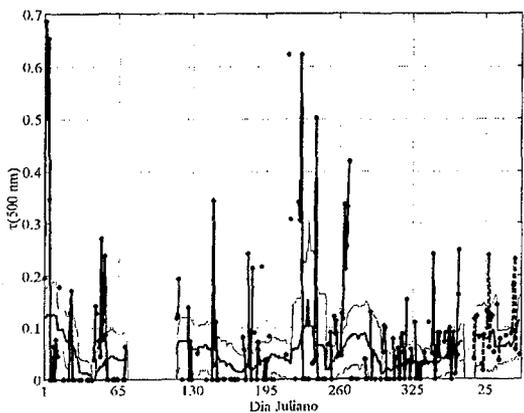


Figura 2. Espesor óptico de aerosoles atmosféricos para 500 nm en la estación de Buenos Aires para los años 2001 y 2002. Valor medio (línea negra sin marcador), desvío estándar (sombreado gris).

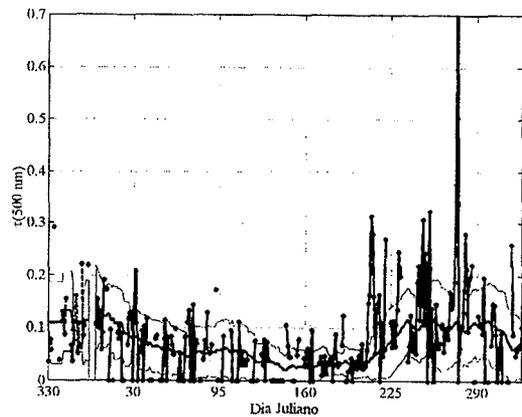


Figura 3. Espesor óptico de aerosoles atmosféricos para 500 nm en la estación de AERONET de Córdoba para los años 2001 y 2002. Valor medio (línea negra sin marcador), desvío estándar (sombreado gris).

Si comparamos los días identificados por el análisis multivariado con los días identificados por el σ_{iq} comprobamos que en un 87 % de los casos presentados para Buenos Aires para los años 1999, 2000, 2001 y 2002 y en un 94 % para Córdoba para los años 1999 y 2000, ambos métodos arrojan la misma respuesta. La representatividad de la descomposición en valores singulares tomando los tres primeros ordenes es superior al 86 % en todos los casos. No se obtuvo una correspondencia del 100% en ninguno de los dos casos, pero esto es debido a que el σ_{iq} es dependiente de la completitud de la serie de datos a estudiar.

III. SERIE CLIMATOLÓGICA DE AOT. ESTIMACIÓN DE LA DURACIÓN DE LOS EVENTOS DE INTRUSIÓN.

Con el fin de obtener una serie climatológica de AOT y su desviación estándar representativa; se extraen de la serie de espesores ópticos los días identificados por los estimadores anteriormente descriptos. Es decir, se obtiene una nueva serie de valores de espesores ópticos construida extrayendo los episodios de intrusión. Con esta serie se calcula para cada día del año el valor medio y la desviación estándar considerando el proceso en el tiempo del tipo causal con treinta días de ventana anteriores a la medición considerada. Los resultados del valor medio (línea negra sin marcador) y del desvío estándar (sombreado gris) se pueden observar en las Figuras 1 y 2 para Buenos Aires y en la Figura 3 para Córdoba.

A partir de estos gráficos se pueden extraer las series de días que superan la media más el desvío correspondiente, dando cuenta de la duración de los eventos de intrusión.

