

AEROSOLIOS ATMOSFÉRICOS MEDIDOS EN DIFERENTES LUGARES DE LA ARGENTINA CON LA RED AERONET / NASA

L. Otero^{1,6}, P. Ristori^{1,7}, J. Fochesatto¹, P. H. Flamant², E. Wolfram^{1,8}, E. Quel¹, R. Piacentini^{3,4}, B. Holben⁵, C. McClain⁵.

- (1) CEILAP (CITEFA-CONICET)- SAN JUAN B. DE LA SALLE 4397 - B1603ALO VILLA MARTELLI-ARGENTINA. *foch@citefa.gov.ar*.
(2) LABORATOIRE DE MÉTÉOROLOGIE DYNAMIQUE. ECOLE POLYTECHNIQUE. PALAISEAU, FRANCE.
(3) INSTITUTO DE FÍSICA ROSARIO (CONICET-UNROSARIO). ROSARIO, ARGENTINA.
(4) FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERIA Y AGRIMENSURA. U. N. DE ROSARIO.
(5) NASA GODDARD SPACE FLIGHT CENTER, GREENBELT, MARYLAND, U.S.A.
(6) BECARIA CONAE. (7) BECARIO ANPCYT. (8) BECARIO CONICET.

Se determinaron parámetros ópticos de los aerosoles atmosféricos (partículas en suspensión) mediante la red AERONET de la NASA. Esta red emplea fotómetros solares que fueron ubicados en tres lugares relativamente representativos de Argentina: la región centro-norte Córdoba CETT (Centro Espacial Teófilo Tabanera de la CONAE, 31.5° S, 64.4° W), la Pampa Húmeda Buenos Aires CEILAP (Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones, CONICET-CITEFA, 34.5° S, 58.5° W) y la Patagonia, Puerto Madryn (42.78° S, 65.0° W). Empleando datos de radiación solar directa, se obtuvo el espesor óptico de aerosoles en las longitudes de onda 1020, 500 y 340 nm así como el coeficiente de Ångström. Los datos se emplearon para determinar la influencia de las masas de aire local y regional y así obtener el espesor óptico de aerosoles y evaluar su contribución potencial en episodios de contaminación atmosférica.

A statistical analysis of atmospheric aerosols optical parameters is made using the sun photometer network from Argentine as a part of AERONET (Aerosol Robotic Network)/NASA. Sun photometers instruments are deployed at three different sites covering the regions north-central at Córdoba CETT (31.5° S, 64.4° W), "Pampa Húmeda" at Buenos Aires CEILAP (34.5° S, 58.5° W), and Patagonia at Puerto Madryn (42.78° S, 65.0° W). Using the direct spectral solar radiation data set, time series of key optical parameters such as the optical depth at 1020, 500 and 340 nm and Ångström coefficient of the wavelength scaling law are derived for each stations. Data arrays are then partitioned to determine the air mass type mechanism which influences the aerosols optical depths and radiative properties for each station. The role of air mass source local and regional in defining aerosols optical depth is evaluated in terms of its potential contribution to pollution episodes in air quality problems.

I. INTRODUCCIÓN.

Los aerosoles son pequeñas partículas suspendidas en la atmósfera que pueden localizarse en mezclas con componentes atmosféricos en fases líquida y gaseosa. Las características microfísicas más importantes son su distribución de tamaños, el índice de refracción y su higroscopía. El diámetro medio se ubica entre 0,01–100 μm . Su distribución espacio temporal es una de las variables geofísicas menos conocidas hasta el presente, ya que en general los diferentes tipos de aerosoles dependen de la ubicación geográfica, de las condiciones meteorológicas y de la circulación atmosférica en diferentes escalas. Su origen esta relacionado con causas naturales y antropogénicas, como por ejemplo el polvo proveniente de zonas áridas y semiáridas⁽¹⁾, la combustión de procesos industriales, la quema de bosques, las erupciones volcánicas, etc.

