

# ÍNDICE SOLAR ULTRAVIOLETA Y ESPESOR DE LA CAPA DE OZONO EN ARICA NORTE DE CHILE

Elisa Rojas y Miguel Rivas Ávila

## RESUMEN

Se ha determinado una estrecha relación entre la sobreexposición al sol y distintos tipos de enfermedades de la piel y de la vista, debido a los altos índices de radiación solar ultravioleta medidos a lo largo de todo el año, considerando el efecto acumulativo que este tipo de tiene sobre la piel. En este trabajo se analizan las mediciones experimentales del índice solar ultravioleta (UVI) realizadas en Arica, Chile, en el periodo de Septiembre 2006 a Marzo 2015, su relación

con el espesor de la capa de ozono detectada por sensores satelitales y su distribución estacional. Los resultados revelan que el 16,6% de los valores de UVI medidos a mediodía solar durante la estación de verano corresponden a niveles altos y muy altos (UVI= 8-10), y un 83,1% a valores extremos (UVI>11) según la escala utilizada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y debido principalmente a la baja nubosidad.

## Introducción

El progresivo deterioro que ha sufrido la capa de ozono en las dos últimas décadas (Bojkov *et al.*, 1995) tiene consecuencias importantes sobre los seres vivos en la Tierra, debido a los incrementos de la radiación solar ultravioleta B (UVB; 280-320nm) la cual es principalmente absorbida por el ozono estratosférico (Herman *et al.*, 1996). Estas radiaciones solares tienen suficiente energía para producir daño en sistemas biológicos aunque, en condiciones normales, radiaciones solares de longitudes de onda <290nm prácticamente no llegan a la superficie terrestre.

En el caso de la capa de ozono estratosférico, la medición con instrumentos satelitales ha alcanzado gran precisión, permitiendo un muestreo permanente en todo el planeta. Se han derivado irradiancias solares UV y dosis eritémicas que inciden sobre la superficie de la Tierra a

partir de datos obtenidos con equipos colocados en satélites, tales como los instrumentos TOMS y OMI de la NASA (Herman, 2010).

Si bien las mediciones satelitales permiten determinar un comportamiento global de esta variable, las mediciones de UVB dependen en muy alto grado de condiciones locales que influyen en el estado de la atmósfera. Debido a ello, la cantidad de UVB que llega a nivel del suelo depende de factores tales como: nubosidad, partículas en suspensión (aerosoles), gases traza (O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>), reflectividad del suelo (albedo), altura del lugar sobre el nivel del mar y ozono estratosférico, todo lo cual hace más complejo su estudio e introduce mayores fuentes de indeterminación en este tipo de mediciones, (Cabrera *et al.*, 2012), siendo necesario contrastarlas respecto a biómetros calibrados y ubicados en el lugar.

Hay esencialmente dos tipos de instrumentos físicos de medición de irradiancia

solar UV: los espectrales, que cubren una región del espectro con una separación muy fina de longitudes de onda (o miden en longitudes de onda fijas con muy alta resolución espectral) y los de banda ancha, que miden en un intervalo amplio de longitudes de onda con respuesta relativa cercana a la unidad en todas ellas, o aproximándose a la función respuesta de algún sistema biológico (llamados usualmente biómetros).

La exposición excesiva a la luz solar ultravioleta B (UVB) en el norte de Chile se considera el factor responsable del incremento de las tasas de cáncer de piel no melanoma (CNM), ya que parte de dicha radiación alcanza el nivel del suelo, lo cual tiene múltiples consecuencias que pueden ser peligrosas para la salud de las personas. La sobreexposición UVB también tiene efectos negativos en la inmunosupresión (Holick, 2014).

El daño en la piel por sobre-exposición a la radiación

solar UV es acumulativo. Entre los efectos dañinos para la salud de las personas se encuentra también el cáncer de piel melanoma (CM) el cual es el más agresivo. En Chile, entre los años 1992-1998 se observó un aumento de 105% en la frecuencia de CM (Piña, 2011), al igual que lo observado en Arica, según análisis de datos del Hospital Juan Noé Crevani (Rivas *et al.*, 2009).

