

# La borrasca profunda “Stephanie”

BENITO FUENTES. AEMET, MORÓN DE LA FRONTERA

Desde diciembre de 2013 hasta mediados de febrero de 2014 el Atlántico Norte experimentó un número inusualmente elevado de borrascas profundas y ciclogénesis explosivas que afectaron a Europa Occidental. Una de ellas, bautizada como Stephanie por la Universidad Libre de Berlín, tuvo lugar del 7 al 11 de febrero de 2014 adentrándose en la Península Ibérica el domingo 9



Figura 1: posición del centro de la baja cada tres horas, desde las 18 UTC del viernes hasta las 12 UTC del lunes.

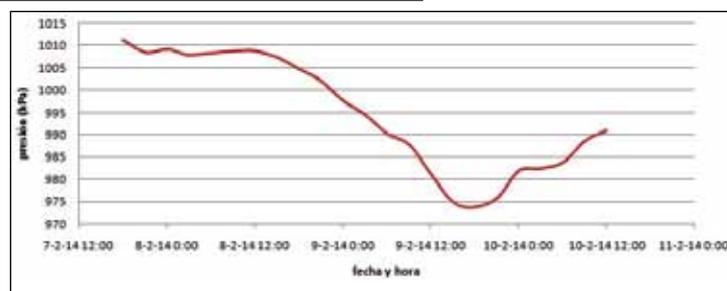
Figura 2: presión en el centro de la baja en superficie

La borrasca se formó a últimas horas del viernes 7 al sur de Terranova. A medida que se desplazaba en una trayectoria más o menos zonal también se profundizaba, sufriendo un desarrollo explosivo el domingo 8 para alcanzar su máxima intensidad (973.71hPa) frente las costas gallegas esa tarde y moviéndose a partir de entonces con dirección SW-NE. El lunes 10 la baja se fue frenando y rellenando para terminar su ciclo de vida en el interior de Francia.

En la figura 1 se ha trazado la posición del centro de la baja cada tres horas, desde las 18 UTC del viernes hasta las 12 UTC del lunes. Los valores de presión se han dividido en varios intervalos indicados con colores. La figura 2 es la gráfica de presión en su centro y refleja el brusco descenso a partir la tarde del sábado, que se mantendrá ininterrumpidamente hasta la tarde del domingo. Ambas figuras han sido elaboradas con datos obtenidos por la aplicación EcCharts del ECMWF.

## Estado inicial

El precursor de niveles altos es una perturbación asociada a la alta troposfera y baja estratosfera que posee valores ele-



vados de vorticidad potencial y va acompañada generalmente de un hundimiento de la tropopausa. El sábado 8 a las 15 UTC (figura 3) presentaba una disposición alargada y estaba flanqueado en su lado sur por una corriente en chorro zonal con máximos de hasta 160kt. El aire estratosférico, seco y con altos valores de vorticidad potencial, descendía verticalmente a medida que se desplazaba hundiendo la tropopausa hasta el nivel de los 400hPa y creando una anomalía cálida por encima suya y fría por debajo. Por otro lado, a consecuencia de la conservación de la vorticidad potencial, se produjo un lento y paulatino intercambio entre vorticidad de cizalladura y de curvatura y el precursor iba tomando una forma más circular.

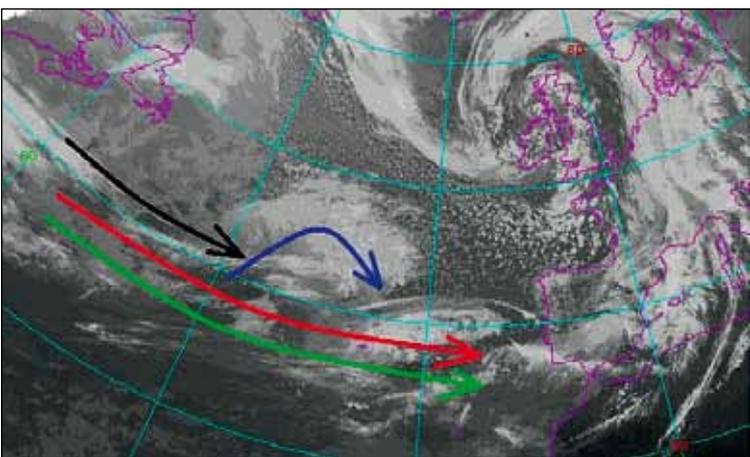


Figura 3: imagen IR del sábado 8 a las 15 UTC. (Fuente: Aemet)