Uno de los principales impactos de la presencia de aerosoles en la atmósfera está asociado con la alteración de la transferencia radiativa terrestre dada por la atenuación de radiación originada por difusión y la absorción, así como por la alteración del ciclo biogénico con influencias en el balance de biomasa terrestre, la producción agrícola y la salud humana. Actualmente, el

estudio de esta problemática se lleva a cabo por medio de observaciones en superficie, red AERONET de fotómetros solares, satélites tales como TOMS, TERRA, MODIS, y a partir de instrumentación de teledetección activa mediante lidars en diferentes lugares de la tierra.

Este trabajo presenta un análisis estadístico de las principales propiedades radiativas asociadas a los aerosoles distribuidos en diferentes regiones de la Argentina: Buenos Aires, Córdoba y Puerto Madryn a partir de las observaciones efectuadas por la red de fotómetros solares de AERONET para el año 2000.

II. LEY DE ÅNGSTRÖM. DESCOMPOSICIÓN ESPECTRAL.

La descripción del comportamiento radiativo se efectúa en base a las observaciones de radiación utilizando los fotómetros solares dispuestos en las tres regiones geográficas antes mencionadas. Dichos parámetros de análisis se basan en la evolución de los espesores ópticos en diferentes regiones espectrales, así como en la estimación de los parámetros de distribución de tamaños α y de turbidez β derivados de la ley de Ångström⁽¹⁾. Esta forma simple de representar la variación espectral de la atenuación atmosférica debida

a los aerosoles propone una ley potencial de variación espectral del espesor óptico, según ecuación (1):

$$\delta(\lambda) = \beta(\lambda_0) \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} \right)^{-\alpha} \quad (1)$$

donde β es denominado parámetro de turbidez o espesor óptico de aerosoles a $1 \mu\text{m}$, el cual es proporcional al valor medio de la concentración de aerosoles. La variación de β está comprendida entre 0 y 0,5 o valores aún mayores y está relacionada con la visibilidad atmosférica^(2,3). El coeficiente de Ångström, α , está relacionado con la distribución cuadrática media de los radios de aerosoles correspondientes a los rangos micrométricos y sub-micrométricos variando entre $0 < \alpha < 4$, y donde 4 representa la difusión Rayleigh. En la ecuación (1) λ se expresa en μm , siendo $\lambda_0 = 1 \mu\text{m}$. A partir de esta ley potencial, se pueden estimar las propiedades microfísicas de los aerosoles introduciendo el valor del exponente α en la distribución media de partículas de la ley de Junge⁽⁴⁾:

$$n(r) = c \cdot r^{-\nu} \quad (2)$$

donde $n(r)$ es la densidad de partículas en función del radio medio r , y $\nu = \alpha + 2$ es el exponente de Junge.

De esta forma analizando las observaciones del espesor óptico espectral, es posible estimar el comportamiento de los parámetros de Ångström por medio de la inversión matricial sobre la ecuación:

$$\log[\delta]_{\lambda_i} = \log[\beta] - \alpha \cdot \log \left[\frac{\lambda_i}{\lambda_0} \right] \quad (3)$$

En general estos parámetros son obtenidos para todo el rango espectral de las mediciones del fotómetro. Se ha demostrado^(5,6) que considerar a α como un coeficiente invariable sólo es válido para un pequeño intervalo de longitudes de onda. Es por esta razón que en el presente trabajo se han extraído dichos coeficientes separando los intervalos de observaciones en dos regiones VIS-IR y VIS-UV. Esta modificación en el cálculo de los parámetros tiene por objetivo poner en evidencia su comportamiento espectral de dichos coeficientes, los cuales serán más sensibles a los efectos radiativos ocasionados por los cambios de masa de aire.

En la Figura 1 se muestran los cálculos de α utilizando todas las longitudes de onda y realizando una descomposición espectral en la región VIS-UV. Se observa la distribución estadística del coeficiente α para dos condiciones sinópticas diferentes de estado estacionario: aerosoles locales y aerosoles de quema de biomasa con intrusión regional, correspondientes al fotómetro solar de Buenos Aires en los días 17 y 18 de marzo de 2000 respectivamente^(7,8).

