

# LA CIRCULACIÓN EXTRATROPICAL ZONALMENTE ASIMÉTRICA DEL HEMISFERIO SUR USANDO FUNCIONES ORTOGONALES EMPÍRICAS COMPLEJAS.

Elio Campitelli<sup>1,2,3</sup>, Leandro Díaz<sup>1,2,3</sup>, Carolina Vera<sup>1,2,3</sup>  
[elio.campitelli@cima.fcen.uba.ar](mailto:elio.campitelli@cima.fcen.uba.ar). Elio Campitelli.

<sup>1</sup> Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup> CONICET – Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA). Buenos Aires, Argentina.

<sup>3</sup> CNRS – IRD – CONICET – UBA. Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351 IFAECI). Buenos Aires, Argentina.

**Palabras clave:** circulación general, patrón pacífico-sudamérica, ENSO

## 1) INTRODUCCIÓN

La circulación extratropical de gran gran escala del hemisferio sur (HS) es considerablemente más zonalmente simétrica que la del hemisferio norte, pero aún así las anomalías zonales son relevantes en los impactos regionales (p.e. Hoskins and Hodges 2005). Sin embargo, estas últimas han merecido mucha menos atención en la literatura.

La circulación zonalmente asimétrica típicamente se describe por la amplitud y fase de las ondas zonales obtenidas al descomponer la altura geopotencial o presión al nivel del mar en cada latitud utilizando Fourier. Pero esto asume que la circulación se puede describir correctamente a partir de ondas zonales de amplitud constante, algo que no es válido cuando se trata de ondas que se propagan meridionalmente o que tienen amplitud modulada por la longitud.

Los patrones obtenidos a partir de análisis de EOF son más flexibles en las estructuras espaciales que pueden representar pero éstos patrones sólo pueden ser oscilaciones estacionarias. Una metodología alternativa propuesta para el estudio de las ondas tanto propagantes como estacionarias es la de EOF complejas (cEOF, Horel 1984). Este método extiende los EOF para capturar patrones espaciales que pueden variar tanto en amplitud como en fase.

El objetivo de este estudio es mejorar la descripción de la circulación extratropical zonalmente asimétrica del HS usando cEOF. Nos restringimos al trimestre de Septiembre-Octubre-Noviembre (SON).

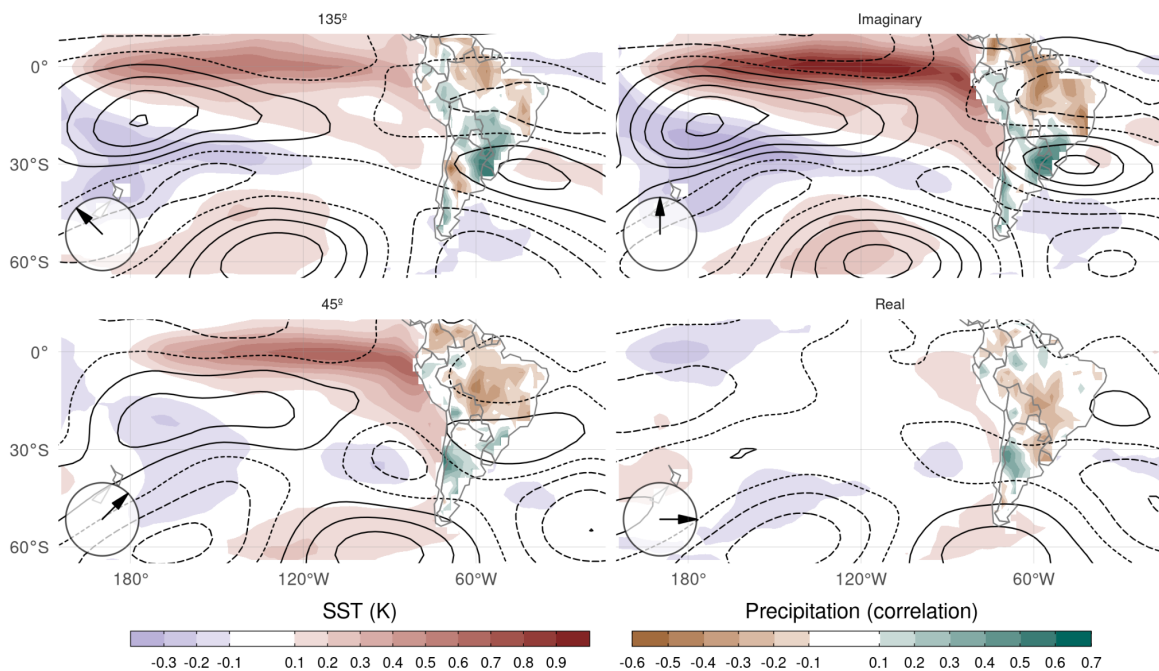
## 2) MÉTODOS

Utilizamos datos de altura geopotencial con 2,5° de resolución horizontal y 37 niveles verticales y temperatura a 2 metros de ERA5 (Hersbach et al., 2020) para el período 1979 – 2018. Los datos mensuales de precipitación provienen del CPC Merged Analysis of Precipitation (Xie y Arkin, 1997), con una resolución horizontal de 2,5°. Se caracterizó el ENSO con el Índice Oceánico de El Niño (ONI; Bamston et al., 1997). Se utilizó la metodología explicada en Campitelli, Díaz, y Vera, (2022) para computar el índice del SAM asimétrico.