Los niveles del índice solar ultravioleta (UVI) medidos en Arica son los más altos de Chile, de acuerdo a datos obtenidos por la red de medición solar ultravioleta de la Dirección Meteorológica de Chile ([www.meteochile.cl/PortalDMC-web/index.xhtml](http://www.meteochile.cl/PortalDMC-web/index.xhtml)), con la cual la Universidad de Tarapacá mantiene un convenio de cooperación. Los promedios anuales de los máximos mensuales de UVI en los intervalos de tiempo indicados en cada caso son de 9,1 para la ciudad Arica (2006-2015); de 8,4 para Iquique (1998-2005); 8,0 para

## PALABRAS CLAVE / Capa de Ozono / Índice Solar Ultravioleta / Radiación Solar Ultravioleta /

Recibido: 21/10/2015. Modificado: 16/01/2017. Aceptado: 24/01/2017.

**Elisa Rojas Espinoza.** Magister en Didáctica para la Educación Superior, Universidad de Tarapacá, Chile. Profesora,

Ciencias, Universidad de Tarapacá, Chile.  
**Miguel Rivas Ávila.** Magister en Física, Universidad de Chile.

Profesor, Universidad de Tarapacá, Chile. Dirección: Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de

Tarapacá. Calle 18 de Septiembre N° 2222. Arica, Chile. e-mail: [mrivas@uta.cl](mailto:mrivas@uta.cl)

## ULTRAVIOLET SOLAR INDEX AND OZONE LAYER MEASUREMENTS IN ARICA NORTH OF CHILE

Elisa Rojas and Miguel Rivas Ávila

### SUMMARY

There is an important link between overexposure to the sun and various types of skin and sight diseases due to the high indexes of ultraviolet solar radiation measured along the whole year, and its cumulative effect on the skin. In this paper we analyze the experimental measurements of solar ultraviolet index (UVI) obtained in Arica, Chile, in the period September 2006 to March 2015, their relation with the thickness of

the ozone layer detected by satellite sensors, and its seasonal distribution. Results reveal that 16,6% of UVI values measured at solar midday during the summer season correspond to high and very high levels (UVI= 8-10), and 83,1% to extreme (UVI>11) values, according to the scale used by the World Health Organization (WHO), and mainly due to the reduced cloud cover.

## ÍNDICE SOLAR ULTRAVIOLETA E ESPESSURA DA CAMADA DE OZÔNIO EM ARICA NORTE DO CHILE

Elisa Rojas e Miguel Rivas Ávila

### RESUMO

Tem sido determinada uma estreita relação entre a sobre-exposição ao sol e distintos tipos de enfermidades da pele e da vista, devido aos altos índices de radiação solar ultravioleta medidos ao longo de todo o ano, considerando o efeito acumulativo que este tipo de radiação tem sobre a pele. Neste trabalho se analisam as medições experimentais do índice solar ultravioleta (UVI) realizadas em Arica, Chile, no período de setembro de 2006 a março de

2015, sua relação com a espessura da camada de ozônio detectada por sensores de satélite e sua distribuição estacional. Os resultados revelam que 16,6% dos valores de UVI medidos ao meio dia solar durante a estação de verão correspondem a níveis altos e muito altos (UVI= 8-10), e 83,1% a valores extremos (UVI>11) segundo a escala utilizada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e devido principalmente à baixa nebulosidade.

Antofagasta (2006-2013), 6,6 para Santiago (1997-2005); y 3,5 para Punta Arenas (2001-2005). Por otra parte, de acuerdo a estudios previos (Rivas *et al.*, 2012), se puede indicar que existe una importante correlación entre las tasas de cáncer de piel no melanoma (CNM) por 100 000 habitantes y la cantidad de radiación solar UVB recibida. Es así como dichas tasas de CNM son respectivamente, para las cinco ciudades mencionadas, de 31,4; 30,3; 28,1; 20,7; y 6,0.

