



RELEVAMIENTO DE LA EXPOSICIÓN UV EN LA PROVINCIA DE SANTA CRUZ A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES

P. Esteves, B. Milicic
Unidad Académica Río Gallegos, Universidad Nacional de la Patagonia Austral
Lisandro de la Torre 1070 – C.P. 9400 – Río Gallegos
Tel. 02966-442317 – Fax 02966- 442620 – e-mail: bmilicic@uarg.unpa.edu.ar

Resumen:

A pesar de que la provincia de Santa Cruz se encuentra periódicamente afectada por el “agujero de ozono”, existen escasos registros sistemáticos de radiación UV desde tierra. En la UNPA se está llevando a cabo un proyecto de sistematización de datos de exposición UV a partir de imágenes satelitales provistas por la NASA en su página web. En este trabajo se presenta el análisis estadístico de los datos provisionales correspondientes a cinco localidades que se encuentran en diferentes regiones de la provincia, si bien falta aún realizar la validación con datos en tierra, para los lugares en donde se los disponga. La región con mayor exposición es la zona norte de la provincia, observándose un leve incremento debido al paso del “agujero de ozono” sobre las zonas centro y sur. Los meses donde la exposición es más alta son los de diciembre y enero.

Palabras clave: radiación UV, dosis eritémica, exposición UV, agujero de ozono, imágenes satelitales

INTRODUCCIÓN

El ozono es un gas cuya concentración en la atmósfera es muy baja, del orden de los 10 ppm, encontrándose el 90 % en la estratosfera y el resto, en la troposfera. El ozono estratosférico filtra la radiación UV la cual, dada su energía, puede dañar a los seres vivos. Los efectos biológicos de la radiación UV se derivan de su alta capacidad para ionizar moléculas y su gran poder de penetración en los organismos, destruyendo cadenas de ácidos nucleicos, provocando mutaciones genéticas y muerte celular. En los seres humanos, si bien favorece la síntesis de la vitamina D, ocasiona en el corto plazo enrojecimiento de la piel (eritema) y a largo plazo podría desencadenar cáncer de piel, daños en la retina y en el sistema inmunológico, aumentando la probabilidad de que ocurran infecciones bacterianas y virales. Se observa además que se requieren tiempos de exposición distintos para diferentes efectos (minutos o horas para eritemas y años para carcinoma) y que las exposiciones prolongadas no tienen el mismo efecto para el melanoma maligno y el carcinoma basal como las esporádicas.

La provincia de Santa Cruz, al estar localizada en la Patagonia Austral, se encuentra periódicamente afectada por el fenómeno denominado “agujero de ozono”. Sin embargo, son escasas las mediciones sistemáticas de exposición UV desde tierra en esta provincia: el Servicio Meteorológico Nacional la realiza desde el año 1997 en la localidad de San Julián, y desde agosto de 2005, en la localidad de Río Gallegos a partir de la campaña SOLAR (CEILAP: Citefa-Conicet) (Wolfram et al., 2005). Los lugares más cercanos a la provincia donde se la registra son Comodoro Rivadavia (Chubut), Ushuaia (Tierra del Fuego), en la Estación VAG y en el CADIC, y Punta Arenas (Chile), en la Universidad de Magallanes (Ver Figura 1). La exposición UV puede obtenerse además a partir de imágenes satelitales, entre ellas, las generadas con equipo TOMS, realizadas por la NASA desde el año 1978, cuya información está disponible por Internet. (NASA, 2006)

En la UNPA se está llevando a cabo un proyecto cuyo objetivo es el relevamiento del espesor de ozono y de la exposición eritémica para distintas zonas de la provincia de Santa Cruz y su validación a partir de la comparación de los datos satelitales con datos terrestres, en donde estén disponibles. En este trabajo se presentan los datos provisorios del relevamiento y la sistematización de la información satelital de la exposición eritémica para cinco localidades de la provincia de Santa Cruz.

