

Calentamiento estratosférico repentino del 10 de febrero de 2018

JOSÉ MARÍA SÁNCHEZ-LAULHÉ Y MANUEL LARA

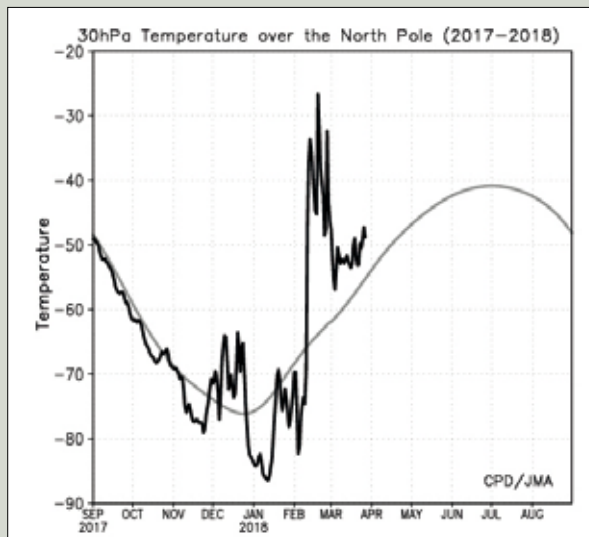


Figura 1. Series temporales de temperaturas al nivel de 30 hPa sobre el polo norte. La línea negra muestra la temperatura diaria, y la gris indica la normal (período 1981-2010). Fuente CPD/JMA.

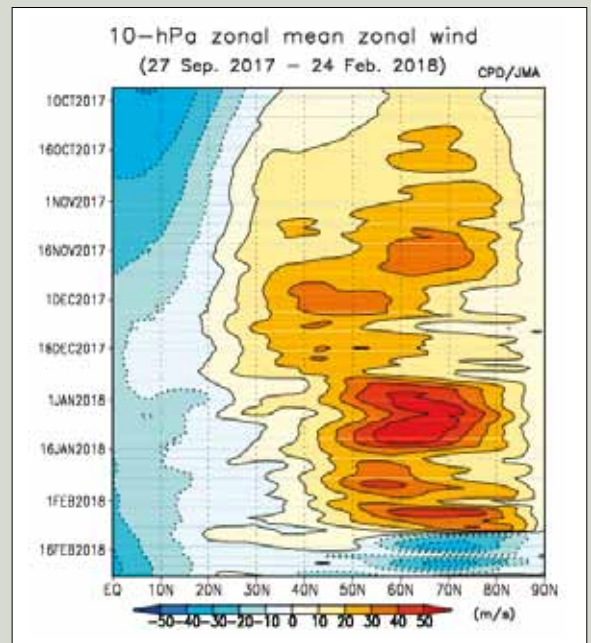


Figura 2. Evolución del viento medio zonal en el hemisferio norte al nivel de 10 hPa. El intervalo entre contornos es 10 m/s. Fuente CPD/JMA.

En esta ocasión nos vamos a centrar en un fenómeno ocurrido en la estratosfera que se visualiza en la gráfica de la temperatura sobre el polo norte, a una altitud de 30 hPa desde el 1 de septiembre al 27 de marzo de este año (figura 1). La evolución de la temperatura fue más o menos la esperada, siguiendo los valores medios del periodo de referencia 1981-2010, disminuyendo fuertemente en el otoño boreal consecuencia de la formación del vórtice polar estratosférico y alcanzando los valores mínimos en la primera quincena de enero, al tiempo que el chorro polar estratosférico alcanzaba valores máximos entre 55 y 70° N, como se puede observar en la gráfica de viento zonal medio a 10 hPa de la figura 2. Pero sobre el día 10 de febrero se produjo un “gran calentamiento repentino de la estratosfera” [*major Stratospheric Sudden Warming (major SSW)*]: La temperatura en la estratosfera del polo norte subió extraordinariamente en unos días (más de 50 °C a 30 hPa) y los vientos medios zonales se volvieron del Este hasta 50° N.

