

Análisis de correlación cruzada multifractal de las series de presión de las estaciones Darwin y Tahiti para caracterizar la dinámica de El Niño

N. Mendez^{1*}, S. Jaroszewicz^{1,2}, O. Tweneboah³, M. Beccar-Varela⁴ y M. Mariani⁴

¹Instituto de Tecnología Prof. Jorge Sábato, CNEA, UNSAM. Argentina.

²CAC, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Argentina.

³Data Science Program. Ramapo College of New Jersey. USA.

⁴Department of Mathematical Sciences.UTEP, El Paso, USA

*nahueldanielmendez@gmail.com



Introducción

El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, en inglés) es un fenómeno climático que genera importantes impactos a nivel global, afectando economías, ecosistemas y la sociedad en general. Tradicionalmente, este fenómeno se monitorea a través del Índice de Oscilación del Sur (SOI, en inglés), calculado a partir de la diferencia de presión atmosférica entre las estaciones de Darwin en Australia, y Tahití en la Polinesia Francesa.

A pesar de que el SOI ha sido ampliamente estudiado por sus características multifractales, se ha prestado menos atención a las series de tiempo individuales de presión que lo componen. En este trabajo, aplicamos técnicas de análisis de series de tiempo no lineales, para estudiar las dinámicas internas y las correlaciones cruzadas entre las series de presión de las estaciones de Darwin y Tahití. Nuestro objetivo es obtener una mejor comprensión del fenómeno de El Niño al analizar sus componentes fundamentales

Materiales y Métodos

Datos: Se utilizaron series de tiempo mensuales de presión atmosférica de la Unidad de Investigación Climática de la Universidad de Anglia del Este, cubriendo el período de enero de 1866 a diciembre de 2021. Se analizaron las series de las estaciones de Darwin y Tahití, así como el Índice de Oscilación del Sur (SOI).

$$SOI = 10 \frac{P_{dif} - P_{dif}^-}{sP_{diff}}$$

Análisis Monofractal y Multifractal: Para estudiar la persistencia y la multifractalidad de cada serie, se aplicaron el Detrended Fluctuation Analysis (DFA) y el Multifractal Detrended Fluctuation Analysis (MFDFA). Se analizaron las funciones multifractales, incluyendo el exponente de Hurst generalizado $h(q)$ y el espectro de singularidad $f(\alpha)$. La fuente de la multifractalidad (correlaciones vs. distribuciones de probabilidad) se investigó mediante el uso de datos subrogados y aleatorizados.

Análisis de Correlaciones Cruzadas: Se aplicaron para cuantificar y caracterizar las correlaciones cruzadas (long-range cross-correlations) entre pares de series de tiempo, especialmente entre las estaciones y el SOI.

Referencias principales

- [1] H. A. Dijkstra. (2005) Nonlinear Physical Oceanography: A Dynamical Systems Approach the Large Scale Ocean Circulation and El Niño. *Springer Science*.
- [2] E. S. Sarachik and M. A. Cane. (2010) The El Niño-Southern Oscillation Phenomenon. *Cambridge University Press*, Cambridge, UK.
- [3] Ropelewski, C.F. and Jones, P.D. (1987) An extension of the Tahiti-Darwin Southern Oscillation Index. *Monthly Weather Review* 115, 2161-2165.
- [4] Kantelhardt, J. W., Zschiegner, S. A., Koscielny-Bunde, E., Havlin, S., Bunde, A., & Stanley, H. E. (2002). Multifractal detrended fluctuation analysis of nonstationary time series. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 316(1-4), 87-114.
- [5] Jaroszewicz, S., Mariani, M. C., Tweneboah, O. K., Beccar-Varela, M. P. (2024) Multifractal analysis of the southern oscillation index. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 254, 106161

Correlaciones Cruzadas: El Lazo entre Tahití, Darwin y el SOI.

Los métodos DCCA y MFDCCA revelan que las correlaciones cruzadas entre las series de presión y el índice SOI son fuertemente multifractales y más complejas que la relación entre las estaciones de Darwin y Tahití.