MODELO EMPLEADO PARA EL CÁLCULO DE LA EXPOSICIÓN UV

En condiciones de cielo despejado, la energía incidente por unidad de tiempo sobre una superficie horizontal dada (irradiancia) depende del ángulo de incidencia de los rayos solares medido respecto a la vertical en el punto (ángulo solar cenital), la cantidad de ozono y de aerosoles presentes en la atmósfera y de la distancia sol-tierra. Debido a que la sensibilidad de los organismos a la radiación UV varía en función de la longitud de onda, se debe conocer dicha dependencia para calcular la respuesta biológica a los cambios en la composición atmosférica. Se la determina calculando la probabilidad del daño específico para cada longitud de onda y se lo plasma en *espectros de acción* para cada efecto biológico particular (alteraciones al ADN, eritema, etc.) El producto del espectro de acción, por ejemplo de eritema, por la irradiancia espectral de superficie se conoce como dosis eritémica espectral, si se la integra en todo el espectro y a lo largo del día, se obtiene la dosis eritémica diaria (Madronich, 1993). En la bibliografía también se la conoce como exposición eritémica. (Ono et al., 2005)

Los valores que se emplean en este trabajo de exposición UV han sido publicados por la NASA en su página TOMS (2005). A continuación se presentará la metodología con que se los ha calculado (Herman, Celarier, 1997).

La exposición eritémica se define como la integral:

$$\text{Exp} = \frac{1}{d_{ts}^2} \int_{280\text{nm}}^{400\text{nm}} s(\lambda)W(\lambda)d\lambda \int_{t_{ss}}^{t_{ps}} C(\lambda, \vartheta, \tau_{nub})F(\lambda, \vartheta, \Omega)dt$$

Donde:

d_{ts}	Distancia tierra - sol
S	Irradiancia solar incidente en la superficie de la atmósfera en 1 A.U.
W	Espectro de acción biológico para daño por eritema
t_{ss}, t_{ps}	Hora de salida y de puesta del sol
C	Factor de atenuación por nubosidad
τ_{nub}	Espesor óptico por nubosidad
ϑ	Ángulo solar cenital, es función del tiempo
F	Irradiancia espectral en la superficie de la tierra en condiciones de cielo claro, normalizado a la irradiancia espectral solar unitaria en la superficie de la atmósfera
Ω	Columna total de ozono

La distancia sol-tierra y las horas de salida y puesta del sol han sido calculadas a partir de fórmulas standard (USNO, 1992; Smart, 1997)

La irradiancia solar incidente en la superficie de la atmósfera a una distancia de 1 U.A. del sol fue medido en el intervalo de longitudes de onda de interés mediante el instrumento UARS/SOLSTICE (Woods et al, 1996)

La función empleada para aproximar la sensibilidad dependiente de la función de onda de la piel caucásica al eritema es la desarrollada por McKinley y Diffey (1987), adoptada por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) El modelo está dado por la siguiente función, donde la longitud de onda λ está dada en nm:

$$W(\lambda) = \begin{cases} 1 & \text{si } \lambda < 298 \text{ nm} \\ 10^{-0,094(\lambda-298)} & \text{si } 298 \leq \lambda < 328 \\ 10^{-0,015(\lambda-139)} & \text{si } 328 \leq \lambda \end{cases}$$

La función F es la irradiancia global incidente normalizada (directa más difusa) respecto a una superficie horizontal a la altitud de una localidad dada, dados la columna total de ozono medida por el TOMS, la longitud de onda y el ángulo solar cenital. El valor de F se calcula usando la tabla de soluciones de la ecuación de transferencia radiativa, empleada para calcular los valores de ozono del TOMS. La irradiancia espectral global incidente real para cielos sin nubes es el producto S.F

El factor de nubosidad C se obtiene a través de dos pasos: las radiancias para 380 nm (para el satélite Nimbus 7) o 360 nm (para los satélites Adeos o el Earth Probe), los ángulos solares y sólidos, la altura del terreno y las soluciones para los albedos de superficie climatológicos se emplean para obtener un modelo de espesor óptico de nubosidad (τ_{nub}) usando las tablas de soluciones para la ecuación de transferencia radiativa para esas longitudes de onda. En un segundo paso, se calcula la atenuación de la irradiancia global debida un modelo de nubosidad uniforme del espesor óptico calculado. En ambos casos las nubes se modelan a través de una capa de dispersión Mie homogéneo, que se encuentra entre los 500 y 350 mbar.

