



Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería

ISSN: 0718-3291

facing@uta.cl

Universidad de Tarapacá

Chile

Rivas, Miguel; Leiva, Carlos; Rojas, Elisa
Estudios de series temporales de energía solar UV-B de 305 nm y espesor de la capa de ozono
estratosférico en Arica, norte de Chile
Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, vol. 19, núm. 2, agosto, 2011, pp. 168-173
Universidad de Tarapacá
Arica, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77219647002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Estudios de series temporales de energía solar UV-B de 305 nm y espesor de la capa de ozono estratosférico en Arica, norte de Chile

Study of time series for 305 nm solar energy UV-B and stratospheric ozone layer thickness Arica in the north of Chile

Miguel Rivas¹ Carlos Leiva¹ Elisa Rojas¹

Recibido 6 de noviembre de 2009, aceptado 4 de abril de 2011
Received: November 6, 2009 Accepted: April 4, 2011

RESUMEN

En este trabajo se muestran los resultados del análisis de las series temporales de la energía solar medida a nivel del suelo, en la banda de 305 nm, y el espesor de la capa de ozono estratosférico. El rasgo más importante es la independencia de los valores de energía a nivel del suelo respecto de la variabilidad de corto periodo de la capa de ozono, siendo probablemente efectos meteorológicos locales los que llevan el mayor peso de la varianza.

Palabras clave: Ozono, radiación solar, ultravioleta, series temporales, meteorología.

ABSTRACT

In this paper, the results obtained by analyzing time series of ground level energy of the solar radiation in the 305 nm band and stratospheric ozone layer thickness are shown. The most relevant feature found is the independence of the variability of the ground level energy with respect to the short period variations of the ozone layer; being the meteorological local effects those which more heavily affect the variability.

Keywords: Ozone, solar radiation, ultraviolet, time series, meteorology.

INTRODUCCIÓN

Existen evidencias experimentales del progresivo deterioro que ha sufrido la capa de ozono estratosférico a partir de la década de los 80 [1-3]. Cada año en el hemisferio sur a comienzos de la primavera, sobre la región antártica se produce la destrucción del mayor porcentaje de ozono estratosférico del planeta, lo cual ha disminuido el espesor de la capa de ozono en todas las latitudes; en particular en latitudes subtropicales tales como Arica la disminución estimada es de un 3% por década, lo que hace que sea de vital importancia el seguimiento de la evolución de estas variables, debido a los altos niveles de irradianza solar UVB que se reciben en esta zona durante todo el año.

El incremento de los niveles de UVB es posible que tenga importantes consecuencias sobre los seres vivos en la Tierra, debido principalmente al incremento de la radiación solar ultravioleta B (UVB: 280-320 nm) atenuada por la capa de ozono [8]. Estas radiaciones tienen suficiente energía para producir daños en sistemas biológicos aunque, en condiciones normales, radiaciones de longitudes de onda menores que 290 nm prácticamente no llegan a la superficie terrestre. Por otra parte, es importante no solamente medir las dosis eritémicas que se reciben en un determinado lugar geográfico, sino que la energía UV que se recibe efectivamente a nivel del suelo y que tiene la capacidad de causar daño biológico, tal como, por ejemplo, efectuar alteraciones del ADN [4-7].

¹ Departamento de Física. Facultad de Ciencias. Universidad de Tarapacá. Casilla 7-D. Arica, Chile. E-mail: mrivas@uta.cl

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos a partir de estudios de series temporales de las variables energía UVB de 305 nm y espesor de la capa de ozono estratosférico (obtenidos por la NASA con el instrumento TOMS), con la finalidad de observar si con este método se puede establecer una relación entre ambas variables considerando que el espesor de la capa de ozono es muy estable en este lugar y los niveles de UVB que se reciben a nivel del suelo dependen también de otros factores que presentan variaciones mucho más importantes tales como, por ejemplo la nubosidad local. Las mediciones experimentales de irradianza solar UVB en 305 nm ($\text{mW/cm}^2\text{nm}$) fueron realizadas en el laboratorio de radiación solar UV de la Universidad de Tarapacá ubicado en la ciudad de Arica (Lat.: $18^\circ 29'S$, Long.: $70^\circ 19'W$, 23 m. a.s.l.), mediante un instrumento GUV-2511 de Biospherical Instruments, que permite medir siete longitudes de onda entre los 305 nm y la función PAR. Los cálculos fueron realizados para datos obtenidos durante el año 2005 entre los días 1 de abril (día juliano 91) y el día 31 de julio (día juliano 212).