En la Figura 2 se presenta el cálculo de la desviación porcentual correspondiente a la serie temporal de observaciones para una situación en estado estacionario y una de intrusión de meso escala, en base a las expresiones (4) y (5).

$$\varepsilon\% = \frac{\alpha_{\text{vis-ir}} - \alpha_{\text{total}}}{\alpha_{\text{total}}} \quad (4)$$

$$\varepsilon\% = \frac{\alpha_{\text{vis-uv}} - \alpha_{\text{total}}}{\alpha_{\text{total}}} \quad (5)$$

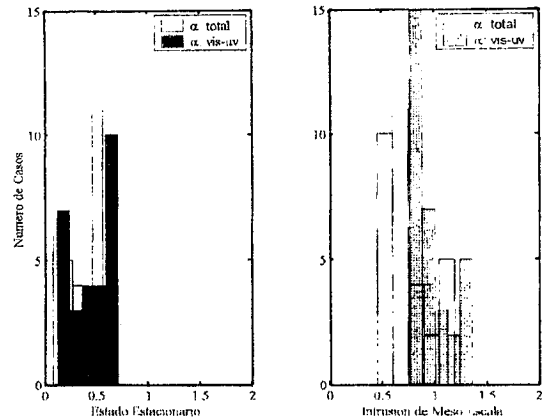


Figura 1. Distribución estadística durante un día de observaciones de los valores del parámetro de Ångström total, discriminado para la región VIS - UV.

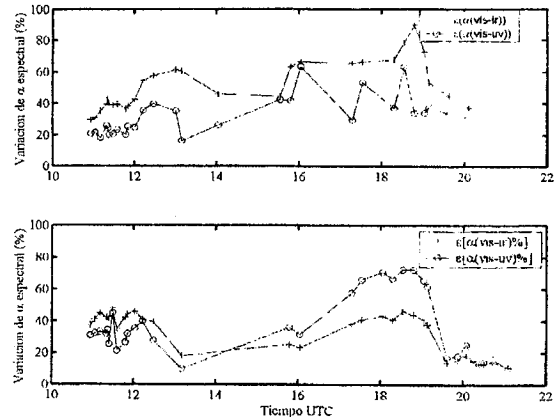


Figura 2. Desviación porcentual referidas al coeficiente global de Ångström respecto a las dos regiones espectrales para el 17/03/2000 (panel superior) y para el 18/03/2000 (panel inferior).

Se observa que en estado estacionario la desviación del coeficiente de Ångström correspondiente al rango VIS-IR permanece siempre por encima de la correspondiente al rango espectral VIS-UV dando cuenta de aerosoles de masa de aire local. Por otro lado, para el caso de la intrusión de aerosoles regionales, se verifica una variabilidad superior del coeficiente de Ångström para el rango espectral VIS-UV dando cuenta en este caso de la intrusión de aerosoles regionales.

III. TRATAMIENTO DE LA BASE DE DATOS.

Los datos obtenidos de la base de datos AERONET (AERosol RObotic NETwork)⁽⁹⁾ forman parte de un proyecto a escala mundial de monitoreo espacio temporal en columna vertical de las propiedades ópticas espectrales de los aerosoles presentes en la atmósfera.

Estos sistemas deben ser continuamente calibrados por lo cual dicha base de datos cuenta con tres niveles de confiabilidad:

Nivel 1 (datos en bruto), Nivel 1.5 (datos donde se ha extraído la contribución al espesor óptico por parte de la cobertura nubosa)⁽¹⁰⁾ y Nivel 2 (datos de nivel 1.5 recalibrados y asegurados). El análisis estadístico de los datos se basó en la estimación de una serie temporal de los espesores ópticos extraída tomando un intervalo de observaciones entre las 11:00 y las 13:00 hora solar (15:00-17:00 UTC) de tal forma que la influencia del espesor de masa de aire sea mínimo y por otro lado se corresponda con las horas de máxima irradiancia solar sobre la superficie de la tierra.