Como el satélite pasa sólo una vez al día por cada locación, se supone que el espesor óptico por nubosidad permanece constante durante todo el día, lo cual puede conducir a grandes discrepancias entre las mediciones de tierra y los datos TOMS, por lo tanto se deben tomar al menos promedios semanales para compararlos.

El algoritmo para calcular la probabilidad de ausencia o presencia de nieve o hielo emplea la misma base de datos que para el cálculo del espesor de ozono, el cual asume que el albedo debido a la superficie reflectora es de un 40% , el cual para nieve recién caída o superficies planas puede ser sustancialmente mayor. Para regiones altas que poseen una elevada reflectividad superficial, el algoritmo tiende a sobreestimar la exposición UV. El algoritmo no tiene en cuenta los efectos absorbentes de los aerosoles.

Los datos provistos por la NASA se encuentran en archivos de texto correspondientes a cada día del año., que contienen tres registros de encabezado seguidos de 2160 registros de datos, organizados en 180 grupos de 12 datos cada uno. Los primeros 11 registros de cada grupo contienen 25 valores codificados de tres dígitos, el registro doceavo contiene 13 datos codificados, seguidos por el valor numérico del centro de latitud de la banda. A cada grupo le corresponde un ancho de banda de 1° de latitud, y a cada valor le corresponde una celda de dimensiones 1° latitud por 1,25° de longitud. Cada valor codificado consiste en tres dígitos: el primero es el exponente E y los dos siguientes son la mantisa M, correspondiendo a un valor $M \times 10^E$.

Los datos provistos por la NASA poseen una unidad arbitraria, relacionada con el daño biológico (B.D./m²)

SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La mayor densidad de población de la provincia de Santa Cruz se encuentra a) en el litoral marítimo, b) en la zona norte de la provincia, a lo largo de su límite con la provincia de Chubut y c) en el sur de la zona andina. Es por ello que se decidió sistematizar la información para la zona norte de la provincia, en las localidades de Caleta Olivia (costera) y Los Antiguos

(andina); para la zona costera, se seleccionaron además las localidades de San Julián, que se encuentra en la zona central, y Río Gallegos, en la zona sur; en la zona andina, central se eligió Calafate (Ver Figura 1). En función de los resultados obtenidos en estas localidades, se determinarán otros sitios relevantes. Las cinco localidades se muestran en la Figura 1 y sus coordenadas, en la Tabla 1.

