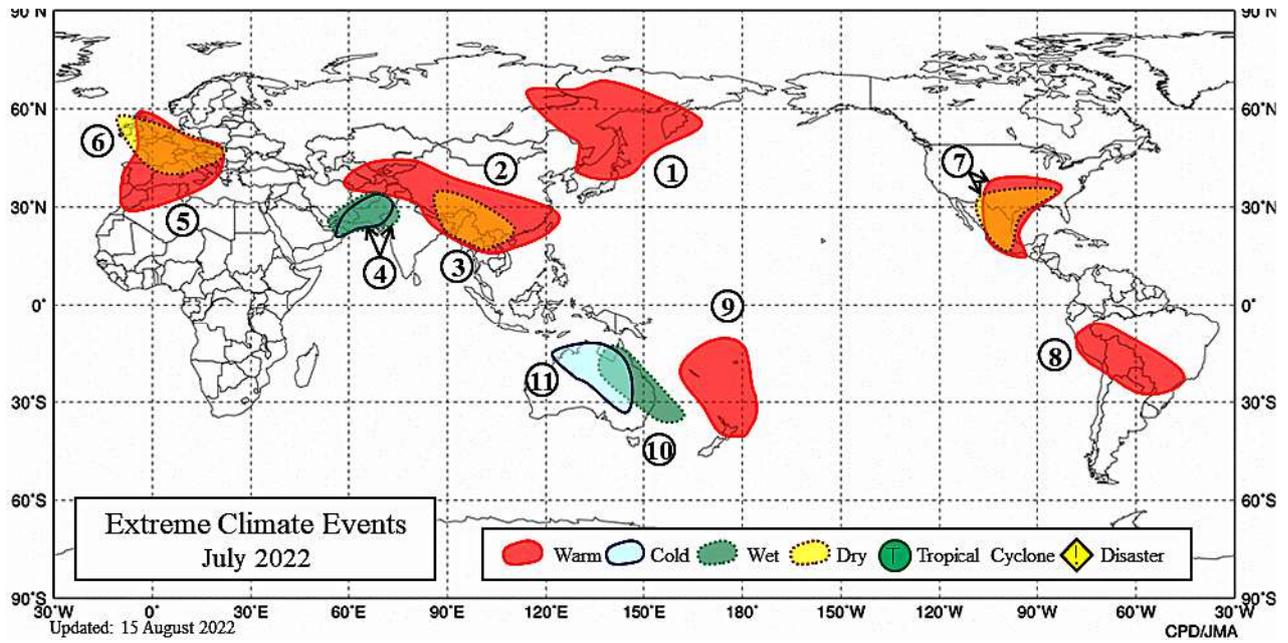


# Ola de calor de julio 2022 y monzón asiático

JOSÉ MARÍA SÁNCHEZ-LAULHÉ

Figura 1. Extremos climáticos en julio de 2022. Fuente: Japan Meteorological Agency



## Introducción

Del 11 al 24 del pasado mes de julio tuvo lugar una extraordinaria ola de calor en la península ibérica (ver la sección Crónica del Tiempo), quizá la más intensa desde 1975, año a partir del cual AEMET ha analizado este fenómeno en España, con cinco días con temperatura máxima media en la España peninsular entre las diez más altas desde el año 1941. Como consecuencia, julio fue récord en cuanto a temperatura media en España.

Este fenómeno climático extremo afectó también al Magreb y al oeste de Europa (figura 1) y coincidió con un julio extremadamente húmedo en el oeste de la región del monzón de verano de la India (figura 1), en el que el índice del monzón de la India (figura 2) alcanzó valores muy altos durante un periodo inusualmente largo, y que tuvo como consecuencia las inundaciones catastróficas de agosto en Paquistán.

En 2022 continuó el episodio de la Niña por tercer año consecutivo, fase del ENSO que está relacionada con un monzón de verano del sur de Asia más húmedo de lo normal. Dado que el monzón de la India es un componente principal del clima del Mediterráneo en verano (ver recuadro), su

variabilidad intraestacional debe también estar implicada en las olas de calor en verano en esta región. A continuación se muestra a través de los mapas promediados semanales, en niveles altos y bajos de la troposfera, la relación del monzón con la ola de calor de julio.

