

## ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE ACTIVIDAD SOLAR Y COLUMNA DE OZONO A LATITUDES TROPICALES

Ghezzi F., Saavedra P., Palenque E.R., Zaratti F.

*Laboratorio de Física de la Atmósfera  
Instituto de Investigaciones Físicas  
Universidad Mayor de San Andrés  
La Paz-Bolivia*

### RESUMEN

En el presente trabajo se analizan datos de la actividad solar y de la columna de ozono a una latitud tropical, durante el período 1978-1999, con el objetivo de poner en luz una eventual correlación entre las dos magnitudes. A pesar del corto período de datos, mediante análisis de Fourier se pone en evidencia, además de los períodos esperados de 11 años para las manchas solares y 1 año para el ozono, algunas frecuencias que merecen mayor investigación. Sin embargo no se encontró una correlación directa entre el índice de Wolf y el ozono total.

### 1. INTRODUCCIÓN

Una de las metas del Laboratorio de Física de la Atmósfera es monitorear la columna de ozono sobre el territorio boliviano, como parte de la red sudamericana de monitoreo de ozono y RUV liderada por el INPE-Brasil.

Hay muchos factores que causan cambios en la concentración de la columna de ozono. Al margen de variaciones debidas a causas antropogénicas, que, en el caso de la región de estudio son despreciables, en orden de importancia tenemos: variaciones estacionales, cambios debidos al fenómeno de dinámica atmosférica “Quasi Biennial Oscillation” (QBO) y variaciones debidas a la actividad solar, que se reflejan en cambios en el valor de la constante solar.

En este trabajo nos concentramos en la relación que pudiera existir entre actividad solar, medida por el número de Wolf y variaciones de la columna de ozono medida por el instrumento TOMS (Total Ozone Mapping Spectrophotometer) a bordo de satélites. En la Figura 1 se puede observar una clara relación entre valores de la constante solar y el número de manchas solares en un período similar al período de estudio del presente trabajo(1). Se trata, a toda vista, de un buen indicio para realizar el análisis propuesto.

Es interesante observar que ya en el año 1966 en el entonces Laboratorio de Física cósmica se realizó un experimento pionero para determinar una eventual relación entre ozono y manchas solares, mediante ozonosondajes antes, durante y después el eclipse total de sol del 12 de noviembre de ese año. Si bien los resultados no son concluyentes (2), queda la intuición de nuestros colegas de entonces de realizar estudios como el que presentamos en este trabajo. Un trabajo más reciente (3) ha demostrado una influencia directa de la actividad incrementada del sol sobre la columna de ozono; debida a una mayor intensidad en la banda ultravioleta.

### 2. ANÁLISIS DE LOS DATOS

Se ha analizado los datos del número promedio de manchas solares en el período 1978-1999 obtenidos del Observatorio Real de Bélgica(4) y asimismo los correspondientes datos de la columna de ozono sobre La Paz, tomados por el instrumento TOMS a bordo de diferente satélites de la NASA(5). Se han tomado en cuenta medias diarias, mensuales y anuales. Los valores más significativos corresponden a los promedios mensuales.

La Figura 2 muestra las variaciones mensuales de ozono medidas por satélite sobre la región de La Paz (16.5°S, 68.1°W) en un período de 22 años. Se pueden observar variaciones claras entre invierno y verano, los valores varían entre 240 a 270 Unidades Dobson (DU) con una media de 250 DU. Mientras que la figura 3 muestra las variaciones mensuales de las manchas solares en el mismo período (22 años). Aquí claramente se distingue el conocido ciclo de 11 años. Hay que notar que no se disponen de datos de ozono para el todo el año 1995 y de algunos meses de otros años, lo que ha implicado realizar algunos ajustes para aplicar métodos de análisis convencionales al conjunto de datos.

Los mecanismos de la formación de la capa de ozono y de las manchas solares son muy complejos y no es el propósito de este reporte discutirlos. Cabe resaltar que la formación de ozono es una reacción fotoquímica y al origen de las manchas solares están las variaciones de los campos magnéticos solares (6,7).