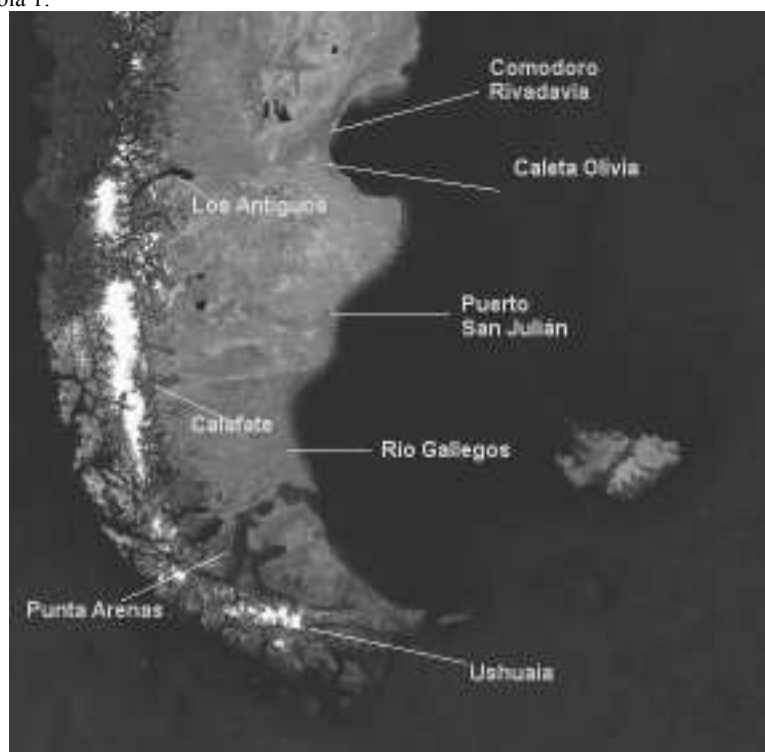


Figura 1: Imagen satelital de la Patagonia Austral, en donde se detallan las localidades en las que se sistematizaron los datos y en donde se encuentran equipos de medición de exposición UV (Fuente imagen satelital: Atlas Satelital Clarin, 1999)

Localidad	Longitud	Latitud
Caleta Olivia	66° 45' 52" W	46° 31' 15" S
Los Antiguos	71° 37' 46" W	46° 32' 42" S
San Julián	67° 43' 46" W	49° 18' 20" S
Calafate	72° 16' 23" W	50° 19' 55" S
Río Gallegos	69° 12' 58" W	51° 37' 23" S

Tabla 1: Coordenadas de las cinco localidades en donde se ha relevado la información.

Se diseñó un programa de computación (Vallejos, 2005) para obtener los datos correspondientes a la exposición eritémica para cada una de las cinco localidades de los archivos disponibles en la página del TOMS. Sólo se obtuvieron los correspondientes a los satélites Nimbus 7 y Earth Probe ya que no están disponibles los del satélite Adeos, por lo cual se observan datos faltantes entre 1993 y 1996.

La sistematización de la información prevista consiste en analizar:

- las variaciones de los promedios mensuales, los valores mínimos y máximos de la exposición eritémica desde 1978 hasta 2005, para las localidades mencionadas
- la frecuencia con la cual las diferentes zonas de la provincia reciben exposiciones eritémicas agrupados por rangos y su variación a través del tiempo.
- la validación de los datos obtenidos a partir de las imágenes satelitales con los medidos en tierra, donde se disponga de ellos. Hasta el momento está previsto correlacionar los valores correspondientes a Comodoro Rivadavia, Río Gallegos y Ushuaia. Como esta última localidad se encuentra más al sur que la provincia de Santa Cruz y Comodoro Rivadavia se encuentra más al norte, si en ambos casos la correlación es alta, se podría inferir que en las zonas intermedias también lo sería.

Se descartan los meses en los cuales faltan mediciones correspondientes a más de 10 días.

RESULTADOS OBTENIDOS

Los datos obtenidos hasta el momento son provisionales. Una vez obtenidos los datos para cada localidad a partir de los archivos diarios provistos por la NASA, desde noviembre de 1978 hasta diciembre de 2005, se obtuvieron los valores mínimo, máximo y promedio mensuales, se graficaron y obtuvieron sus respectivas líneas de tendencia lineal. En la Figura 2 se observa el gráfico correspondiente a la localidad de Río Gallegos. Los valores máximos alcanzan esporádicamente valores de 320 B.D./m² para la localidad de Los Antiguos, 300 B.D./m² para Caleta Olivia y para San Julián y 280 para Calafate y

Río Gallegos. Los valores máximos corresponden a los meses de diciembre y enero. En la Tabla 2 se sintetizan las tendencias de la exposición UV para las cinco localidades.