## La evolución de la circulación durante la ola de calor

La figura 4 muestra la evolución de la circulación a gran escala, del 17 de junio

al 30 julio a través de mapas promediados semanales de: la función de corriente,  $\psi$ , en niveles bajos (sigma 0.8458; columna izquierda), la  $\psi$  y sus anomalías en niveles altos (sigma 0.2582; columna central), y el potencial de velocidad,  $\chi$ , en niveles altos (sigma 0.258; columna derecha). Se puede observar:

1. Una **intensificación del alta de las Azores** en la segunda mitad del mes de junio (figuras 4a, 4d). El intenso anticiclón conlleva una fuerte subsidencia en la troposfera resultado de la convergencia en los niveles altos troposféricos (C en figura

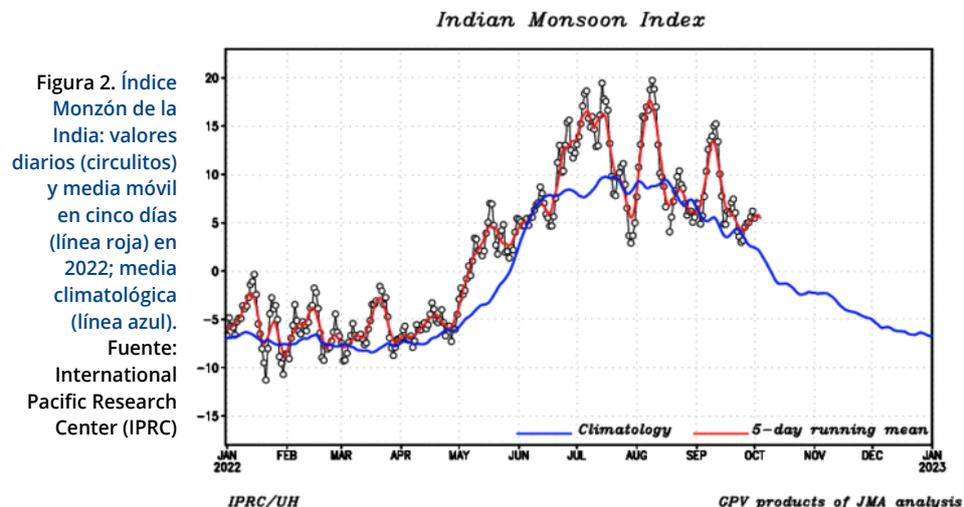


Figura 2. Índice Monzón de la India: valores diarios (circulitos) y media móvil en cinco días (línea roja) en 2022; media climatológica (línea azul). Fuente: International Pacific Research Center (IPRC)

4c y 4f), y un dipolo de anomalías ciclónica y anticiclónica centradas en unos 30° N y 50° N en la alta troposfera (figura 4d). Este dipolo se desplaza del Atlántico al Mediterráneo occidental en la semana del 8 al 14 de julio.

**2. La generación de un tren de onda de Rossby que rodea al Mediterráneo** por el norte, como se observa en las anomalías de la  $\psi$  en niveles altos en la columna central de la figura 4. La parte oriental del anticiclón es una zona fuente de ondas de Rossby debido a que reúne una alta vorticidad absoluta -- debida a la intensificación ciclónica en altura en la parte meridional del alta de las Azores que prolonga el chorro subtropical afro-asiático hacia el Atlántico -- y la convergencia en niveles altos (C) que estira verticalmente la columna atmosférica generando vorticidad.

**3. Las anomalías negativas del tren de la onda de Rossby interactúan con la vaguada climatológica del Mediterráneo oriental asociada al monzón (ver recuadro) profundizándola, intensificando el chorro subtropical asiático corriente abajo (hacia el mar Caspio) y desarrollando una dorsal sobre el oeste de Asia Central, al este del mar Caspio. El desarrollo de esta dorsal es indicativo de intensificación del monzón de la India (ver Wu y Wang 2002<sup>1</sup>). Las anomalías del este del viento en la parte sur de esta anomalía anticiclónica aumenta la cizalladura vertical del este en el norte de la India, lo que promueve la convección en esta región.**

Sobre la relación anticiclón-monzón, Rodwell y Hoskins (2001)<sup>2</sup> demostraron que los anticiclones oceánicos subtropicales de verano estaban originados por los monzones situados al oeste, y Yadav (2021)<sup>3</sup> relacionó un anticiclón de las Azores anómalamente intenso con lluvias por