Como criterio adicional de tratamiento de los datos incluidos en la formación de las series temporales de mediciones, se consideraron los rangos siguientes:

a) Todo día que tenga una medición de espesor óptico que no se encuentre dentro del intervalo $0,01 < \delta(\lambda) < 0,7$, será rechazado del conjunto de medidas válidas.

b) Todo día que tenga una sola medición, no será tomado en cuenta debido a su escasa representatividad estadística.

c) Todo día en el que el cálculo de α resulta menor que cero será identificado y apartado del presente análisis.

En la tabla 1 se muestran la totalidad de las observaciones mensuales efectuadas en cada estación y el número de ellas que fueron analizadas de acuerdo a estos criterios.

IV. ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS.

El análisis de datos se basó en la extracción de una serie temporal de valores medios y la estimación de las dispersiones mensuales para cada estación en espesores ópticos en las longitudes de onda de 1020 nm, 500 nm y 340 nm y en los valores calculados de los parámetros de Ångström de acuerdo a lo mencionado arriba. La estimación de la varianza mensual se efectuó mediante la consideración de las variaciones de las sub-muestras extraídas:

-Variabilidad Vertical σ_v^2 , variancia en el sub-ensamble:

$$\sigma_v^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} (y_{ij} - y_i)^2 \quad (6)$$

-Variabilidad Horizontal $\sigma_{H_i}^2$, variancia entre sub-ensambles:

$$\sigma_{H_i}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m N_i (y_i - y)^2 \quad (7)$$

donde N es el número total de mediciones consideradas como válidas en el mes; N_i es la cantidad de mediciones dentro de cada sub-ensamble; m es la cantidad de días validos dentro del mes; y_{ij} , cada medición válida de δ

en una determinada longitud de onda por cada mes; y_i , es el valor medio de δ para cada día en ese intervalo temporal y a una determinada longitud de onda; y , es el valor medio total de δ correspondiente al mes en ese intervalo temporal y a una determinada longitud de onda. La estimación final de la dispersión mensual se efectuó considerando la contribución de la varianza vertical y horizontal:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_H^2 + \sigma_V^2} \quad (8)$$

La serie temporal estimada en espesores ópticos mensuales se muestra en la Figura 3 para los sitios observacionales de Córdoba y Buenos Aires, con la dispersión estimada mensual superpuesta.

Tabla 1. Datos de las tres estaciones Aeronet para el año 2000.

	Cantidad días : analizados/medidos		
	Buenos Aires Nivel 2	Córdoba Nivel 2	Puerto Madryn Nivel 1.5
Enero	3 / 5	16 / 17	-
Febrero	6 / 15	10 / 14	-
Marzo	12 / 17	13 / 15	-
Abril	7 / 8	7 / 9	-
Mayo	5 / 9	4 / 10	-
Junio	10 / 11	13 / 18	-
Julio	10 / 13	17 / 24	3 / 9
Agosto	8 / 15	20 / 22	10 / 22
Septiembre	15 / 15	20 / 24	8 / 12
Octubre	16 / 20	17 / 19	15 / 16
Noviembre	3 / 4	9 / 12	12 / 22
Diciembre	-	-	7 / 17

En estos gráficos se muestra una variabilidad de largo plazo muy similar en cuanto a las tendencias inter-estacionales. Se verifica asimismo un espesor óptico de casi el doble en 1020 nm en Córdoba respecto de Buenos Aires para casi todo el año 2000. De la misma forma se observa que el espesor óptico en 500 nm es sensiblemente superior, con un rango de variación de 1-2 de Córdoba respecto a Buenos Aires. En cambio al comparar las variabilidades experimentadas en 340 nm se verifica que el espesor óptico en Buenos Aires es similar y en algunos meses resulta superior al correspondiente de Córdoba. Esta característica distintiva en serie mensuales hace a las diferentes regiones en cuanto a que Córdoba tiene una influencia de masa de aire fundamentalmente continental y Buenos Aires recibe la influencia de la Cuenca del Plata.