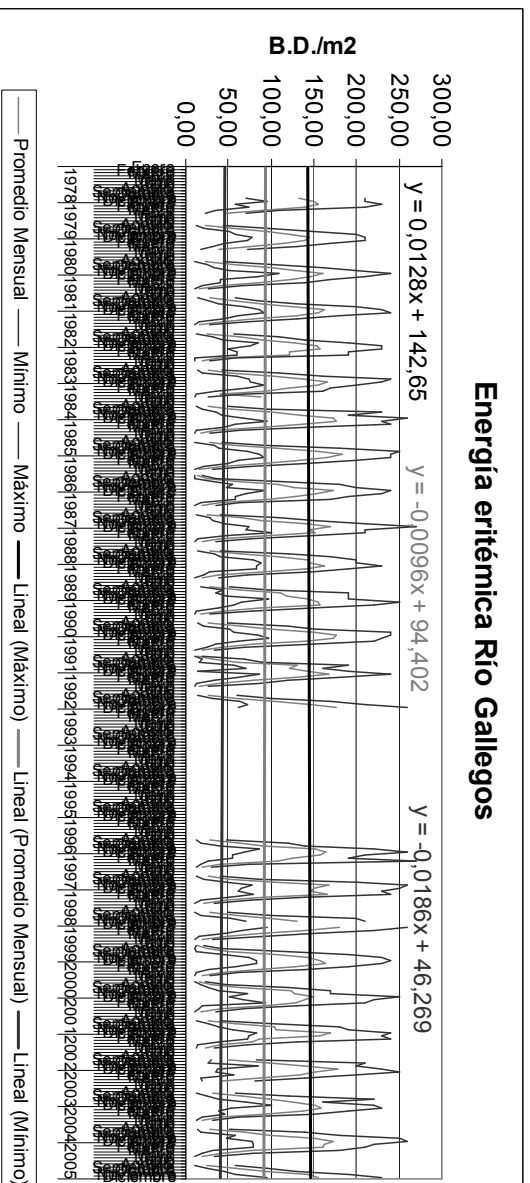


Figura 2: Gráfico de la exposición UV en la localidad de Río Gallegos, en el periodo 1978/2005.

Localidad	tendencia valores mínimos	tendencia valores promedio	tendencia valores máximos
Río Gallegos	$y = -0,0186x + 46,269$	$y = -0,0096x + 94,402$	$y = 0,0128x + 142,65$
Calafate	$y = 0,0107x + 49,304$	$y = 0,0324x + 94,779$	$y = 0,056x + 138,48$
San Julián	$y = -0,0099x + 48,565$	$y = -0,0052x + 98,58$	$y = 0,0005x + 142,95$
Caleta Olivia	$y = -0,0166x + 56,831$	$y = -0,0004x + 110,87$	$y = 0,0149x + 150,33$
Los Antiguos	$y = 0,0129x + 54,08$	$y = 0,0259x + 104,32$	$y = 0,0373x + 151,22$

Tabla 2: Tendencias de los gráficos de valores de exposición UV para las cinco localidades.

Se graficó la frecuencia mensual de la exposición UV para cada una de las localidades. En la Figura 3 se observa el gráfico correspondiente a la localidad de Río Gallegos.