Los patrones del tiempo troposféricos tienden a cambiar en escalas temporales de unos días, y los modelos de predicción tienen poca fiabilidad más allá de una semana. Los regímenes de circulación en la estratosfera tienden a persistir durante semanas o más, pero generalmente se considera que la circulación estratosférica tiene poca influencia en los patrones meteorológicos en la superficie. Sin embargo una serie de casos de estudio han demostrado que las grandes anomalías de la circulación estratosférica alcanzan la superficie de la Tierra.

¿Qué es un calentamiento repentino de la estratosfera (SSW)?

Un SSW es un fenómeno caracterizado por un rápido incremento en la temperatura, de más de 25 °C en menos de una semana, en la estratosfera^I del invierno boreal, (hasta más de 80 °C en algunos casos). Puede ir acompañado de la desaparición del chorro polar nocturno^{II} y de su reemplazo por vientos del Este. Simultáneamente la estratopausa desciende en algunos lugares hasta 20 km.

Si la temperatura media zonal aumenta hacia el polo desde los 60° N y el viento zonal medio se vuelve del Este desde el polo a esta latitud al nivel de 10 hPa (32 km) o por debajo, se califica como “SSW mayor” o “gran SSW”. Durante un gran SSW, el vórtice polar se rompe o se desplaza en cuestión de días y la circulación estratosférica sufre enormes cambios. Los grandes SSW tienden a ocurrir cada tres o cuatro años en promedio, pero ha habido periodos más largos sin ningún gran SSW.

Durante un gran SSW el vórtice polar resulta, o desplazado completamente del polo, o dividido en dos. Estos dos tipos de calentamiento son con frecuencia referidos respectivamente como calentamiento ‘onda-1’ y calentamiento ‘onda-2’. Algunos grandes calentamientos muestran un carácter híbrido, siendo el vórtice polar primero desplazado y posteriormente dividido.

El fenómeno SSW fue descubierto por Scherhag en 1952, y su mecanismo fue explicado teóricamente por Matsuno en 1971^{IV}.

^IClimate Prediction Division/Japan Meteorological Agency.

^{II}Normalmente la estratosfera sobre los polos se extiende aproximadamente entre las altitudes de 10 y 50 km.

^{III}El chorro polar nocturno es una corriente en chorro del oeste que se desarrolla en invierno en la estratosfera, con máximo a unos 25 km, y en latitudes altas (alrededor de 60°).

^{IV}Matsuno, T., 1971: A dynamical model of the stratospheric sudden warming. J. Atmos. Sci., 28, 1479-1494.

El Vórtice Polar de la Estratosfera

Es una región de gran vorticidad que se forma en invierno con el establecimiento del chorro estratosférico polar. El chorro polar se forma por las diferencias de temperatura en invierno en la estratosfera, entre la zona polar, donde no se recibe radiación solar en la noche polar y se enfría por emisión de infrarroja hacia el espacio, y la zona tropical, que se calienta enormemente debido a la absorción de la parte ultravioleta de la radiación solar por la capa de ozono que alberga la estratosfera. Los vientos del chorro polar pueden superar los 250 km/h, velocidad comparable a la de los vientos de los huracanes más violentos. La intensidad de los vientos del chorro aísla el aire del vórtice polar de la estratosfera de las latitudes medias, que alcanza temperaturas inferiores a -85°C, lo que resulta crucial en la formación del agujero de la capa de ozono sobre la Antártida.

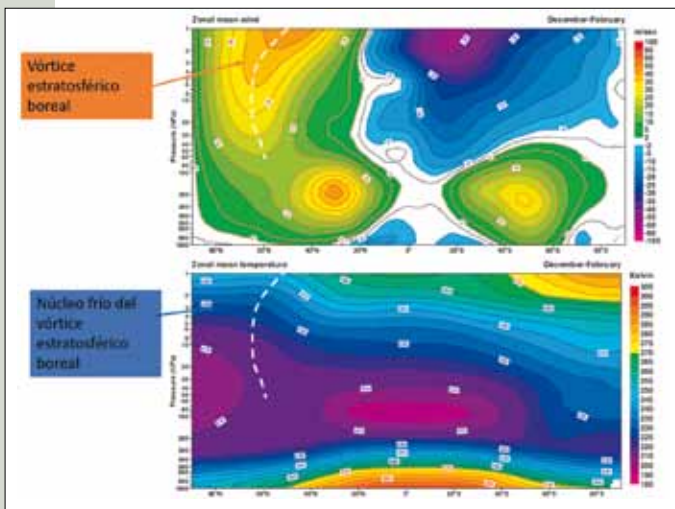


Figura 3. Arriba: viento zonal medio; abajo: temperatura zonal media, para los meses de diciembre a febrero. Fuente: Atlas ERA40 del ECMWF