La Figura 4 es la combinación de las Figuras 2 y 3 normalizadas para facilitar la comparación. No es evidente de la Figura 4 la existencia de una correlación entre ozono y manchas solares: hay períodos que muestran correlación y otros anticorrelación.

Para poner en evidencia posibles correlaciones entre las dos magnitudes, se ha aplicado una transformación de Fourier (FFT) a ambos conjuntos de datos, en sus promedios mensuales, obteniéndose las Figuras 5 y 6.

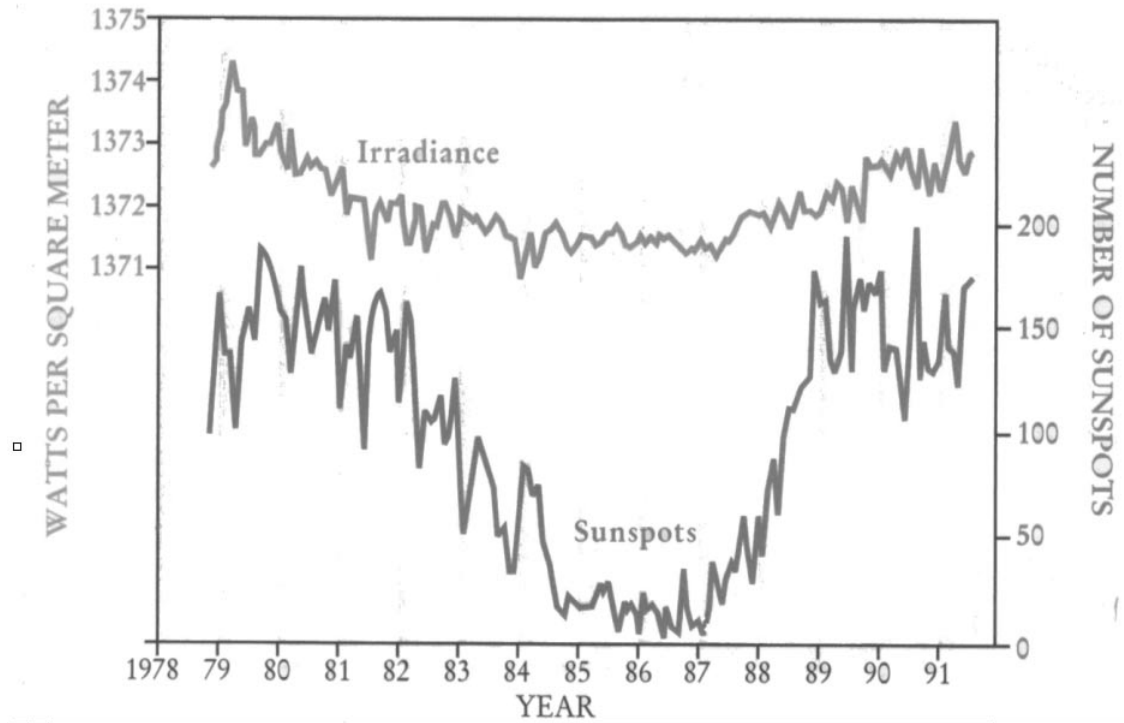


Figura 1. Series Temporales de la constante solar y del número de manchas solares (1978-1991). Tomada de referencia 1.