El presente estudio aporta información acerca de la distribución estacional de los valores de UVI observados en Arica y la relación que dicho índice guarda con el espesor de la capa de ozono estratosférico, medido por medio de detectores satelitales en el área donde se ubica esta ciudad.

### Materiales y Métodos

Arica es una ciudad situada en la zona subtropical del norte de Chile (18°49'S, 70°19'O; 25msnm) y presenta un microclima estable en cuanto a las

condiciones meteorológicas a lo largo del año, tales como la falta de las lluvias (<5mm por década), un régimen predecible de vientos, alto porcentaje de días de cielo claro y alta reflectividad del suelo, debido principalmente a la desertificación y composición principalmente de arena muy reflectante. La ciudad se encuentra a la orilla del mar, y debido a su agradable clima la población durante gran parte del año realiza un gran número de actividades al aire libre.

### Instrumentación

El instrumento utilizado se encuentra ubicado en la parte más alta del laboratorio de radiación solar UV, con vista despejada. Las mediciones se realizaron con un biómetro de banda ancha YES-UVB (Yankee Environmental System, 2005), calibrado periódicamente mediante un convenio de cooperación entre la Universidad de Tarapacá (UTA) y la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), gracias el cual las mediciones de este instrumento forman parte de la red de medición

solar UV del país. Las calibraciones se realizan de acuerdo con las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). El biómetro ha estado en funcionamiento desde septiembre 2006.

Los datos del ozono estratosférico provienen de mediciones satelitales realizadas por el espectrómetro para el mapeo total de ozono (TOMS, por sus siglas en inglés), el cual proporciona una cobertura casi global en un día con una resolución espacial de 13x24km. Cuatro instrumentos TOMS han sido puestos en órbita exitosamente, a bordo de los satélites Nimbus-7 (Noviembre 1978 - Mayo 1993), Meteor-3 (Agosto 1991 - Diciembre 1994), Earth Probe (Julio 1996 - presente), y ADEOS (Septiembre 1996 - Junio 1997). Estos son los instrumentos más antiguos para la recolección y análisis del espesor de la capa de ozono estratosférico y las propiedades de la radiación solar atmosférica UV. Los datos se encuentran disponibles en <http://jwocky.gsfc.nasa.gov> (Mcpeters *et al.*, 2009).

Se llevaron a cabo mediciones de irradiancia solar UVB Arica cada 5min entre el 20/09/2006 y el31/12/2015. Los datos de UVI se obtuvieron directamente a través del producto  $UVI = 40 \times UV_{Ery}$  (Mckenzie *et al.*, 2008).

### Resultados

En la Figura 1 se muestra el comportamiento general de los valores máximos diarios de UVI medidos a mediodía solar y las mediciones satelitales de ozono estratosférico en el área de Arica. Los datos de UVI alcanzaron en el verano del año 2008 el valor máximo de 15,8 y en el invierno del año 2010 el valor mínimo de 2.

La Figura 2 muestra los valores máximos diarios de UVI medidos a mediodía solar y las mediciones satelitales de ozono estratosférico durante el año 2008. Allí se observa la variación estacional de UVI, especialmente con altos niveles del índice durante los meses de verano, estos resultados muestran que en esta región el espesor de la capa de ozono es menor durante el verano (diciem-