A es misma hora la baja en superficie era poco profunda (1007hPa) y estaba situada en el lado polar de una banda baroclina zonal muy marcada que separaba dos masas de aire muy diferenciadas: al norte una masa polar fría y al sur una masa cálida y húmeda asociada al anticiclón de las Azores. La diferencia de temperatura justo al oeste de la baja en superficie en el nivel de 850hPa llegaba a superar los 12 °C en pocos cientos de kilómetros. El sábado 8 a las 15 UTC la baja todavía estaba en su estadio inicial, ofreciendo una señal débil en 850hPa y nula en 700hPa. No obstante, los ascensos verticales eran notables entre la baja y la anomalía en altura, favorecidos por la advección cálida en niveles bajos y por la escasa estabilidad estática en esa zona.

La imagen satélite de las 15 UTC del sábado (figura 3) muestra la estructura típica del sistema en su fase inicial:

- En niveles bajos la *cinta transportadora cálida o warm conveyor belt, WCB* (flecha roja) y un río de humedad (flecha verde) que se desplazan zonalmente y crean la nubosidad asociada a la banda baroclina.
- Parte del WCB se desvía de su trayectoria zonal y se desplaza hacia el NE adveccionando parte de la humedad y condensándola a medida que asciende. Posteriormente se desplaza hacia el SE integrándose de nuevo en la circulación del WCB (flecha azul).

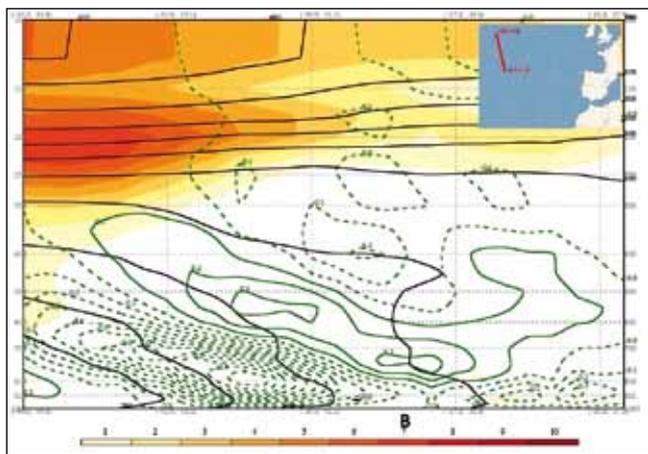


Figura 4: vorticidad potencial en PV (sombreado), temperatura potencial equivalente en K (negro) y velocidad vertical en Pa/s (línea verde continua, ascensos) el día 8 a las 12 UTC.

- La flecha negra es la intrusión de aire estratosférico, que desciende y se desplaza al oeste para acabar alcanzando el extremo izquierdo de la cabeza nubosa.

- La baja en superficie está situada en el flanco suroeste de la cabeza nubosa.

- Los frentes son débiles y están dispuestos zonalmente; el cálido al este del centro de la baja y el frío al oeste.

Con datos obtenidos por ERA-Interim se ha generado la figura 4, que representa un corte vertical que atraviesa la baja en superficie marcada con la letra "B": los altos valores de vorticidad potencial en altura (sombreado, unidades PV) llevan asociados valores bajos de estabilidad estática en niveles inferiores. Cuanto mayor sea el espaciado vertical entre las isotermas de temperatura potencial equivalente (líneas negras, en K) menor será la estabilidad. En su avance la anomalía en altura genera ascensos verticales en su flanco delantero ayudando a la profundización de la baja (líneas verdes continuas, en Pa/s). En el extremo inferior derecho puede observarse otra pequeña anomalía en superficie.