Considerando el análisis estadístico para las tres estaciones en valor medio mensual y varianza, se puede extraer del total de casos observacionales con aerosoles de estado estacionario y de intrusión regional según el desarrollo mostrado en el trabajo de P. Ristori, et al. ⁽⁷⁾. La tabla 2 presenta el número de casos para cada estación que surge en consecuencia.

sobre Buenos Aires en conjunto con una influencia sinóptica distintiva.

Por otra parte, para el caso de Puerto Madryn, se observan radios de partículas en un rango mayor al de las otras estaciones. Esto es un reflejo de la masa de aire dominante en la región.

Tabla 3. Intervalo de variabilidad del radio de partículas.

	Buenos Aires	Córdoba	Puerto Madryn
Verano	0,5 – 2,5 μm	0,5 – 0,08 μm	---
Otoño	5 – 0,75 μm	0,5 – 0,06 μm	---
Invierno	3 – 0,5 μm	3 – 0,1 μm	5 – 0,8 μm
Primavera	2,5 – 0,5 μm	2 – 0,2 μm	5 – 0,8 μm

Si se analizan ahora las distribuciones de espesor óptico en 500 nm y el α VIS-UV en conjunto, se puede clasificar a priori la masa de aire dominante en media en cada estación del año por cada sitio utilizando el criterio empleado por Smirnov et al.⁽¹³⁾. En la tabla 4 se presenta dicha identificación para cada sitio.

Tabla 4. Masas de Aire Dominantes en cada sitio.

	Buenos Aires	Córdoba	Puerto Madryn
Verano	ST	T	--
Otoño	PC	ST	--
Invierno	PM	PC	PM
Primavera	ST	T	PC

Donde ST: Subtropical, PC: Polar Continental; PM: Polar Marítima; T: Tropical.

VI. CONCLUSIONES.

La estimación de las series temporales mensuales para cada estación en valores medios y varianzas, permite el estudio de las evoluciones de masas de aire y la caracterización de cada región en particular. Además, de las dos componentes de varianzas denominadas en este trabajo horizontal y vertical, se verifica que en condiciones de estado estacionario la varianza horizontal resulta superior a la vertical. Por el contrario cuando se dan situaciones de intrusión de aerosoles regionales, productos de procesos advectivos que modifican la masa de aire o de aerosoles de quemadas de biomasa, dichas varianzas son similares. Por consiguiente, la varianza del conjunto día a día será fuertemente dependiente de la varianza horizontal, lo cual se explica a partir de los cambios de fase a que se encuentra sujeta la dinámica de la Capa Límite Atmosférica (CLA). Estos cambios se dan en la fase diurna (inestable), con fuertes variaciones verticales de la masa de aire, y nocturna (estable) con rápidos intercambios horizontales, dados por la disminución de la resistencia aerodinámica de la superficie (la cual se compone de una resistencia aerodinámica propiamente dicha y la resistencia aerodinámica térmica inducida por las plumas convectivas)⁽¹⁴⁾.

Por otro lado, la diferencia observada en la estimación de la serie mensual de la estación de Puerto Madryn es explicable no solo por la diferencia de masas de aire a la que se encuentra sometida, polar marítima y polar continental, sino también por el hecho de que la masa

de aire es relativamente diferente debido al efecto asociado de la diferencia de latitudes entre estaciones.

En referencia al número de eventos observados con masas de aire no local, se comprueba que la estación de Puerto Madryn presenta un elevado número de casos, lo cual puede inicialmente atribuirse al hecho de que las masas de aire en dicha región son en general del tipo polar, dejando su interpretación final abierta hasta tanto no sean convertidos dichos datos a nivel 2 de calidad asegurada.