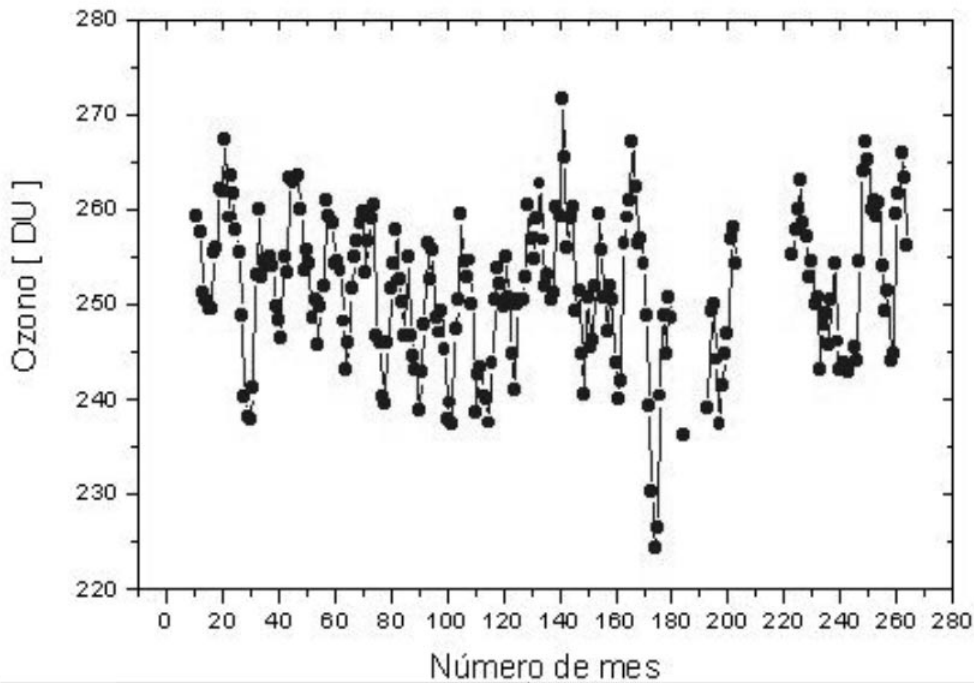


Figura 2. Promedios mensuales de ozono sobre La Paz desde Noviembre 1978 (datos TOMS-NASA).

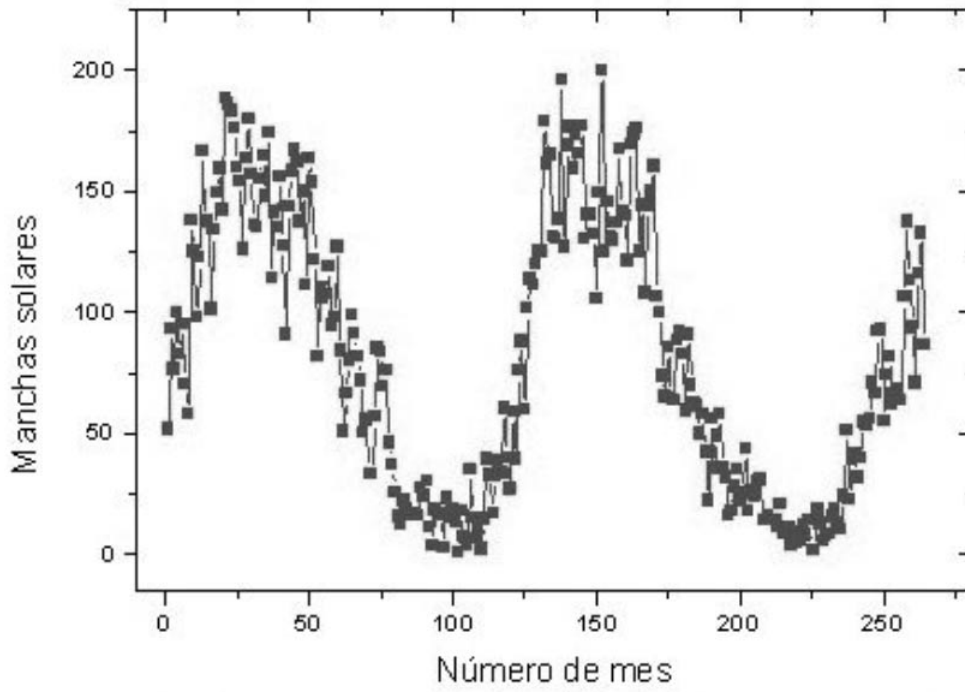


Figura 3. Serie temporal del número de manchas solares (datos mensuales 1978-1999).

