APLICACIÓN DE METOLOGÍAS DE ANÁLISIS DE SERIES TEMPORALES A DATOS DE CAPA DE OZONO SOBRE ROSARIO DURANTE EL PERIODO 1979-2024

Iván Lionel Novara[1]; Eduardo Luccini[2]

[1]*Instituto de Física de Rosario IFIR-CONICET, Universidad Nacional de Rosario, Rosario, S2000, Santa Fé, Argentina*; [2]*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Centro de Excelencia en Productos y Procesos de Córdoba (CEPROCOR). Sede Santa María de Punilla, Pabellón Ceprocor (X5164), Córdoba, Argentina.*

Contacto: ivanlionelnovara@gmail.com

Palabras claves: Columna total de ozono; Series temporales; Análisis de forzantes

INTRODUCCIÓN

El ozono estratosférico presenta una dinámica característica, modulada por su interacción con otras capas atmosféricas, y condicionado a su vez por el deterioro debido a la acción humana. En las latitudes medias, responde a diversos forzantes y constituye un importante reservorio estratosférico que protege a la biosfera frente a la radiación ultravioleta. Su variabilidad temporal y espacial resulta de la interacción entre procesos fotoquímicos, dinámicos y radiativos, así como de la influencia de forzantes naturales y antropogénicos. Existe un creciente interés en comprender los procesos que controlan la variabilidad de la concentración de ozono en las latitudes medias del hemisferio sur, una región particularmente relevante debido a su interacción con la circulación estratosférica y a la influencia que pueden ejercer fenómenos climáticos y dinámicos de diferentes escalas temporales. Los objetivos del trabajo son los siguientes: 1) Analizar las tendencias anuales de la columna total de ozono en Rosario, Argentina, durante el período 1979–2024. 2) Evaluar la contribución de diferentes forzantes a los cambios observados.

METODOLOGÍA

Se utilizaron dos períodos: uno comprendido entre **1979 y 1994** y otro entre **1997 y 2024**, empleando valores mensuales. No se aplicaron métodos espectrales para descomponer la serie temporal correspondiente al período **1979–1994**, debido a su corta duración. El cálculo de la tendencia para la serie **1979–1990** se realizó eliminando la media estacional y, posteriormente, construyendo la serie anual de TCO. Finalmente, se aplicó una regresión lineal simple a esta serie anual.

El período 1997–2024 se analizó mediante dos métodos: Un método independiente de los forzantes externos, que combina la Descomposición de Modos Empíricas (EMD) con la Transformada Rápida de Fourier (FFT). Las primeras seis Funciones de Modo Intrínseco (IMF) obtenidas mediante EMD fueron sometidas a un análisis mediante FFT. Un método dependiente de los forzantes involucrados, basado en la Regresión Lineal Múltiple (MLR) y la herramienta Trend Run Model. Las tendencias obtenidas se determinaron a partir de los residuos resultantes de ambos métodos. Datos: Los datos utilizados corresponden a los conjuntos TOMS disponibles en GEE (Google Earth Engine), que abarcan el período 1979–2024. Se decidió dividir el análisis en 1990. En 1991 ocurrió la erupción del volcán Pinatubo, cuyos aerosoles pudieron haber alterado la serie de TCO en Rosario (32,96°S; 60,62°O; 25 m s. n. m.).

RESULTADOS

Figura 1: El método aplicado para el período **1979–1990** consistió en restar el **promedio mensual histórico (1979–1990)** a la serie temporal mensual, obteniendo así la **serie de anomalías mensuales**. Posteriormente, estas anomalías se transformaron en una **serie anual** para realizar la regresión lineal. La tendencia obtenida fue de **−2,4 ± 1,9 %/década**.

Figura 2: El enfoque de **Regresión Lineal Múltiple (MLR)** considera los principales forzantes geofísicos, como la **Oscilación Anual (AO)**, la **Oscilación Semianual (SAO)**, la **Oscilación Cuasibienal (QBO)**, **El Niño-Oscilación del Sur (ENSO)** y el **ciclo solar (SC)**. Este método arroja una tendencia más débil para este período, de **−0,39 ± 0,16 %/década** con respecto a los niveles previos a la década de 1980, equivalente a **−1,19 ± 0,49 DU/década**, y representa el **5,7 % de la variabilidad total** durante el período analizado. Las contribuciones individuales de los fenómenos periódicos estimadas son: **AO (73,7 %), QBO (3,4 %), SC (2,0 %), SAO (0,84 %) y ENSO (0,71 %)**. En conjunto, estos forzantes explican aproximadamente el **81 % de la variabilidad total de la serie de TCO** durante el período analizado.

Figura 3: El método **EMD**, que descompone la serie temporal de manera adaptativa sin requerir un conocimiento previo de los forzantes externos, detecta una tendencia de **−0,37 ± 0,01 %/década** con respecto a los niveles previos a la década de 1980, equivalente a **−1,13 ± 0,03 DU/década**. La **FFT(IMF1)** muestra una señal que podría estar asociada al **SAM**. La **FFT(IMF2)** corresponde a la **señal anual**, mientras que la **FFT(IMF3)** presenta una combinación de la señal anual y una componente de la **QBO**. La **FFT(IMF4)** representa la **QBO**, la **FFT(IMF5)** corresponde a **ENSO**, y la **FFT(IMF6)** refleja la **señal solar**.