VII. AGRADECIMIENTOS.

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

VIII. REFERENCIAS.

1. D'Almeida, G.A. "On the variability of desert aerosol radiative characteristics". J. Geophys. Res., **92**, 3017-3026, 1987.
2. Middleton W.E. K, "Vision through the Atmosphere". University of Toronto Press, 1952.
3. Iqbal M., "An Introduction to Solar Radiation". Academic Press, 1983.
4. Junge C.E. Atmospheric Chemistry and Radioactivity. Academic, San Diego, California. 1963.
5. Rivas M. et al. "Wavelength dependence of the optical depth of multicomponent aerosols in the North of Chile". SPARC Conference Mar del Plata, 2000.
6. Eck, T., et al. "Wavelength dependence of the optical depth of biomass burning, urban and desert dust aerosols". J. Geophys. Res. **104**, **31**, 333-349. 1999.
7. P. Ristori, et al., "Characterization of the atmospheric aerosols in the Buenos Aires area using Sun Photometer measurements". OPTILAS Conference, Tandil 2001. Submitted to SPIE. May, 2001.
8. Gassman A and Ulke A. "Estudio de la dispersión de cenizas producidas por incendios de pastizales". Resúmenes del IX Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología y VIII Congreso Argentino de Meteorología. Buenos Aires. May 2001.
9. Holben, B.N., et al. "AERONET- A federated instrument network and data achieve for aerosol characterization", Remote Sens. **12**, 1147-1163, 1991.
10. Smirnov, A., B.N.Holben, T.F.Eck, O.Dubovik, I.Slutsker, "Cloud screening and quality control algorithms for the AERONET data base", accepted in Rem. Sens. Environ., 2000.
11. Takeuchi K., Yanai H., Mukherjee, B.N. "The Foundations of Multivariate Analysis". Wiley, 1984.
12. Shifrin K.S., "Simple relationships for the Ångström parameter of disperse systems". App. Opt **34**, N°. 21, 4480 – 4485, 1995.
13. Smirnov A. et al. "A study of the link between synoptic air mass type and atmospheric optical parameters". J. Geophys. Res. **99**, 20967-20982. 1994.
14. Fochesatto J. PhD Univ. P. et M. Curie, 2000.

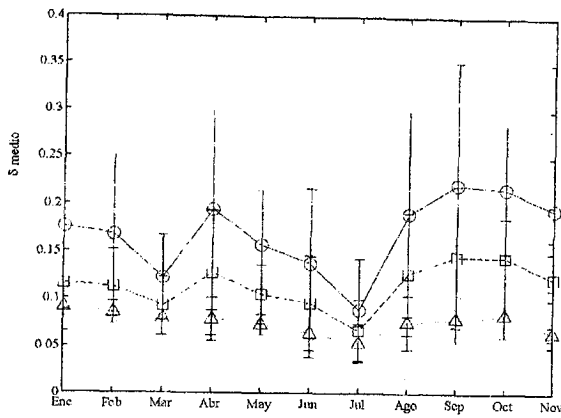


Figura 3.a

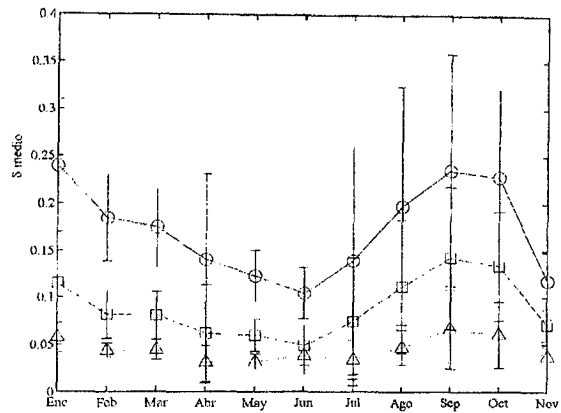


Figura 3.b

Figura 3. Series temporales derivadas del espesor óptico medio mensual y su varianza media mensual en las longitudes de onda 1020nm(Δ), 500 nm (\square) y 340 nm(\circ) para Buenos Aires (3a) y Córdoba (3b).

V. ANALISIS ESPACIO-TEMPORAL DE α Y SU RELACION CON LA MASA DE AIRE MEDIA DOMINANTE.

El análisis tradicional con el parámetro de Ångström α no mostrado aquí, arroja una tendencia anual centrada en 0,8 para Buenos Aires, 1,1 para Córdoba y 0,6 para Puerto Madryn. En lo que respecta al mismo coeficiente α espectralmente descompuesto para la región VIS-IR se tiene 0,6 en valor medio anual para Buenos Aires y 0,9 para Córdoba y 0,9 para Puerto Madryn. En cambio el mismo coeficiente evaluado en la región VIS-UV posee valores medios de 1 para Buenos Aires, 1,8 para Córdoba y 0,5 para Puerto Madryn. Además, como un efecto remarcable, las tendencias de largo plazo del coeficiente VIS-UV se muestran completamente diferentes, lo cual explica la mejor sensibilidad de dicho coeficiente a los cambios en la masa de aire.