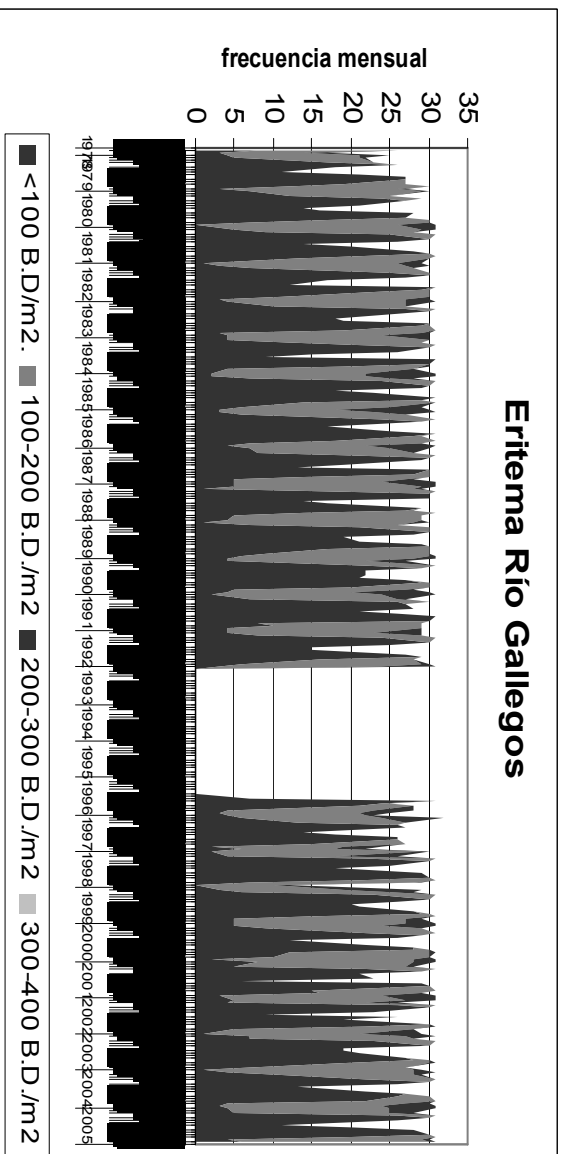


Figura 3: Frecuencias mensuales de exposición UV para la localidad de Río Gallegos en el periodo 1978/2005.

A partir de estos datos, se construyeron gráficos de frecuencia anual para los meses en los cuales se presentan valores de exposición UV pertenecientes a los intervalos iguales o mayores a 100 B.D./m², para cada localidad, los que se muestran en la Figura 4. Se observa que los valores de exposición UV fueron inferiores a 100 B.D./m² para los meses de otoño e invierno.