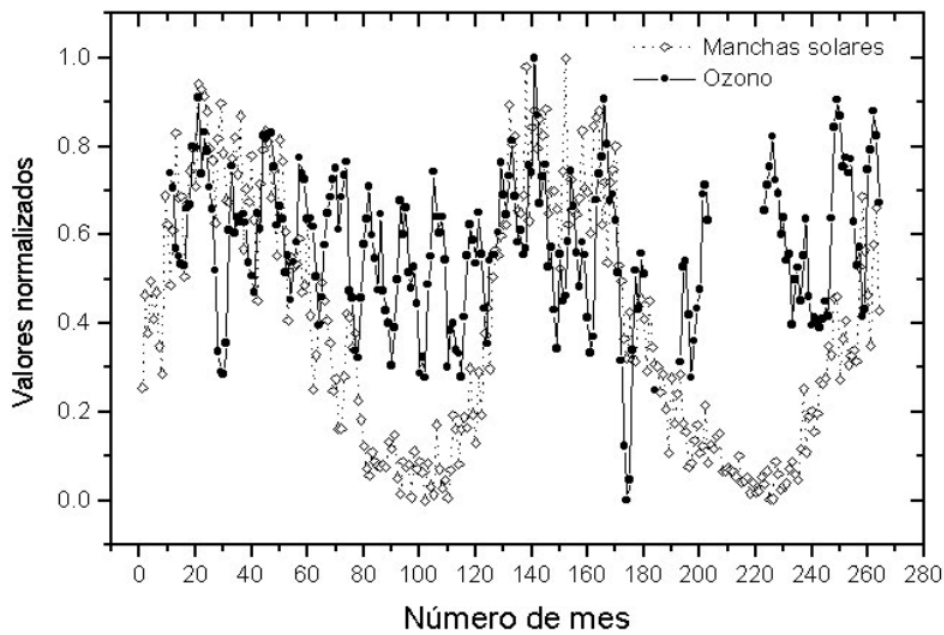


Figura 4. Comparación de las series temporales de ozono y manchas solares (datos normalizados).

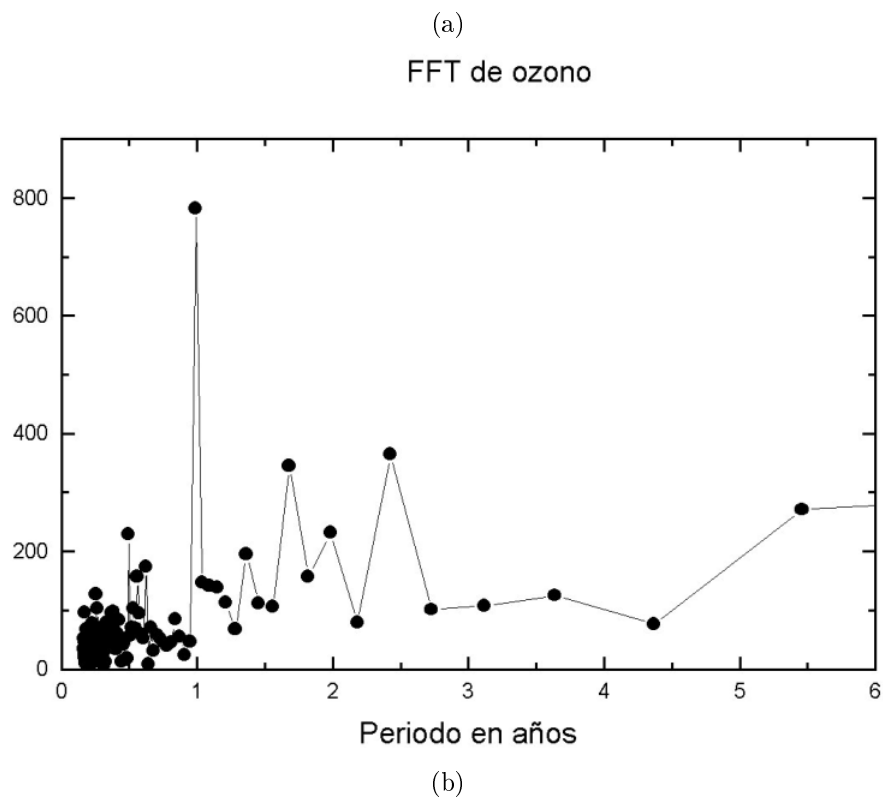
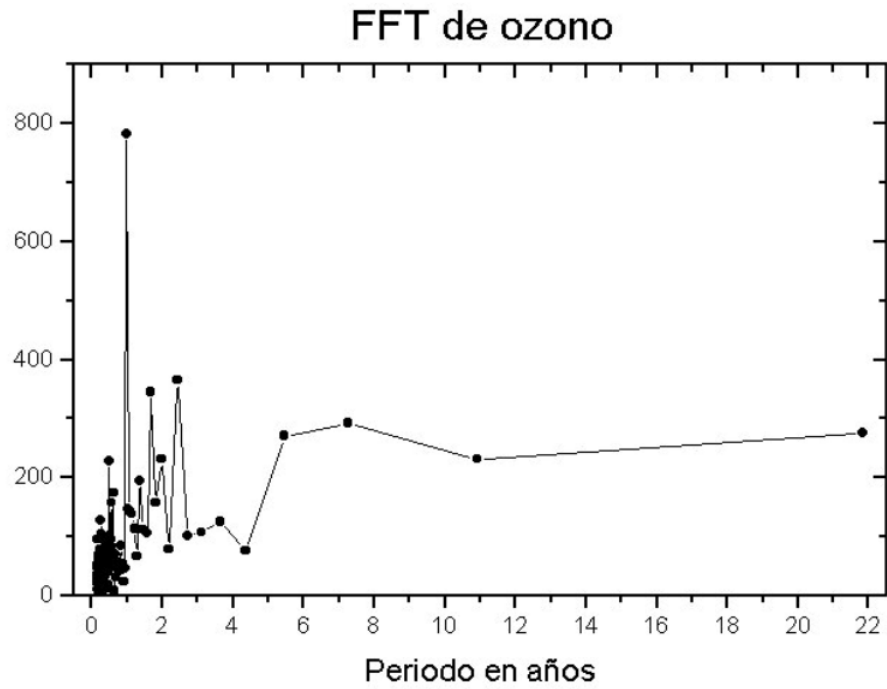