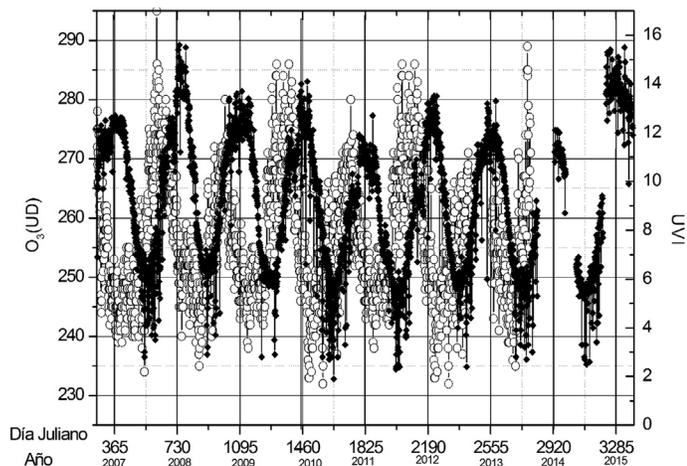


Figura 1. Mediciones del Índice Solar Ultravioleta (UVI) máximo diario (símbolos negros) y mediciones satelitales del espesor de la capa de ozono (círculos vacíos) en Arica, Chile. Septiembre 2006-Diciembre 2015.

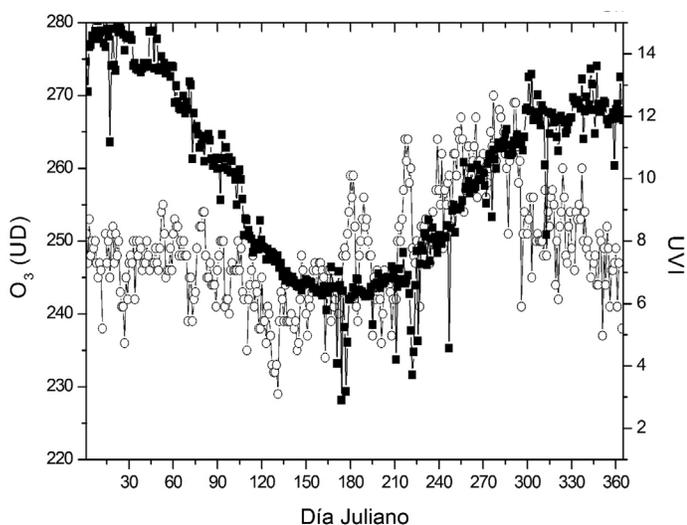


Figura 2. Mediciones del Índice Solar Ultravioleta (UVI) máximo diario (símbolos negros) y mediciones satelitales del espesor de la capa de ozono (círculos vacíos) en Arica, Chile, en 2008.

bre a marzo), período en el que por el menor ángulo cenital se recibe mayor radiación solar UVB, lo cual representa un mayor riesgo para la salud de las personas debido a que el menor espesor de la capa de ozono se acompaña de un incremento en la radiación solar UVB que llega a nivel del suelo (Jones, 1987; Godlee, 1992). Por ello, en este período se necesita una mayor protección.

Los niveles de ozono estratosférico medidos por instrumentos satelitales de la NASA varían en esta latitud entre 232 y 295 unidades Dobson (DU).

El espesor máximo de la capa de ozono se observa en Arica durante los meses de septiembre y octubre, y el mínimo en enero y febrero, tal como se observa en la Figura 2.

En la Figura 3 se muestra el índice UV al mediodía solar, derivado de datos del equipo OMI/KMNI a bordo del satélite Aura de la NASA, correspondiente a la ciudad de Arica (18.49S, 70.32O), ubicada a nivel del mar en el extremo Norte de Chile. El índice es un promedio de una pequeña área superficial de  $\pm 0,05^\circ$ , centrado en las coordenadas indicadas.

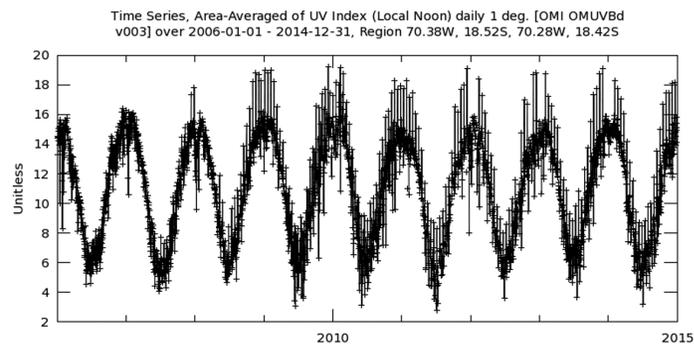


Figura 3. Serie temporal del índice UVI en la zona de Arica, Chile (Enero 2006-Diciembre 2014). Datos OMI/KMNI a bordo del satélite AURA de la NASA. El UVI es un promedio del área superficial  $\pm 0,05^\circ$  alrededor de las coordenadas de Arica (18,47°S, 70,32°O).

