

IMPACTO DE LA VARIABILIDAD DE LOS PARÁMETROS DE ONDAS DE GRAVEDAD EN EL ROMPIMIENTO REPENTINO DEL VÓRTICE ESTRATOSFÉRICO POLAR ANTÁRTICO

Claudio Rodas¹, Manuel Pulido^{1,2}
rodas@exa.unne.edu.ar

¹Departamento de Física (FACENA, UNNE)

²Instituto de Modelado e Innovación Tecnológica (CONICET - UNNE)

Palabras clave: Ondas de Rossby, Ondas de Gravedad.

1) INTRODUCCIÓN

Las condiciones de la dinámica estratosférica impactan sobre el clima en la tropósfera y en particular lo hacen fenómenos como el calentamiento repentino estratosférico (SSW por sus siglas en inglés: sudden stratospheric warming). Un SSW es un evento invernal durante el cual ocurre un rápido incremento en la temperatura polar estratosférica y una disminución en la velocidad del viento zonal. Si la disminución de la velocidad del viento es tal que ocurre una inversión de la media zonal del vientos zonal a 60° S y 10 hPa, se trata de un major-SSW; si esto no ocurre, se trata de un minor-SSW. En términos del patrón de vorticidad potencial, un SSW puede manifestarse como “displacement” (el vórtice se desplaza desde el polo hacia latitudes más bajas) o como “split” (el vórtice se divide en dos vórtices más pequeños). La dinámica previa y durante el rompimiento del vórtice es diferente en cada caso (Charlton and Polvani, 2007).

Los SSWs ocurren principalmente en el hemisferio Norte y son raros en el hemisferio Sur. Sólo se registran dos hasta la fecha en el hemisferio Sur: un major-SSW ocurrido en 2002 (tipo split) y un minor-SSW en 2019 (tipo displacement). Posiblemente el SSW de 2019 no cumplió con el criterio de un major-SSW porque ocurrió cuando el vórtice polar era más fuerte y frío comparado a cuando ocurrió el de 2002, aunque la magnitud de los cambios de temperatura y viento fueron comparables (Lim et al, 2021).

En general, los SSW están asociados a ondas planetarias generadas en la tropósfera, pero el tipo de rompimiento depende mucho de las condiciones estratosféricas previas al rompimiento. Scheffler et al (2018) encontraron que el arrastre de las ondas de gravedad (GWD) influencia el comportamiento del vórtice polar. Utilizando un modelo de media atmósfera encontraron que, bajo idénticos forzados troposféricos, la ocurrencia de un evento SSW del tipo split o del tipo displacement dependía de la configuración de parámetros utilizada en la parametrización de ondas de gravedad. Concluyeron que estas diferencias significativas en el rompimiento del vórtice respondían a los cambios en la geometría del vórtice generados por la modificación de los parámetros de ondas de gravedad.

El presente trabajo se propone analizar la sensibilidad del vórtice a la variabilidad de los parámetros de ondas de gravedad, en particular los efectos de parámetros estocásticos, mediante un modelo simple de media atmósfera. Se estudiarán diferentes experimentos en los cuales los cambios en la variabilidad de los parámetros conllevan a que el vórtice rompa como split, o como displacement o como algo intermedio entre ambos. Además, los experimentos también permiten analizar las condiciones de la estratósfera previas a los distintos tipos de SSW y discutir los posibles factores que preconditionan el tipo de rompimiento del vórtice.

2) METODOLOGÍA

Se simula la dinámica estratosférica con un modelo global simple que incluye la

parametrización del GWD. El modelo utilizado es el “Modelo dinámico de la media atmósfera de la Universidad de Reading” (Pulido and Thuburn, 2005) que tiene una resolución horizontal de $4,5^{\circ} \times 4,5^{\circ}$ y 16 niveles verticales isoentrópicos que varían de 100 a 0,01 hPa. El modelo es inicializado el 1/1/2002 con datos de reanálisis de MERRA e integrado durante un año. Los parámetros que utiliza el modelo de media atmósfera son calculados a partir de los parámetros estimados según la técnica de parámetros óptimos descrita en Pulido et al (2012).

Se simulan casos con diferentes valores para los parámetros de ondas de gravedad pero con el mismo forzado troposférico, lo que implica que el tipo de rompimiento que se obtenga en las simulaciones estará dado por condiciones de la estratósfera. Esto permite, además de estudiar la influencia de las ondas de gravedad en la dinámica estratosférica, analizar las condiciones de la estratósfera en las diferentes simulaciones y comparalas con otros resultados de simulaciones y de observaciones.

Para estudiar la evolución de la geometría del vórtice se utiliza la técnica de diagnóstico elíptica descrita en Mathewman et al (2009).

3) RESULTADOS

La figura 1 muestra los campos de temperatura, viento y vorticidad potencial a dos alturas diferentes para dos experimentos: uno cuyos parámetros óptimos han sido suavizados con una ventana móvil de 15 días (denominado S15) y otro con una de 30 días (denominado S30). En el S15 ocurre un SSW split mientras en el S30 ocurre un displacement. Entonces, la variabilidad de los parámetros conlleva a diferencias significativas en la dinámica del vórtice. En 190Pa, el vórtice en el S15 se ve reforzado respecto al del S30 y muestra una mayor amplitud de temperatura entre el máximo y el mínimo. Este refuerzo del vórtice repercute en

el vórtice más abajo, a 941Pa, dando lugar al split.

