

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LAS NUBES SOBRE LA RADIACIÓN UV EN LA CIUDAD DE RÍO GALLEGOS, ARGENTINA.

STUDY OF THE CLOUD INFLUENCE ON THE UV RADIATION IN RIO GALLEGOS, ARGENTINA.

P. F. Orte¹, E. Wolfram², J. Salvador², R. D'Elia², C. Marinelli³, E. Quel².

⁽¹⁾ Becario ANPCyT

⁽²⁾ CEILAP (CITEFA-CONICET) Villa Martelli, Buenos Aires-Argentina.

⁽³⁾ Facultad de Cs. Exactas- Instituto de Ecosistemas y Desarrollo Sustentable- UNCentro.
e-mail: facuorte@yahoo.com.ar

La capa de ozono es considerada como un filtro invisible que protege toda forma de vida de la peligrosa sobreexposición a los rayos ultravioletas. El adelgazamiento de esta capa en la estratósfera del polo sur de nuestro planeta es un fenómeno estacional que desde la década de los '80 se desarrolla cada año durante la primavera y se conoce como "agujero de ozono". El mismo se desarrolla sobre la región Antártica alcanzando un área aproximada de 30 millones de kilómetros cuadrados en su máxima expresión. En primavera comienza a deformarse alcanzando latitudes menores, presentando casos puntuales de bajos niveles de columna total de ozono sobre Río Gallegos (51° 36' S, 69° 19' O) debido al paso del agujero y su borde sobre esta ciudad, lo que puede derivar en índices UV mayores aumentando el impacto de la radiación en superficie.

En este estudio se evalúa la dependencia estadística del índice UV con la columna total de ozono y el espesor óptico de nubes, en la ciudad patagónica de Río Gallegos para primavera y verano. Además, se pretende cuantificar la atenuación de la radiación UV producida por las nubes para los casos en que el agujero de ozono sobrepasa dicha ciudad. Los datos de espesor óptico de nubes e índice UV analizados fueron obtenidos en la Estación CEILAP RG (CITEFA-CONICET) con un radiómetro multicanal de banda angosta GUV-541 (Biospherical Inc.) y los datos de columna total de ozono fueron extraídos de la base de datos del satélite OMI/AURA de la NASA. Todos estos corresponden a las estaciones de verano y primavera del período octubre de 2005–diciembre de 2008. Se observa que el 25% de los casos de agujero de ozono en primavera que derivarían en un IUV alto sobre Río Gallegos, son atenuados fuertemente por las nubes

Palabras claves: radiación UV, espesor óptico de nubes, ozono.

The ozone layer is regarded as an invisible filter that protects all life from the dangerous overexposure to ultraviolet rays. The thinning of the ozone layer over the South Pole stratosphere of our planet is a seasonal phenomenon that takes place every year during the spring since the 80s and is known as the "ozone hole". It is developed on the Antarctic, reaching an area of 30 million square kilometers approximately. In the spring begins to deform reached lower latitudes, presenting specific cases of low total ozone column over Río Gallegos (51 ° 36 'S, 69 ° 19' W) due to the passage of the hole and its border over this city, which can derive in UV indices greater increasing the UV radiation impact on surface.

This study evaluates the statistical dependence of the UV index with total ozone column and cloud optical thickness in the Patagonian city of Río Gallegos for spring and summer. Another aim is to quantify the attenuation of UV radiation produced for the clouds to cases that the ozone hole is passing over the city. The cloud optical thickness and UV index data analyzed were obtained at Station CEILAP RG (CITEFA-CONICET) with a narrowband multichannel radiometer GUV-541 (Biospherical Inc.), and the total ozone column data were extracted from the Satellite OMI / AURA database of NASA. All these belong to the spring and summer seasons of the October 2005-December 2008 period. It is noted that 25% of ozone hole cases in springtime, which would result in a high UVI on Río Gallegos, are strongly attenuated by the clouds.