En la Figura 4 se muestran los promedios anuales del espesor de la capa de ozono entre los años 1995-2013. Se aprecian valores mínimos del promedio anual para el año 1995 y valores máximos el año 1998. El promedio anual para todo este intervalo de tiempo fue de 207 UD.

El promedio mensual de las mediciones de los máximos diarios de UVI, medidos a mediodía solar, se muestran en la Figura 5, calculados entre los años 2006-2015. Los

valores de UVI pueden alcanzar valores  $>15$  en el verano. El efecto más importante en las variaciones observadas de UVI se debe a los cambios estacionales, dada la mayor nubosidad en los meses de invierno. Las variaciones del espesor en la capa de ozono y los aerosoles atmosféricos representan un efecto secundario en las variaciones de UVI.

En la Figura 6 se representan los porcentajes de frecuencias según la escala de UVI de la Organización Mundial de la Salud ([www.who.int/uv/publications/globalindex/es/](http://www.who.int/uv/publications/globalindex/es/)) para cada estación del año a mediodía solar. Durante el invierno (Figura 6a) solo el 22,7% de las mediciones UVI alcanza la categoría UVI muy alto (8-10), y apenas el 0,14% alcanza la categoría UVI extrema ( $\geq 11$ ). Esto se debe principalmente al elevado número de días nublados durante la temporada de invierno. Durante la primavera (Figura 6b) el 1,99% de las mediciones alcanzan la categoría de alto UVI (6-7), el 34,0% de las mediciones UVI alcanzan la categoría de muy alto, y el 62,3% la de UVI extremo. Durante el verano (Figura 6c) 0,95% de las mediciones UVI alcanzan la categoría de alto UVI, el 15,6% de las alcanzan la de muy alto y 83,1% la de UVI extremo. Finalmente, durante el otoño (Figura 6d) el 5,9% de las mediciones de UVI alcanzan la categoría de moderado (3-5), el 57,4% alcanzan la de alto, el 34,2% de las mediciones UVI alcanzan

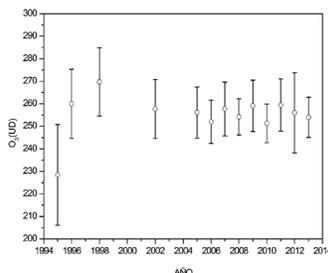


Figura 4. Promedio anual del espesor de la capa de ozono en Arica, Chile, entre 1995 y 2013.

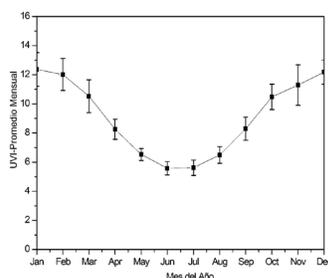


Figura 5. Promedios mensuales del UVI en Arica, Chile, entre 2006 y 2015.