## El clima del Mediterráneo en verano

El clima del Mediterráneo está afectado por una gran variedad de procesos; limitado al sur por los áridos desiertos del Norte de África y al norte por la húmeda y templada Europa de latitudes medias, se encuentra entre dos regímenes climáticos muy diferentes. Mientras todas las zonas de clima mediterráneo se caracterizan por inviernos extendidos húmedos y suaves y veranos secos y cálidos, el clima de la región del Mediterráneo es algo diferente por la variedad de factores dinámicos de gran escala que influyen en la región, que van desde la senda de las tormentas del Atlántico Norte hasta los efectos del remoto monzón asiático (Rodwell y Hoskins 1996; RH96). Esto, junto a la complicada orografía, hace que el clima de la región dependa de interacciones muy complejas entre diferentes componentes del sistema climático.

En verano, la circulación atmosférica sobre el Mediterráneo se caracteriza por una subsidencia intensa y vientos de componente norte en niveles bajos en las partes central y oriental de la cuenca; estas características se disipan en el Mediterráneo occidental y la península ibérica, predominando en esta última los movimientos ascendentes por efecto de la orografía, principalmente por el Atlas; en el Atlántico oriental vuelven a predominar la subsidencia y los vientos de componente norte (ver figura 3).

La subsidencia de estas zonas está relacionado con el ascenso provocado por el calentamiento diabático en la región del monzón de Asia que da lugar a subsidencia al oeste, por el siguiente mecanismo: el calentamiento por el monzón y la divergencia del viento asociada en niveles altos lleva a la generación de una onda de Rossby de tipo Gill (Gill 1980) al oeste del calentamiento, que consta de un ciclón en niveles bajos y un anticiclón en niveles altos de la troposfera. El resultado es una anomalía térmica cálida que se estira hacia el oeste de la región monzónica a través de Oriente Próximo haciendo que las superficies isentrópicas adquieran una fuerte pendiente, descendiendo desde Europa a África. El flujo de oeste de latitudes medias interactúa con esta estructura térmica descendiendo adiabáticamente hacia el norte de África siguiendo las superficies isentrópicas. Esta subsidencia se rompe en el este y en el oeste de la región por los ascensos en las cordilleras de los Zagros y del Atlas respectivamente. La influencia de monzón asiático sobre la circulación y la subsidencia resultante al oeste, fue denominada en RH96 como mecanismo "monzón-desierto" y es una componente importante del clima del Mediterráneo, y del Atlántico contiguo, durante el verano.

Simpson et al., 2015, demostraron que aproximadamente el 30 % de la subsidencia en verano en el Mediterráneo se debía a la orografía del norte de África y de Oriente Próximo, principalmente la cordillera de los Zagros.

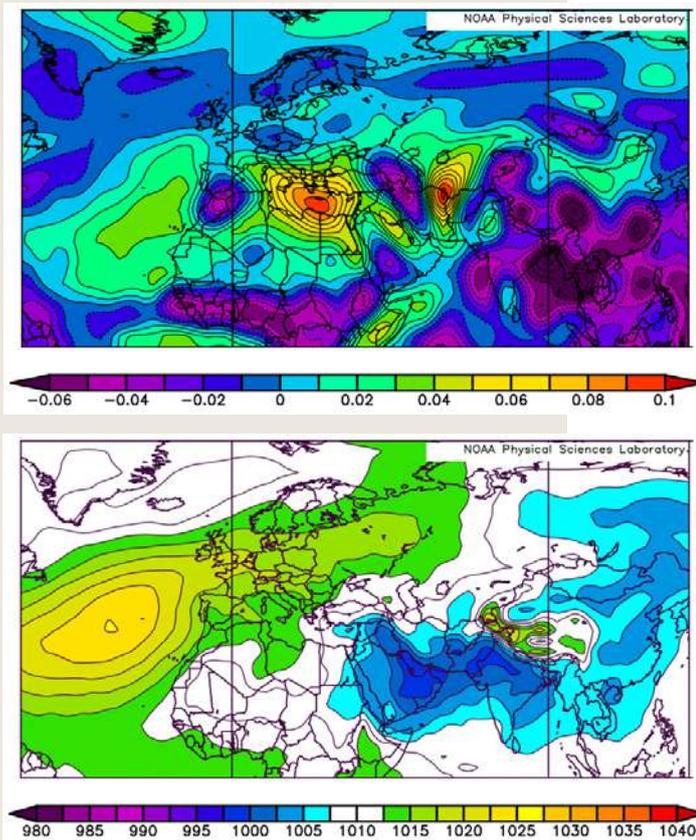


Figura 3. Mapas climatológicos de verano (junio-agosto) de: velocidad vertical omega en 500 hPa; valores positivos descendencias (arriba); presión a nivel del mar en hPa (abajo). Fuente NCEP/NOAA