Figura 5. (a). Transformada de Fourier de los valores mensuales de ozono. Nótese el pico prominente de un año. (b). La misma figura en una escala de 6 años. Nótese los picos de la QBO.

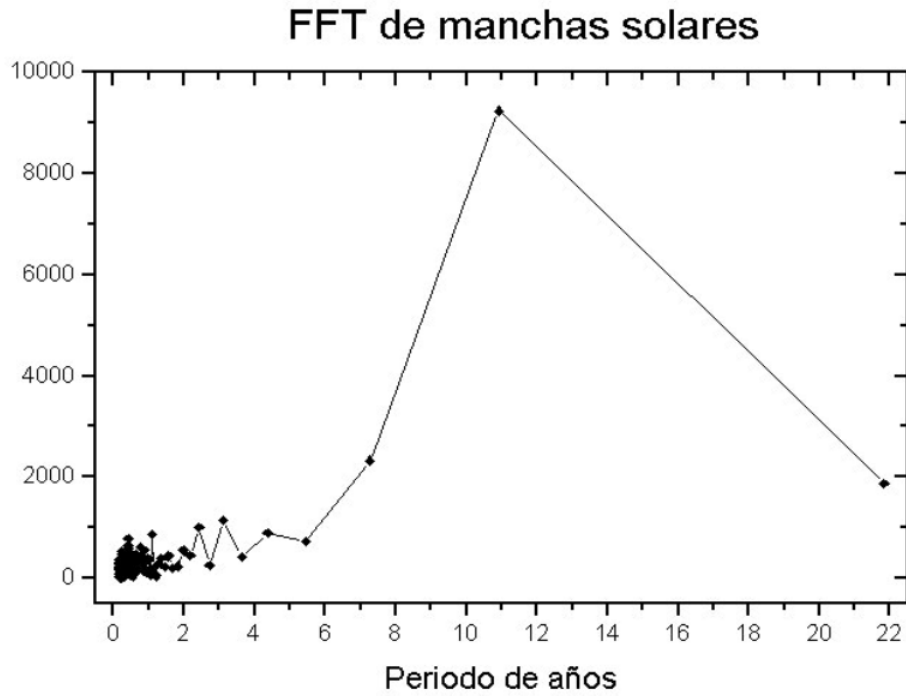


Figura 6. Transformada de Fourier de los valores mensuales del número de manchas solares. Nótese el pico prominente de 11 años.