La elección del estudio de las series temporales de la banda de 305 nm se ha hecho en consideración a que es la que transporta más energía y es la más sensible al contenido de ozono estratosférico de la atmósfera; en la vertical del lugar de medición se procedió a integrar la curva de irradianza para cada día y de esta manera se obtuvo la energía solar UVB que se recibe en Arica a nivel del suelo para esta banda en $\text{J/m}^2\text{ nm}$.

En el caso de las mediciones del ozono estratosférico, la medición con instrumentos satelitales ha alcanzado gran precisión, permitiendo un estudio permanente de todo el planeta; considerando el análisis de datos de instrumentos satelitales, TOMS/EarthProbe [8-9] es una importante herramienta de análisis y contrastación de datos que se encuentra disponible en la actualidad en nuestro país con las mediciones realizadas con los equipos de tierra en Arica. Los resultados obtenidos en este trabajo permitirán mejorar la calidad de las estimaciones de las distintas variables de las cuales depende la radiación solar UVB que se recibe a nivel del suelo en esta zona, para que en el futuro podamos mejorar la predicción de los modelos empíricos y teóricos específicos para la región.

INSTRUMENTACIÓN

El instrumento de medición de irradiancia solar UV utilizado en el laboratorio de radiación solar UV de la Universidad de Tarapacá fue un radiómetro GUV-2511 de banda angosta de la Biospherical Instruments, con sensores calibrados en U.S.A, el año 2005, fecha en que el instrumento fue instalado en el laboratorio. Este instrumento permite medir las siguientes longitudes de onda: 305, 313, 320, 340, 380, 395 nm, y la función PAR. El sensor se encuentra estabilizado a una temperatura de 40°C .

SERIES TEMPORALES DEL ESPESOR DE LA CAPA DE OZONO Y DE LA ENERGÍA EN LA BANDA DE 305 NM

En Arica se obtuvieron mediciones del espesor de la capa de ozono mediante datos satelitales del instrumento TOMS/NASA durante el año 2005.

En la Figura 1 se muestra el comportamiento del espesor de la capa de ozono entre el 1º de abril y el 31 de julio del año 2005. El espesor de la capa de ozono se mide en unidades Dobson ($1\text{ DU} = 1\text{ Unidad Dobson} = \text{columna vertical de } 10^{-2}\text{ mm de ozono en condiciones normales}$). Es notable que para el periodo considerado existe una clara tendencia al alza en el espesor de la capa de ozono, se sabe que consecuentemente existe una disminución de la energía UV medida a nivel de suelo; sin embargo, este es un rasgo climatológico que no nos interesa en este estudio pues lo que buscamos son los efectos de corto periodo de la capa de ozono en la energía UV.

La Figura 2 muestra la serie normalizada del espesor de la capa de ozono, para el año 2005, en función del día del año. En el eje vertical se pueden observar las fluctuaciones del espesor de la capa de ozono respecto a su valor medio normalizadas en unidades de desviaciones estándar, al cual se le ha restado el promedio climatológico entre los años 1996-2000. Para evitar que la corta extensión de la serie influya en el análisis, los datos fueron tomados entre 1 de abril (día juliano 91) y el 31 de julio (día juliano 212).

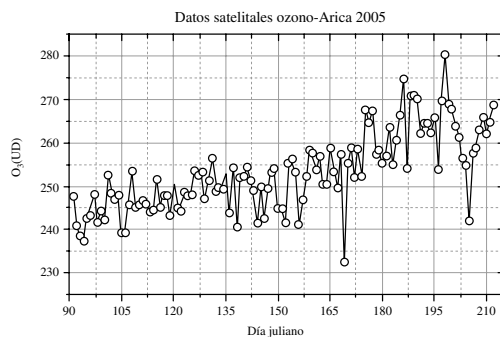


Figura 1. Espesor de la capa de ozono medido en Arica, Lat.: 18° 29' S, Long.: 70° 19' W. Instrumento TOMS/NIMBUS7, NASA-2005.