<sup>1</sup> Wu R, Wang B. (2002). A Contrast of the East Asian Summer Monsoon-ENSO Relationship between 1962-77 and 1978-93, *Journal of Climate*, 15(22), 3266-3279.

[https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/15/22/1520-0442\\_2002\\_015\\_3266\\_acotea\\_2.0.co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/15/22/1520-0442_2002_015_3266_acotea_2.0.co_2.xml)

<sup>2</sup> Rodwell MJ, Hoskins BJ, 2001. Subtropical Anticyclones and Summer Monsoons. *J. Climate*, 14, 3192-3211.

[https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/14/15/1520-0442\\_2001\\_014\\_3192\\_saasm\\_2.0.co\\_2.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/14/15/1520-0442_2001_014_3192_saasm_2.0.co_2.xml)

<sup>3</sup> Yadav RK, 2021 Relationship between Azores High and Indian summer monsoon. *npj Clim Atmos Sci* 4, 26 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41612-021-00180-z>

Rodwell, M. J., and B. J. Hoskins, 1996: Monsoons and the dynamics of deserts. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **122**, 1385-1404.

Gill AE (1980) Some simple solutions for heat-induced tropical circulation. *Q J R Meteorol Soc* 106(449):447-462  
Simpson IR, Seager R, Shaw TA, Ting M (2015) Mediterranean Summer Climate and the Importance of Middle East Topography. *J Climate* 28:1977-1996. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00298.1>

