

DINÁMICA DEL CALENTAMIENTO ESTRATOSFÉRICO REPENTINO SOBRE LA ANTÁRTIDA EN SEPTIEMBRE DE 2019

Nahuel Gómez^{1,2,3}, Marisol Osman^{1,2,3}, Carolina Vera^{1,2,3}
nahuel.gomez@cima.fcen.ubar.ar

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

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

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

Palabras clave: Vórtice estratosférico polar, evento estratosférico extremo, ondas de Rossby planetarias.

Los Calentamientos Estratosféricos Repentinos (CERs) o, en inglés, Sudden Stratospheric Warmings (SSWs) son eventos de origen dinámico que ocurren en las regiones polares de la estratósfera. Son uno de los fenómenos más extremos que ocurren en la atmósfera de la Tierra y consisten en un incremento de la temperatura de varias decenas de grados y en una modificación drástica de la circulación a escala planetaria en tan solo unos cuantos días (Baldwin et al. 2020). Durante el invierno, la circulación estratosférica extratropical está dominada por una intensa circulación del oeste en forma de anillo en torno al polo denominado vórtice estratosférico polar (VEP). Cuando ocurre un CER el VEP es fuertemente perturbado: ocurre una fuerte desaceleración de la circulación zonal acompañado de un intenso calentamiento y, en los CERs más extremos, el viento puede incluso invertirse lo que indica que el VEP fue destruido.

El origen de estos eventos se suele asociar con la propagación vertical de ondas de Rossby de escala planetaria, su amplificación y subsecuente rompimiento en la estratosfera media y alta (McIntyre y Palmer, 1983; 1984). Como resultado, el flujo estratosférico puede ser drásticamente modificado por la interacción onda-flujo medio: el VEP puede ser dividido en dos o desplazado fuera del polo (eventos de tipo «splitting» y de tipo «displacement»). En ambos casos el vórtice ciclónico centrado en el polo es reemplazado por un anticiclón, en consecuencia, el flujo del oeste es reemplazado por un flujo del este en las altas latitudes.

Debido a que en el hemisferio norte (HN) la actividad de las ondas planetarias es mayor y el VEP es menos intenso, lo que favorece la propagación de dichas ondas (Charney y Drazin, 1961), los CERs ocurren casi exclusivamente en ese hemisferio (Matsuno 1971); con una frecuencia aproximadamente de 6 por década (Butler et al. 2015). Esta asimetría hemisférica suele ser usualmente explicada por el hecho de que las ondas planetarias surgen de la interacción entre el flujo troposférico y la orografía y también por los contrastes de temperatura mar-tierra. El hemisferio sur (HS) que es más homogéneo no puede generar ondas planetarias lo suficientemente fuertes para provocar disrupciones significativas del VEP. A pesar de esto, en septiembre de 2002 se observó por primera vez una completa división del VEP sobre la Antártida (Charlton et al. 2005, Roscoe et al. 2005), un claro signo de que un CER estaba en marcha. La espectacularidad y lo imprevisto de este evento motivó una edición especial del Journal of Atmospheric Sciences (Shepherd et al. 2005) donde el

CER-2002 fue intensamente estudiado. Este evento sin precedentes también verificó un importante diagnóstico para detectar CERs, descrito por [Charlton y Polvani \(2007\)](#) (CP07 de ahora en más). Esta métrica consiste de una inversión del promedio diario de la media zonal del viento zonal (\bar{u}) de vientos del oeste a vientos del este en 60° de latitud y en 10 hPa. Cuando se verifica esta inversión de los vientos se dice que ocurrió un «major warming».

A fines de agosto de 2019, diferentes sistemas de pronóstico de distintos centros meteorológicos del mundo comenzaron a pronosticar una fuerte desaceleración de la circulación estratosférica del HS en torno a 10 hPa y para mediados de septiembre ([Lim et al. 2020](#), [Rao et al. 2020](#)). Al final, la desaceleración de \bar{u} fue muy intensa pero no fue suficiente para revertir los vientos y verificar satisfactoriamente la métrica de CP07. Debido a esta falta de reversión de vientos, al CER-2019 se lo clasifica como un «minor warming» (la anomalía de la temperatura sobre el casquete polar en 30 hPa excedió los 40K, comparable a lo observado en 2002). Sin embargo, desde una perspectiva dinámica, el CER-2019 es un evento extremadamente atípico: el flujo de calor acumulado en 45 días (una medida de la actividad de las ondas sobre el VEP), excedió considerablemente al récord establecido por el CER-2002. Esto plantea algunas preguntas. ¿Por qué, a pesar de la perturbación récord sobre el VEP, no ocurrió un major warming? ¿Existió algún mecanismo inhibitorio que previno que el flujo zonal medio no responda en línea con la actividad de onda record?

