

APLICACIÓN DEL ANALISIS DE FOURIER A SERIES TEMPORALES DE OZONO

A.Calle Montes, A.M. Pérez Burgos y M.Flórez Catón
Laboratorio de Teledetección. Universidad de Valladolid. 47071-Valladolid
e-mail: abel@rigel.fa1.cie.uva.es

RESUMEN

Como sabemos, las series temporales de ozono establecidas para cualquier zona geográfica presentan una clara evolución periódica con la existencia de máximos y mínimos anuales. Este trabajo viene a ser un estudio de dicha periodicidad mediante las técnicas de la transformada de Fourier. Se considerará el periodo temporal correspondiente a los años 1978-1993 y se utilizarán como datos, aquellos proporcionados por la sonda TOMS. Como se verá en el desarrollo del trabajo, el estudio de la evolución temporal de tales datos en el espacio de las frecuencias aporta resultados concluyentes que enriquecen los estudios acerca del ozono.

INTRODUCCION

El análisis de Fourier aplicado a las series temporales de ozono es capaz de suministrar una información adicional acerca de la evolución de dicho componente que prácticamente es imposible observar a partir de las series en el espacio real. Como antecedente podemos mencionar a *Sekiguchi et al. (1989)* que aplicó dicha técnica a las series de ozono de 22 años que poseía en Syowa con el fin de investigar la influencia de la actividad solar sobre la disminución de ozono en la Antártida.

El análisis de Fourier, tal y como lo hemos aplicado en el presente trabajo, nos va a permitir llevar a cabo un doble objetivo; por un lado, el análisis de distintas periodicidades del ozono que van a depender de la zona de estudio y por otro, permite obtener curvas que modelicen de forma teórica los datos originales.

TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Los datos de partida del presente estudio son las series de datos TOMS elaboradas para el periodo 1978-1993; referimos al lector a otro trabajo en torno al ozono presentado en la presente reunión y firmado por estos autores para ver la descripción de tales series. De las tres franjas de latitud que en dicho trabajo se trataban, nos centraremos aquí, por cuestiones de extensión, en la que denominábamos franja Mediterránea. Se

trata de una zona geográfica centrada en la Península Ibérica delimitada por las coordenadas (35.5°N, 20.625°W) - (45.5°N, 20.625°E). La aplicación de la Transformada de Fourier a la serie en cuestión requiere el siguiente tratamiento previo de los datos; en primer lugar se han obtenido promedios diarios para la franja en cuestión y no promedios mensuales o anuales con el fin de poseer la mayor cantidad de datos posibles; el total de puntos en la serie ha sido de 4096. la serie, una vez construida, se ha suavizado con el fin de eliminar ruidos. En segundo lugar, ha sido necesario eliminar lo que denominamos tendencia de la serie: la serie de datos de ozono presenta junto a su evolución oscilatoria un decrecimiento lineal que fue calculado numéricamente en el trabajo anteriormente mencionado. Si se quiere aplicar un análisis armónico, es necesario eliminar previamente cualquier tendencia de los datos que no sea la puramente periódica. Trataremos esto en los siguientes párrafos.

ELIMINACION DE LA TENDENCIA DE LA SERIE

Como se ve en la figura 1, la gráfica de evolución del ozono muestra a lo largo del periodo de estudio (1-11-78 a 31-12-93) una clara tendencia que se puede considerar como un descenso lineal.

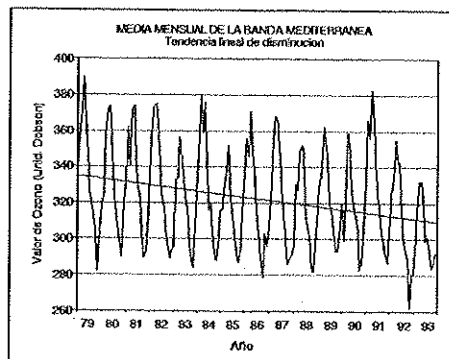


Figura 1. Tendencia lineal negativa de la serie

La recta de ajuste que expresa este

descenso se ha tomado del trabajo mencionado y es la siguiente:

$$\text{Ozono (UD)} = 335.0384 - 0.13983 \cdot \text{mes} \quad (1)$$

La aplicación de esta expresión a los datos de ozono permite reconstruir la serie, esta vez con un comportamiento periódico puro.