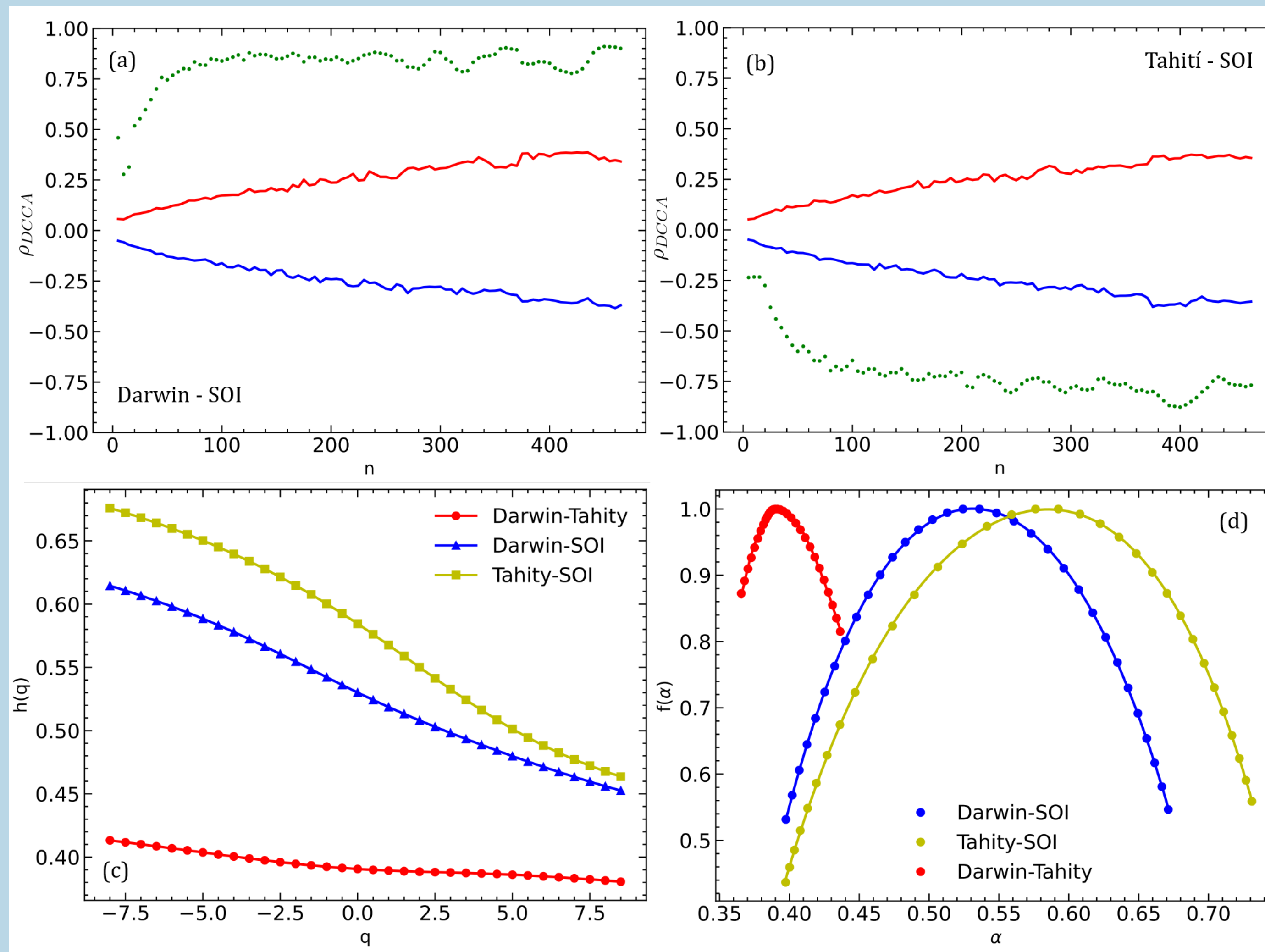


Figura 1: (a) Coeficiente de correlación entre Darwin-SOI. Las líneas corresponden a los intervalos de 95% de confianza para la ausencia de correlación. Se observa correlación negativa; en (b) se muestra el coeficiente de correlación entre Tahiti-SOI con los intervalos de confianza mencionados. Se evidencia correlación positiva; en (c) se muestran los exponentes de Hurst generalizados y en (d) los espectros multifractales para las series bivariadas.

