

Figura 1. (a) altura del geopotencial media (líneas) y su anomalía (color) en 300 hPa (en m.g.p.); (b) altura del geopotencial media (líneas, en m.g.p.) y, anomalías medias de la temperatura (color) en 850 hPa, del 3 al 18 de agosto. Fuente: NOAA

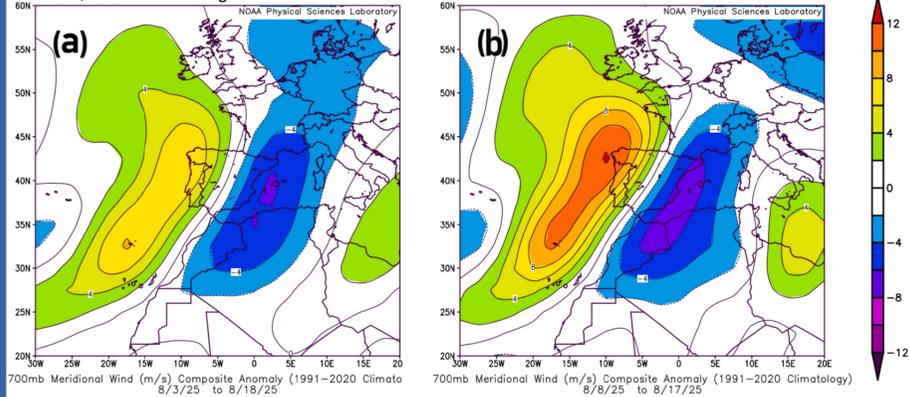


Figura 2. Anomalía de la componente meridional del viento en 700 hPa en m/s: (a) de 3 a 18 de agosto, (b) de 8 a 17 de agosto. Fuente: NOAA

## Ola de calor en España récord en verano 2025

Se observaron dos olas de calor en la España continental en verano de 2025. La primera se extendió entre el 18 de junio y el 4 de julio, con temperaturas que alcanzaron los 40 °C en muchas regiones y superaron los 43 °C en zonas del sur peninsular. La segunda ola de calor se extendió entre el 3 y el 18 de agosto, registrándose en ella las temperaturas más altas del verano. Esta ola de calor ha sido la más intensa registrada en España con una anomalía de temperatura máxima de 4.6 °C por encima del umbral de temperatura de ola de calor definido por AEMET (Rodríguez-Ballesteros, 2014), superando el récord anterior de 2022 en 0.1 °C.

Los elementos sinópticos de la segunda ola se muestran en la figura 1 (la primera ola fue muy similar): una anomalía cálida anticiclónica de latitudes medias en la troposfera libre sobre Europa occidental y una anomalía cálida en la troposfera inferior asociada al surco de presión que se extiende a lo largo de la costa atlántica de la península ibérica y noroeste de África: la anomalía cálida anticiclónica de latitudes medias (ver figura 1a) bombeaba hacia el norte y almacenaba aire cálido tropical seco procedente del Atlántico subtropical, siguiendo el surco de presiones señalado por b en la figura 1b. Producto de lo cual fue la anomalía positiva de la componente meridional del viento, que se muestra en 700 hPa (figura 2a) que se extendía desde Canarias hasta el oeste de la península. El surco de presión se genera por la penetración limitada del flujo de levante, que advecta aire cálido continental hacia el Atlántico en niveles bajos de la troposfera. El límite occidental del surco lo marca la masa de aire "frío" en la capa límite marítima bajo la gran inversión de subsidencia del anticiclón de las Azores. Este aire frío se alimenta de las descargas frías que generan las vaguadas de latitudes medias que se desplazan hacia el este siguiendo la corriente en chorro polar, y se mantiene por la reflexión de la radiación solar por los estratocúmulos bajo la inversión.