ANÁLISIS DE LA PERIODICIDAD

Una vez efectuados los puntos anteriores, se lleva a cabo la transformada de Fourier de la serie resultante. La gráfica de la figura 2 muestra el valor de la *energía espectral* de los armónicos obtenidos en la serie. Esta energía, como sabemos, muestra la importancia con la que una frecuencia está presente a la hora de reproducir la función mediante la serie de Fourier. Es visible en dicha gráfica un pico totalmente diferenciado de los restantes. Este pico corresponde al armónico $n=11$. Se han considerado, no obstante, los tres armónicos principales ($n=10, 11$ y 12) de la serie, los cuales son capaces de proporcionarnos la periodicidad de la misma; el periodo que se obtiene ponderando los tres armónicos principales es: $T=12.23$ meses. Podemos concluir que en la serie formada y para el conjunto de años estudiado, no obtenemos más periodicidades que aquella correspondiente a un período de, aproximadamente, un año, periodicidad que ya era conocida de antemano. Veremos más tarde lo que pasa, respecto a esto, al considerar otras zonas de la tierra.

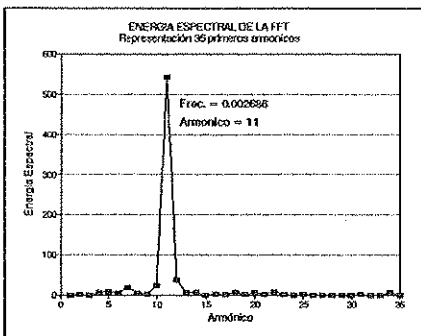


Figura 2. Energía espectral de los armónicos. F. Mediterránea

MODELIZACION DE LA SERIE

El análisis mediante la transformada de Fourier permite una modelización

matemática de la serie que puede resultar útil entre otras cosas para la predicción de valores de ozono. Utilizando los tres armónicos principales anteriores, la Transformada inversa de Fourier conduce a la siguiente expresión para el espesor de ozono:

$$O_3 = F_0 + \sum_{n=10}^{12} [R_n \cdot \cos\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) - I_n \cdot \sin\left(\frac{2\pi nk}{N}\right)] - a \cdot k$$

en la cual se ha incluido, lógicamente, el término lineal de disminución dado por $a=0.13983/30=4.66 \cdot 10^{-3}$ (UD/día). Esta expresión ha sido representada junto con la serie de datos originales; el resultado se puede ver en la figura 3.

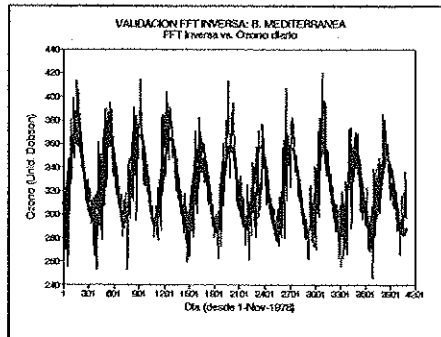


Figura 3. Validación de la curva modelo

Como vemos, la evolución de la curva teórica es bastante fiel a la de la original si bien, lógicamente, no reproduce las grandes fluctuaciones diarias que presenta esta última. No obstante la buena adaptación conseguida, hemos pretendido una nueva validación de los resultados teóricos comparando estos con datos medidos para un periodo diferente posterior. Esta tarea no es fácil, debido a la importante falta de datos TOMS posteriores: a finales del año 1994 el METEOR/3, satélite que soportaba la sonda TOMS comenzó a fallar y fue reemplazado. Dos nuevos satélites sustituyeron a aquel, el EP-TOMS, y el ADEOS, los cuales comenzaron a enviar datos a partir de 1996 y con algunas discrepancias entre sí. Con este planteamiento, se eligió comparar los datos diarios reales (proporcionados por el EPTOMS) y aquellos predichos por la transformada inversa de Fourier para tres meses de 1996 (septiembre, octubre y noviembre). El resultado se muestra en la figura 4. Como ocurría en la figura 3, la

curva predice correctamente el comportamiento global de evolución del ozono suavizando lógicamente las fluctuaciones diarias.