Las ondas tienen la propiedad de que pueden producir efectos en regiones alejadas de sus fuentes. Como las olas generadas por un temporal pueden perder su energía en una playa al otro lado del mundo, y causar efectos significativos, las ondas que se producen en la baja atmósfera (por la orografía, o por calentamiento) pueden producir efectos significativos en niveles altos. Matsuno postuló y demostró que los cambios en el flujo medio observados en los SSW, que incluyen la desaceleración del flujo zonal medio y la elevación de las temperaturas cerca del polo en la estratosfera, eran atribuibles a los efectos de la propagación vertical de ondas planetarias forzadas en la troposfera por perturbaciones de gran escala. Trabajos posteriores han confirmado que los SSW están causados por una rápida amplificación de ondas planetarias que se propagan a lo largo de la corriente en chorro del oeste hacia la estratosfera transportando y depositando momento, creando también una circulación meridional fuerte. En la alta estratosfera las anomalías del viento zonal medio se propagan lentamente desde la alta estratosfera subtropical hacia la zona polar de la baja estratosfera y a la troposfera (Kodera et al. 1990^v) produciendo un gran calentamiento en la estratosfera polar por calentamiento adiabático. Su efecto en la troposfera es inducir un patrón similar al de la fase negativa de la AO (Oscilación Ártica), o a la fase negativa de la NAO (Oscilación del Atlántico Norte) (Kodera et al. 2000^{vi}).

^vKodera, K., Yamazaki, M., Chiba, K., Shibata, 1990: Downward propagation of upper stratospheric mean zonal wind perturbation to the troposphere, *Geophys. Res. Lett.*, 17, 1263-1266.

^{vi}Kodera, K., Y. Kuroda, S. Pawson, 2000: Stratospheric sudden warming and slowly propagating zonal-mean zonal wind anomalies, *J. Geophys. Res.*, 105, 12351-12359.

^{vii}O'Neill, A.: Stratospheric Sudden Warmings. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*. Academic Press. Elsevier Sciences. Editor jefe: J. R. Holton. 2003.

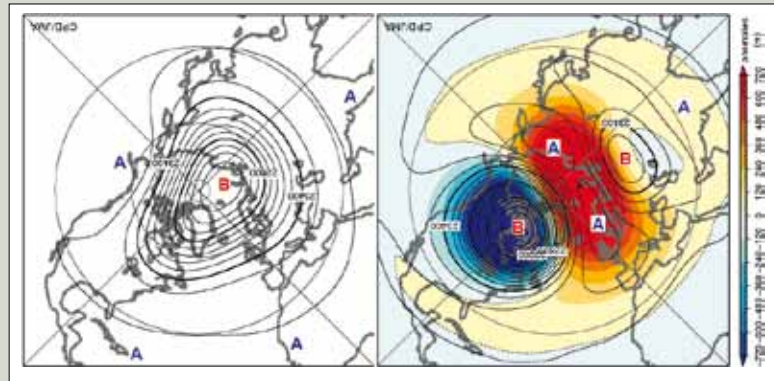


Figura 4. Campos de altura del geopotencial medio en 30 hPa del 10 al 14 de febrero. A la izquierda normal en el periodo 1981-2010; a la derecha el correspondiente a este año (contornos) y sus anomalías (coloreado). Intervalo entre contornos 120 m. Fuente CPD/JMA.

La fuerte asociación entre SSW y la actividad transitoria de las ondas planetarias en la troposfera ofrece una explicación inmediata de por qué no ocurren SSW en el invierno del hemisferio sur (HS). Las ondas planetarias son generadas por el relieve y los contrastes entre las temperaturas de tierra y mar, y debido a que la mayoría de la superficie de la Tierra en el HS es océano, las ondas planetarias son más débiles que en el HN. En consecuencia el vórtice polar del HS es más fuerte y resiliente a cualquier incremento en la actividad de las ondas planetarias en la troposfera.

