Comparación de modelos estocásticos, neuronales e híbridos aditivos en el pronóstico de la actividad de manchas solares

Edward Alonso Bautista Cayllahua[1] **Rolando Moisés Perca Gonzales**[2]

[1]Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ciencias Naturales y Formales, Escuela Profesional de Física, Av. Independencia 552, Arequipa 04000, Peru.
ORCID: 0009-0002-5437-123X; Email: ebautistaca@unsa.edu.pe.

[2]Departamento Académico de Física, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa 04004, Peru.
ORCID: 0000-0001-5734-7310; Email: rperca@unsa.edu.pe.

Resumen

Se analiza el desempeño predictivo de ocho arquitecturas aplicadas al registro diario del número de manchas solares ($N \approx 762$ observaciones): los procesos estocásticos lineales ARIMA y SARIMA, las redes neuronales de funciones de base radial (LRBF) y recurrentes de memoria a largo y corto plazo (LSTM), junto con cuatro acoplamientos híbridos aditivos (ARIMA+RBF, ARIMA+LSTM, SARIMA+RBF y SARIMA+LSTM). Tras normalizar la serie al intervalo $(0, 1)$ y particionarla secuencialmente (85 % entrenamiento, 10 % validación y 5 % prueba), los esquemas híbridos combinan la proyección lineal base $\hat{L}_t$ con la estimación neuronal de su componente residual $e_t = Y_t - \hat{L}_t$. Este planteamiento permite desacoplar la oscilación cuasi-periódica asociada a la dinamo solar de las fluctuaciones aperiódicas no lineales de corto plazo.

Las evaluaciones preliminares sobre el conjunto de prueba indican que los modelos autorregresivos individuales tienden a amortiguar los máximos locales de actividad hacia el valor medio de la serie. En contraste, la red LRBF captura con mayor fidelidad las variaciones locales de amplitud, mientras que las combinaciones híbridas conservan un ligero desfase heredado de la componente lineal que requiere ajustar los órdenes de retardo. La comparación cuantitativa se formaliza mediante las métricas RMSE, MAE y MASE, el diagnóstico de autocorrelación residual de Ljung–Box y la prueba asintótica de Diebold–Mariano ($\alpha = 0{,}05$).

Palabras clave: Física solar; manchas solares; sistemas dinámicos; modelos híbridos; ARIMA; SARIMA; LSTM; LRBF.