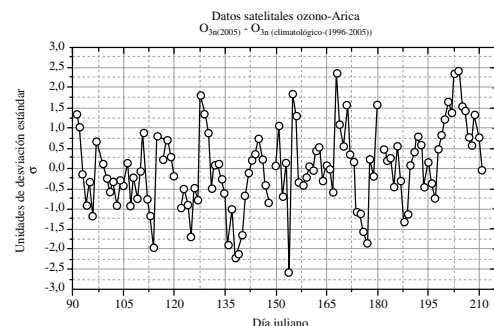


Figura 2. Serie normalizada O_3 , período 1 abril-31 de julio año 2005, menos promedio climatológico 1996-2000.

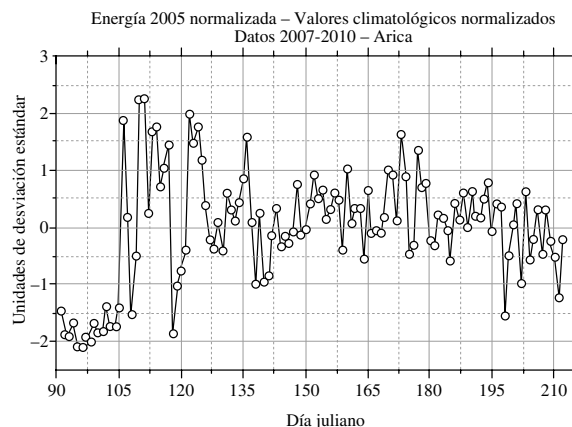


Figura 3. Serie normalizada, energía banda de 305 nm, período 1 abril-31 de julio. Año 2005 menos promedio climatológico 2007-2010.

La Figura 3 muestra la serie normalizada de la energía recibida a nivel del suelo para la banda de 305 nm durante el año 2005. Se presentan los promedios diarios en función del día del año. En el eje vertical se pueden observar las fluctuaciones de la serie de energía total diaria respecto de la serie normalizada de los valores climatológicos de la máxima radiación diaria para los días considerados en unidades de desviación estándar ya que no se cuenta con la serie climatológica de la energía. Los valores climatológicos corresponden a Arica entre 1 de abril (día juliano 91) y el 31 de julio (día juliano 212), promedios diarios años 2007-2010.

A la serie normalizada de la energía de la banda de 305 nm se le ha restado el promedio climatológico normalizado para evitar que la corta extensión de la serie influya de algún modo.

Respecto de esta metodología es importante considerar que el valor medio de los máximos diarios de radiación UVB durante el período de ocho años considerados está fuertemente correlacionado con el valor medio de la energía total diaria pues se eliminan los efectos de corto período como la nubosidad.

La Figura 4 presenta la muestra espectral de la serie de ozono trabajada tal como ya se indicó, en función de la frecuencia.

La Figura 5 muestra la densidad espectral de la serie de energía a nivel del suelo, trabajada según lo indicado anteriormente.

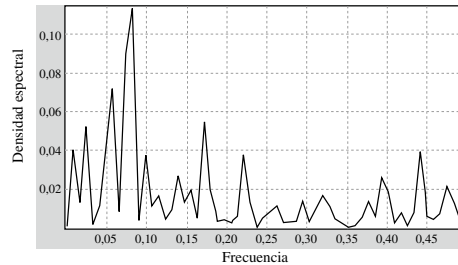


Figura 4. Contenido de frecuencias de la serie temporal espesor de la capa de ozono.

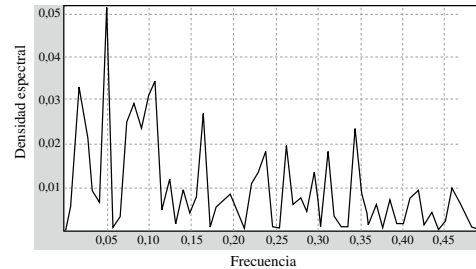


Figura 5. Contenido de frecuencias de la serie temporal energía banda de 305 nm en función de la frecuencia.