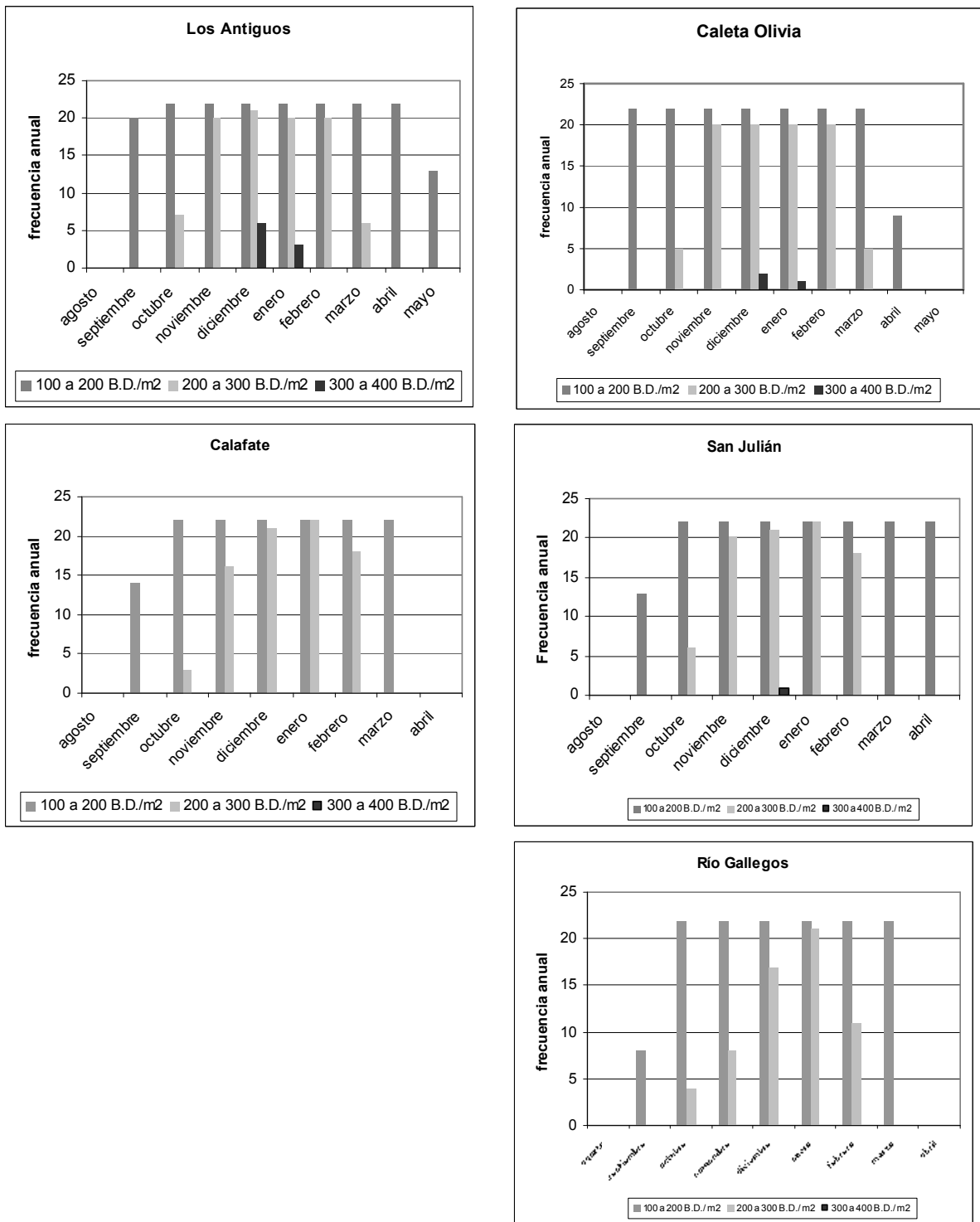


Figura 4: Cantidad de años en los cuales la exposición UV tomó valores correspondientes a cada uno de los intervalos, discriminados por meses del año.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Si se comparan los valores máximos, se observan variaciones que van desde 330 B.D./m² para la localidad de Los Antiguos, en la zona norte, andina hasta 270 B.D./m² para la localidad de Río Gallegos, en la zona sur, costera, es decir, son mayores a medida que disminuye la latitud, es decir, en la zona norte de la provincia la exposición es más alta que en la zona sur. Si bien las localidades de Caleta Olivia y Los Antiguos se encuentran a la misma latitud, los valores correspondientes a Los Antiguos son más altos debido a que se encuentra en la región andina, a 230 m de altura respecto del nivel del mar, mientras que Caleta Olivia se encuentra en la zona costera.

Si bien es recomendable el uso de ajustes temporales, empleando un soft estadístico, en esta aproximación exploratoria se emplearon tendencias lineales. Las pendientes correspondientes a las tendencias de los valores máximos son mayores que las

demás, lo que indicaría un aumento en los valores máximos de exposición. Las de los valores mínimos en las zonas costeras son negativas, rondando el 1%, mientras que en las zonas andinas aumentan. Respecto a los valores promedio, igualmente son negativas para las localidades costeras, pero inferiores al 1% y positivas, mayores, para las andinas. Cuando se emplee el soft estadístico se observará si se verifican estos valores.

Si se analizan los valores de dosis eritémicas, se observa que son mayores en la zona norte que en la zona sur. En Río Gallegos y Calafate los valores son inferiores a 100 D.B/m² para los meses de abril a septiembre, para Caleta Olivia y San Julián se verifica lo mismo en los meses de mayo a agosto, y para Los Antiguos, de junio a agosto. En Río Gallegos y Calafate no se observan valores superiores a 300 D.B/m². Para los valores entre 200 y 300 D.B/m² se observa el incremento de sur a norte, al disminuir la latitud.