## Estado explosivo

Se caracterizó por una rápida intensificación del sistema en todos los niveles y era muy palpable entre las 03 y las 06 UTC del domingo. El precursor de niveles altos había sido trasladado hacia el ESE y se había colocado en una posición ideal para interactuar con la baja de una manera muy eficiente (ver figura 5):

- La circulación de niveles altos inducía una circulación ciclónica en niveles bajos que producía advección fría al oeste de la baja en superficie "B" (flecha azul) y advección cálida al este (flecha roja) reforzando la anomalía cálida en superficie.

- Esta anomalía cálida (que lleva asociada una circulación ciclónica) inducía a su vez una circulación ciclónica en altura (flechas negras). Como resultado, la anomalía de vorticidad potencial fue adveccionada hacia el sur, frenando su desplazamiento hacia el este y tomando una configuración mucho más circular.

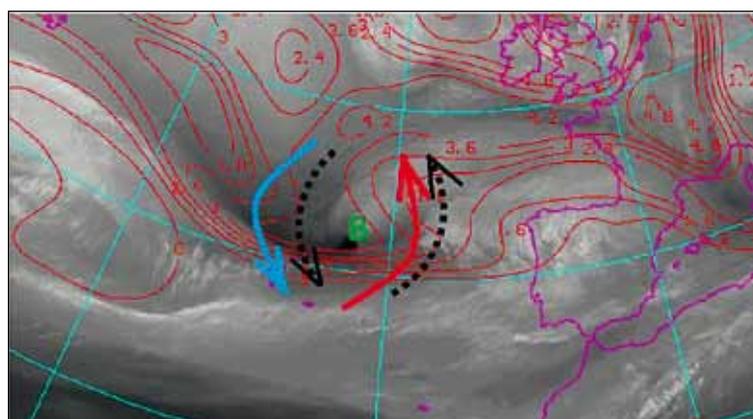


Figura 5: interacción entre la anomalía de niveles altos y la de niveles bajos superpuesta a la imagen de vapor de agua del domingo 9 a las 06 UTC y a los valores de vorticidad potencial (PV) en 300hPa (líneas rojas). (Fuente: Aemet)

En la imagen satélite de vapor de agua del domingo a las 06 UTC se aprecia claramente una zona oscura justo debajo de "B" que corresponde a la entrada de aire estratosférico seco con altos valores de vorticidad potencial (líneas rojas en unidades PV)

## La borrasca profunda “Stephanie”

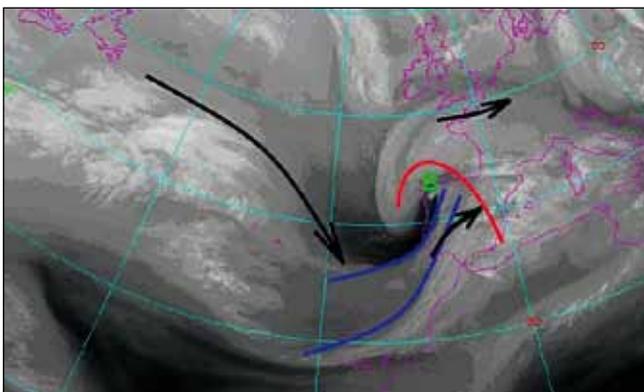
que disipa la nubosidad entre el frente frío y la cabeza del sistema en formación. Otra consecuencia es la disminución de la estabilidad estática en esta zona cuyo principal efecto fue generar pequeños núcleos convectivos de escasa importancia al NE del centro de la baja.