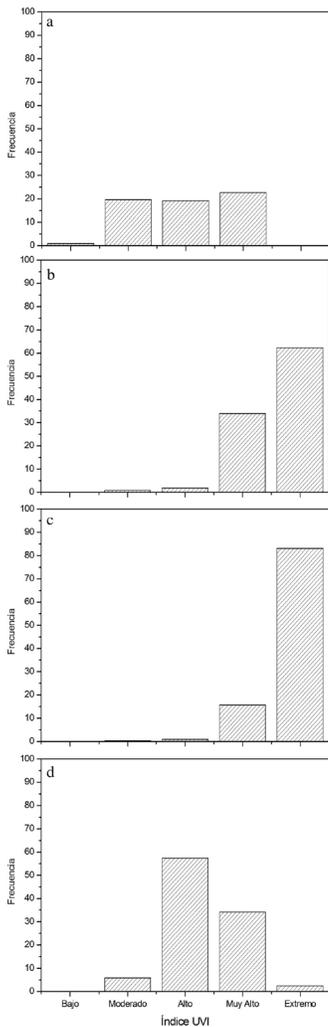


Figura 6. Histogramas del porcentaje de frecuencia de mediciones de UVI a mediodía solar, 2007-2014 en Arica, Chile. a: invierno, b: primavera, c: verano, d: otoño. Bajo:  $\leq 2$ , moderado: 3-5, alto: 6-7, muy alto: 8-10, extremo:  $\leq 11$ , según la OMS.

la de muy alto UVI y el 2,5% la de extremo. En esta última estación un 36,7% de las

mediciones a mediodía solar alcanzan un valor de UVI en las categorías superiores (muy alto y extremo).

Los efectos de las variaciones del espesor de la capa de ozono se pueden observar en la comparación de las mediciones de UVI en las estaciones de primavera (Figura 6b) y otoño (Figura 6d). Debido a que el ángulo cenital (SZA) a mediodía solar es similar para estas estaciones del año, los promedios  $\pm$ desviación estándar de UVI para cada estación durante los años 2007-2014 son, respectivamente,  $10,6 \pm 0,5$ ;  $11,2 \pm 0,4$ ; y  $12,1 \pm 0,3$  para la primavera; y  $8,6 \pm 1,0$ ;  $6,8 \pm 0,4$ ; y  $5,8 \pm 0,6$  para el otoño.

Los promedios  $\pm$ desviación estándar de ozono estratosférico durante la primavera (octubre-diciembre en el hemisferio sur) entre los años 2005-2010 fueron  $268,2 \pm 2,6$ ;  $260,7 \pm 2,2$  y  $254,9 \pm 2,3$ ; y para el otoño fueron  $246,2 \pm 2,5$ ;  $246,9 \pm 2,4$  y  $253,2 \pm 3,4$  UD.

En las Figuras 7a-d se muestran los UVI promedio anuales de los máximos diarios medidos en las cuatro estaciones a mediodía solar con sus respectivas desviaciones estándar entre los años 2007 y 2014.

## Discusión

Los niveles del índice solar ultravioleta (UVI) medidos en Arica son los más altos de Chile, de acuerdo a datos obtenidos por la red de medición solar ultravioleta de la Dirección Meteorológica de Chile ([www.meteochile.cl/PortalDMC-web/index.xhtml](http://www.meteochile.cl/PortalDMC-web/index.xhtml)), con la cual la Universidad de

Tarapacá mantiene un convenio de cooperación. Los promedios anuales de los máximos mensuales de UVI para la ciudad Arica son los más altos de Chile, seguidos de Iquique, Antofagasta, Santiago y Punta Arenas. De acuerdo a estudios previos (Rivas *et al.*, 2012), existe una importante correlación entre las tasas de cáncer de piel no melanoma (CNM) por 100 000 habitantes y la cantidad de radiación solar ultravioleta B recibido, siguiendo dichas tasas un orden decreciente para las cinco ciudades mencionadas.

El presente estudio aporta información acerca de la distribución estacional de los valores de UVI observados en Arica y la relación que dicho índice guarda con el espesor de la capa de ozono estratosférico, medido por medio de detectores satelitales, en la zona de esa ciudad.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento otorgado por el proyecto UTA-Mayor (2017) y a Rubén Piacentini por los datos satelitales para la ciudad de Arica del instrumento OMI/AURA de la NASA.

## REFERENCIAS

Bojkov RD, Fioletov VE (1995) Estimating the global ozone characteristics during the last 30 years. *J. Geophys. Res.* 100: 16537-16551.

Cabrera S, Ipiña A, Damiani A, Cordero R, Piacentini R (2012) UV Index values and trends in Santiago, Chile (33.5°S) based on ground and satellite

data. *J. Photochem. Photobiol.* 115 73-84.