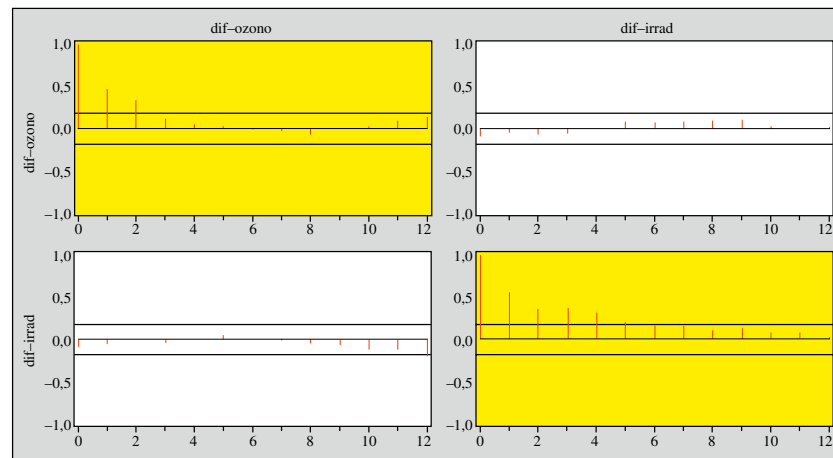


Figura 6. Autocorrelaciones y correlaciones cruzadas de series temporales de ozono y de energía.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se encuentran representados los datos satelitales diarios de ozono estratosférico medidos al mediodía solar sobre la vertical del lugar de observación por el instrumento TOMS/ NASA. El ozono presenta importantes fluctuaciones diarias que oscilan entre un valor mínimo de 232 UD y un valor máximo de 272 UD en el período de observación (días julianos 91-212 de 2005); sin embargo, la tendencia de la curva durante todo el período es sostenidamente creciente, lo cual representa el comportamiento normal del espesor de la capa de ozono estratosférico en Arica durante el período bajo estudio.

En la Figura 2 se puede observar la serie trabajada de manera que se pueda eliminar la tendencia

estacional y los efectos de la longitud de la serie. Del análisis de la serie original, se puede observar que durante el período bajo estudio la variable espesor de la capa de ozono tiene un aumento sostenido que corresponde al comportamiento normal del espesor de la capa de ozono estratosférico en esta latitud del hemisferio sur en las estaciones del año correspondientes a mitad de otoño e invierno; en el caso de esta variable la estacionalidad del año juega un rol importante. También se puede observar que en esta serie temporal durante el período bajo estudio existen fuertes fluctuaciones de período muy corto que, sin embargo, no afectan la tendencia global de crecimiento sostenido de esta variable.

En la Figura 3 se puede observar en la serie normalizada de energía recibida a nivel del suelo para la banda de 305 nm que esta serie en su forma original

muestra un comportamiento decreciente, lo cual se encuentra en directa relación con la disminución de la energía solar global que se recibe en esta región debido a la declinación del sol entre las estaciones otoño-invierno, de acuerdo a la estacionalidad del año, aumento de la nubosidad local y del espesor de la capa de ozono.

En la Figura 4 se muestra la densidad espectral de la serie de O_3 en función de las frecuencias. La importancia de este gráfico radica en el hecho de que en él quedan fielmente reflejadas las contribuciones en la serie temporal de las distintas frecuencias (períodos) en la variabilidad de la serie de las distintas contribuciones.

Estas frecuencias (períodos) pueden ser ligadas físicamente a fenómenos conocidos que afectan al sistema y nos dan una indicación de la relación causal con otras variables. En este caso, existe un máximo en la densidad espectral muy pronunciado en el período correspondiente al período de 12 días, el cual no tiene relación con el período principal de la energía que es de 20 días. El resto de los máximos observados en el espectro parece ser efecto de otros fenómenos locales tales como la nubosidad.