La banda baroclina se iba ensanchando en la zona del frente cálido y estrechando en la zona del frente frío tomando una disposición del WSW-ENE. Otros aspectos no mostrados aquí pero que fueron observados y merece la pena señalar son los siguientes:

- Aumento del gradiente horizontal de temperatura en todos los niveles.
- Aumento del gradiente horizontal de espesor como consecuencia del reforzamiento de los frentes.
- Aparición de un segundo frente frío al norte del primero y paralelo al mismo (figura 6).
- En el centro de la baja hay aumento de la advección de vorticidad ciclónica con la altura favoreciendo los ascensos verticales.
- Alta advección cálida al este de la baja y fría al oeste.
- Disminución de la estabilidad estática por debajo la intrusión seca (figura 5, zona oscura cerca de “B”).
- En el nivel de 500hPa se aprecia difluencia corriente abajo de la baja en superficie.

A las 18 UTC el sistema alcanzó la madurez. Ambas anomalías estaban totalmente acopladas y el sistema no se intensificó más. La intrusión seca se adentraba en la baja rodeándola ciclónicamente desde el SW y evaporando la nubosidad entre el frente frío y la cabeza nubosa, que ahora tiene forma de gancho (figura 6). El chorro de niveles altos presentaba dos máximos (flechas negras): uno delantero del SSW (120kt) y otro trasero del NNW (160kt). Otro máximo secundario (100kt) se encontraba bordeando el gancho nuboso en su lado derecho. La vaguada de niveles altos estaba bien definida aunque aun formaba un ángulo apreciable con las isobaras.

La hoja baroclina presentaba una disposición en forma de S con su eje orientado al NE-SW. El frente frío se había reforzado y alcanzado la Península; el frente frío secundario estaba más definido aunque en proceso de frontolisis. Se apreciaba una anomalía térmica positiva que ocupaba toda el área del gancho pero sin llegar a producirse una seclusión palpable; para recalcar este hecho algunos servicios meteorológicos prefirieron dibujar



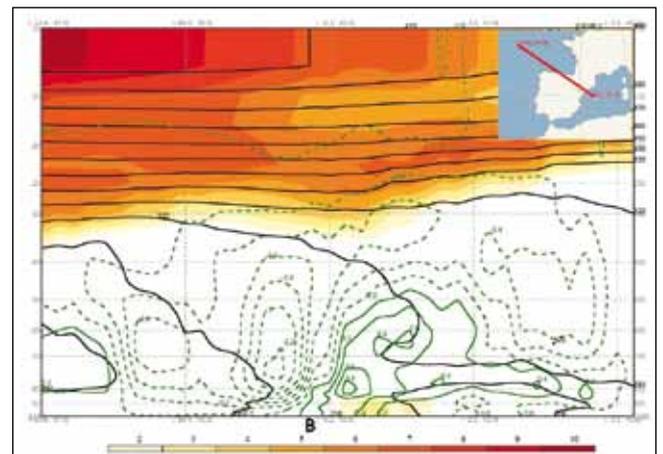
**Figura 6:** imagen vapor de agua del domingo 9 a las 18 UTC. (Fuente: Aemet)

el frente cálido enroscándose en la baja ya que tampoco se evidenciaba con toda claridad una oclusión (caso de Météo France).

## Estado de disipación

El domingo a últimas horas del día la borrasca se debilitó en todos los niveles. Como consecuencia del acoplamiento disminuyó la intensidad de la circulación vertical, que aun seguía siendo ascendente en la zona del gancho nuboso y descendente por detrás del frente frío.

En muchas ciclogénesis explosivas el frente cálido y el gancho se enroscan en espiral alrededor de la baja y adoptan una configuración con simetría apreciable. En el caso de Stephanie no sucedió así; el gancho tomó una disposición N-S (figura 6), seguramente debido a que parte de la borrasca abandonó la superficie oceánica y se adentró en la Península limitando el aporte de calor latente y sintiendo la influencia orográfica con la subsiguiente modificación de la estructura. Tampoco se tiene constancia de la formación de un sting jet, ni en las imágenes satélite ni en los registros de viento de Aemet y el Instituto Portugués.



