

HACIA UNA DEFINICIÓN FÍSICAMENTE ROBUSTA DE LOS *WEATHER REGIMES* SOBRE SUDAMÉRICA

Marco E. Micieli^{1,2}, Marisol Osman^{1,2,3}, Denisse Sciamarella^{1,2,4}
marco.micieli@cima.fcen.uba.ar. Autor correspondiente.

¹CONICET – Universidad de Buenos Aires. Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA). Buenos Aires, Argentina.

²CNRS – IRD – CONICET – UBA. Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351 IFAECI). Buenos Aires, Argentina.

³Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. Buenos Aires, Argentina.

⁴CNRS – Centre National de la Recherche Scientifique, 75016 Paris, France.

Palabras clave: dinámica subestacional, dimensión local, persistencia.

1) INTRODUCCIÓN

Gran parte de la variabilidad de la circulación atmosférica extratropical en la escala subestacional y estacional puede explicarse a partir de los *Weather Regimes* (WRs), un conjunto reducido de patrones recurrentes y cuasi-estacionarios asociados a la dinámica del flujo de gran escala. Suelen identificarse mediante algoritmos de *clustering*, pero ciertas decisiones *ad-hoc* como el número de *clusters* a retener afectan la robustez de los resultados (Christiansen, 2007). Estudios recientes en el Hemisferio Norte (HN) han vinculado a los WRs con una dinámica en el espacio de estados del sistema caracterizada por una menor dimensión local y una mayor persistencia (Faranda y otros, 2017; Hochman y otros, 2021; Lee y Messori, 2024). A diferencia de trabajos previos en Sudamérica que se han enfocado principalmente en el invierno y que retienen la variabilidad de escala sinóptica (e.g. Solman y Menéndez, 2003), en este estudio formulamos una primera definición anual de WRs sobre la región, corroborando la existencia de una estructura física subyacente robusta.

2) DATOS Y METODOLOGÍA

Se utilizaron datos medios diarios de geopotencial en niveles medios (400-600 hPa) del reanálisis del centro europeo ERA5 (Hersbach y otros, 2020) para el período 1980-2019 en la región 20-80°S 20-120°W con una resolución de 2.5° x 2.5°. Como parte del pre-procesamiento, se filtró el ciclo estacional a partir de una climatología suavizada con un promedio móvil centrado de 60 días, seguido de la aplicación del filtro de Lanczos con una ventana móvil centrada de 61 días y una frecuencia de corte de 10 días para retener la variabilidad de más baja frecuencia. Posteriormente, se removió la tendencia a largo plazo global del dominio mediante un promedio espacial diario ponderado por la latitud, suavizando la serie resultante con un promedio móvil centrado de 365 días y ajustando luego una regresión lineal cuya pendiente fue calculada a partir del estimador no paramétrico de Sen. Las anomalías resultantes fueron normalizadas por la desviación estándar media, ponderada por la latitud, de todo el dominio para cada día del año suavizada con un promedio móvil centrado de 60 días, de forma tal de darle el mismo peso a todas las estaciones del año.

Se obtuvieron luego las Componentes Principales (*Principal Components*, PCs) asociadas a las primeras 4 Funciones Ortogonales Empíricas (*Empirical Orthogonal Functions*), que explican alrededor de un 70% de la varianza total. Se aplicó *K-means* al espacio de dimensión

reducida de las 4 PCs, estandarizando las variables para que todas tengan el mismo rango de variabilidad. En base a los resultados obtenidos con distintas métricas de validación (no se muestran), se retuvieron 5 *clusters* de forma tal de obtener 5 WRs. Sólo se asignaron en alguno de estos regímenes aquellos campos diarios con una correlación lineal ponderada por la latitud mayor o igual a 0,5 con el campo asociado a la media del *cluster* correspondiente.

Para caracterizar la evolución de los eventos asociados a cada WR se obtuvo un índice a partir de la proyección normalizada de cada campo diario de anomalías subestacionales normalizadas de geopotencial en niveles medios en el campo asociado a la media del *cluster* (*Weather Regime Index*, IWR; Michel y Rivière, 2011). En este contexto, se definió como evento activo de un determinado WR aquel con una duración mayor o igual a 3 días, i.e. 3 días consecutivos asignados en ese régimen en base al agrupamiento y al criterio de la correlación, y que presenta un máximo local del IWR asociado.

A través del paquete *Chaotic Dynamical System Kit* (CDSK; Robin, 2021) para *Python*, se calcularon los valores instantáneos de dimensión local (d) y de persistencia ($1/\theta$) para cada campo diario de anomalías subestacionales normalizadas de geopotencial en niveles medios. Posteriormente, se obtuvieron las anomalías de estos parámetros respecto a una climatología suavizada con un promedio móvil centrado de 60 días. El parámetro d es representativo de los grados de libertad que el sistema puede explorar en torno a un estado determinado, mientras que el parámetro θ es inversamente proporcional a la persistencia promedio de las trayectorias alrededor de éste último. Por lo tanto, valores menores de d y θ son indicativos de estados del sistema caracterizados por una mayor estabilidad y recurrencia.