## Ondas de montaña en los días 8 a 17 agosto

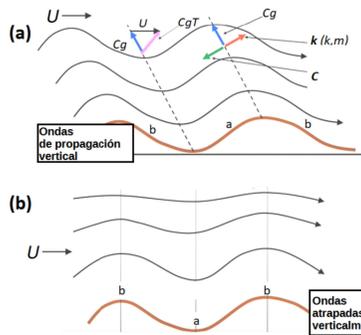


Figura 3. Flujo estacionario no viscoso de un fluido estratificado sobre terreno sinusoidal: (a) onda libre ( $Uk < N$ ); (b) onda atrapada ( $Uk > N$ ). a y b indican máximos y mínimos de la perturbación de la presión; C: velocidad de fase;  $C_g$ : velocidad de grupo intrínseca;  $C_{gT}$ : velocidad de grupo respecto a tierra y  $k$ : número de onda (adaptado de Gill, 1982)

Dentro de la ola de calor de agosto, el intervalo de diez días del 8 a 17 de agosto fue récord de temperatura para el conjunto peninsular español, desde al menos 1950. La causa inmediata fue la intensificación de la anomalía del flujo de aire hacia el polo en el oeste de la península (figura 2b); un chorro en niveles bajos del SSO que aumentó la difusión hacia el norte de aire de origen subtropical, contribuyendo a que la temperatura media peninsular alcanzara valores récords. Además, la interacción del máximo de viento y la orografía del NE peninsular fue propicio a la formación de ondas gravitatorias internas (OGI). En el norte de Portugal las sierras están orientadas de SO a NE que encausan el flujo perpendicularmente a las sierras orientadas E-O en España: sierra Culebra, sierra Cabrera, ..., donde, según sea la estabilidad estática en niveles bajos pueden desarrollar: OGI libres (que se propagan fuera de la zona donde se generan), ondas atrapadas en niveles bajos, o, si el flujo es inestable, no es perturbado por la orografía.

- Una OGI se propagaran libremente si su frecuencia,  $\omega$ , es menor que la frecuencia de flotabilidad  $N$ , o sea  $\omega = Uk < N$  (figura 3a)
- Una onda de montaña quedará atrapada en niveles bajos si  $Uk > N$ , siendo  $N > 0$  (figura 3b)
- No se formará onda cuando  $N \sim 0$  (flujo no estratificado)

Siendo,  $U$  la componente del viento perpendicular a la sierra,  $k$  número de onda que caracteriza la anchura de la sierra,  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $N^2 = (g/\theta)(d\theta/dz)$ , y  $\theta$  la temperatura potencial.

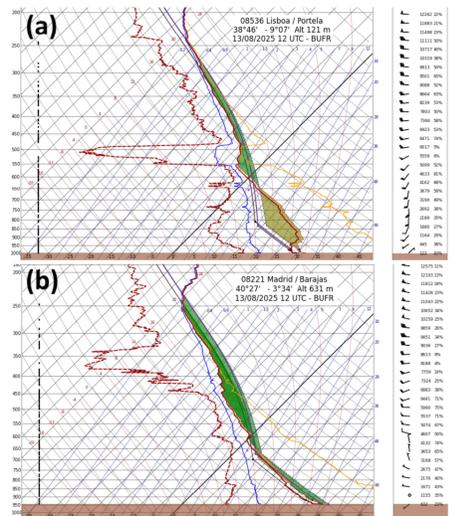


Figura 4. Sondeos del 13 de agosto a las 12 UTC: (a) Lisboa; (b) Madrid. Fuente: AEMET

La evolución del calentamiento diurno determina el comportamiento de la interacción del flujo de aire con la orografía, y particularmente en el NE de la Península que fue una región de transición entre las zonas áridas, donde el calentamiento de la atmósfera se realiza por calor sensible y durante la ola de calor alcanza rápidamente el perfil de la adiabática seca que impide la formación de ondas, y las zonas húmedas en las que buena parte del calentamiento diurno ocurre por calor latente, por lo que la estabilidad de las capas bajas y la formación de ondas de montaña se pueden prolongar durante buena parte del día. Los sondeos de Lisboa y Madrid son representativos de ambas zonas. Por tanto, los fuertes vientos de componente sur hicieron del noroeste de la península una zona donde coincidieron máximos de anomalías térmicas en niveles bajos (figura 1b) y una gran variabilidad dinámica debido a los efectos de la variación de la estabilidad sobre las ondas de montaña.