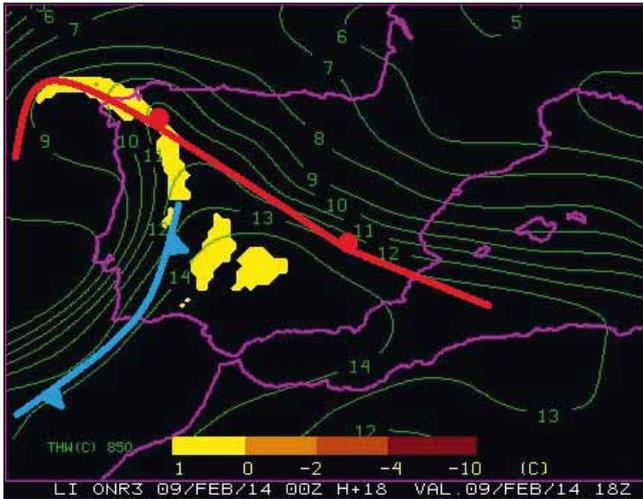
**Figura 7:** vorticidad potencial en PV (sombreado), temperatura potencial equivalente en K (negro) y velocidad vertical en Pa/s (línea verde continua, ascensos) el día 9 a las 18 UTC

Con los datos obtenidos por ERA-Interim se ha generado la figura 7. La estabilidad estática aun es muy baja hasta niveles medios pero ambas anomalías ya están superpuestas y la advección diferencial de vorticidad es negativa, de modo que sobre la baja predominan los descensos.

## Efectos en Andalucía Occidental

Afortunadamente no se registraron incidencias significativas más allá de roturas de ramas, desperfectos en tejados o cortes en carreteras por caídas de árboles y rocas. Los efectos se hicieron notar especialmente durante la segunda mitad del domingo. Una potente corriente en chorro de niveles bajos asociada al WCB con valores cercanos a los 60kt y con mucho recorrido marítimo transportaba humedad desde el SW hacia la costa saturando el aire hasta niveles cercanos a los 500-600hPa.

En la figura 8 se ha dibujado la posición aproximada de los frentes hacia las 18 UTC del domingo, que pueden intuirse don-

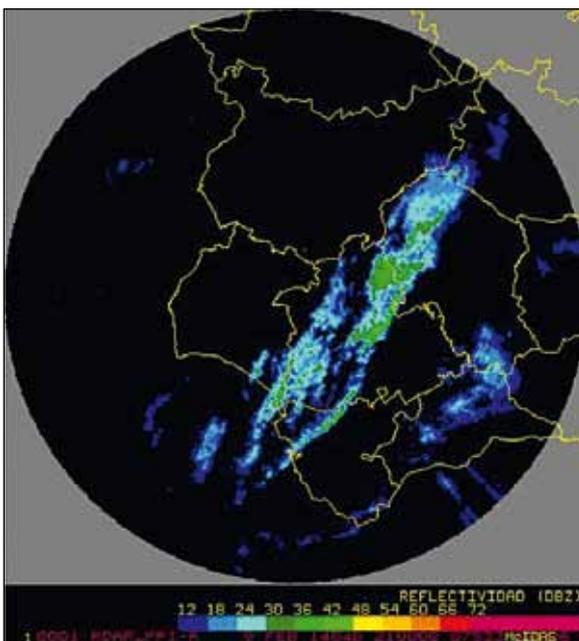


**Figura 8: previsión del HIRLAM ONR para las 18 UTC del domingo. Líneas verdes, temperatura potencial del termómetro húmedo en 850hPa (°C); sombreado, Lifted Index (LI). (Fuente: Aemet)**

de las isolíneas de temperatura potencial del termómetro húmedo (en verde) están más próximas entre sí: el cálido ya ha abandonado Andalucía Occidental y se dirige hacia el NE. El frío se adentra desde el Atlántico y sus efectos ya se están sintiendo en esta comunidad autónoma y también en Extremadura.