3) RESULTADOS PRINCIPALES

Las composiciones de anomalías subestacionales normalizadas de geopotencial en niveles medios para los días asignados en cada uno de los WRs hallados (Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5 , Figura 1) muestran que, en términos generales, Z_1 y Z_4 (Z_3 y Z_5) presentan anomalías anticiclónicas (cyclónicas) en latitudes subpolares sobre el Océano Pacífico y viceversa sobre el Océano Atlántico, mientras que Z_2 evidencia una estructura más zonal.

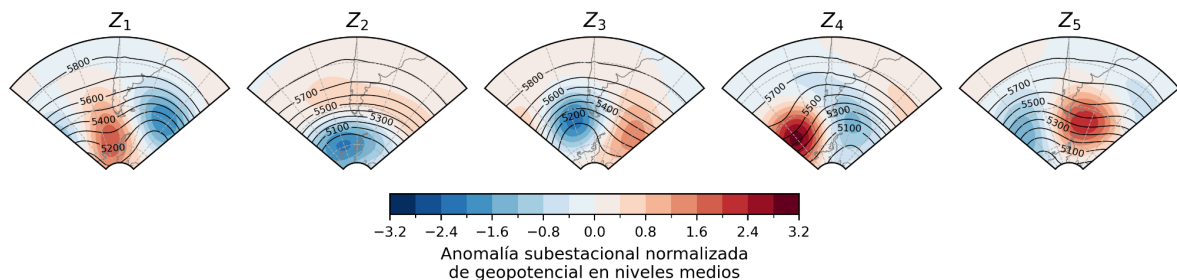


Figura 1: Composiciones de anomalías subestacionales normalizadas de geopotencial en niveles medios (sombreado) y de altura geopotencial en 500 hPa (contornos, metros) a partir de los campos diarios asignados en cada WR (columnas).

La Figura 2 muestra la evolución promedio de las anomalías de d y θ alrededor del máximo local de IWR de los eventos activos de cada WR. Se observan anomalías negativas de d y θ alrededor del momento mayor amplitud, i.e. máximo local del IWR, acentuándose la presencia de un mínimo absoluto cuando se retienen eventos activos de mayor duración. Esto sugiere que, a medida que estos patrones evolucionan a un estado de máximo desarrollo, la dinámica asociada en el espacio de estados se vuelva más persistente y acotada en grados de libertad, y viceversa luego de dicho estado.

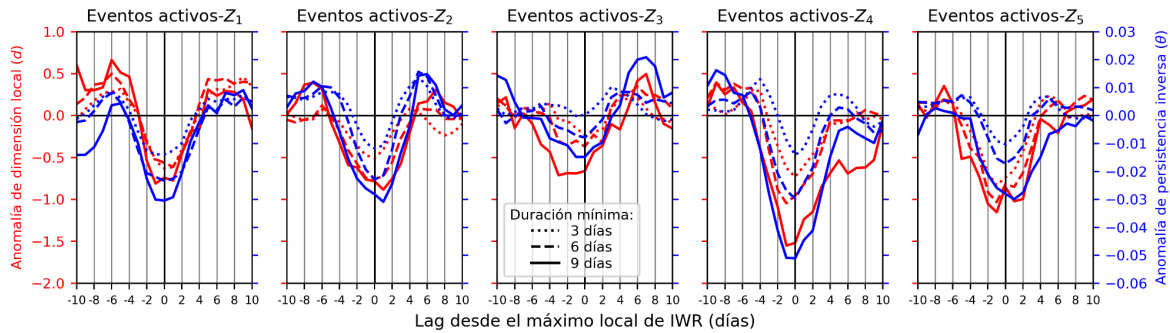


Figura 2: Evolución promedio de anomalías de d (rojo) y θ (azul) alrededor del máximo local del IWR de eventos activos para cada WR (columnas) cuya duración es mayor o igual a 3 días (líneas punteadas), a 6 días (líneas discontinuas) y a 9 días (líneas sólidas).

4) CONCLUSIONES

Se obtuvieron 5 WRs anuales sobre Sudamérica cuyos patrones son muy similares a los obtenidos por Solman y Menéndez (2003) para el invierno. Estos regímenes presentan una evolución dinámica consistente y esperable para estados del sistema caracterizados por una mayor estabilidad y recurrencia, como se demostró en HN.

REFERENCIAS

Christiansen, B., 2007: Atmospheric Circulation Regimes: Can Cluster Analysis Provide the Number?. *Journal of Climate*, 20, 10, 2229-2250.

Faranda, D., Messori, G. y Yiou, P., 2017: Dynamical proxies of North Atlantic predictability and extremes. *Scientific Reports*, 7, 41278.

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M. y Thépaut, J.-N., 2020: The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146, 730, 1999-2049.

Hochman, A., Messori, G., Quinting, J. F., Pinto, J. G. y Grams, C. M., 2021: Do Atlantic-European weather regimes physically exist? *Geophysical Research Letters*, 48, 20, e2021GL095574.

Lee, S. H. y Messori, G., 2024: The dynamical footprint of year-round North American weather regimes. *Geophysical Research Letters*, 51, e2023GL107161.

Michel, C. y Rivière, G., 2011: The link between Rossby wave breakings and weather regime transitions. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 68, 8, 1730-1748.

Robin, Y., 2021: CDSK-python: Python version of CDSK. <https://github.com/yrobink/CDSK-python/tree/main>

Solman, S. A. y Menéndez, C., 2003: Weather regimes in the South American sector and neighbouring oceans during winter. *Climate Dynamics*, 21, 1, 91-104.