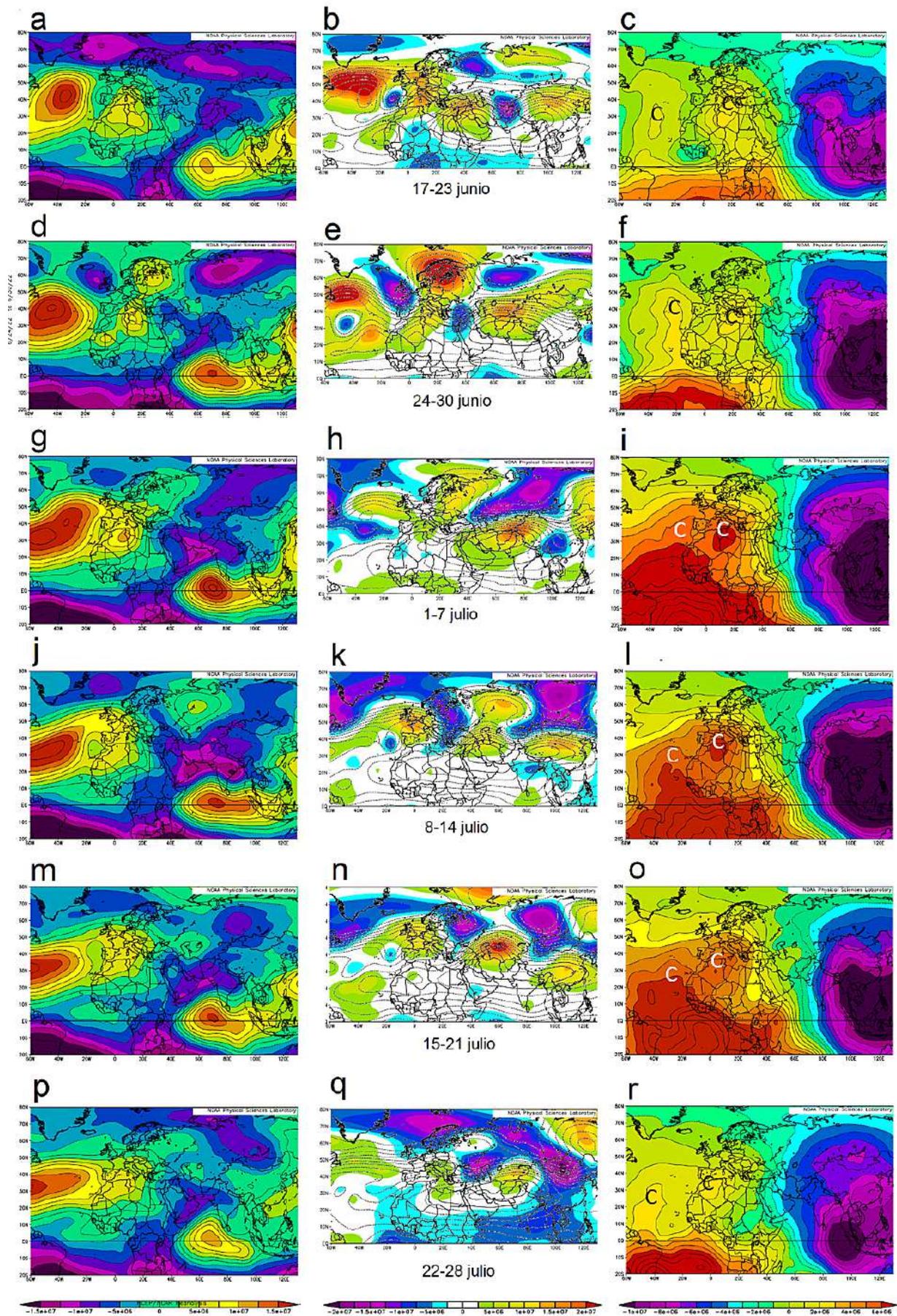


Figura 4. Mapas promedios semanales desde el 17 de junio al 28 de julio (de arriba abajo) de: función de corriente y sus anomalías en la superficie sigma 0.8458 (columna izquierda); función de corriente y sus anomalías en la superficie sigma 0.2582 (columna central); potencial de velocidad en sigma 0.2582 (columna derecha). Fuente NCEP/NCAR

encima de lo normal en el oeste de la región del monzón del sur de Asia (noroeste de la India y Paquistán).

4. Manifestación del fortalecimiento del monzón sobre Asia:

a. En niveles altos: **fuerte desarrollo del alta del Tíbet** sobre el oeste de Asia Central que alcanza su máximo en la mitad del mes de julio (columna central de la figura 4); **intensificación y desplazamiento de los valores negativos de  $\psi$**  hacia el noroeste de la zona del monzón hasta mitad de julio, para posteriormente decrecer (columna derecha de la figura 4).

b. En niveles bajos: en la **intensificación** del flujo de levante que incide sobre la costa oeste de la India, autentico **conveyor belt** del monzón asiático y en la extensión hacia el oeste y profundización de la lengua de **bajas presiones en niveles bajos desde el mar Arábigo hasta el Mediterráneo oriental** (columna izquierda de la figura 4).

5. Manifestación del fortalecimiento del monzón sobre el Mediterráneo:

a. En niveles altos se observa la **intensificación del máximo de  $\psi$**  (zona de convergencia C)<sup>4</sup> en la parte sur del Mediterráneo y su **desplazamiento hacia el oeste** (figura 4, columna derecha).

Comportamiento parecido fue encontrado por Rodwell y Hoskins, 1996<sup>5</sup> (RH96) (aunque previamente existía evidencia observacional del mismo), demostrando

basado en modelos que cuando el calentamiento monzónico en el sur de Asia se desplazaba hacia el norte se intensifican los movimientos descendentes sobre el Mediterráneo y el Sahara. También RH96 mostraron que tras el inicio del monzón se produce un desplazamiento hacia el oeste del máximo de subsidencia sobre el Mediterráneo, con tiempos concordantes con los determinados por Heckley y Gill, 1983<sup>6</sup>, para la propagación de la onda de Rossby-Gill<sup>7</sup> al inicio del monzón.

b. El desplazamiento hacia el oeste de C conlleva el desplazamiento hacia el oeste de los vientos de componente norte y del máximo de la  $\psi$  (o de la altura del geopotencial)<sup>8</sup> a todos los niveles de la troposfera; dorsal en niveles altos; anticiclón en niveles bajos (figura 4, columna central e izquierda respectivamente).