Keywords: UV radiation, cloud optical thickness, ozone.

I. INTRODUCCIÓN

El pronunciado adelgazamiento estacional de la capa de ozono sobre la región antártica en los meses de primavera austral, se comenzó a manifestar en la década del '80 y ha continuado progresivamente hasta nuestros días. Este hecho se conoce como agujero de ozono antártico y es consecuencia de la emisión antropogénica de clorofluorocarbonos (CFCs) y otros gases en la atmósfera ⁽¹⁾.

El ozono en la estratósfera es vital para la salud de los seres humanos y los distintos ecosistemas sobre la Tierra, debido a que absorbe la mayor parte de la radiación ultravioleta emitida por el Sol antes que ésta alcance la superficie.

En los meses de primavera, el agujero de ozono comienza a deformarse alcanzando la estratósfera de regiones pobladas en latitudes menores (Argentina, Nueva Zelanda) aumentando puntualmente la radiación solar UV sobre estas regiones.

Con el objetivo de contribuir con el análisis de esta situación, la División Lidar del CEILAP (Centro de Investigación en Láseres y Aplicaciones) montó un laboratorio en la ciudad de Río Gallegos (Provincia de Santa Cruz, Argentina) en el año 2005 dando comienzo a la campaña llamada "SOLAR", que hoy continúa bajo el proyecto "UVO₃Patagonia".

La ciudad se encuentra a una latitud preferencial en el borde del agujero de ozono, donde la dinámica del

mismo produce fuertes variaciones diarias de los valores de columna total de ozono presentando valores extremadamente bajos cuando el agujero esta sobrepasando la ciudad. Esta disminución del contenido integral de ozono induce a un aumento anormal de la radiación ultravioleta que llega a la superficie, modificando su impacto sobre la salud de los seres humanos y de los distintos ecosistemas. Por todo esto, la Estación CEILAP RG (CITEFA-CONICET) se ha convertido en un sitio de medición de gran interés.

Con el objetivo de estudiar si existe una relación estadística entre el contenido total de ozono y el espesor óptico de nube con la radiación UV que alcanza la superficie, se realiza una prueba de independencia estadística entre estas variables para los meses de primavera y verano. Además, se intentan cuantificar los casos de atenuación del impacto anormal de la radiación UV producida por las nubes cuando el agujero de ozono está sobrepasando la ciudad de Rio Gallegos.

II. MÉTODOS

En el siguiente análisis estadístico se realiza una prueba de independencia Ji-cuadrado con el objetivo de determinar si existe alguna relación estadística entre variables categóricas de espesor óptico de nube, columna total de ozono e índice UV para las estaciones de primavera y verano ⁽²⁾. Es necesario resaltar que esta prueba nos indica si existe o no una relación entre las variables, pero no indica el tipo de relación. Luego se hace un análisis de los valores de frecuencias absolutas de las tablas generadas a través del análisis estadístico a partir de las categorías elegidas para cada variable. A continuación se presentan la categorización elegida para la realización del análisis.

Categorización.

Las categorías elegidas para la realización del análisis estadístico y la confección de las tablas de contingencia es la siguiente:

Espesor óptico de nubes efectivo (EON).

- Mayores a 15.
- Menores a 15.

Columna total de ozono (CTO).

- CTO Mayor a 270 UD.
- CTO Menor a 270 UD.

Índice UV (IUV).

| CATEGORÍA | IUV |
|---------------------|-------|
| Baja | <3 |
| Moderada | 3 a 5 |
| Alta | 5 a 7 |
| Muy Alta | 7 a 9 |
| Extremadamente Alta | >9 |

Se propusieron distintas alternativas para la elección de categorías, dando, en muchos casos, frecuencias absolutas muy bajas lo cual hace que cualquier test estadístico se vuelva poco adecuado.

Obtención de Datos.