Los resultados obtenidos deben aún ser validados, para lo cual deben ser transformados a J/m² para ser comparados con las mediciones en tierra para las localidades donde estén disponibles. Este procedimiento es importante debido a que en el modelo se supone que el espesor óptico de nubosidad permanece constante durante todo el día, lo cual en la Patagonia Austral no ocurre, sino por el contrario, la capa nubosa varía permanentemente. En la provincia el albedo es alto debido a que en la zona andina hay presencia permanente de nieve y glaciares, en la meseta central las superficies son planas con escasa vegetación y en la zona costera, debido al espejo de agua. Debido a que en la Patagonia Austral la presencia de aerosoles es escasa, no incidirían en el resultado.

CONCLUSIONES

Si bien aún no se ha realizado la validación de los datos, el análisis realizado hasta el momento permite caracterizar los valores de exposición UV para distintas regiones de la provincia: si bien en la zona sur es inferior, la tendencia de los valores máximos aumenta más rápidamente que en la zona norte, donde la exposición es más alta. Cuando se lleve a cabo la correlación con los valores medidos en tierra, se verá si las pendientes de las tendencias para los valores mínimos y promedio se encuentran dentro del rango de error. Se observa la influencia de la altura, obteniéndose para la misma latitud, exposiciones más altas en la zona andina que en la costera.

Si bien es posible realizar análisis estadísticos a partir de imágenes satelitales, sería necesaria la instalación de equipos de medición de exposición UV en distintos lugares de la provincia, para su monitoreo sistemático, es especial debido a que el dato de energía eritémica se suspendió a partir del 1° de enero de 2006.

REFERENCIAS

- Herman J, Celarier E. (1997) *Erythral Exposure Data Product*, <http://toms.gsfc.nasa.gov>
- McKinlay A, Diffey B (1987) A reference spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin, en *Human Exposure to Ultraviolet Radiation: Risks and Regulations*, editado por W. Passchler y B. Bosnjakovic, Elsevier, Amsterdam
- Madronich S (1993). The Atmosphere and UV-B Radiation at Ground Level, en *Environmental UV Photobiology*, R. Young et al, pp 1-39, Plenum Press, New York
- NASA, Toms, http://toms.gsfc.nasa.gov/ftpdata_v8.html, fechas de acceso: años 2005/6
- Ono M, Munakata N y Wanatabe S (2005). UV Exposure of Elementary School Children in Five Japanese Cities, *Photochemistry and Photobiology*, 81, 437-445
- Smart W. (1977). *Text book on Spherical Astronomy*, Cambridge University Press, Cambridge
- USNO (United States Naval Observatory) (1992) *Explanatory supplement to the Astronomical Almanac*, ed. By P.K.Seidelmann, University Science Book, Mill Valley
- Vallejos R (2005), Programa TOMS ERITEMA
- Woods T., et al (1996). Validation fo the UARS solar ultraviolet irradiances: comparison with the ATLAS 1 and 2 measurements, *J. Geophys. Res.*, 101, 9541-9569

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha podido ser realizado gracias a los datos suministrados por el Servicio Meteorológico Nacional y por el Ozone Processing Team del Centro Espacial Goddard de la NASA. Este trabajo pertenece al proyecto de investigación N° 9/D015/1, radicado en la UA San Julián, financiado por la UNPA.

ABSTRACT

Though Santa Cruz province lies some days every year under the “ozone hole”, there are few systematic ground measurements of UV exposure. There is a project at UNPA whose aim is to analyse satellite UV exposure data from TOMS published on NASA website, for different reagions of this province, for the period 1978 to 2005. This paper presents provisional results for five towns from different regions of Santa Cruz, but they are still not validated with ground measurements. Statistical results show that northern towns have higher exposure than southern, exposure values corresponding to days with less ozone total amount are higher than days with normal ozone total amount. December and January are the months with highest erythral doses. Maximun values tendencies increase for southern towns more than northern.

Key words: UV radiation, erythral dose, UV exposure, ozone hole, satellite images