El desplazamiento de los vientos con C se debe a que el calentamiento adiabático por descendencia sobre el Mediterráneo en verano casi se contrarresta por la advección fría desde el norte (RH96) y una variación en la intensidad de los nortes repercute en las altas presiones al oeste.

4. En la semana del 8 al 14 de julio se fusionan los máximos de  $\psi$  del norte de África y del Atlántico oriental en latitudes medias del tren de onda de Rossby, quedando toda Europa occidental bajo el máximo de altura de geopotencial que se

mantendría durante la ola de calor. Mientras, el anticiclón de las Azores se aleja de la Península, dando paso a la formación de una dana sobre el Atlántico. Esta situación se mantendría casi estacionaria durante la ola de calor.

## La conexión trópicos-extratropicos en el Atlántico oriental

El intervalo de siete días más álgido de la ola de calor fue del 12 al 18 de julio. El campo de la  $\psi$  media en niveles bajos en estas fechas (superficie sigma 0.8458 figura 5a) muestra la conexión tropical-extratropical, con una circulación anticiclónica que rodea Europa occidental y el noroeste de África llevando aire desde las latitudes medias a los trópicos. Por otra parte la dana centrada al sudoeste de la Península, en su parte oriental, lleva aire de procedencia tropical y subtropical a las latitudes medias. Igualmente esta conexión existe en niveles altos de la troposfera, como se observa en los reanálisis NCEP/NCAR (figuras 4k y 4n) y en el flujo del sur de vapor de agua procedente de los trópicos de la imagen de vapor de agua del 15 julio (figura 6). En esta imagen se observa la convergencia a gran escala, en las inmediaciones de la costa atlántica del norte de África y de la península ibérica, de flujos subsidentes

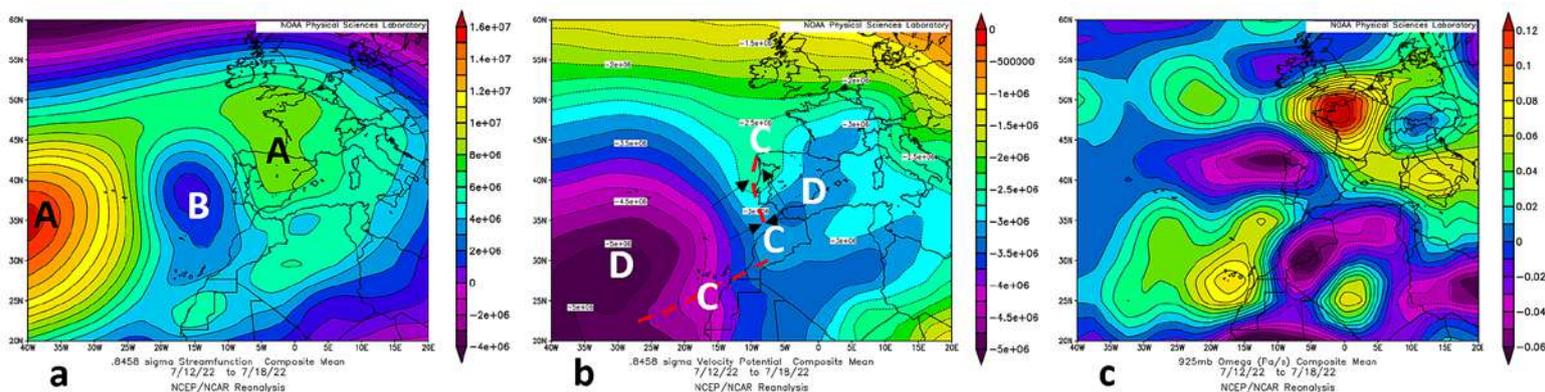


Figura 5. Campos medios del 12 al 18 de julio de los reanálisis de: a) función de corriente,  $\psi$ , en sigma 0.8458; b) potencial de velocidad en sigma 0.8584, sobre el que se ha señalado zonas de divergencia, D, (mínimos relativos de  $\psi$ ) y de convergencia, C, (máximos relativos de  $\psi$  con líneas a trazos rojas); c) velocidad vertical omega en Pa/s.