TABLA I - Buenos Aires				
Días analizados	38	171	117	34
Duración del evento	Año 1999	Año 2000	Año 2001	Año 2002
1 días	7	34	22	3
2 días	1	7	7	1
3 días	1	2	3	-
4 días	-	1	3	-
5 días	-	-	1	-
6 días	-	-	-	-
7 días	-	-	1	-

TABLA II - Córdoba				
Días analizados	36	191	-	-
Duración del evento	Año 1999	Año 2000	Año 2001	Año 2002
1 día	4	19	-	-
2 días	-	8	-	-
3 días	1	3	-	-
4 días	-	1	-	-
5 días	-	-	-	-
6 días	-	-	-	-
7 días	-	-	-	-

En la Tabla I se pueden ver las series para Buenos Aires sobre un total de: 38 días analizados para el año 1999, 171 para el año 2000, 117 para el año 2001 y 34 para el año 2002. En la Tabla II se pueden ver las series para Córdoba sobre un total de: 36 días analizados para el año 1999 y 191 para el año 2000.

En la Tabla I para Buenos Aires como en la Tabla 2 para Córdoba, se muestra en las columnas los diferentes años analizados para cada estación y en las filas la cantidad de eventos que superaron el valor medio más el desvío estándar, clasificando esos eventos según su duración de uno a siete días. Es decir, para Buenos Aires en el año 2000 existieron 34 eventos que duraron 1 día; 7 eventos que duraron 2 días; 2 eventos que duraron 3 días y 1 evento que duró 4 días.

De este análisis surge la variabilidad natural en Buenos Aires con 34 casos (entre 171 días analizados) frente a Córdoba con 19 casos (entre 191 días analizados) dando cuenta de la interacción de la tropósfera baja con las brisas de intercambio con el Río de la Plata. Finalmente, para los años 2001 y 2002 los datos no se encuentran aún calibrados para la estación de Córdoba.

IV. ANÁLISIS DE EVENTOS.

Se seleccionaron dos eventos uno por cada estación para ejemplificar dos procesos de intrusión de masas de aire detectados con esta metodología^(9,10). Para la estación de Buenos Aires, se seleccionó un evento que duró cuatro días entre los días julianos 46 a 55 del 2000. A partir del día juliano 50 se puede observar en la Figura 4a en línea llena que el espesor óptico comienza a aumentar en forma monótona creciente y como se aparta de su valor medio, línea a trazos para 500 nm. Para la estación de Córdoba, Figura 5a, se seleccionó un evento con una duración de cuatro días entre los días julianos 264 a 275 del 2000, también se puede observar en línea llena la evolución del espesor óptico y en línea a trazos el valor medio climatológico correspondiente a 500 nm. En la Figura 4b y 4c se

muestran los patrones geopotenciales de reanálisis a 850 hPa del NCEP, (National Center for Environmental Prediction), del principio y fin del episodio estudiado. En ellas se verifican diferencias entre los patrones sinópticos que dan cuenta de la variabilidad experimentada por el AOT medido al pasar de una situación de bloqueo anticiclónico a una situación ciclónica al final del episodio. Esto se refleja en el cambio del espesor óptico medido por efecto del cambio en la masa de aire en consecuencia. De la misma forma para la estación continental Córdoba se visualiza en la Figura 5b una situación anticiclónica bien establecida durante los cinco primeros días del episodio, lo cual se refleja en una muy baja variabilidad del AOT. Luego en la Figura 5c se verifica una apertura en las isobaras a 850 hPa lo cual origina el intercambio de masas de aire en la tropósfera baja el que es seguido por la medición de AOT según la Figura 5a.

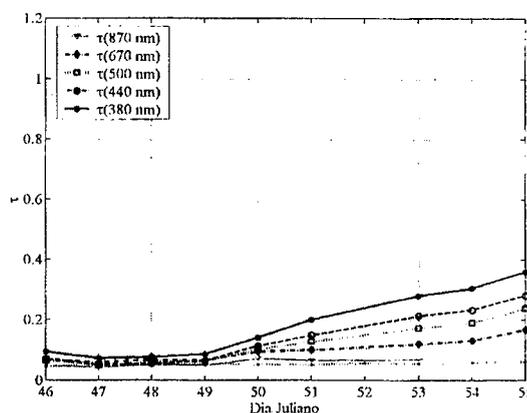


Figura 4a. Aumento del espesor óptico de aerosoles atmosféricos para la estación de Buenos Aires para los días julianos 46 a 55 del año 2000.