En este trabajo se utilizó el reanálisis ERA5 para caracterizar la estratosfera durante el CER-2019 con el fin de determinar los posibles mecanismos que impidieron que el rompimiento de las ondas planetarias se traduzca en una mayor desaceleración del flujo zonal medio que la observada. El estudio incluyó el análisis de campos de vorticidad potencial, transportes de calor y momento por las ondas planetarias, flujo de actividad de onda, entre otras variables dinámicas.

Los resultados muestran que en el CER-2002 el VEP se dividió en dos, fue arrastrado fuera del polo y destruido en latitudes medias (como es usual en la mayoría de los major warmings del HN) esto no ocurrió en el evento de 2019. Se encontró que el CER-2019 fue un evento de tipo displacement: entre fines de agosto y mediados de septiembre hubo una intensa propagación vertical de ondas de Rossby de escala planetaria que causaron una erosión sostenida del VEP hasta arrastrarlo fuera del polo a fines de septiembre. Sin embargo, este evento no siguió la configuración típica de los CERs tipo displacement que suelen ocurrir en el HN. Por otro lado, se observó que el rompimiento de las ondas planetarias, el cual estiró y deformó al VEP, también creó una región de alta vorticidad potencial sobre el borde del VEP que produjo una fuerte reflexión de las ondas planetarias devuelta hacia el ecuador. Esto previno que gran parte de la actividad de onda se canalizara sobre la región polar, es decir, el mismo rompimiento de las ondas que perturbó al VEP lo hizo de tal manera que también permitió que el vórtice adoptará una geometría que evitó exponer a su núcleo a una mayor erosión. Cuando el núcleo remanente del VEP fue finalmente desplazado fuera del polo, este se mantuvo lo suficientemente fuerte para evitar ser totalmente arrastrado y destruido. De esta forma, el incipiente anticiclón no pudo centrarse sobre la región polar, lo que explica que los vientos zonales no se invirtieran.

REFERENCIAS

Baldwin, M. P., y coautores, 2020: *Sudden stratospheric warmings*. Reviews of Geophysics,

Butler, A. H., y E. P. Gerber, 2018: *Optimizing the definition of a sudden stratospheric warming.* Journal of Climate, 31 (6), 2337–2344

Charlton, A. J., A. O’Neill, W. A. Lahoz, y P. Berrisford, 2005: The splitting of the stratospheric polar vortex in the southern hemisphere, September 2002: Dynamical evolution. Journal of the Atmospheric Sciences, 62 (3), 590–602

Charlton, A. J., y L. M. Polvani, 2007: *A new look at stratospheric sudden warmings. Part I: Climatology and modeling benchmarks.* Journal of Climate, 20 (3), 449 – 469

Charney, J. G., y P. G. Drazin, 1961: *Propagation of planetary-scale disturbances from the lower into the upper atmosphere.* Journal of Geophysical Research, 66 (1), 83–109.

Lim, E., y coautores, 2020: *The 2019 antarctic sudden stratospheric warming.* SPARC Newsletter No. 54, World Climate Research Programme SPARC Office, Zurich, Switzerland, 10-13 pp.

Matsuno, T., 1971: *A dynamical model of the stratospheric sudden warming.* Journal of Atmospheric Sciences, 28 (8), 1479 – 1494

McIntyre, M. E. y Palmer, T. N., 1983. *Breaking planetary waves in the stratosphere.* Nature, 305, 593–600

McIntyre, M. E., y T. N. Palmer, 1984: *The ‘surf zone’ in the stratosphere.* Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, 46 (9), 825 – 849.

Rao, J., C. I. Garfinkel, I. P. White, y C. Schwartz, 2020: *The southern hemisphere minor sudden stratospheric warming in september 2019 and its predictions in S2S models.* Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 125 (14), e2020JD032 723

Roscoe, H. K., J. D. Shanklin, y S. R. Colwell, 2005: *Has the Antarctic Vortex Split before 2002?* Journal of the Atmospheric Sciences, 62 (3), 581–588.

Shepherd, T., R. Plumb, y S. Wofsy, 2005: *Special issue - the antarctic stratospheric sudden warming and split ozone hole of 2002 - preface.* Journal of the Atmospheric Sciences, 62 (3), 565–566,