<sup>4</sup> Como  $\nabla \cdot \vec{v} = \nabla \cdot \vec{v}_x = \nabla^2 \chi = D$ , siendo D la divergencia del viento, y  $\vec{v}_x$  la componente divergente del viento, las zonas de divergencia ( $D > 0$ ) corresponden a mínimos del potencial de velocidad (fuentes del campo de viento), por el contrario zonas de convergencia ( $D < 0$ ) a máximos del campo del potencial de velocidad (sumideros).

<sup>5</sup> Rodwell J, Hoskins BJ., 1996 Monsoons and the dynamics of deserts. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **122**, 1385–1404. <http://dx.doi.org/10.1002/qj.49712253408>

<sup>6</sup> Heckley, W. A. and Gill, A. E. 1984. Some simple analytical solutions to the problem of forced equatorial long waves. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **110**, 203–217 <https://doi.org/10.1002/qj.49711046314>

<sup>7</sup> Gill A (1980) Some simple solutions for heat-induced tropical circulation. *Q J R Meteorol Soc* **106**(449):447–462 <https://doi.org/10.1002/qj.49710644905>

<sup>8</sup> La función de corriente  $\psi$  se utiliza frecuentemente en meteorología y oceanografía con preferencia a la altura del geopotencial  $\phi$ ,  $\psi = \frac{g}{f} \phi$ , o la presión, en mapas que interesen zonas de latitudes bajas, donde el parámetro de Coriolis  $f$  es muy pequeño.

<sup>9</sup> El viento divergente  $\vec{v}_x$  es el gradiente del potencial de velocidad,

procedentes ambos de latitudes medias; flujo de componente norte en la parte trasera de la dana, B, dirigido desde el este de las Azores hacia la Canarias, y flujo del NE, desde el Mediterráneo central hacia el archipiélago de Cabo Verde. Las zonas de convergencia en niveles bajos se han trazado como líneas rojas a trazos.

Igualmente, las zonas de convergencia se han trazado en los máximos relativos del campo de  $\psi$  en niveles bajos en la figura 5b. Además se han trazado esquemáticamente en el sudoeste y este peninsulares los vientos divergentes (o irrotacionales)<sup>9</sup>. Particularmente interesante para la convergencia de vientos en el sudoeste de la Península es el viento divergente de levante en la zona del estrecho de Gibraltar, procedente del mínimo de vorticidad potencial (zona de divergencia) en el mar de Alborán (figura 5b). La convergencia de vientos se traduce en movimientos descendentes y el calentamiento en las capas más bajas de la troposfera (salvando una muy delgada capa límite marítima) en las zonas marítimas de Canarias y Cádiz, mientras que en la parte delantera de la dana en niveles medios predominan los movimientos ascendentes que enfrían la atmósfera y llegan a producir nubosidad. La consecuencia es que en la franja atlántica paralela a la costa de Marruecos aproximadamente con anchura longitudinal igual a la comprendida entre las islas Canarias más occidentales y el continente africano, y limitada latitudinalmente por la costa sudeste de la Península y el paralelo 30° N (aproximadamente), se genera una masa de aire con un perfil similar al del sondeo de Casablanca (figura 7) de las 0 UTC del día 14, que desde 900 hPa hasta casi 500 hPa está muy próximo al de la adiabática seca con temperatura potencial de 45 °C. Esta masa de aire cuando entra en tierras próximas alcanza valores extremos en superficie en las horas centrales del día.

## Dos breves conclusiones:

El estudio presentado de la ola de calor de julio del 2022 indica la implicación de una fase muy activa del monzón de la India en generar la situación meteorológica propia de un episodio cálido extremo en la península ibérica consistente en un anticiclón sobre la Península a todos los niveles de la troposfera y una