Tabla 2. Número de episodios de aerosoles regionales para las tres estaciones AERONET, año 2000.

	$ \delta_i - \delta_j > \sigma_\delta / \alpha_i - \alpha_j > \sigma_\alpha$		
	Buenos Aires	Córdoba	Puerto Madryn
Enero	1 / 0	4 / 4	-
Febrero	2 / 1	5 / 3	-
Marzo	5 / 2	6 / 3	-
Abril	1 / 2	1 / 2	-
Mayo	1 / 2	2 / 1	-
Junio	2 / 3	4 / 4	-
Julio	4 / 2	2 / 6	0 / 1
Agosto	2 / 3	2 / 4	1 / 4
Septiembre	3 / 6	6 / 5	2 / 4
Octubre	8 / 3	6 / 4	1 / 5
Noviembre	1 / 1	2 / 3	2 / 3
Diciembre	-	-	1 / 1

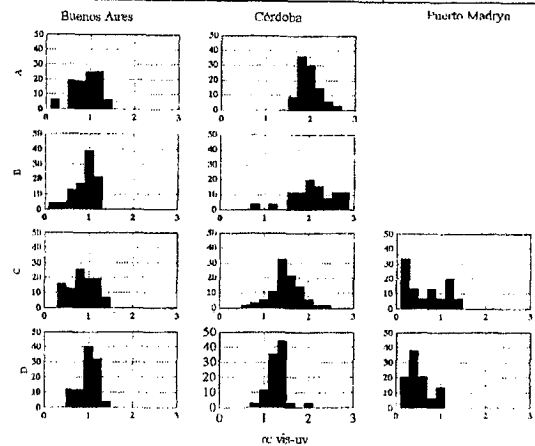


Figura 4. Distribución estadística estacional del coeficiente de Ångström espectral para la región VIS-UV. Descripción de paneles horizontales A, meses de verano; B meses de otoño, C, meses de invierno y D, meses de primavera.

Finalmente, se muestra en la Figura 4 el análisis estadístico por cada estación del año del coeficiente de Ångström para la región espectral VIS-UV.

Se verifica una variabilidad espacio temporal importante entre estaciones debido al forzamiento meteorológico diferente al que se encuentran sometidas. Asimismo es posible en base a los intervalos de variabilidad de α VIS-UV encontrados en cada estación y por temporadas, recuperar el intervalo de radios medios de partículas considerando los trabajos experimentales de laboratorio y teóricos sobre sistemas dispersivos⁽¹²⁾. Tomando entonces como parámetro de entrada el rango medio estadístico de α VIS-UV para cada estación en cada sitio de observación, se obtienen los resultados presentados en la tabla 3 en radios cuadráticos medios.

El radio medio de partículas representativas de la masa de aire dominante en Córdoba es submicrométrica para las dos estaciones del año, verano y otoño, en cambio para Buenos Aires es del tipo micrométrica. Esto se explica por la influencia constante del Río de la Plata

visual frente a un estímulo, es decir un aumento rápido del rendimiento para valores bajos de contraste, tamaños o iluminancia retinal y luego para aumentos cada vez mayores el rendimiento llega a una saturación de modo que posteriores aumentos no modifican el rendimiento.

El objetivo del presente trabajo es analizar el rendimiento visual, medido en términos de tiempos de reacción, en función de las diferencias de color entre estímulo y fondo para contrastes de luminancias muy bajos.