Los datos de columna total de ozono diarios utilizados fueron extraídos desde la base de datos del OMI (NASA) mientras que los de espesor óptico de nubes e índice UV fueron obtenidos a las 14 horas (hora UTC-3) desde un radiómetro multicanal GUV-541 (Biospherical Instrument Inc.) en la estación CEILAP RG (CITEFA-CONICET). Estos radiómetros han demostrado ser una solución aceptable para este tipo de monitoreo, entre los espectro-radiómetros UV muy costosos y de gran mantenimiento y los radiómetros de banda ancha que sólo proveen información parcial debido a que no pueden distinguir entre variaciones de la radiación UV causadas por alteración en la cobertura nubosa y variaciones causadas por cambios en el contenido total de ozono ⁽³⁾.

La parte óptica de este tipo de instrumentos consiste típicamente de un difusor de teflón o de cuarzo, filtros interferenciales y detectores fotosensibles. El GUV-541 posee cinco canales de medición UV con longitudes de onda centradas en 305, 313, 320, 340 y 380 nm y un ancho de banda de 10 nm (FWHM) aproximadamente.

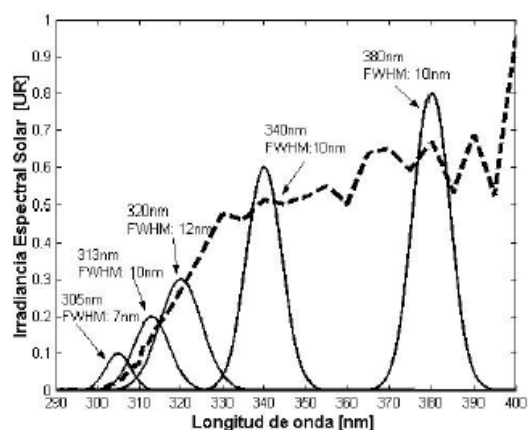


Figura 1. Respuesta espectral de los filtros de medición del GUV-541 del CEILAP y espectro solar típico.

El instrumento está estabilizado térmicamente a 50°C, y las mediciones poseen una resolución temporal de un minuto. En la figura 1 puede observarse la modelización de las funciones respuestas gaussianas para cada filtro con FWHM de 10 nm superpuestas a un espectro solar típico en el rango UV.

Cabe destacar que las funciones respuestas reales de los filtros de este tipo de radiómetros multicanal son únicas de cada instrumento y se han detectado discrepancias significativas entre los valores medidos por este tipo de instrumento y las registradas por un espectro-radiómetro S100 de 1 nm de resolución, principalmente en el canal de 305 nm. Esto es debido

principalmente a que este canal está lejos de ser monocromático y es también asimétrico con respecto a la longitud de onda central, ya que no existe una longitud de onda de corte efectiva hacia longitudes de onda menores.

La metodología empleada para calcular el *espesor óptico de nubes efectivo* combina la medición de la irradiancia solar en superficie obtenida con el canal de 380nm del radiómetro multifiltro de ancho de banda moderado GUV-541 (Biospherical Inc.) y en sinergia con un modelo de transferencia radiativa ^(4,5,6,7).

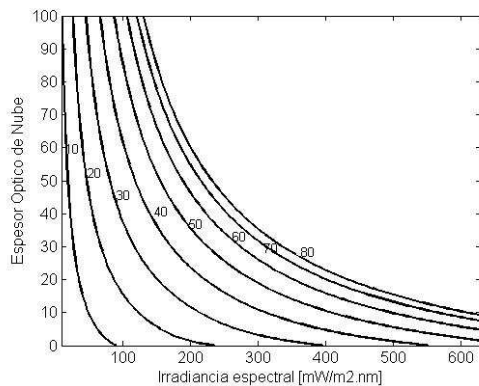


Figura 2. Tabla sintética de los espesores ópticos derivados con el modelo de transferencia radiativa en función de la irradiancia espectral medida para los SZA de 0 a 80° (J. Salvador 2008).