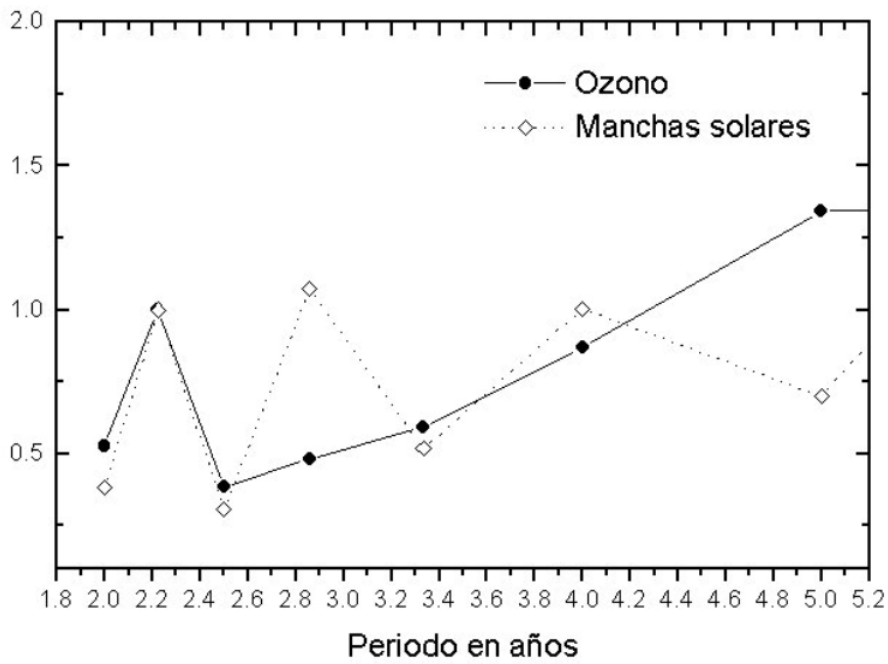


Figura 7. FFT de valores anuales de manchas solares y ozono normalizadas. La amplificación muestra la QBO.

En APENDICE se explica el procedimiento seguido.

### 3. RESULTADOS

Las gráficas de las transformaciones de Fourier nos dan información interesante y los resultados más importantes los detallamos aquí.

No hay una relación evidente entre el ciclo de 11 años de manchas solares y ozono. Pero esos resultados negativos pueden ser producto de la limitación de datos que abarcan sólo dos períodos solares.

Lo más interesante de la figura 5 es que, además del pico esperado de 1 año (ciclo estacional), existe un pico a los 2.2 años. Con toda probabilidad ese pico corresponde a la llamada Oscilación Cuasi Bienal (QBO). La QBO ocurre solamente en las regiones tropicales y es debida a ondas de gravedad que causan vientos en la atmósfera media soplando de Este a Oeste. Existe mucha especulación en torno a la dinámica de este fenómeno (7). De todos modos el hecho que el período de esa oscilación no es fijo - varía entre 1.8 y 2.5 años- se refleja en la existencia de dos picos menores, a 2.2 y a 2.5 años en los períodos de la FFT de los datos de ozono.

La transformada de Fourier de las manchas solares claramente muestra un pico dominante para 11 años (Figura 6). También hay pequeñas oscilaciones a otras frecuencias. No está claro si estas frecuencias son significativas o son simplemente resonancias de la frecuencia fundamental.

Se hicieron también transformaciones para datos anuales. Para ozono se nota claramente la oscilación bienal en la Figura 7, donde, además, las manchas solares parecen tener también un ciclo de 2.2 años. No se tienen aún una explicación de este fenómeno.