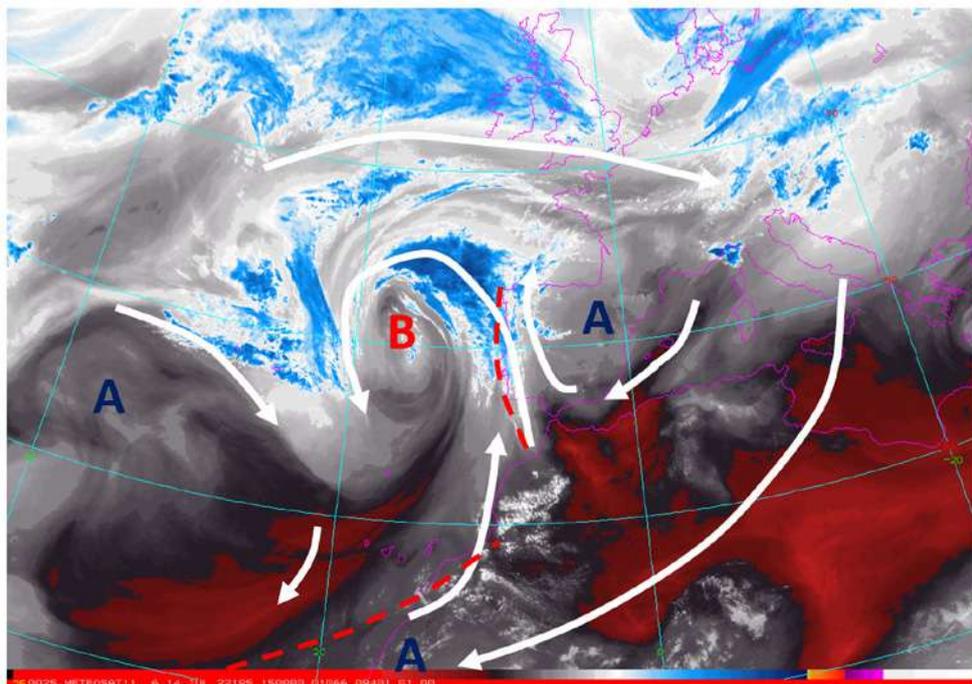


Figura 6. Imagen de vapor de agua del canal 7.3  $\mu\text{m}$  del Meteosat del 14 de julio de 2022 a las 15 UTC, sobre la que se han marcado esquemáticamente: con flechas blancas los flujos más importantes y en rojo a trazos las zonas de convergencias de vientos en niveles bajos.

### 60155 GMMC Casablanca

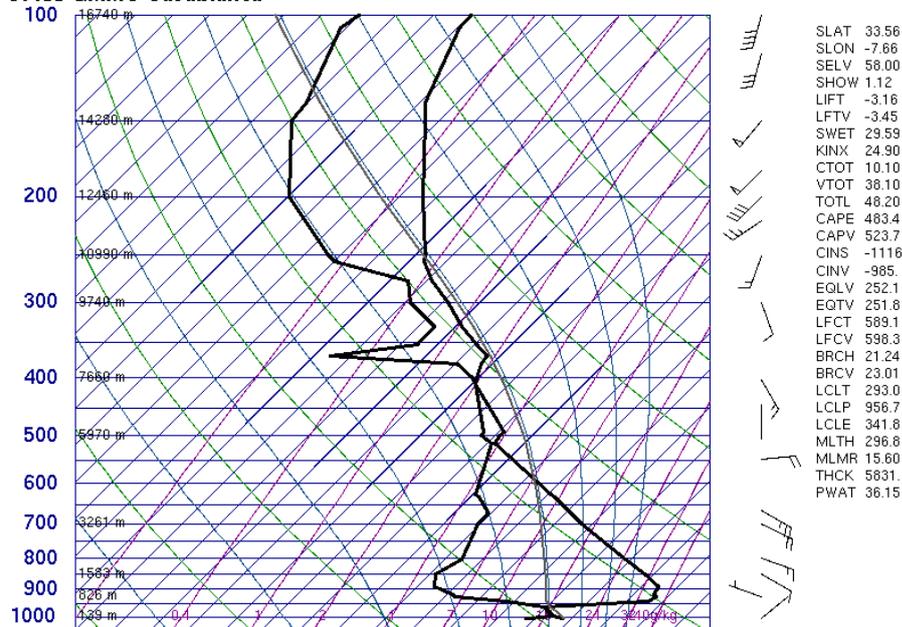


Figura 7. Sondeo atmosférico de Casablanca, 60155 GMMC, del 14 de julio a las 00 UTC

dana contigua sobre el Atlántico.

Esta situación crea una zona sobre el Atlántico entre la Península y Canarias donde se genera una masa de aire con un perfil vertical de temperaturas adecuado para que se produzcan temperaturas extremas con el calentamiento

diurno en las áreas continentales adyacentes. No parece muy preciso la muy habitual denominación de ola de calor africana.

### AGRADECIMIENTOS

A María Asunción Pastor Saavedra por la cuidadosa revisión del artículo.