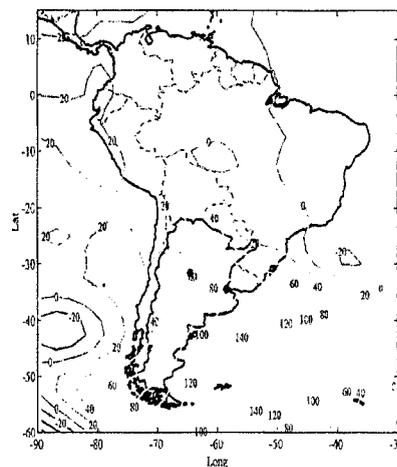


Figura 4b. Anomalia en el patrón de geopotencial a 850 hPa para el 16 de febrero de 2000.

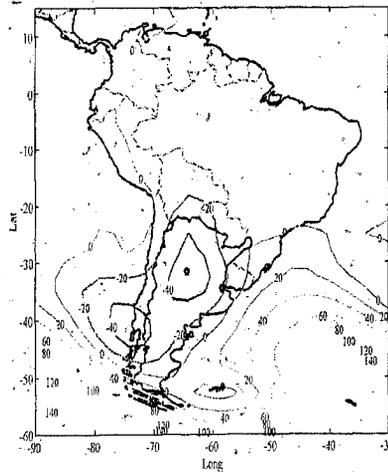


Figura 4c. Anomalia en el patrón de geopotencial a 850 hPa para el 26 de febrero de 2000.

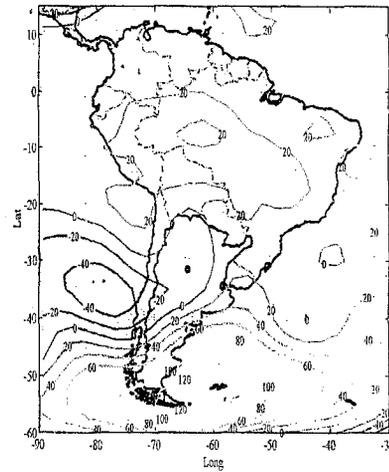


Figura 5c. Anomalia en el patrón de geopotencial a 850 hPa para el 2 de octubre de 2000.

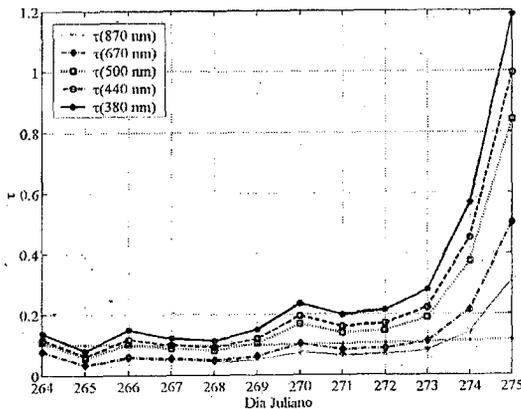


Figura 5a. Aumento del espesor óptico de aerosoles atmosféricos para la estación de Córdoba para los días julianos 264 a 275 del año 2000.

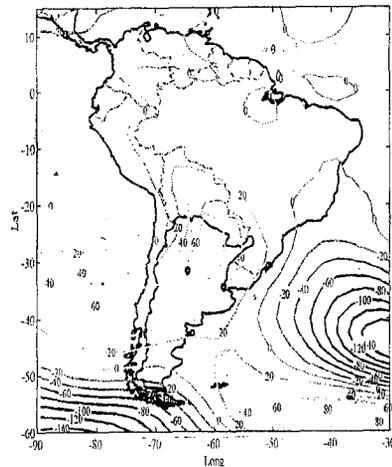


Figura 5b. Anomalia en el patrón de geopotencial a 850 hPa para el 24 de septiembre de 2000.