La evolución del SSW

En el mapa de altura del geopotencial medio entre los días 10 y 14 de febrero, al nivel de 30 hPa (figura 4) se observa que durante el SSW el vórtice polar se ha partido en dos, de intensidades muy distintas, el más intenso localizado sobre el norte de Canadá y otro mucho más débil sobre Siberia. Corresponde a un SSW 'onda-2'.

En general en los grandes SSW, de cualquier tipo, aparece de forma destacada un crecimiento del alta estratosférica de las Aleutianas, que está fuertemente influenciada por la intensidad de la denominada baja del Este de Asia (O'Neill, 2003^{vii}). Esta baja es una estructura ciclónica de gran escala de la circulación troposférica del invierno boreal, localizada cerca de la longitud de 140° E (figura 5), que parece causada principalmente por la cordillera del Himalaya y por los contrastes tierra-mar en invierno entre el frío continente asiático y el cálido océano Pacífico. En una primera aproximación el alta de las Aleutianas puede considerarse parte de un tren de ondas de Rossby que ema-

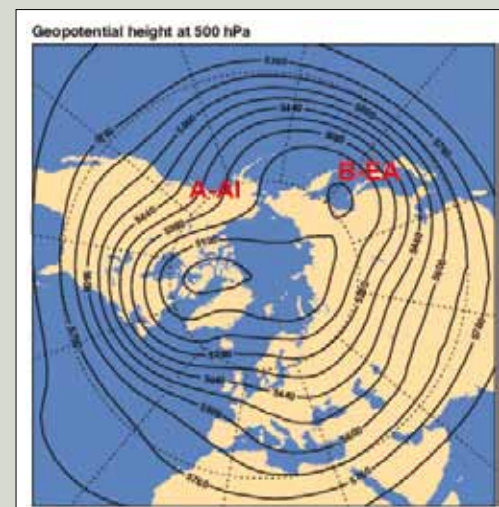


Figura 5. Campos de altura del geopotencial medio en 500 hPa para el invierno boreal (diciembre-febrero) del atlas ERA-40 del ECMWF. B-EA es la baja del Este de Asia; A-AI es la dorsal anticiclónica de las Aleutianas.

na de la baja del Este de Asia, y el alta estratosférica de las Aleutianas el resultado de la propagación vertical de las ondas planetarias que componen el tren de ondas.

TRAZAS EN LA SUPERFICIE

Realmente lo que sucede en la habitualmente monótona estratosfera no tiene directamente relación con lo que sucede en la superficie de la Tierra, pero lo ocurrido con este SSW tuvo unas consecuencias importantísimas, tanto en el norte de Europa con la llegada de una ola de frío siberiana, como en el sur de Europa y especialmente la península ibérica en la que produjo vientos intensos y abundantes precipitaciones que contrastaron con la situación general de sequía prevaleciente hasta entonces.

Se han superado durante el mes de marzo efemérides de precipitación muy notables. Por ejemplo la estación Madrid-Retiro de AEMET ha registrado el mayor valor de precipitación en marzo en su serie de 125 años (1893-2017) con 140.7 mm, superando de manera holgada los 123.8 mm del año 1947, anterior record. Además lo ha hecho con un máximo diario relativamente bajo, 23.7 mm, y un elevado número de días de precipitación apreciable, 21, lo que da idea de que este nuevo record mensual realmente se corresponde con una persistencia en el tipo circulación y no con una situación particular. La nieve ha sido otro elemento notable, por ejemplo en Castilla-León se superaron los históricos de días de nieve para este mes en los observatorios de Soria, León y Segovia.

En Cáceres los 231.2 mm de este mes de marzo también suponen el nuevo máximo en los marzos de su serie centenaria (1908-2018) superando, también de manera clara, los 212.5 mm del año 2013. El gráfico de la serie ordenada de precipitación de los últimos 40 años (figura 6) muestra lo extraordinario del dato de marzo de 2018 (en rojo) que casi dobla el dato de 2001 que está en tercera posición (en verde), lo cual resulta bastante notable tratándose de acumulaciones mensuales.



Figura 6. Serie ordenada de precipitación acumulada en el mes de marzo en Cáceres. Se restringe el gráfico a los últimos 40 años por claridad, lo cual no afecta a los dos primeros valores de la serie, que conservan sus posiciones en la serie de 111 años.