El modelo emplea una rutina para construir una tabla sintética en donde para cada ángulo cenital desde 0 a 80° se van formando diferentes espectros en función del espesor óptico de nubes, los que son convolucionados con el canal respectivo del radiómetro que se utilizará. La tabla construida mediante el modelo posee una doble entrada en donde una entrada son los valores de irradiancia adquiridos por el instrumento y la otra el ángulo cenital en el cual se efectuó la medición. Mediante una interpolación lineal se deriva el espesor óptico de nubes. En la figura 2 se visualiza la distribución del espesor óptico de nubes para los diferentes valores medidos entre 10 y 80°.

La irradiancia eritémica es definida como:

$$IE = \int_0^{\infty} A(\lambda)F(\lambda)d\lambda$$

donde $F(\lambda)$ es la irradiancia espectral en superficie [$W/m^2/nm$], y $A(\lambda)$ es el espectro de acción eritémico. Si este valor es multiplicado por 40 se obtiene el *índice UV*.

La irradiancia eritémica es calculada a través de la obtención de espectros UV entre 290 y 400 nm a partir de mediciones del instrumento GUV-541 previamente calibrado. La metodología aplicada para calibrar y pasar de voltajes a valores de irradiancia espectral, consiste en comparar las tensiones medidas por el instrumento en los 5 canales con las irradiancias modeladas. Para

ello el primer paso es seleccionar un conjunto de días despejados distribuidos durante el año, y armar juegos con valores que correspondan al mismo ángulo cenital, mezclando los distintos días. De esta forma, se asegura que la modelización de la atmósfera sea representada por las condiciones medias de los parámetros de entrada del modelo, como el albedo en superficie y el contenido de aerosoles, que serán los mismos para todos los cálculos. Luego, se realizan las mediciones en los 5 canales y a través de las constantes de calibración se deriva los valores de índice UV con una frecuencia aproximada de un dato por minuto.

RESULTADOS

En este análisis se prueba si existe una relación estadística entre la columna total de ozono y el índice UV para espesores ópticos mayor y menor a 15, y para la estación primavera y verano. En la estación de verano, también se analiza con este método la dependencia entre el espesor óptico de nubes y los índices UV para columna total de ozono mayor y menor a 270 UD. Además, observando las frecuencias absolutas de casos en las tablas de contingencia, se intenta cuantificar los días para los cuales las consecuencias del agujero de ozono (pasaje del agujero y borde en primavera, dilución del mismo a fines de primavera y principios de verano o posibles vestigios de agujero de ozono en verano sobrepasando la ciudad de Río Gallegos) derivaron en valores de columna total de ozono bajos, y de estos, cuantos fueron atenuados por las nubes disminuyendo el impacto que se produciría por valores anormales de radiación UV en ausencia de estas.

Los resultados se plantean en tablas separadas por estación y por espesor de nubes (tablas de contingencia). El rango de datos utilizados corresponde a los meses de primavera y verano desde octubre de 2005 a diciembre de 2008.

Estación Primavera.

Esta estación se caracteriza por tener los valores de CTO medios más elevados y sólo el 9 % de los casos caen debajo de los 270 UD (15 con $EON < 15$ más 5 con $EON > 15$ de los 224 casos totales). En esta estación el agujero de ozono comienza a deformarse alcanzando menores latitudes donde se presentan casos puntuales de bajos niveles de CTO sobre Río Gallegos debido al paso del agujero y su borde sobre la ciudad, o por la dilución del mismo. Por lo tanto, este 9% de valores bajos de concentración de ozono probablemente corresponda a situaciones de este tipo.