V. CONCLUSIONES.

La metodología presentada permite evidenciar episodios de cambios de las masas de aire asociados al movimiento migratorio de los siste CEILAP (CITEFA-CONICET)- San Juan 'B. De La Salle 4397 - B1603ALO Villa Martelli-Argentina mas de presión característicos de las latitudes medias como las de la región central de la Argentina.

La metodología ha sido probada mediante una herramienta multidimensional como la SVD para calibrar la ventana de calculo de las series temporales; la cual coincide en forma aproximada con el período de desarrollo de los procesos migratorios en la región central de Argentina. Por otro lado, la serie climatológica obtenida con valores reducidos de AOT en invierno y valores altos en primavera y el verano explica la presencia de convección dominante en dichos periodos.

Por otro lado la metodología no permite detectar la naturaleza de la intrusión; es decir, que solo permite extraer episodios donde el AOT se aparta sensiblemente del valor climatológico en forma positiva o negativa. La naturaleza de la intrusión deber ser detectada utilizando información adicional como la distribución de volumen de partículas, retrotrayectorias, etc.

Posteriores contribuciones se concentrarán en los periodos anticiclónicos de larga duración los cuales permiten deducir los tiempos de carga de los aerosoles en la atmósfera y el tiempo de establecimiento de los mismo en las proximidades de su valor climatológico.

VI. REFERENCIAS.

- 1 - Holben, B.N., et al. "AERONET- A Federated Instrument Network and Data Achieve for Aerosol Characterization", *Remote Sens.* **12**, 1147-1163, 1991.
- 2 - Bretherton, C., C. Smith, and J. Wallace, "An Intercomparison of Methods for Finding Coupled Patterns in Climate Data", *J. of Climate*, **5**, 541-560, 1992.
- 3 - Ristori P., Tesis de maestria en ingeniería biomédica. "Análisis de Señales de Retrodifusión Lidar: Aplicación al Estudio de la Dinámica de Capa Límite Atmosférica". Universidad de Favaloro, 2002.

- 4 - Eskridge, R. E., J. Y. Ku, S.T. Rao, P. S. Porter and I. G. Zurbenko, "Separating Different Scales of Motion in Time Series of Meteorological Variables", *Bull. Amer. Metero. Soc.*, **78**, 1473-1483, 1997.
- 5 - Soley, F. J. and E. J. Alfaro, "Aplicación de Análisis Multivariado al Campo de Anomalías de Precipitación en Centroamérica", *Top. Meteor. Oceanogr.*, **6(2)**:1-23, 1999.
- 6 - Otero L. A.(a) et al. "Atmospheric Aerosol Radiative Parameters Characterization from Argentina using the AERONET / NASA Data Base". Proc. of ISRSE, Buenos Aires, 2002.
- 7 - Otero L. A. (b), et al. "Spaciotemporal Evolution of Atmospheric Aerosol Properties in Argentine from AERONET / NASA". Conference of American Geophysical Union, Washington DC, 2002.
- 8 - Takeuchi K., Yanai H., Mukherjee, B.N. "The Foundations of Multivariate Analysis". Wiley, 1984.
- 9 - Ristori, P. (a) et al., "Characterization of the Atmospheric Aerosols in the Buenos Aires Area Using Sun Photometer Measurements". Proc. SPIE, Vol. **4419**, pp. 506-509. 2001.
- 10 - Otero, L.A. (c), et al., "Aerosoles Atmosféricos Medidos en Diferentes Lugares de la Argentina con la Red AERONET/ NASA". Aceptado para su publicación en Anales AFA 2001.

VII. AGRADECIMIENTOS.

Los autores agradecen a la red AERONET, a la CONAE y al CONICET por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo.