

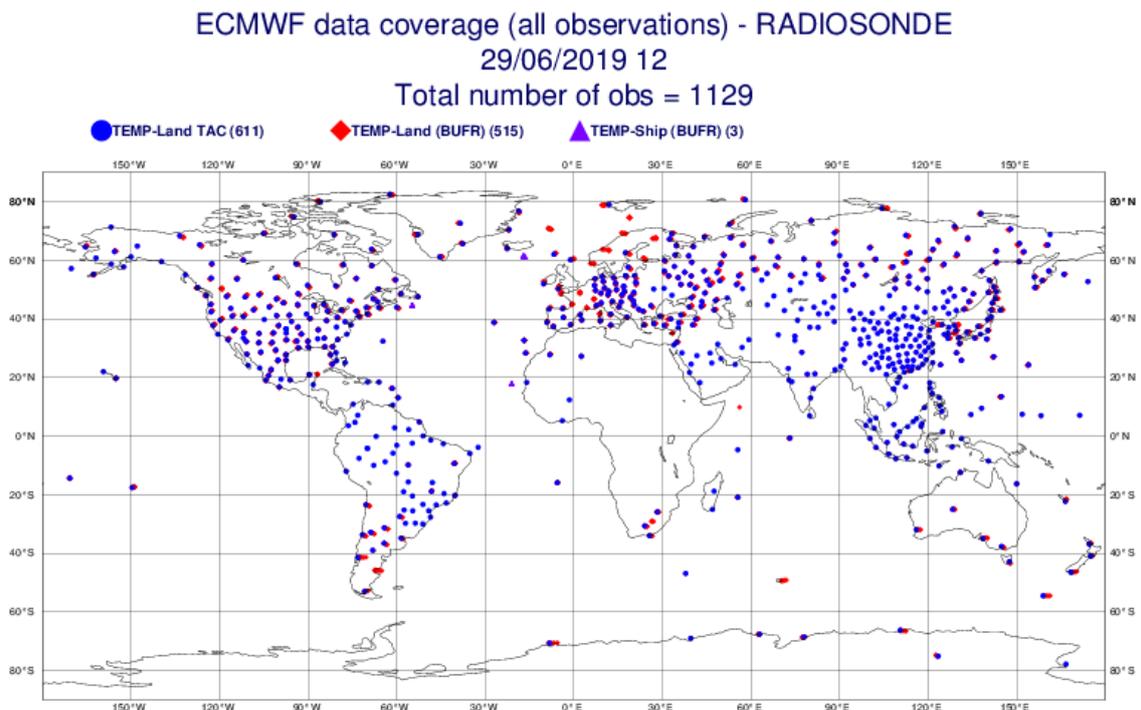
Resumen:

1. Se han analizado las características térmicas de las masas de aire que durante los últimos cuarenta años han sobrevolado nuestro territorio en verano (en el nivel de 850 hPa, a 1500 metros de altitud).
2. La masa de aire que sobrevoló el centro, norte y nordeste de la Península y amplias zonas de Europa occidental la última semana de junio de 2019, es la más cálida de todas las que se han registrado en un mes de junio desde al menos 1979.
3. En algunas zonas de las citadas anteriormente, la masa de aire fue la más cálida de toda la serie histórica, incluyendo los meses de julio y agosto.
4. La frecuencia de tránsito de masas de **aire cálido** en junio que dan lugar a **temperaturas anormalmente altas** en las zonas afectadas por la ola de calor de junio de 2019, es casi diez veces superior en las dos primeras décadas del siglo XXI que en las dos últimas del siglo XX, pasando de una vez cada 30.7 años, a una vez cada 3.7 años.
5. La frecuencia de tránsito de masas de **aire extremadamente cálido** en junio que dan lugar a **efemérides meteorológicas y olas de calor** en las zonas afectadas por la de junio de 2019, es más de diez veces superior en las dos primeras décadas del siglo XXI que en las dos últimas del siglo XX, pasando de un periodo de retorno estimado superior a cien años, a un periodo de retorno de 10 años.
6. La diferencia de temperatura media de las masas de aire que en verano sobrevuelan el territorio de la Península, Baleares y Ciudades Autónomas entre la década de los diez del siglo XXI y la década de los ochenta del siglo XX, es de 1.3 °C y en Canarias de casi 1.1 °C.
7. Todas las conclusiones de este análisis son coherentes con las previsiones contenidas en los escenarios de cambio climático que se vienen realizando desde hace décadas.
8. La mayor frecuencia de tránsito de masas de aire muy cálido o extremadamente cálido y la expansión de la presencia de estas masas de aire extremadamente cálido a los meses de junio y septiembre, o incluso a mayo, como ocurrió en el año 2015, es coherente con las bases físicas que rigen los procesos de cambio climático.
9. Nuestra generación está avanzando por un planeta más cálido que el de nuestros antepasados.

1. Introducción.

Es habitual en meteorología que para caracterizar térmicamente una masa de aire se use el parámetro de temperatura a una altitud de 1500 m, que se corresponde con un nivel de presión de 850 hPa. Esto se hace así porque ese nivel está usualmente situado en atmósfera libre, fuera de la capa límite atmosférica, y, por tanto, de algún modo libre de los efectos del contacto del aire con el suelo, aunque en nuestro territorio, con zonas de mesetas elevadas y altiplanos, los efectos del calor del suelo llegan a propagarse hasta ese nivel a partir de mediodía, por eso solemos emplear como referencia la temperatura en 850 hPa a las 12 UTC, momento del día en el que el calentamiento de la capa superficial del aire (o enfriamiento en el caso de horas nocturnas), aún no ha llegado con toda la intensidad al nivel de 1500 metros de altitud (o el enfriamiento se ha diluido, para el caso de horas nocturnas).

Además, las 12 UTC coincide con la hora de lanzamiento de uno de los dos radiosondeos aerológicos que se llevan a cabo en todo el mundo por los Servicio Meteorológicos Nacionales y otros organismos implicados, que suelen ser más de mil en cada uno de los horarios de lanzamiento. Esos radiosondeos atmosféricos se vienen haciendo desde hace décadas y sus datos han servido, entre otras diversas actividades, para realizar análisis, pronósticos y reanálisis atmosféricos.

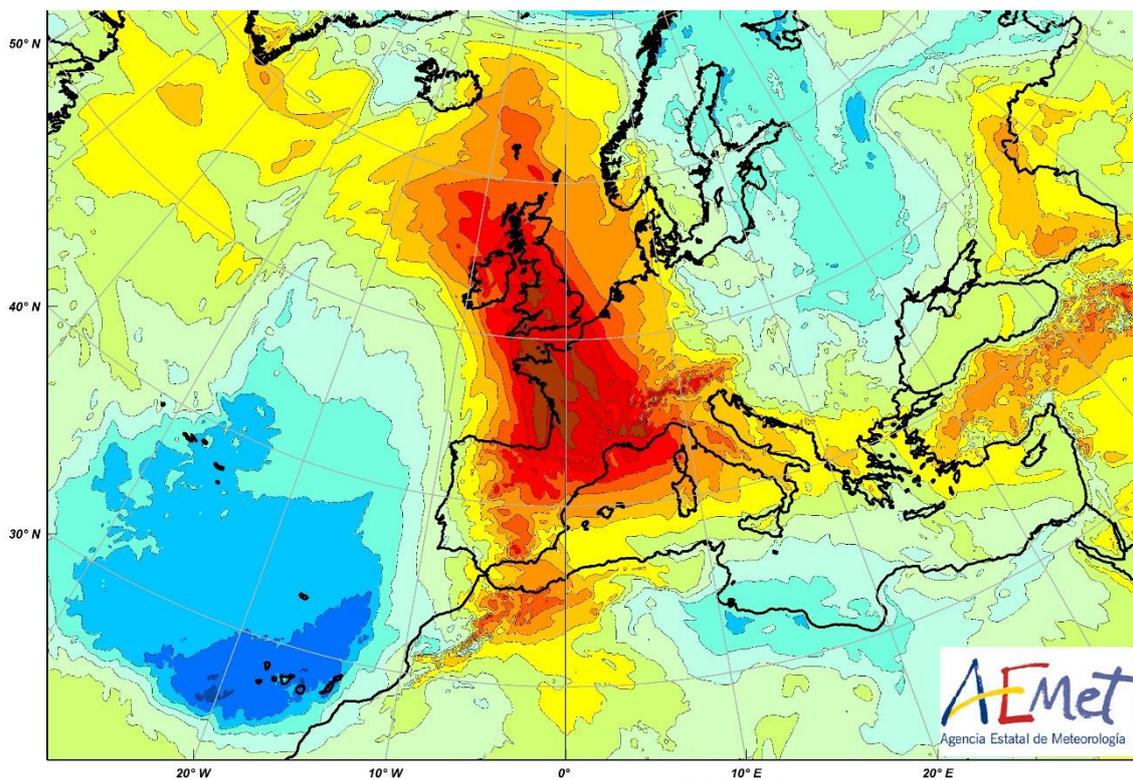


Radiosondeos lanzados el día 29 de junio de 2019 a las 12 UTC.

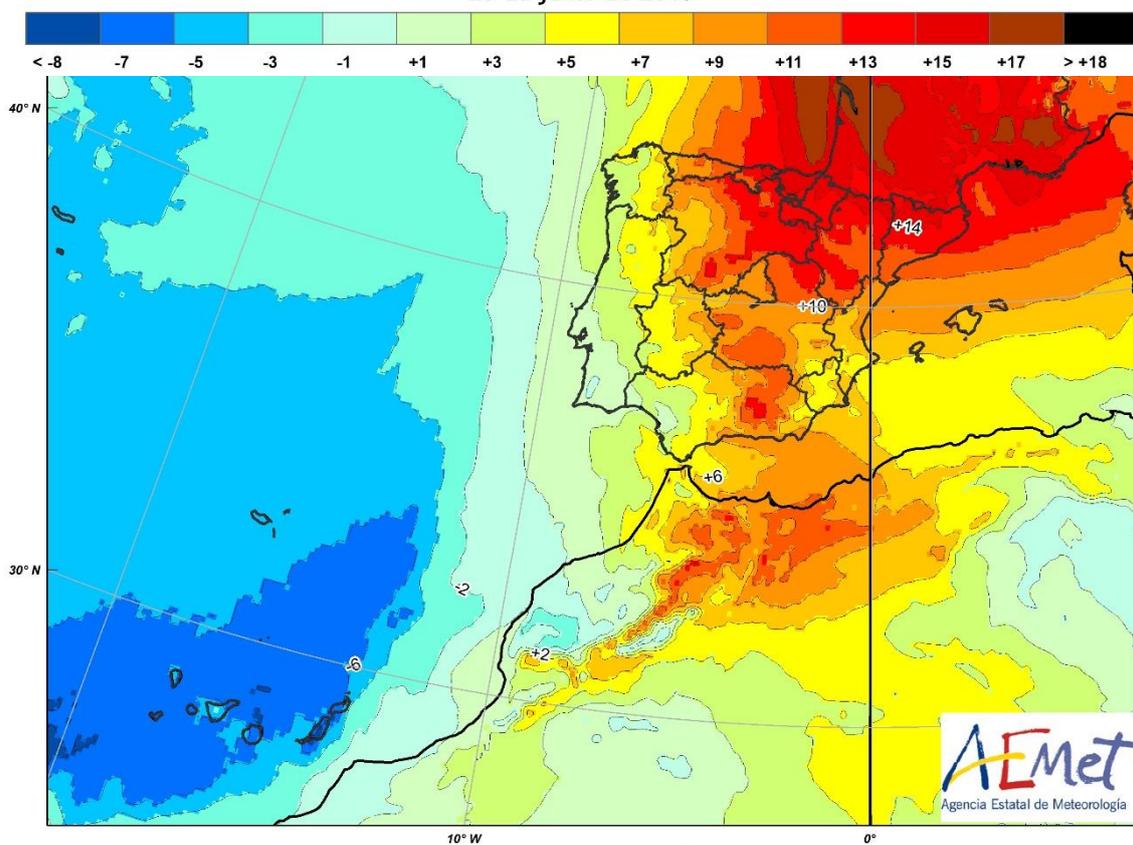
Fuente: Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio.

2. La masa de aire que sobrevoló Europa occidental en los últimos días de junio de 2019.

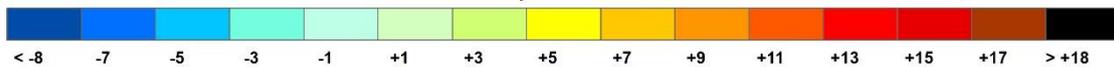
Con esas consideraciones previas, se puede hacer una caracterización de la masa de aire que sobrevoló la Península (afectando especialmente a zonas del centro, norte y nordeste) y el oeste del continente europeo durante los días finales de junio de 2019 en base a los datos de temperatura en 850 hPa. En esas zonas, la masa de aire africano que las sobrevoló es la más cálida de las registradas en un mes de junio en al menos las últimas cuatro décadas. Incluso en áreas más reducidas de las zonas indicadas fue la masa de aire más cálida en los últimos cuarenta años en cualquier mes del año.



Anomalia de temperatura en 850 hPa (°C)
28 de junio de 2019



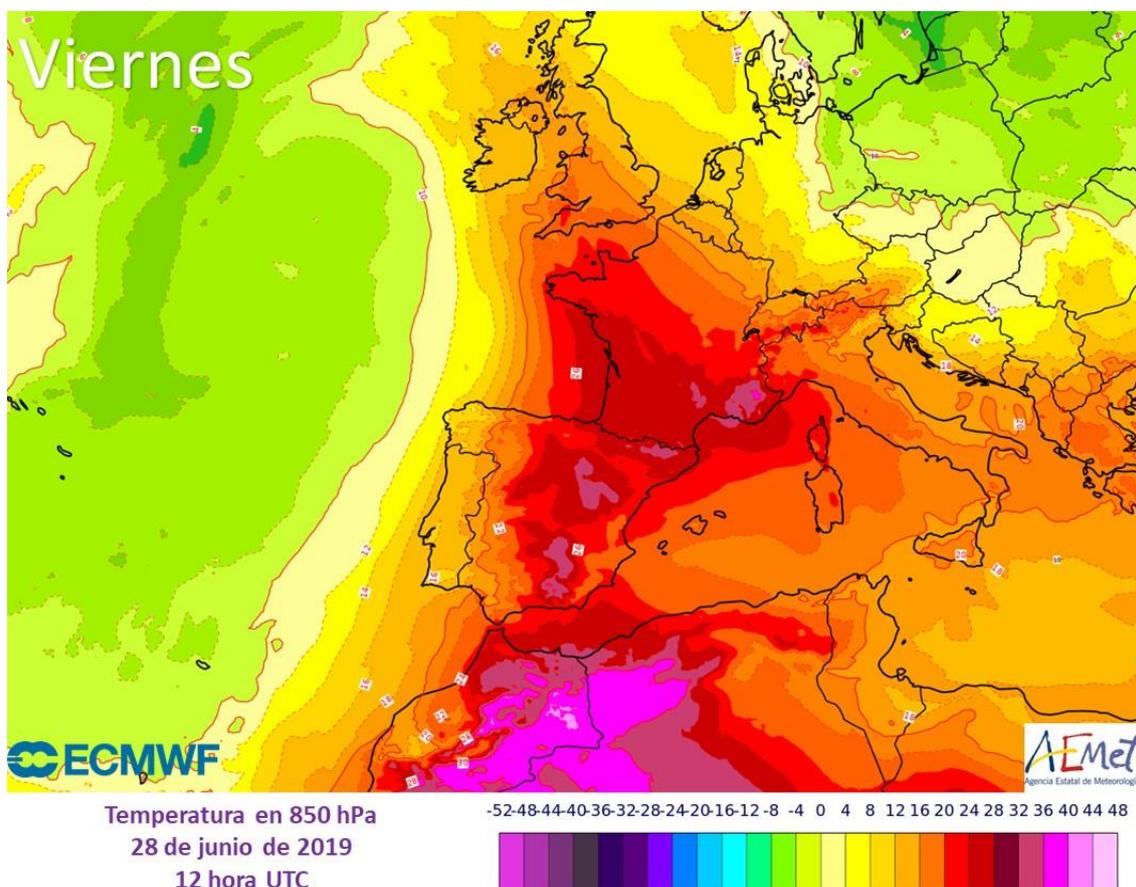
Anomalia de temperatura en 850 hPa (°C)
28 de junio de 2019



Como queda reflejado en las dos imágenes anteriores, las anomalías de temperatura en la mitad norte de la Península superaron los +10 °C el día 28 de junio de 2019 en 850 hPa, presentando un gran contraste con el suroeste, donde la masa de aire tenía una temperatura normal para la época o incluso algo fría en zonas del golfo de Cádiz. Mientras que en el nordeste de la Península la masa de aire era extremadamente cálida, en Canarias la masa de aire era fresca o fría, y las anomalías medias fueron de -6 °C.

Esta gran diferencia térmica entre la masa de aire atlántica y la masa de aire que sobrevoló el oeste del continente europeo en la última semana de junio de 2019 se debió a la presencia de un patrón estacionario de tipo "resonancia de onda planetaria" que publicaciones recientes consideran que son mecanismos que causan fenómenos meteorológicos extremos en verano.

La presencia de una vaguada atlántica con aire frío en su seno, por cuyo flanco oriental se inyectaba una masa de aire muy cálido hacia Europa occidental, además del recalentamiento del aire sobre tierra, justifica esta distribución de anomalías de temperatura.



3. Caracterización sobre la base de reanálisis meteorológicos.

Una vez hecha una primera valoración climática y comentada brevemente la situación meteorológica, los datos de temperatura en 850 hPa de los días 27, 28 y 29 de junio de 2019, se van a comparar con los reanálisis del sistema ERA5.

ERA5 es un conjunto de datos de reanálisis climáticos desde 1979 hasta la actualidad (próximamente se ampliará el periodo hasta enero de 1950), que está desarrollando el Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S), que es uno de los seis servicios temáticos del Programa Copernicus de la Unión Europea, administrado por la Comisión Europea. C3S está siendo implementado por el Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (ECMWF).

Se han extraído todos los datos diarios de temperatura en 850 hPa a las 12 UTC del mes de junio desde 1979 hasta 2018 en todas las capitales de provincia (como puntos representativos de su territorio). Por tanto, para cada una de las capitales de provincia se han extraído 1200 datos diarios (treinta días al mes por cuarenta años). A esta matriz de datos se le han añadido los datos analizados por el modelo operativo IFS del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio de los días 27, 28 y 29 de junio de 2019 a las 12 UTC (los reanálisis ERA5 suelen estar disponibles con un retraso de tres meses).

En la tabla siguiente se reproduce una selección de los resultados más significativos, con los datos de las capitales más pobladas y con los datos de otras capitales afectadas por la ola de calor de junio de 2019.

**Temperatura en 850 hPa en el mes de junio (unos 1500 metros de altitud)
1979-2019**

Barcelona	28/06/2019	29/06/2019	27/06/2019	28/06/1993	25/06/2003	25/06/2001	27/06/1986	28/06/1986	24/06/2003	29/06/2012
	25.9	25.4	24.8	24.4	24.0	23.8	23.6	23.4	23.0	22.9
Zaragoza	29/06/2019	28/06/2019	27/06/2019	30/06/2015	30/06/1994	27/06/2012	13/06/2009	22/06/2002	29/06/2015	28/06/1986
	26.3	25.9	25.9	24.2	24.1	23.9	23.4	23.2	23.2	23.1
Bilbao	27/06/2019	29/06/2019	28/06/2019	30/06/2015	27/06/2012	22/06/2003	27/06/2011	19/06/2017	26/06/2011	21/06/2003
	27.0	26.3	25.7	25.1	24.5	23.9	23.6	23.4	23.4	23.1
Pamplona/Iruña	28/06/2019	29/06/2019	27/06/2019	30/06/2015	30/06/1994	27/06/2012	29/06/2015	17/06/2017	22/06/2003	27/06/2005
	26.2	25.8	24.6	23.7	23.1	23.0	22.7	22.4	22.4	22.4
Donostia/San Sebastián	27/06/2019	29/06/2019	28/06/2019	30/06/2015	27/06/2012	27/06/2011	22/06/2003	26/06/2011	30/06/1994	17/06/2002
	28.0	26.6	26.5	25.5	24.3	23.8	23.5	23.5	23.5	23.3
Logroño	28/06/2019	29/06/2019	27/06/2019	30/06/2015	30/06/1994	27/06/2012	27/06/2011	25/06/2001	29/06/2015	22/06/2003
	25.8	25.3	25.2	24.5	23.4	23.3	23.1	23.0	22.9	22.8
Huesca	29/06/2019	28/06/2019	27/06/2019	30/06/2015	25/06/2001	22/06/2003	21/06/2003	27/06/1986	30/06/1994	24/06/2003
	26.2	25.6	24.5	23.0	22.9	22.6	22.5	22.5	22.4	22.3
Burgos	29/06/2019	28/06/2019	27/06/2019	30/06/2015	19/06/2017	18/06/2017	29/06/2015	27/06/2011	27/06/2012	26/06/2011
	26.5	26.0	25.8	25.5	25.3	25.2	25.2	25.1	24.9	24.5
Vitoria-Gasteiz	27/06/2019	28/06/2019	30/06/2015	29/06/2019	29/06/2015	30/06/1994	27/06/2012	26/06/2011	27/06/2011	22/06/2003
	27.0	25.9	25.3	25.0	24.1	24.0	23.5	23.4	23.4	22.6
Lleida	28/06/2019	29/06/2019	25/06/2001	27/06/2019	30/06/1994	30/06/2015	27/06/2012	27/06/1986	13/06/2009	28/06/1986
	26.1	25.6	24.2	24.0	23.8	23.8	23.7	23.0	22.8	22.8
Girona	28/06/2019	27/06/2019	28/06/1993	25/06/2001	29/06/2019	25/06/2003	27/06/1986	28/06/1986	24/06/2003	26/06/1986
	25.5	24.9	24.5	24.0	23.9	23.6	23.2	23.1	22.9	22.6
Soria	29/06/2019	30/06/2015	28/06/2019	30/06/1994	27/06/2012	29/06/2015	27/06/2019	27/06/2011	24/06/2001	14/06/2017
	27.6	27.5	27.0	26.8	26.4	26.2	26.1	25.9	25.9	25.7
Teruel	29/06/2019	27/06/2012	15/06/2017	28/06/2019	13/06/2009	14/06/2017	23/06/2001	30/06/2004	11/06/1983	28/06/2015
	27.2	27.2	27.0	26.5	26.5	26.4	26.3	26.3	26.2	26.1
Guadalajara	29/06/2019	29/06/2015	17/06/2017	15/06/2017	28/06/2019	27/06/2019	18/06/2017	28/06/2015	27/06/2012	30/06/2015
	26.5	26.2	26.0	26.0	25.9	25.6	25.1	25.1	24.8	24.6
Castelló de la Plana	27/06/2012	29/06/2019	23/06/2001	15/06/2017	28/06/2019	28/06/2012	27/06/2002	25/06/2001	30/06/1994	28/06/2011
	25.8	24.8	24.3	24.2	24.0	23.7	23.6	23.5	23.3	23.3
València	27/06/2012	15/06/2017	29/06/2019	30/06/2015	28/06/2015	23/06/2001	28/06/2012	27/06/2002	28/06/2019	30/06/2004
	25.7	24.9	24.7	24.3	24.2	24.1	24.0	24.0	23.9	23.7
Madrid	17/06/2017	15/06/2017	29/06/2015	28/06/2019	29/06/2019	28/06/2015	18/06/2017	27/06/2012	13/06/1981	22/06/2001
	26.1	25.5	25.2	25.0	24.9	24.7	24.5	24.4	24.1	24.0
Sevilla	26/06/2012	18/06/2017	25/06/2012	29/06/2004	16/06/2017	24/06/2012	27/06/2012	14/06/1981	17/06/2017	13/06/1981
	25.9	25.1	24.9	24.8	24.7	24.6	24.4	24.2	24.0	23.9

Nota 1: la tabla contiene los diez datos más altos de cada capital de provincia ordenados de mayor a menor. Se han sombreado en rojo los valores de junio de 2019

Nota 2: los datos están calculados con los reanálisis ERA5 del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio del periodo 1979-2018. Los datos de 2019 que aún no están disponibles en los reanálisis, proceden de los análisis la pasada operativa del modelo del Centro Europeo.

Se comprueba cómo en Barcelona, Zaragoza, Bilbao, Pamplona/Iruña, Donostia/San Sebastián, Logroño, Huesca y Burgos, la temperatura registrada en 850 hPa durante los tres días de la ola de calor, es la más alta de la serie de 1203 datos del mes de junio (1200 del periodo 1979-2018 y tres del año 2019).

En Vitoria-Gasteiz, Lleida y Girona, dos de los tres días son los más altos de la serie, y el tercero está entre los cinco más altos. En Soria, Teruel y Guadalajara, la temperatura del día 29 es la más alta de la serie, y las de los días 27 y 28 están entre los diez registros más altos. Y a medida que avanzamos hacia el sur, las temperaturas registradas los días de la ola de calor ya no son los más altos: en Castelló de la Plana el registro del día 29 es el segundo más alto, en València el tercero, y en Madrid, los registros de los días 28 y 29 son el cuarto y quinto de la serie de 1203 datos.

Fuera de la zona afectada por la ola de calor, por ejemplo en Sevilla, la temperatura en 850 hPa de la masa de aire que les afectó no está entre las diez más altas de la serie, lo que resulta coherente con los mapas de anomalías del apartado anterior.

Hay que resaltar un detalle más que reforzará las conclusiones que se van a presentar en los apartados siguientes: los tres valores más altos de todas las capitales presentadas en la tabla son registros del siglo XXI, con la única excepción del registro del 28 de junio de 1993 en Girona, que es el tercero de la serie y que también aparece en la tabla de Barcelona como el cuarto más alto.

Una precisión final en este apartado. La temperatura en 850 hPa es un buen marcador del carácter térmico de la masa de aire a unos 1500 metros, pero que una masa de aire muy cálida a 1500 metros sobrevuele un territorio, sobre todo cuando estamos refiriéndonos a zonas litorales, no implica que el calor en altura se traslade siempre hasta la superficie, ya que factores locales como el régimen de brisas marítimas y las inversiones térmicas pueden dar lugar a que finalmente una masa de aire cálido sobrevuele un territorio sin llegar a superficie.

4. Cálculos de periodo de retorno.

En este apartado se van a realizar cálculos de periodo de retorno de los datos de temperatura en 850 hPa registrados durante la ola de calor de junio de 2019 para estimar la rareza de este fenómeno meteorológico extremo y si su frecuencia ha cambiado en las últimas décadas. Para el cálculo del periodo de se han usado los datos de junio, incluyendo el máximo registrado durante la ola de calor de junio de 2019.

Para determinar si una masa de aire es muy cálida o extremadamente cálida, fijaremos dos umbrales de temperatura en 850 hPa. El umbral de 22 °C en 850 hPa a las 12 UTC, como precursor de un periodo cálido en el mes de junio en el norte de la Península, y que usualmente suele dar lugar a temperaturas en superficie superiores a 35 °C de forma generalizada, y el umbral de 24 °C, como precursor de una ola de calor en el mes de junio en el norte y nordeste de la Península, y que usualmente suele dar lugar a temperaturas en superficie que en zonas bajas y fondos de valle pueden superar los 40 °C.

Con estos umbrales fijados, se ha escogido la serie de temperaturas máximas anuales en 850 hPa en el mes de junio de Pamplona, por estar esta ciudad en una de las zonas más afectadas (se han realizado pruebas con los datos de otras capitales del norte y nordeste de la Península y se han obtenido resultados similares).

En Pamplona-Noaín se llegaron a registrar 41.3 °C el día 29 de junio, que es el valor más alto de la serie, superando al registro máximo establecido dos días antes (40.5 °C), y al del 25 de junio de 2001 (39.0 °C), que era la anterior efemérides. Además, el registro del 29 de junio de 2019 sólo es una décima inferior al registro máximo histórico en este observatorio: 41.4 °C el 10 de agosto de 2012.

Ajustando los datos máximos anuales de temperatura en 850 hPa del mes de junio a una función de extremos, se llega a la conclusión de que el periodo de retorno estimado de que se produjese un periodo cálido (22 °C o más en 850 hPa) en el mes de junio **en la década de los ochenta y noventa** era de 30.8 años, mientras que el periodo de retorno de que se produjese una ola de calor (24 °C o más en 850 hPa) en el mes de junio **en la década de los ochenta y noventa** era superior a un siglo.

Haciendo el mismo ajuste con los datos de las dos primeras décadas del siglo XXI, el periodo de retorno estimado de que se produzca un periodo cálido (22 °C o más en 850 hPa) en el mes de junio **en las dos primeras décadas del siglo XXI** es de 3.7 años, mientras que el periodo de retorno de que se produzca una ola de calor (24 °C o más en 850 hPa) en el mes de junio **en las dos primeras décadas del siglo XXI** es de 10 años.

Por tanto, tanto en un caso como en otro, la frecuencia de episodios cálidos o extremadamente cálidos ha aumentado en las últimas cuatro décadas, siendo diez veces superior en las dos primeras décadas del siglo XXI que en la década de los ochenta y noventa del siglo XX.

5. Aumento de la temperatura media en verano: mayor frecuencia de extremos.

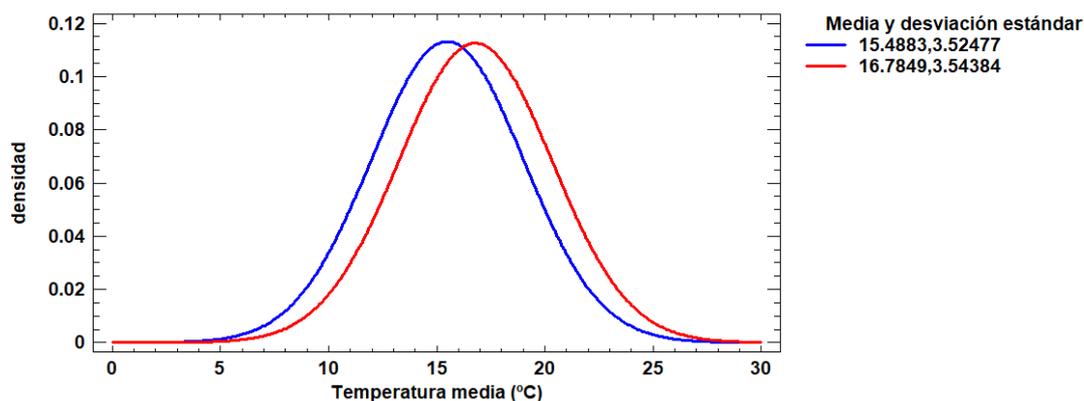
Interesa saber si la media de temperatura ha variado durante el verano en nuestro territorio. Como se va a exponer al final de este apartado, un aumento de la temperatura media implica necesariamente una mayor frecuencia de olas de calor y de días muy cálidos, por lo que la mayor frecuencia de estos fenómenos que se ha expuesto en el apartado anterior estaría relacionada con el aumento de la temperatura media, lo que resultaría coherente con las hipótesis y bases físicas del cambio climático.

Para realizar estos cálculos se han extraído todos los datos diarios de temperatura en 850 hPa a las 12 UTC desde 1979 hasta 2018 durante los meses de verano (junio, julio y agosto), para todas las capitales de provincia (como puntos representativo de su territorio). Por tanto, para cada una de las capitales de provincia se han extraído 3680 datos diarios (noventa y dos días al año por cuarenta años). También se han calculado las 3680 medias diarias de todo el territorio. No se han empleado en este caso los datos de 2019, ya que se está trabajando con estaciones climatológicas completas y del verano de 2019 aún no se dispone de datos de reanálisis.

Los datos de la serie de temperaturas diarias a las 12 UTC en 850 hPa provienen de una distribución normal con una confianza del 95%. Tomando la muestra de datos en el promedio de la Península y Baleares (sin Canarias), y separando los datos de los **meses de verano** por décadas, se comprueba que la media de temperatura en la década de los ochenta del siglo XX era de 15.48 °C, mientras que en la década de los diez del siglo XXI es de 16.78°C, lo que supone un incremento de temperatura de 1.3 °C en las últimas cuatro décadas. El incremento ha sido ligeramente mayor en zonas elevadas de la Meseta que en los litorales, lo cual resulta coherente con las explicaciones que se han dado en el apartado primero sobre la mayor cercanía de la Meseta al nivel de 850 hPa y, por tanto, el incremento de temperatura que se ha documentado en superficie se ha propagado de forma más rápida en los altiplanos que en los litorales hasta el nivel de 850 hPa.