Para *EON inferior a 15* (tabla 1, izquierda), si bien el test da significativo, lo que indicaría que existe relación estadística entre las categorías de IUUV y CTO, las frecuencias absolutas en la segunda categoría de ozono (< 270 UD) son muy bajas (inferiores a 5) lo cual afecta considerablemente la potencia del test. Para este caso se registran valores de IUUV en la categoría "extremadamente alto".

| EON < 15 | | | | EON > 15 | | | |
|--------------|------------|-----------|------------|--------------|-----------|----------|-----------|
| | CAT. CTO | | | | CAT. CTO | | |
| CAT. UVI | >270UD | <270UD | Total | CAT. UVI | >270UD | <270UD | Total |
| Bajo | 35 | 2 | 37 | Bajo | 25 | 2 | 27 |
| Moderado | 52 | 9 | 61 | Moderado | 27 | 3 | 30 |
| Alto | 38 | 2 | 40 | Alto | 5 | 0 | 5 |
| Muy Alto | 18 | 0 | 18 | Muy Alto | 1 | 0 | 1 |
| Extrem. alto | 3 | 2 | 5 | Extrem. alto | 0 | 0 | 0 |
| Total | 146 | 15 | 161 | Total | 58 | 5 | 63 |

Tabla 1. Tablas de contingencia. Comparación de dependencia entre las categorías de índice UV (IUV) y de columna total de ozono (CTO) para primavera y espesores ópticos de nube (EON) mayores (tabla derecha) y menores (tabla izquierda) a 15 para la estación de primavera. Se analizaron 224 casos.

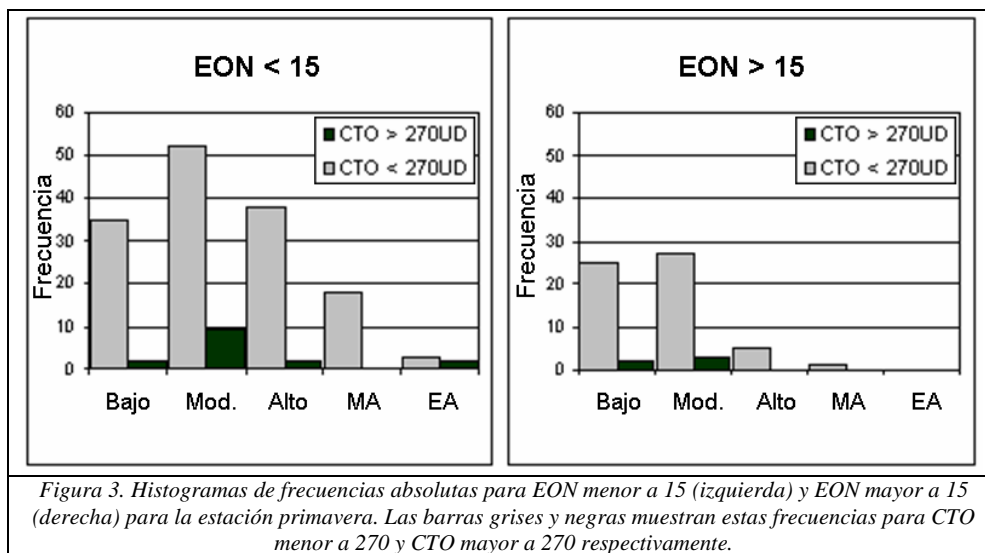


Figura 3. Histogramas de frecuencias absolutas para EON menor a 15 (izquierda) y EON mayor a 15 (derecha) para la estación primavera. Las barras grises y negras muestran estas frecuencias para CTO menor a 270 y CTO mayor a 270 respectivamente.

Para valores de EON mayor a 15 (tabla 1, derecha), a diferencia de la situación anterior, no se registran casos en la categoría de IUV extremadamente alto. Se observan sólo 5 casos con niveles de ozono por debajo de 270 UD con categoría baja y moderada de IUV. Como se mencionó anteriormente, por estar en la estación de primavera, probablemente estos 5 casos con CTO menor a 270 UD sean situaciones donde el agujero de ozono o su borde sobrepasa la ciudad, o el efecto de dilución provocó un valor bajo de concentración de ozono. De estos 5 casos, ninguno superó el IUV 5 (categoría moderado) debido a que las nubes con espesor óptico mayor a 15 apantallaron los valores altos de IUV que hubiesen sido registrados con nubes más “finas”.