Utilizando la técnica de diagnóstico elíptico (Mathewman et al, 2009) se observa que la geometría y la orientación del vórtice comienzan a mostrar diferencias significativas entre S15 y S30 desde principios de Agosto, coincidiendo con el comienzo del debilitamiento sostenido del vórtice hasta la ocurrencia del SSW.

El resultado obtenido es acorde a los trabajos que postulan sobre la importancia de la estocasticidad en las fuentes de ondas de gravedad sobre la dinámica del vórtice (Birner and Williams, 2008) . Para evaluar esta hipótesis, se tomaron como base los parámetros del S30, pero a la evolución temporal de estos parámetros se le agregó un ruido Gaussiano con una desviación estandar del 10% respecto a la variabilidad temporal de los parámetros óptimos. En este caso

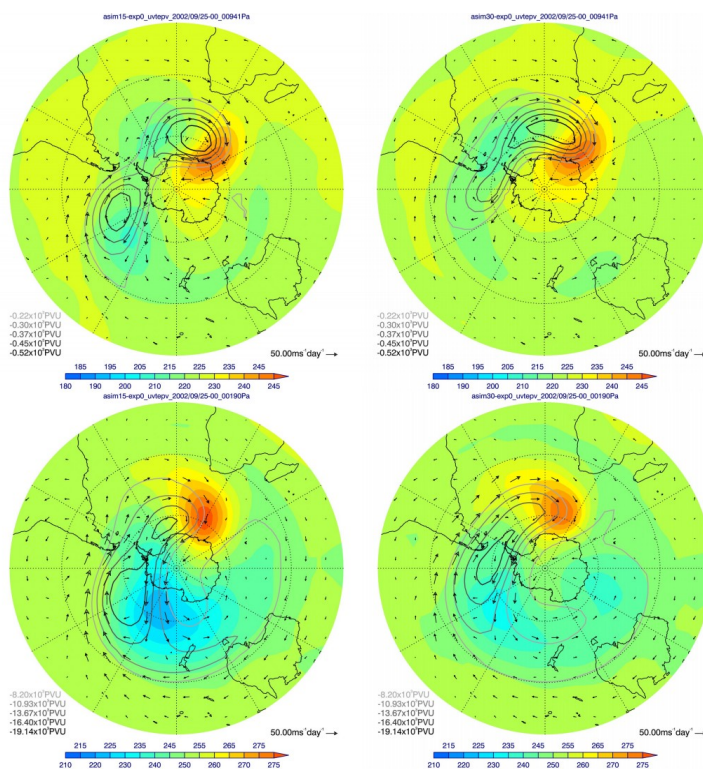


Figura 1: campos de temperatura (color), de viento (flechas) y de vorticidad potencial (contornos) para el 25/09/2022; altura de 941 Pa (arriba) y de 190 Pa (abajo); casos S15 (izq) y S30 (der).

se produce un rompimiento tipo split, en consonancia con la hipótesis y con los trabajos que postulan que el uso de parámetros estocásticos mejoran la representación de la dinámica estratosférica.

Para evaluar en que momento de la evolución el vórtice es más sensible al rompimiento de ondas de gravedad y a la potencial interacción entre las ondas de gravedad y las ondas de Rosby que representa el modelo, se realizaron experimentos en los cuales se agregó un 10% más a la amplitud del flujo de momento del S30 en diferentes meses. Cuando se agregó en el mes de Agosto, el SSW mostró un comportamiento intermedio entre split y displacement, pero no se apreciaron cambios sustanciales respecto a S30 cuando se hizo en el mes de Junio o de Julio. Estos resultados parecen indicar que la dinámica estratosférica es menos sensible a la parametrización de ondas de gravedad cuando el vórtice es fuerte y más sensible cuando comienza a debilitarse, cumpliendo un importante rol en el acondicionamiento de otoño.

4) CONCLUSIONES

En este trabajo se estudia el impacto de la variabilidad de los parámetros de ondas de gravedad en la evolución del vórtice antártico durante el calentamiento repentino de 2002. Se concluye que parámetros óptimos suavizados con 30 días dan un rompimiento tipo displacement mientras que la adición de ruido estocástico permite reproducir el split observado en el vórtice. Se presentará un detallado análisis de los experimentos mencionados en este resumen, que por cuestiones de espacio no es posible incluir, como también experimentos que permiten evaluar el impacto de los distintos parámetros (amplitud de flujo de momento, saturación y número de onda característico).

REFERENCIAS

Birner, T., and Williams, P. D., 2008: Sudden Stratospheric Warmings as Noise-Induced Transitions. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 65(10), 3337-3343.

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

Lim, E., and Coauthors, 2021: The 2019 Southern Hemisphere Stratospheric Polar Vortex Weakening and Its Impacts. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 102(6), E1150-E1171.

Matthewman, N. J., Esler, J. G., Charlton-Perez, A. J., and Polvani, L. M., 2009: A New Look at Stratospheric Sudden Warmings. Part III: Polar Vortex Evolution and Vertical Structure. *Journal of Climate*, 22(6), 1566-1585.

Pulido, M., and Thuburn, J., 2005: Gravity-wave drag estimation from global analyses using variational data assimilation principles. I: Theory and implementation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 131, 1821–1840.

Pulido, M., Polavarapu, S., Shepherd, T. G., and Thuburn, J. , 2012: Estimation of optimal gravity wave parameters for climate models using data assimilation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 138, 298– 309.

Scheffler, G., Pulido, M. and Rodas, C., 2018: The role of gravity wave drag optimization in the splitting of the Antarctic vortex in the 2002 sudden stratospheric warming. *Geophysical Research Letters*. *Geophysical Research Letters*, 45, 6719– 6725.