Caracterizando la Memoria: Persistencia y Multifractalidad en ENSO

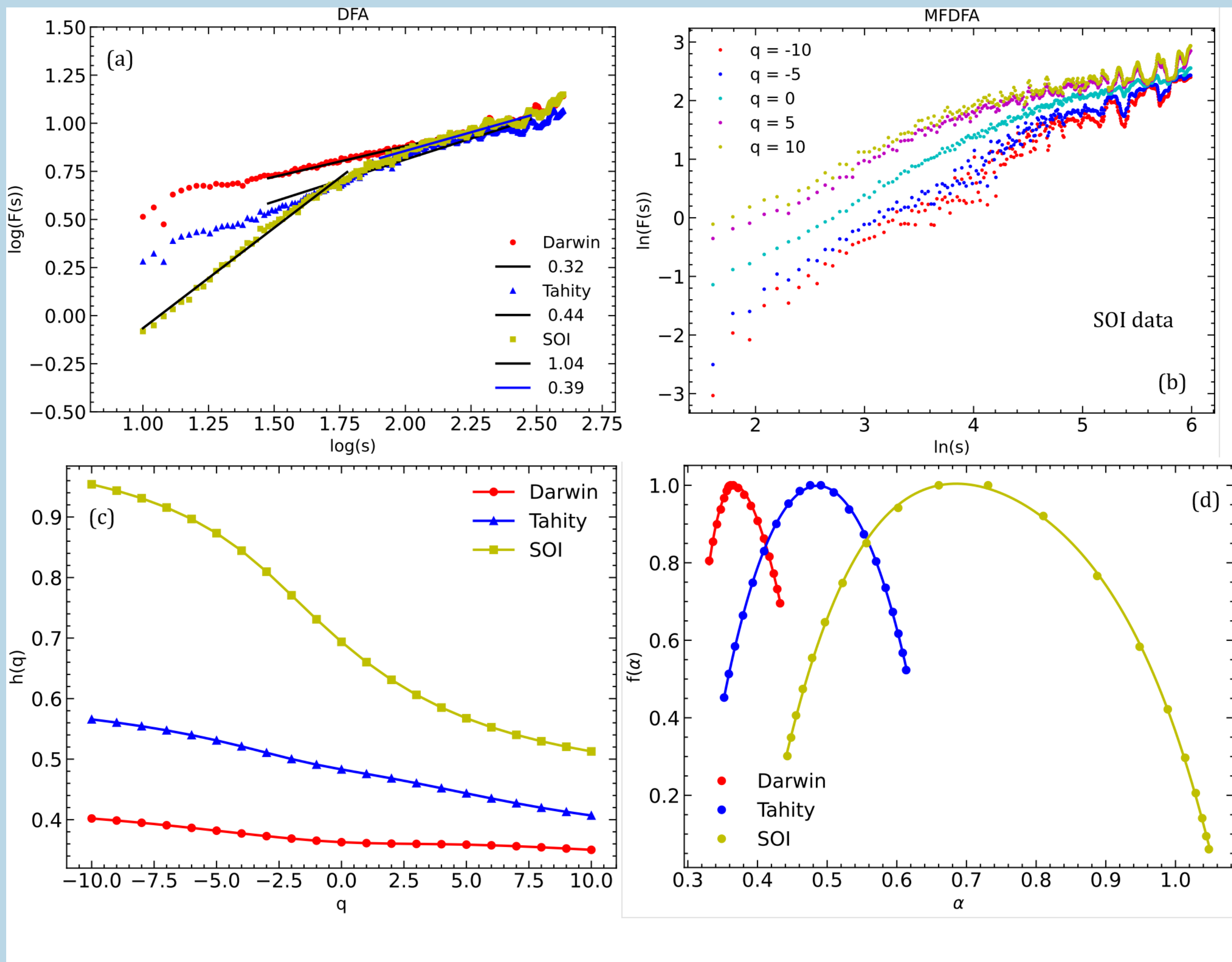


Figura 2: Esta figura muestra los resultados del análisis monofractal y multifractal para cada serie. En el panel (a) se observa las funciones de fluctuación y el resultado del DFA, en donde se aprecia un claro *crossover* para la serie del SOI; en (b) se visualizan las funciones de fluctuación del SOI para los distintos exponentes dados en el MFDFA; en (c) se muestran los exponentes de Hurst generalizados en función del exponente de momentos $h(q)$; y en (d) se observan los espectros multifractales para cada serie.

Nuestro análisis con DFA reveló que el Índice de Oscilación del Sur (SOI) exhibe dos regímenes de escala distintos, con un crossover en la función de fluctuación. A escalas de tiempo cortas, el SOI muestra un comportamiento persistente (ruido rosa o $1/f$), mientras que a escalas mayores presenta un comportamiento antipersistente. En contraste, las series de presión individuales de la estación de Tahití no muestran correlaciones de largo alcance claras, mientras que la de Darwin evidencia un comportamiento antipersistente.

El análisis MFDFA confirma que el SOI posee fuertes propiedades multifractales, caracterizadas por un espectro de singularidad más amplio que el de las series de Darwin y Tahití. La fuente de esta multifractalidad es principalmente la **correlación de largo alcance** de los datos, como se demostró con al efectuar el análisis de datos aleatorios y subrogados.