Godlee F (1992) Dangers of ozone depletion. *Br. Med. J.* 303: 1326-1328.

Herman JR (2010) Global increase in UV irradiance during the past 30 years (1979-2008) estimated from satellite data. *J. Geophys. Res.* 115. 15 pp. D04203. 2010. DOI: 10.1029/2009JD012219.

Herman JR, Barthia PK, Ziemke J, Ahmad Z, Larko D (1996). UV-B increases (1979-1992) from decreases in total ozone. *Geophys. Res. Lett.* 23: 2117-2120.

Holick MF (2014) Shedding new light on the role of the sunshine vitamin D for skin health. The LncRNA-skin cancer connection. *Exp. Dermatol.* 23: 391-392.

Jones RR (1987) Ozone depletion and cancer risk. *Lancet* 2: 443-446.

McPeters RD, Bhartia PK, Krueger AJ, Herman JR, Wellmeyer CG, Seftor CJ, Jaross G, Torres O, Moy L, Labow G, Byerly W, Taylor SL, Swisler T, Cebula RP (2009) *Earth Probe Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) Data Products User's Guide*. Technical Publication 1998-206895. National Aeronautics and Space Administration. Greenbelt, MD, EEUU. <http://macuv.gsfc.nasa.gov/doc/epusrguide.pdf>. (Cons. 23/10/2009).

Mckenzie L, Liley JB, Bjorn LO (2008) UV radiation: balancing risk and benefits. *Photochem. Photobiol.* 85: 88-98.

Piña R (2011) *Guía Técnica: Radiación Ultravioleta de Origen Solar*. Vol. 1. Ministerio de Salud. Chile. pp. 3-46.

Rivas M, Araya MC, Durán V, Rojas E, Cortes J, Calaf GM (2009) Ultraviolet exposure and skin cancer in the city of Arica, Chile. *Mol. Med. Rep.* 2: 567-572.

Rivas M, Rojas E, Calaf GM (2012) Prediction of skin cancer occurrence by ultraviolet solar index. *Oncol. Lett.* 3: 893-896.

Yankee Environmental Systems (2005) *Manual Model Ultraviolet-B Broadband*. Turners Falls, MA, EEUU.

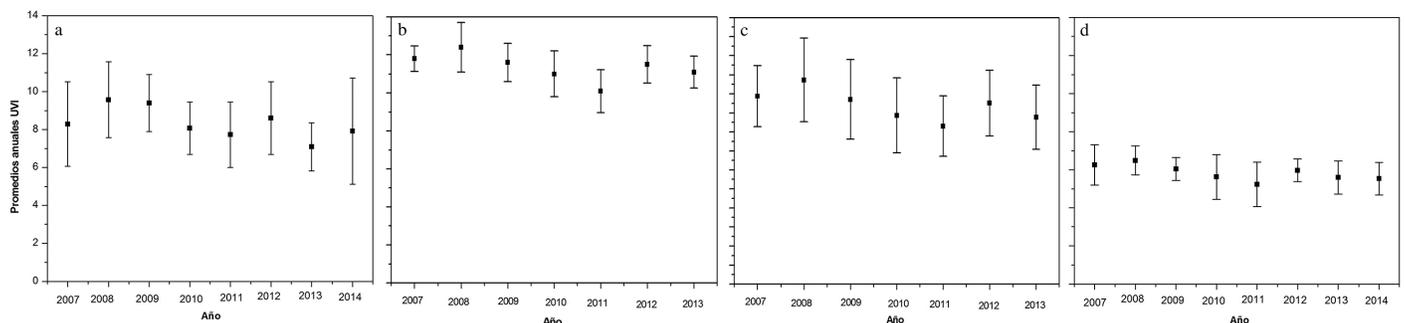


Figura 7. Valores promedios anuales de UVI a mediodía, en Arica, Chile (2007-2013). a: primavera, b: verano, c: otoño, d: invierno.