Comparando ambas tablas (tabla 1 izquierda y tabla 1 derecha), y como se mencionó anteriormente, cuando el espesor óptico de las nubes es mayor a 15 desaparece la categoría “extremadamente alto”. Esto estaría mostrando que las nubes más “gruesas” atenúan los índices UV.

También se observa que de los 20 casos con

ozono menor a 270 UD sumando los de ambas tablas, el 25 % corresponde a categorías de espesor óptico de nubes mayores a 15 (5 casos en la tabla 1 derecha). Estos casos resultaron en valores de IUV bajos y moderados. Por lo tanto, se puede suponer que las nubes apantallaron el 25 % de valores elevados de IUV que se hubiesen registrado debido a valores bajos anormales de CTO para esta estación sobre Río Gallegos como consecuencia de la formación del agujero de ozono antártico.

En la figura 3 Se grafican las distribuciones de frecuencias absolutas para EON mayor y menor a 15. Comparando ambas graficas se observa que cuando el EON es menor a 15, se registra un valor significativo de cantidad de casos en las categorías “alto” y “muy alto” (36%), mientras que, cuando el EON es mayor a 15 menos del 10 % de los casos caen en estas categorías y prácticamente todos los casos son registrados con valores de IUV “bajo” y “moderado”. Además, como se mencionó anteriormente, solo se registran valores en la categoría “extremadamente alto” cuando el EON es menor a 15. Por lo tanto, se observa el fuerte efecto de atenuación de las nubes sobre el IUV.

Estación Verano.

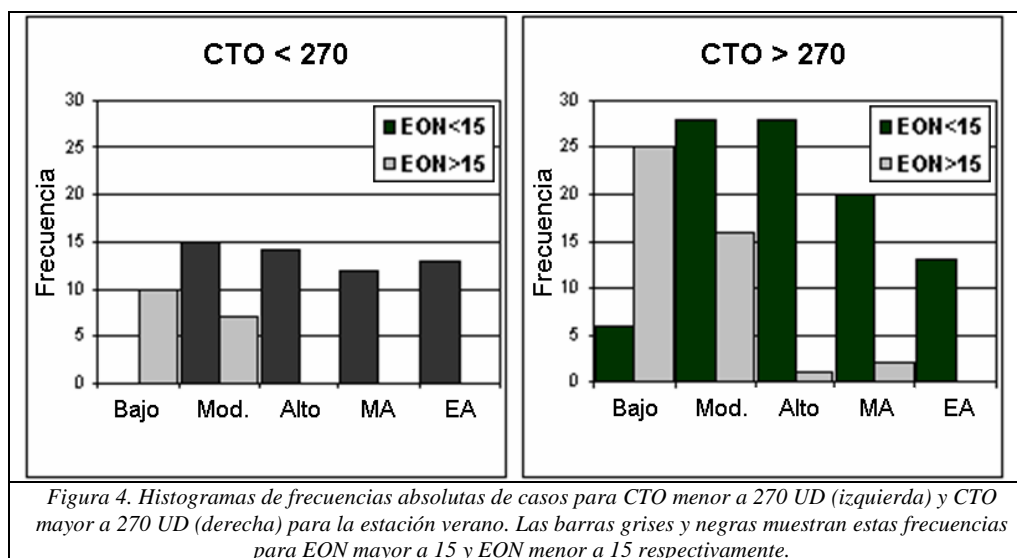
En esta estación se observa que el IUV y la CTO no son estadísticamente dependientes tanto para el caso de EON menor a 15 como para EON mayor a 15 (p valores mayores a 0.05 para ambos casos). Esto puede deberse a la gran variación en los espesores ópticos de las nubes en esta estación, lo que estaría provocando que

este parámetro sea más influyente sobre las categorías de IUV que la CTO.