Para computar las cEOF, a los datos de altura geopotencial se les sumó su transformada de

Hilbert como parte imaginaria, computada para cada círculo de latitud en cada tiempo y nivel. A estos datos complejos se les calcularon los EOFs. El resultado es un conjunto de patrones espaciales cuyas partes reales e imaginarias están en cuadratura y sus correspondientes series temporales (reales e imaginarias) representan la magnitud de cada fase. La fase de la cEOF1 se escogió tal que su parte real maximice la correlación con la amplitud de la onda 1 en la columna total de ozono entre 75°S y 45°S. La fase de la cEOF2 se escogió para que su parte real minimice el coeficiente de determinación con el ONI, lo cual casi maximiza la correlación con la parte imaginaria.

### 3) RESULTADOS



*Figura 1: Regresión de anomalías de la temperatura de la superficie del mar (sombreado), de la precipitación (sombreado, correlación) y anomalías zonales de función corriente en 200 hPa (contornos, valores positivos en líneas punteadas y valores negativos en líneas llenas) con distintas fases de la cEOF2.*

La cEOF1 representa una onda hemisférica de número de onda 1 con inclinación hacia el oeste con la altura. Por otra parte, la cEOF2 es un patrón dominado por una onda 3 con máxima amplitud en la región del Océano Pacífico y casi nula amplitud en la zona del Índico.

El patrón de la cEOF2 es muy similar al Patrón Pacífico-Sudamérica (PSA, por sus siglas en inglés; Mo y Paegle, 2001). La correlación entre las series temporales son de 0.82 (IC: 0.69 – 0.9) entre la parte Imaginaria de la cEOF2 y el PSA1 y 0.79 (IC: 0.63 – 0.88) entre la parte Real y el PSA2. La cEOF2, por lo tanto, brinda una buena representación tanto de la estructura espacial como la evolución temporal de los modos PSA. Asimismo, la parte imaginaria de la cEOF2 también es muy similar a la parte zonalmente asimétrica del SAM con el signo invertido (Campitelli, Díaz, y Vera, 2022).

La Figura 1 muestra regresiones de la cEOF2 en diferentes fases con las anomalías de la temperatura de superficie del mar (SST), la precipitación y la anomalía zonal de función

corriente en 200 hPa. La parte imaginaria está asociada a anomalías intensas de SST en el Pacífico Central reminiscentes al ENSO canónico (Bamston et al., 1997). Las anomalías de función corriente asociadas a la cEOF2 imaginario muestran un tren de ondas que emana de los trópicos. Esta respuesta atmosférica es consistente con las anomalías de SST que excitan ondas de Rossby mediante convección tropical anómala las cuales se propagan a latitudes más altas (Cai et al., 2020).

Las correlaciones de las fases de la cEOF2 con las anomalías de precipitación son positivas en la región del SESA y Chile central y negativas en el este de Brasil. Este patrón de correlaciones coincide con la señal del ENSO (p.e. Cai et al., 2020) y de la parte asimétrica del SAM (Campitelli, Díaz, y Vera, 2022). Por otro lado, la parte real de la cEOF2 no está asociada a anomalías de SST o precipitación significativas.

Utilizar cEOF para estudiar las asimetrías zonales de la circulación del Hemisferio Sur, permite una mejor comprensión de sus características y los impactos asociados con el clima regional.

### **Agradecimientos**

Este estudio fue financiado por UBACyT20020170100428BA, CONICET-PIP11220200102038CO, PICT-2020-SERIEA-I-INVI-00540, Proyecto CLIMAX de Belmont Forum/ANR-15-JCL/-0002-01. Elio Campitelli cuenta con una beca doctoral CONICET, Argentina.

### **REFERENCIAS**

**Bamston, Anthony G., Muthuvel Chelliah, y Stanley B. Goldenberg. 1997.**

“Documentation of a highly ENSO-related sst region in the equatorial pacific: Research note”. *Atmosphere-Ocean* 35(3): 367–83.

**Cai, Wenju et al., 2020:** “Climate Impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America”. *Nature Reviews Earth & Environment* 1(4): 215–31.

**Campitelli, Elio, Leandro B. Díaz, y Carolina Vera., 2022:** “Assessment of Zonally Symmetric and Asymmetric Components of the Southern Annular Mode Using a Novel Approach”. *Climate Dynamics* 58(1): 161–78.

**Hersbach, Hans et al., 2020:** “The ERA5 Global Reanalysis”. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 146(730): 1999–2049.

**Horel, J. D., 1984:** “Complex Principal Component Analysis: Theory and Examples”. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 23(12): 1660–73.

**Hoskins, B. J., y K. I. Hodges., 2005:** “A New Perspective on Southern Hemisphere Storm Tracks”. *Journal of Climate* 18(20): 4108–29.

**Kao, Hsun-Ying, y Jin-Yi Yu., 2009:** “Contrasting Eastern-Pacific and Central-Pacific Types of ENSO”. *Journal of Climate* 22(3): 615–32.

**Mo, Kingtse C., y Julia N. Paegle., 2001:** “The Pacific–South American Modes and Their Downstream Effects”. *International Journal of Climatology* 21(10): 1211–29.

**Xie, Pingping, y Phillip A. Arkin., 1997:** “Global Precipitation: A 17-Year Monthly Analysis Based on Gauge Observations, Satellite Estimates, and Numerical Model Outputs”. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78(11): 2539–58.