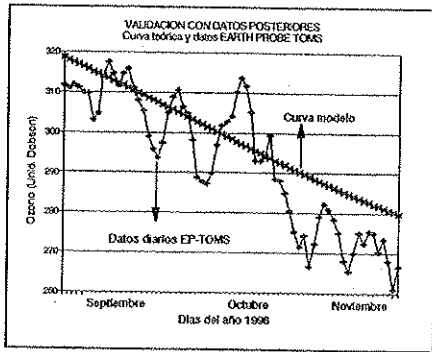


Figura 4. Comparación curva modelo y datos EP-TOMS

ANÁLISIS DE OTRAS ZONAS GEOGRÁFICAS

Nos ha parecido interesante ampliar los resultados del análisis anterior a otras zonas geográficas muy diferentes como pueden ser la zona ecuatorial y el hemisferio sur. Se han tomado para ello, correspondiendo a estas zonas, dos franjas geográficas del mismo tamaño que la franja Mediterránea. Dichas zonas serán denominadas: franja Ecuatorial comprendida entre las latitudes (5.5°S,5.5°N) y franja Sur comprendida entre las latitudes (35.5°S,45.5°S), esta última simétrica de la Mediterránea. El análisis de Fourier para dichas franjas es el que reproducimos a continuación:

Franja Ecuatorial

El análisis en el espacio de las frecuencias nos lleva a la visualización de una serie de

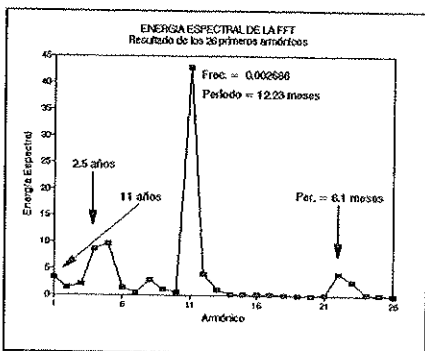


Figura 5. Energía Espectral primeros armónicos de la Franja Ecuatorial.

armónicos principales señalados en la figura 5.

Considerando el mismo conjunto de años vemos como en el Ecuador existen otras periodicidades visibles distintas a la anual, de las cuales se puede encontrar justificación. La correspondiente modelización, en este caso, nos lleva a la figura 6. Como se puede ver, esta modelización es casi perfecta, en un caso como el de la franja Ecuatorial, en el que las fluctuaciones diarias del ozono se ven muy reducidas.

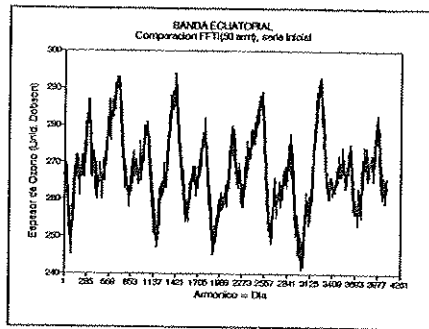


Figura 6 Superposición de la curva modelo a los datos de ozono.

Franja Sur

El mismo análisis llevado a cabo para esta nueva franja nos muestra para el estudio de las periodicidades, unas frecuencias fundamentales que aparecen en la figura 7.

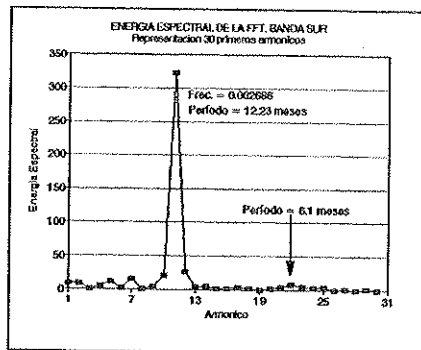


Figura 7. Energía espectral de los principales armónicos. Franja Sur.

La correspondiente representación de la curva teórica de la serie aparece en la figura 8. Los comentarios en este caso son

similares a los de la franja Mediterránea

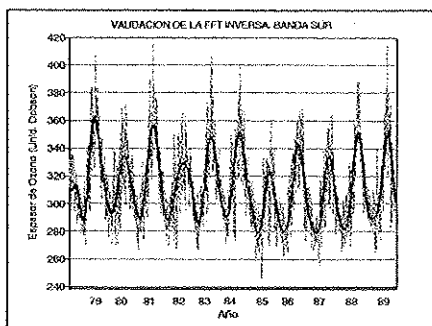


Figura 8. Superposición de la curva modelo a los datos de ozono

CONCLUSIONES

Se ha aplicado el análisis de Fourier a las

series temporales de ozono correspondientes al período 1978-1993, para tres franjas de latitud situadas en ambos hemisferios y en el ecuador. Los resultados obtenidos muestran la aparición de un número mayor de frecuencias fundamentales en el ecuador seguida por la banda sur y por último la Mediterránea. Debido a la menor variabilidad diaria del ozono en la franja ecuatorial la mejor modelización a partir de la transformada inversa de Fourier se obtiene para esta franja.

REFERENCIAS

Sekiguchi, Y., 'Ozone and stratospheric temperature change in Antarctica correlated to the solar activity' en 'Ozone in the atmosphere'. Eds. D. Bojkov and P. Fabian. 1989.