Para valores de espesor óptico de nube menor a 15 (no se muestra la tabla de contingencia) se presentan todas las categorías de IUV, mientras que para espesor óptico de nubes mayor a 15 los valores de IUV no pasan la categoría “muy alto” (ausencia de categoría extremadamente alta).

| CTO < 270 | | | | | | | CTO > 270 | | | | | | |
|--------------|------|------|------|----|----|-------|--------------|------|------|------|----|----|-------|
| CAT. IUV | | | | | | | CAT. IUV | | | | | | |
| CAT. EON | Bajo | Mod. | Alto | MA | EA | Total | CAT. EON | Bajo | Mod. | Alto | MA | EA | Total |
| <15 | 0 | 15 | 14 | 12 | 13 | 54 | <15 | 6 | 28 | 28 | 20 | 13 | 95 |
| >15 | 10 | 7 | 0 | 0 | 0 | 17 | >15 | 25 | 16 | 1 | 2 | 0 | 44 |
| Total | 10 | 22 | 14 | 12 | 13 | 71 | Total | 31 | 44 | 29 | 22 | 13 | 139 |

Tabla 2. Tabla de contingencia. Comparación de dependencia entre las categorías de índice UV (IUV) y de espesor óptico de nubes (EON) para columna total de ozono (CTO) mayor y menor a 270 UD para la estación de verano. Se analizaron 210 casos totales. (Mod.: Moderado; MA: Muy Alto; EA.: Extremadamente alto)



Esto podría atribuirse a la atenuación del IUV por las nubes, al igual que en primavera.

En la tabla 2 se evalúa la dependencia entre el índice UV y el espesor óptico de nubes cuando la columna total de ozono es mayor y menor a 270 UD. Para este caso, los valores de IUV son estadísticamente dependientes de los espesores ópticos de nube (p valor para ambos casos menores a 0,05).

Se observa en la tabla 2 que el 33,8 % (71 casos de 210 casos totales) corresponde a valores de CTO menores a 270 UD. Estos casos pueden deberse a la dilución del agujero de ozono en el mes de diciembre o posibles vestigios de agujero sobrepasando Río Gallegos en los meses de enero y febrero. Otro motivo del alto porcentaje de valores con CTO menor a 270 UD, y quizás el más importante, es debido a la variación estacional, alcanzando valores medios aproximados de 275 UD a fines de verano. Si a este valor se le suma la

variación diaria puede alcanzar valores menores a 270 UD en muchas oportunidades.

Se observa que cuando los valores de CTO en verano son menores a 270 UD (tabla 2 izquierda) y el EON es menor a 15, los valores de IUV no serían fuertemente atenuados por estas nubes “finas”, y no se registran valores de IUV bajos. Cuando las nubes se hacen más importantes (EON > 15) sí se hace presente la categoría “bajo” de IUV. Se observa que bajo estas condiciones (CTO < 270 UD y EON > 15), no se registran valores de IUV mayores a 5 (ausencia de categorías alta, muy alta y extremadamente alta). Posiblemente las nubes atenúen los valores mayores de IUV. Por lo tanto, los espesores ópticos de éstas, mayores a 15, atenuarían casi el 25 % (17 casos de 71 totales para CTO < 270) de los valores más altos de IUV que se registrarían para CTO menor a 270 UD en verano.

Cuando la CTO es mayor a 270 UD, sí se registran valores de categoría “bajo” de IUV para las dos categorías de EON. Al igual que para el caso anterior, cuando los EON son mayores a 15 y la CTO es mayor a 270, los valores de IUV son atenuados y el 93 % de los casos (25 + 16 de 44 casos) se reparten entre las categorías “bajo” y “moderado” y no se observa la categoría “extremadamente alto”, lo cual muestra nuevamente el efecto atenuador de las nubes.