En la Figura 5 se muestra el contenido de frecuencias de la serie de energía en función de la frecuencia; podemos observar que existe un máximo de densidad espectral en el período correspondiente a 20 días y puede observarse un máximo secundario correspondiente al período de 12 días.

En la Figura 6 se puede observar que respecto a la autocorrelación ozono-ozono, el resultado obtenido para la autocorrelación de esta serie nos indica que existe dependencia significativa de los valores anteriores sólo hasta el segundo día, por lo tanto esta no es una característica que pueda tener relevancia para modelar esta serie. Respecto a la autocorrelación energía-energía, se puede observar que en este caso existe una clara correlación, significativa con valores de hasta cinco días, lo que indica que la serie está fuertemente autocorrelacionada.

CONCLUSIONES

Se realizaron estudios de series temporales normalizadas del espesor de la capa de ozono y de la energía UV en la banda de 305 nm recibida a nivel del

suelo entre el 1 de abril y 31 de julio del año 2005, a las cuales se le han restado los valores climatológicos para cada serie durante el período bajo estudio.

Del análisis de los datos se puede observar que en general las variaciones de período corto del espesor de la capa de ozono estratosférico no están fuertemente correlacionadas con las variaciones de la energía medida a nivel de suelo en la banda de 305 nm, siendo aparentemente de mucha mayor importancia los efectos meteorológicos locales. Hay que estudiar entonces la serie de energía en relación a fenómenos como la cobertura nubosa y la presencia de efectos locales como la advección de nubosidad debida a la fuerte convección en el altiplano.

Es importante extender este estudio mediante series temporales a otras localidades de nuestro país, incluyendo otras variables para poder determinar el origen de estas importantes señales encontradas en este trabajo dentro del espectro de las series.

AGRADECIMIENTOS

Miguel Rivas y Elisa Rojas agradecen el financiamiento otorgado por el Proyecto UTA-Mayor 4720 (2009-2010).

REFERENCIAS

- [1] V.E. Fioletov, G.E. Bodeker, A.J. Miller, R.D. McPeters and R. Stolarski. "Global and zonal total ozone variations estimated from ground-based and satellite measurements: 1964-2000". *Journal of Geophysical Research*. Vol. 107 (D22), 4647. 2002. DOI: 10.1029/2001JD001350.
- [2] J.R. Herman. "Global increase in UV irradiance during the past 30 years (1979-2008) estimated from satellite data". *Journal of Geophysical Research*. Vol. 115, Issue D04203. 2010. DOI: 10.1029/2009JD012219.
- [3] R.D. Bojkov and V.E. Fioletov. "Estimating the global ozone characteristics during the last 30 years". *Journal Geophysical Research*. Vol. 100, Issue D8, pp. 16,537-16,551. 1995. DOI: 10.1029/95JD00692.
- [4] J.R. Herman, P.K. Barthia, J. Ziemke, Z. Ahmad and D. Larko. "UV-B increases (1979-1992) from decreases in total ozone". *Geophysical*

- Research Letters. Vol. 23, Issue 16, pp. 2117-2120. 1996. DOI: 10.1029/96GL01958.
- [5] A.C. McKinlay and B.L. Diffey. "A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin". CIE Journal. Vol. 6, Issue 1, pp. 17-22. 1987.
- [6] M. Tevini (Editor). "UV-B radiation and ozone depletion. Effects on humans, animals, plants, microorganisms and materials". Lewis Publishers. 1993.
- [7] J. Jagger. "Solar UV actions on living cells". Editorial Praeger, New York, EUA. 1985.
- [8] S. Madronich and S. Flocke. "Theoretical estimation of biologically effective UV radiation at the earth's surface". In C.S. Zerefos and A.F. Bais. Solar Ultraviolet Radiation: Modelling, Measurements and Effects. NATO ASI SERIES. Vol. I52. Springer-Verlag. Berlin, Germany. 1997.
- [9] J.R. Herman and E. Celarier. TOMS Version "7 UV-Erythema exposure". 1978-1993 CD edited by NASA Goddard Space Flight Center. 1996.