Figura 1

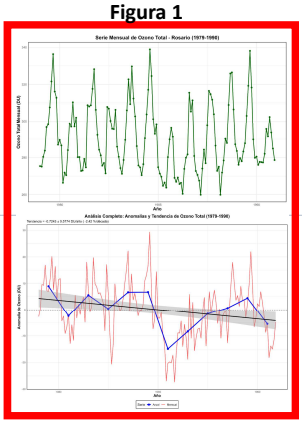


Figura 2

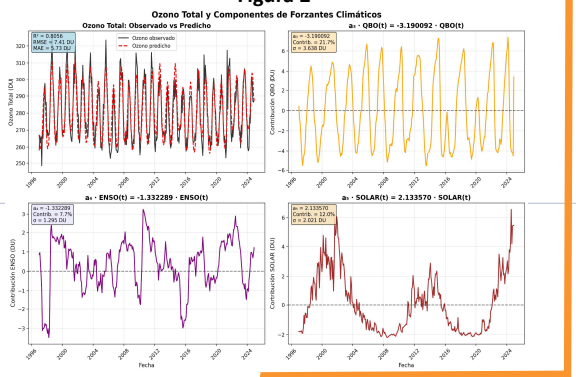


Figura 3

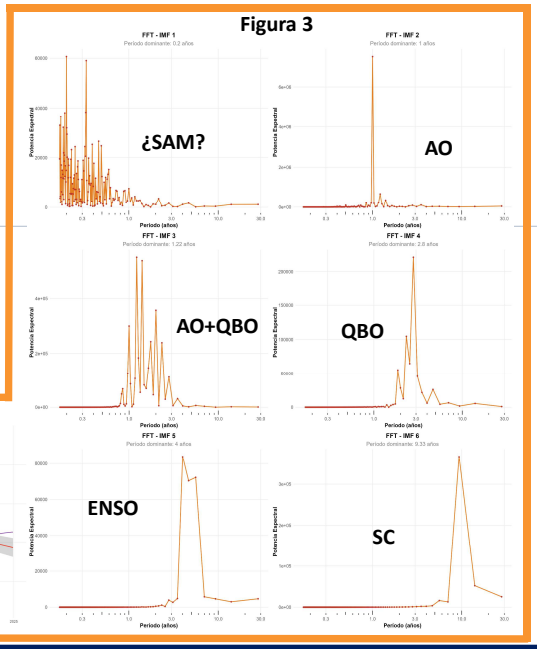
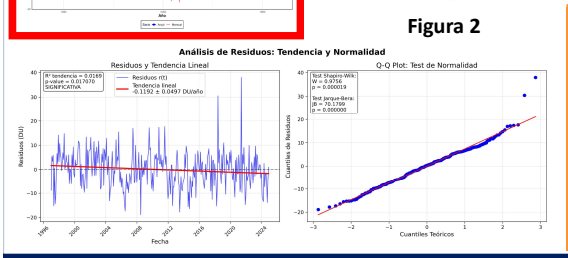
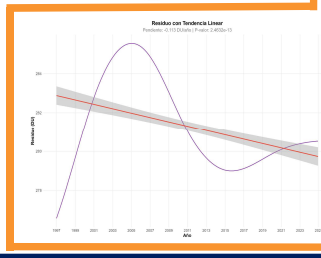


Figura 2





CONCLUSIONES

Análisis mediante EMD para el período 1997–2024. La aplicación del enfoque **EMD** al período 1997–2024 permite realizar una descomposición no lineal de la serie temporal, obteniéndose las primeras seis **Funciones de Modo Intrínseco (IMF)**. El análisis mediante **FFT** de cada IMF se interpreta de la siguiente manera: La **FFT de la IMF1** presenta un máximo correspondiente a un período de aproximadamente **3 meses**, lo que sugiere la posible presencia de la influencia del **SAM (Modo Anular del Sur)**. La **FFT de la IMF2** revela claramente una señal **anual**, con un máximo muy pronunciado correspondiente a un período de **1 año**. La **FFT de la IMF3** muestra una combinación de la señal anual con una componente asociada a la **QBO (Oscilación Cuasi-Bienal)**. Esto podría indicar que la señal de la QBO se descompone en dos componentes, posiblemente **QBO10 y QBO30**, o incluso **QBO50**. La **FFT de la IMF5** presenta una señal asociada con **ENSO (El Niño-Oscilación del Sur)**, debido a su período bien definido de aproximadamente **4–5 años**. La **FFT de la IMF6** muestra una periodicidad claramente asociada con la **señal solar**, con un ciclo de aproximadamente **11 años**. Esta descomposición estructurada permite obtener una comprensión más detallada de los distintos forzantes físicos subyacentes a la variabilidad de la serie temporal. La función residual utilizada en este método se define como: $r(t) = TOC(t) - \sum_{i=1}^{6} IMF_i$