En la figura 4 se observan los gráficos de las distribuciones de frecuencias absolutas. Si se analizan estos histogramas para EON mayor a 15 para ambas graficas (barras grises), nuevamente se observa el fuerte efecto atenuador de las nubes sobre el IUV donde prácticamente todos los casos caen en las categorías “bajo” y “moderado”, situación que no se observa cuando las nubes tienen un espesor óptico menor a 15 (barras negras).

Para las dos estaciones analizadas, cuando la columna total de ozono es menor a 270, se observa que un 25 % de estos casos se dan con nubes más gruesas (EON > 15) y sus valores de IUV no solo que no alcanzan valores extremadamente altos sino que estos casos se reparten entre las categorías de IUV bajo y moderado (con excepción de 3 casos en verano).

CONCLUSIONES

- 1) Se observa dependencia estadística entre las categorías de IUV y CTO sólo en primavera y para la categoría de EON<15, aunque no se puede afirmar esta dependencia ya que las frecuencias son menores a 5. También se observa relación entre IUV y EON para ambas categorías de CTO.
- 2) En primavera, el 25 % de casos anormales de columna total de ozono bajo, consecuencia del pasaje del agujero de ozono sobre Río Gallegos, no inducen a índices UV altos debido a que son atenuados por las nubes. Si sólo se observan los valores de columna total de ozono, para estimar un impacto provocado por los valores anormales que se registrarían de índice UV, se sobreestimaría el impacto en un 25 %.
- 3) Para el verano, muchos de los valores de columna total de ozono menor a 270 UD podrían no ser consecuencia de los efectos del agujero de ozono, sino consecuencia del mínimo estacional de este valor a fines de verano. Igualmente, estos valores bajos podrían inducir a valores altos de índice UV por encontrarse en esta estación. Pese a esto, es importante notar que el 25 % de estos valores están siendo atenuados por el efecto de las nubes al igual que en primavera.
- 4) Para continuar este análisis en estudios posteriores, contando con una base de datos mayor, se deberían restablecer las categorías elegidas para las distintas variables y diferenciarlas según las estaciones, ya que, por ejemplo, en primavera un valor de 270 UD es una situación anormal que podría relacionarse directamente con la formación del agujero de ozono,

pero en verano, si bien podría ser consecuencia de posibles vestigios del agujero de ozono, también podría atribuirse a la baja estacional que sufre la columna total de ozono a fines de verano. Otro punto a analizar sería la categorización temporal dentro de una misma estación.

Si bien la base de datos tendría que ser mayor, se ha podido realizar un primer análisis estadístico y sacar conclusiones útiles para un análisis futuro de este tipo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la JICA (Japanese International Cooperation Agency), Argentina, por la financiación de la campaña UVO3PATAGONIA.

REFERENCIAS

1. Wolfram E. A., Tesis de doctorado, Universidad Nacional de la Plata, Mediciones atmosféricas de ozono y vapor de agua con técnica LIDAR y radiometría solar ultravioleta, 2006.
2. Devore, J. L., Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias, 5ª. Ed., California Polytechnic State University, 2001.
3. Salvador J. O. et. Al., Reconstrucción de espectros de irradiancia solar global UV a partir de mediciones con radiómetro de banda angosta, Anales AFA vol. 19, Salta, 2007.
4. Salvador J. O. et. Al., Monitoring UV radiation using ground based and satellite measurements at sub antarctic region-Río Gallegos, Argentina.
5. Dahlback A., Measurements of biologically effective UV doses, total ozone abundance, and cloud effects with multichannel, moderate bandwidth filter instruments. Applied Optics, Vol. 35, November 20 1996.
6. Stamnes. K., Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media. Applied Optics, Vol 27, pp 2502, June 15 1988.
7. Salvador J. O., et. Al. Medición del espesor óptico de nubes en Río Gallegos, Anales AFA vol. 20, Buenos Aires, 2008.