### 4. CONCLUSIONES

Las conclusiones más importantes son:

- 1 Se han observado ciclos naturales bien establecidos: ciclo de 11 años de la actividad solar y ciclo anual del ozono.
- 2 En el caso del ozono existe además evidencia de una oscilación en torno a 2 años, que la podemos identificar con la conocida "cuasi bienal" de la capa de ozono (7), donde el "cuasi" se manifiesta mediante dos picos en la FFT.
- 3 Hay muchas frecuencias no convencionales que requieren de una mayor investigación. Un problema que se ha encontrado es la falta de datos de ozono sobre períodos de tiempo más largos. Para ulteriores investigaciones se piensa acudir a bancos de datos del servicio meteorológico británico, que tiene datos de ozono desde los años '40 para latitudes no tropicales

### 5. APENDICE: FFT DE LOS DATOS

Con el objetivo de tener una gráfica normalizada se usó el siguiente procedimiento: primeramente se restó a

todos los datos el valor mínimo de éstos para no tener problemas de escala, luego se dividió por el valor máximo de los datos para normalizarlos. El anterior procedimiento se hizo para manchas solares como para ozono.

Para hacer un análisis de los datos de ozono y manchas solares en el dominio de las frecuencias, utilizamos el algoritmo de Transformada Rápida de Fourier (FFT), para lo cual se tomó datos promedios mensuales desde enero de 1978 hasta diciembre de 1999 para el caso de las manchas solares y desde noviembre de 1978 hasta diciembre de 1999 para el caso de ozono. Sin embargo en ozono no se tiene completo los años 1993 (sólo se tiene hasta el mes de abril), 1995 (falta todo el año) y 1996 (no se cuenta con datos de enero a junio). Se usó el lenguaje MATLAB para hacer el cálculo de la FFT conforme al algoritmo normal.

Para el caso de las manchas solares se aplicó la función FFT que cuenta el programa MATLAB y se obtuvo los valores complejos de la transformada, luego se calculó el valor absoluto de éstos para trabajar sólo con números reales. El primer valor de la FFT se desechó puesto que corresponde a la suma de todos los datos, también se tomó la mitad del número total de valores obtenidos por la FFT ya que son la imagen de la primera mitad y no corresponden a componentes de más alta frecuencia de la señal. Para determinar las frecuencias se tomó en consideración lo siguiente: como frecuencia de muestreo se tiene 1 dato por mes, con un total de 264 datos en 22 años. La frecuencia de Nyquist es la mitad de la frecuencia de muestreo y corresponde a 1/2. Pero para realizar los gráficos se usó el período en vez de la frecuencia. El resultado para los datos de manchas solares se muestra en Figura 4.

En lo que respecta a los datos de ozono, como se mencionó anteriormente, no se cuenta con los datos completos en el mismo intervalo que las manchas solares, así que se rellenó los datos faltantes con el promedio del total de datos disponibles que es aproximadamente 251 DU, luego se prosiguió con el mismo método usado para las manchas solares. El resultado obtenido se ve en la Figura 5. Finalmente se hizo una ampliación normalizada de las FFTs de ozono y manchas para poner en evidencia los períodos menores a partir de datos promedio anuales: Figura 7.

### 6. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. N. Martinic por la sugerencia de investigar el tema y por útiles discusiones en torno a los resultados de la investigación.

### REFERENCIAS

- [1] E. Parker, The Physics of the Sun, Physics Today, June 2000, pag. 31.
- [2] R. Schulczewski & F. Sheriff, Perfiles de ozono en el eclipse solar del 12 de noviembre de 1966, Resumen de Labores No. 31 (1968), La Paz, Bolivia
- [3] Jackman C H, et al. Northern Hemisphere Atmospheric Effects due to the July 2000 Solar flare. Geophysical Research Letters, August 1, 2001

- [4] Royal Observatory of Belgium: [www.astro.oma.be/SIDC/DATA/](http://www.astro.oma.be/SIDC/DATA/)
- [5] NASA, Total Ozone Mapping Spectrophotometer (TOMS) from Nimbus7 and Earth Probe Satelites. Overpass data for La Paz OVP149: [www.jwocky.gsfc.nasa.gov](http://www.jwocky.gsfc.nasa.gov)
- [6] Kuiper G P; The Sun vol 1; Univ Chicago Press; 1953
- [7] Salby M L; Atmospheric Physics, Academic Press; 1995