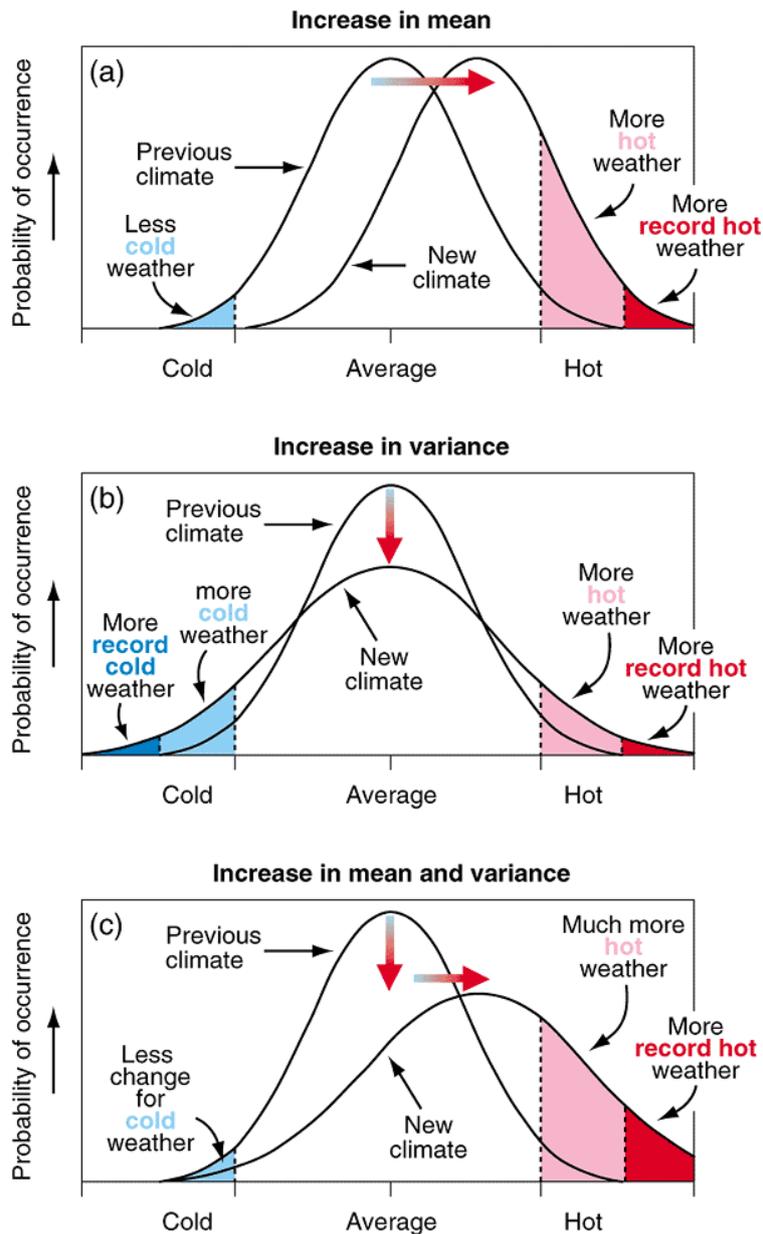
En Canarias, la temperatura media en la década de los ochenta del siglo XXI en el nivel de 850 hPa era de 19.46 °C, y la media de la década de los diez del siglo XXI es de 20.53 °C, por tanto, la diferencia de temperatura entre ambos periodos es de 1.07 °C.

Temperatura media en 850 hPa en verano en España (Península y Baleares)
Años ochenta del siglo XX (azul) y años diez del siglo XXI (rojo)



Este cambio en la media de temperatura se aprecia de forma visual en la gráfica superior en la que, además, en la leyenda de la derecha se han incluido los valores de temperatura media en cada una de las dos décadas y la desviación estándar. La gráfica generada con los datos de reanálisis de temperatura en 850 hPa es coherente con las hipótesis de calentamiento relacionadas con el cambio climático que se vienen realizando desde hace décadas.

En el gráfico siguiente, elaborado por el IPCC en 2001, hace casi dos décadas, ya se describía cómo aumentaría la frecuencia de olas de calor al aumentar la temperatura media. Las bases físicas del proceso se pueden leer en multitud de documentos y publicaciones internacionales, como por ejemplo en [este enlace](#).



Esquema que muestra el efecto en temperaturas extremas cuando (a) aumenta la temperatura media, (b) aumenta la varianza y (c) cuando la media y la varianza aumentan para una distribución normal de la temperatura. <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/fig2-32.htm>

Todo lo expuesto en este análisis de la ola de calor de junio de 2019 ya no son hipótesis o predicciones. Ahora, a punto de finalizar la segunda década del siglo XXI, ya lo estamos viendo y sufriendo. Avanzamos por un planeta más cálido que el que conocieron nuestros antepasados.

Nota final: los datos empleados para este análisis son públicos y pueden descargarse desde la página web y aplicaciones del Servicio de Cambio Climático del Programa Copernicus (C3S), <https://climate.copernicus.eu/>

1 de julio de 2019

José Ángel Núñez Mora
AEMET en la Comunidad Valenciana