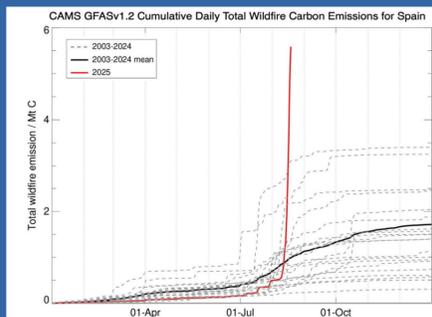


Figura 5. Estimación total acumulada de emisiones de carbono por incendios forestales en España del 1 de enero al 18 de agosto de 2025 (línea roja) por el GFAS del CAMS. La línea negra representa el promedio del período 2003-2024, y las líneas grises discontinuas representan las emisiones de los años anteriores. Crédito: CAMS/ECMWF

## Incendios forestales del 8 al 17 de agosto

Estos diez días fueron también récord en incendios forestales. Según el Sistema Global de Asimilación de Incendios (GFAS) del CAMS, en esta fechas la península ibérica pasó de unas emisiones estimadas "promedio" a alcanzar el total anual más alto en los 23 años de existencia del GFAS (figura 5). Es conocido que las olas de calor y las condiciones secas, a menudo acompañadas de fuertes vientos, favorecen la propagación e intensificación de los incendios forestales. Pero en este caso pensamos la formación de OGI de montaña tuvo una importancia fundamental en la duración de los incendios en el noroeste de la península: pues las OGI libres interactúan con los grandes incendios, dado que sobre éstos el gradiente vertical de temperatura de las capas bajas de la atmósfera se hace inestable,  $N \leq 0$ , a cualquier hora del día, impidiendo la estratificación e inhabilitando la zona incendiada para sostener OGI libres. Si las ondas se generan a barlovento del incendio estas serán advectadas por el flujo medio hacia la zona de los incendios causando su ruptura: sobre los incendios las ondas se rompen en un proceso en el que su pendiente supera un umbral crítico, al quedar atrapada inicialmente en capas bajas perdiendo velocidad horizontal respecto a las capas más altas, lo que provoca su vuelco vertical. La rotura de una onda es un proceso altamente disipativo, que convierte la energía de la onda en energía cinética turbulenta alterando el perfil que el viento tenía a barlovento, lo cual, además de dificultar las labores de extinción y poner en peligro las vidas de los integrantes de las unidades contraincendios, alarga la duración de los incendios.

## El cambio climático y el viento anómalo del sur

Este viento anómalo del sur está relacionado con un importante contraste de temperatura entre tierra y mar, y puede ser una señal del cambio climático, pues una característica robusta del mismo es que, en respuesta al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero, la diferencia de subida de temperatura media del aire en superficie entre la tierra y el océano será cada vez mayor (ver, por ejemplo Manabe *et al.*, 1991, o Sutton *et al.*, 2007), y por tanto estas condiciones podrían repetirse con mayor frecuencia o agravarse en caso de seguir aumentando la concentración de gases de efecto invernadero

## Referencias

- Gill, A., 1982: Atmosphere-Ocean Dynamics. International Geophysics Series, Vol. 30, Academic Press, 662 pp.
- Manabe S, Stouffer RJ, Spelman MJ, Bryan K, 1991: Transient responses of a coupled ocean-atmosphere model to gradual changes of atmospheric CO2. Part I: annual mean response. J Clim 4:785-818
- Rodríguez-Ballesteros, C., 2014: Criterios objetivos para localizar y caracterizar las olas de calor. XXXIII Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española y 15º Encuentro Hispano-Luso de Meteorología
- Sutton RCT, Dong BW, Gregory JM, 2007: Land-sea warming ratio in response to climate change: IPCC AR4 model results and comparison with observations. Geophys Res Lett 34:L02701