Las precipitaciones fueron continuas y moderadas desde la mañana y estuvieron asociadas en su mayoría al sector cálido. Entre las 11 y las 23 UTC los máximos registros se dieron allí donde la convergencia de humedad era más elevada, es decir, en el interior de las provincias de Cádiz (167 mm en Grazalema, 69 en el Bosque y 61 en Sierra de Luna) y Sevilla (56 mm en la Luisiana y 41 en Écija).

El viento comenzó a hacerse notar desde las 10 UTC, si bien hasta las 13 UTC no se superaron los 40 kt en amplias zonas de la



**Figura 9: imagen radar de Sevilla de las 21 UTC. Reflectividad en superficie. (Fuente: Aemet)**

costa y el valle del Guadalquivir. La mayoría de las estaciones marcaron su racha máxima con la llegada del frente frío entre las 19 y las 22 UTC (figura 9), con valores que, para el caso de Andalucía Occidental y exceptuando el Estrecho, son bastante significativos: 109 km/h en Jerez-Aeropuerto, 100 en Sevilla-San Pablo y 99 en Aguilar (Córdoba).

La convección fue prácticamente inexistente; el índice K, el total de totales, el CAPE y el LI ofrecían valores muy pobres y poco propicios para el desarrollo. También la cizalladura vertical por delante del frente frío era muy alta, superando los 25 m/s. El descenso vertical y la elevada estabilidad estática eliminaron cualquier intento postfrontal.

## Referencias bibliográficas

- ▶ BADER, M.J., FORBES, G.S., GRANT, J.R., LILLEY, R.B.E., WATER, A.J., 1995: Images in Weather Forecasting: A Practical Guide for Interpreting Satellite and Radar Imagery. Cambridge University Press.
- ▶ BELL, G., KEYSER, D., 1992: Shear and Curvature Vorticity and Potential-Vorticity Interchanges: Interpretation and Application to a Cutoff Cyclone Event, *Mon. Wea. Rev.*, vol. 121, pp. 76-101.
- ▶ BROWNING, K., 1997: The Dry Intrusion Perspective of Extra-Tropical Cyclone Development, *Meteorol. Appl.*, vol. 4, pp. 317-324.
- ▶ HOSKINS, B., McENTIRE, M., ROBERTSON, A., 1985: On the Use and Significance of Isentropic Potential Vorticity Maps, *J. R. Met. Soc.*, vol. 111, pp. 877-946
- ▶ MANSFIELD, D., 1996: The Use of Potential Vorticity as an Operational Forecast Tool, *Meteorol. Appl.*, vol. 3, pp. 195-210.
- ▶ REED, R., SIMMONS, A., ALBRIGHT, M., UNDÉN, P., 1988: The Role of Latent Heat Release in Explosive Cyclogenesis: Three Examples Based on ECMWF Operational Forecast, *Wea. And Forecasting*, vol. 3, pp. 217-229.
- ▶ ROGERS, E., BOSART, L., 1985: An Investigation of Explosively Deepening Oceanic Cyclones, *Mon. Wea. Rev.*, vol. 114, pp. 702-718.
- ▶ SANDERS, F., GYAKUM, J., 1980: Synoptic Dynamic Climatology of the "Bomb", *Mon. Wea. Rev.*, vol. 108, pp. 1589-1606.
- ▶ Ciclogénesis del 5-6 de Noviembre de 1997, Biblioteca de Módulos TEMPO, AEMet.
- ▶ Rapid Cyclogenesis, Manual of Synoptic Satellite Meteorology, KNMI and ZAMG.
- ▶ [http://dtacm.aemet.es/~intradtacm/documentos/Ciclogenesia\\_Explosiva\\_feb2014.pdf](http://dtacm.aemet.es/~intradtacm/documentos/Ciclogenesia_Explosiva_feb2014.pdf)