II. METODOLOGÍA

Dispositivo experimental

Como se indica en la Figura 1, sobre una pantalla blanca (2m x 1,5m aproximadamente) se presenta un estímulo en el centro, generado dentro de una esfera de Üllrich de 30cm de diámetro, la cual contiene LED's de colores verde, azul, rojo y amarillo, cuyas luminancias se pueden modificar variando la tensión de alimentación.

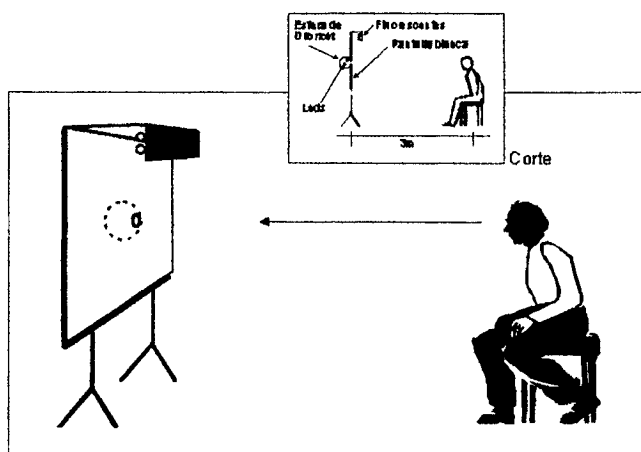


Figura 1.- Dispositivo experimental empleado

Estímulo visual y tarea

Se utiliza un estímulo visual circular de un único tamaño, de manera que el mismo subtende a 3 m de distancia del observador un ángulo de $300 \mu\text{str}$ o 60 minutos de arco. Se presenta al observador sobre un fondo acromático. El tiempo en que el estímulo aparece se elige al azar dentro de un lapso de 0 a 2 seg a partir del inicio de cada prueba, y el tiempo máximo disponible para detectarlo es de 3 seg. El observador debe indicar que ha detectado la presencia de este estímulo mediante un pulsador conectado al sistema experimental.

La secuencia experimental se controla mediante un software LABVIEW. Al iniciar una sesión experimental los LED's poseen dos alternativas de encendido: en la primera los LEDs se combinan de tal modo de lograr el color y luminancia igual al

fondo y luego en la segunda solo se encienden los LEDs que corresponden al color de la prueba en marcha con una luminancia dada a fin de lograr el contraste necesario.

El contraste de luminancia se computa como la diferencia de luminancias entre estímulo y fondo respecto del fondo.

Las condiciones experimentales fueron las siguientes:

Estímulo acromático sobre fondo acromático:

Condición 1: Muy bajo contraste de luminancia (0.01 cd/m^2) sin diferencia de color

Condición 2: Con contraste de luminancia (0.13 cd/m^2), sin diferencia de color

Estímulo de color (verde, azul y amarillo) sobre fondo acromático:

Condición 3: Muy bajo contraste de luminancia (0.01 cd/m^2), con diferencia de color

Condición 4: Bajo contraste de luminancia (0.06 cd/m^2), con diferencia de color

Condición 5: Contraste de luminancia medio (0.2 cd/m^2), con diferencia de color

No se realizó el experimento con el color rojo por problemas experimentales.

La luminancia media de fondo fue de 150 cd/m^2 en valor promedio para todas las situaciones experimentales. Las coordenadas cromáticas de los estímulos utilizados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1.- Coordenadas cromáticas para los estímulos presentados

	x	y
Fondo acromático	0.430	0.420
Amarillo	0.450	0.476
Verde	0.334	0.543
Azul	0.216	0.202

Las experiencias mencionadas se realizaron con un sólo observador, sin ningún tipo de deficiencias en la visión cromática. El intervalo entre cada tanda de pruebas, es decir entre dos secuencias fue de 1.5 seg.

III. RESULTADOS

En la Figura 2 se grafican los resultados de tiempos de reacción en función del contraste de luminancias para cada estímulo considerado. El observador repite cada secuencia 50 veces, lo que indica que cada valor representado en la figura es el promedio sobre estas 50 mediciones y presenta una desviación estándar del orden de los 10mseg.

Los resultados que se observan son:

- Cuánto menor es el contraste mayor es el aumento del rendimiento visual -disminución