Merece la pena destacar que el año 2013, segundo año de la serie (en naranja) también con mucha diferencia respecto al tercero también fue un año de gran SSW.

El impacto hidrológico de este marzo ha sido extraordinario. Durante febrero un bloqueo agravaba un año hidrológico pésimo desde sus inicios. La llegada de la borrasca Emma el 28 de febre-

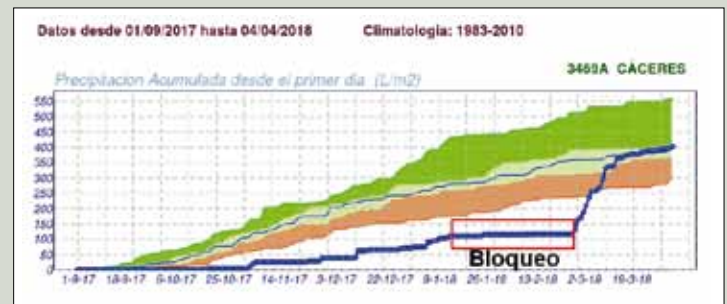
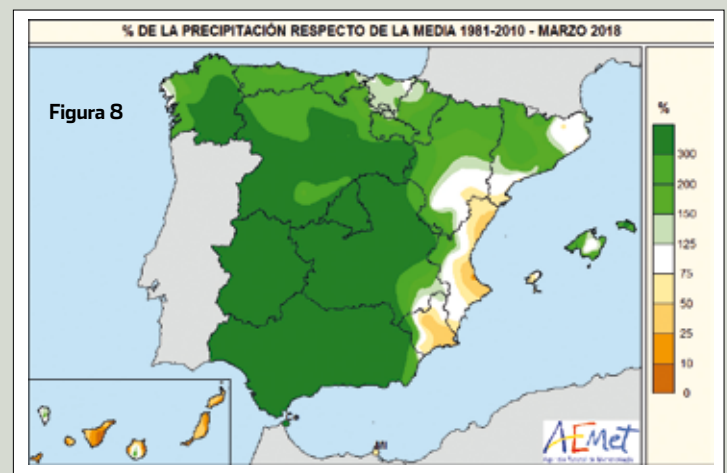


Figura 7. Precipitación acumulada (circuitos) en la estación meteorológica de AEMET Cáceres desde el inicio del año agrícola (1 de septiembre) hasta principios de abril en comparación con los cuartiles de los registros de la serie para este periodo.

ro supuso el inicio del cambio de tendencia que en menos de un mes llevó el año hidrológico en Cáceres a valores normales (figura 7). El comportamiento de la precipitación en esta estación puede ser representativa de muchas zonas de la Península (figura 8).



En cuanto al viento, la intensificada y mantenida circulación del oeste generó en Cáceres la rosa de vientos de la figura 9, y provocó que, al igual que en otros observatorios de Castilla y León se superara el máximo histórico de recorrido mensual para un mes de marzo. Producto del viento fue el fuerte oleaje que causó graves daños en la costa del golfo de Cádiz, cuya pico de altura de ola significativa registrado en la boya Golfo de Cádiz de Puertos del Estado fue 7.27 m el 1 de marzo a las 14 UTC (figura 10), día en que además la pleamar en el mareógrafo de Bonanza (Sanlúcar de Barrameda) alcanzó 3.85 m a las 13:59 UTC, como consecuencia de la luna llena del día 2 y la acumulación de agua en la costa por el viento del SO.

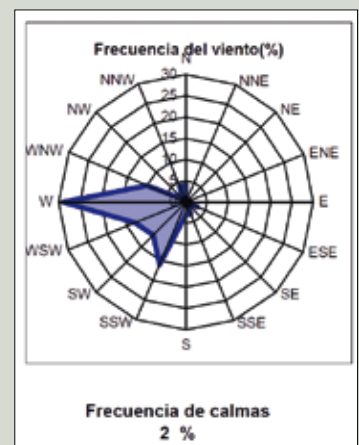


Figura 9: Rosa de viento de la estación de Cáceres de marzo 2018

Figura 10. Altura significativa de ola en la boya Golfo de Cádiz

