

SITUACIONES SINÓPTICAS MÁS FRECUENTES EN LOS EPISODIOS DE OLA DE CALOR EN EL CENTRO DEL VALLE DEL EBRO

J. Abaurrea⁽¹⁾, E. Álvarez⁽²⁾, J. Asín⁽¹⁾, A. C. Cebrián⁽¹⁾ y A. Centelles⁽¹⁾

⁽¹⁾ Dpto. de Métodos Estadísticos, Univ. de Zaragoza, jasin@unizar.es

⁽²⁾ Centro Meteorológico Territorial del INM en Zaragoza, ealvarez@inm.es

Resumen

En este trabajo se analizan las características meteorológicas de las “olas de calor” más notables ocurridas en el centro del Valle del Ebro en el periodo 1971-2002. A partir de la lista de episodios observados en la ciudad de Zaragoza y, basándonos en la clasificación de Font Tullot, hemos identificado los tipos de tiempo que contribuyen a estas situaciones, tanto al establecimiento de las altas temperaturas como a su debilitamiento y desaparición. El resultado es que los tipos de tiempo ligados a estas situaciones, los que se repiten más de dos veces, se reducen a 4. El objetivo de este trabajo es analizar la evolución de la temperatura máxima diaria en verano en el periodo 1951-2004 y describir los efectos característicos sobre el valle central del Ebro de las situaciones sinópticas citadas.

1. Introducción

Este trabajo es resultado de la colaboración entre miembros del departamento de Métodos Estadísticos de la UZ y del Centro Meteorológico Territorial del INM en Zaragoza. El objetivo es analizar las situaciones sinópticas ligadas a la ocurrencia de los episodios de ola de calor observados en el centro del valle del Ebro entre 1971 y 2002, así como la evolución de esos episodios extremos. Los datos empleados son los del observatorio de Zaragoza Aeropuerto.

De acuerdo con los resultados del proyecto europeo ECA, Klein Tank et al. (2002), que pueden asociarse a la cuenca del Ebro, el valor medio de la temperatura máxima diaria durante el periodo 1976-2004 fue estable en otoño y se incrementó en las demás estaciones, siendo este aumento significativo estadísticamente en primavera y verano y más intenso en primavera. Abaurrea et al. (2001) analizaron la evolución de las temperaturas máxima y mínima diarias, Tx y Tn respectivamente, en el centro de la cuenca del Ebro durante el periodo 1938-97, obteniendo resultados similares: (i) la evolución de Tx y Tn no ha sido homogénea; durante el periodo 1976-97, por ejemplo, el valor

medio de Tx se incrementó 1.43°C/década en primavera, 0.96°C/dec. en verano y 0.51°C/dec. en invierno, siendo estable en otoño; (ii) en el mismo periodo, se observó un incremento generalizado de la variabilidad interanual, excepto en otoño, este incremento es estadísticamente significativo en las series de Tx de invierno y primavera y sólo en la de primavera en el caso de Tn. Resultados similares fueron obtenidos por Brunet et al. (2001) para Cataluña.

Como consecuencia de este calentamiento, las olas de calor están despertando un interés creciente en la opinión pública y los medios de comunicación, especialmente desde la ola extraordinaria observada en buena parte de Europa en agosto de 2003. Pese a ello, no existe todavía una definición comúnmente aceptada de ola de calor; en el verano de 2005, el criterio de emisión de avisos por ola de calor en las comunidades de Aragón, La Rioja y Navarra empleado por el INM era que la temperatura máxima, Tx, fuese igual o superior a 39°C o la mínima, Tn, igual o superior a 22°C. Este umbral de Tx es mayor que el utilizado por el Ministerio de Sanidad en la misma región, 37.3°C, como umbral asociado a un impacto extraordinario en la mortalidad.

En la sección 2 se describe la evolución de las temperaturas máxima y mínima diarias en los observatorios de Zaragoza-Aeropuerto y Huesca-Monflorite. La sección 3 se centra en los criterios utilizados por distintos autores para la definición de ola de calor, cuyas características sinópticas en la cuenca central del Ebro se describen en la sección 4. La última sección contiene las principales conclusiones del trabajo.

2. Evolución de la temperatura en el sector central de la Cuenca del Ebro

Los datos analizados en esta sección son las series de temperatura diaria de Zaragoza-Aeropuerto y Huesca-Monflorite, proporcionadas por el Instituto Nacional de Meteorología. Los dos observatorios están situados en el centro del valle del Ebro, a 240

y 540 m de altitud, respectivamente. La orografía del valle hace que en su parte central predomine el viento Noroeste y un clima seco. Disponemos de las temperaturas diarias mínima y máxima de ambos observatorios desde 1951 hasta 2004; en el registro de Huesca faltan los siguientes datos de meses de verano: 8/1978, 6, 7 y 8/1999, 6/2000 y 6 días de 7/2002.

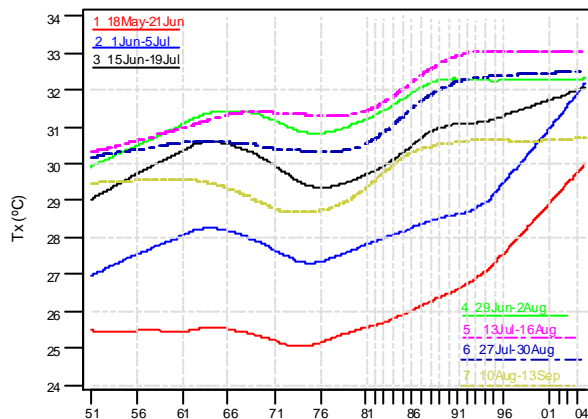
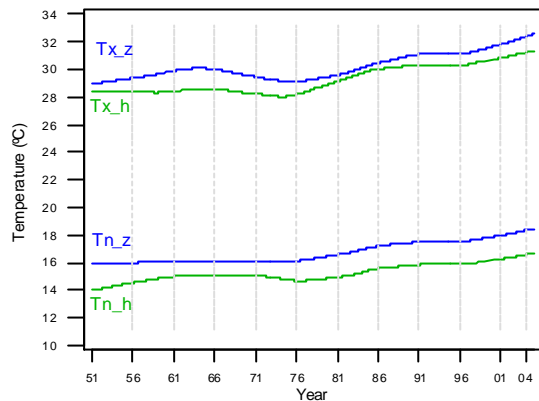


Fig. 1: Evolución de Tx y Tn en Zaragoza y Huesca (sup.). Evolución de Tx en diferentes subperiodos del verano en Zaragoza (inf.).

La evolución de los valores medios de Tx y Tn en el periodo 1951-2004 se muestra en la Figura 1 (sup.) mediante curvas suavizadas, obtenidas aplicando un suavizador lowess con parámetro de ventana 0.30 a las series de Tx y Tn en los meses de verano, JJA, en Zaragoza y Huesca. Como podemos apreciar, ambas variables muestran una evolución similar en los dos observatorios: Tras un periodo estable, 1951-75, las señales se incrementan hasta, aproximadamente, 1990, donde un corto periodo estable, 1991-1996, precede a una fase final creciente.

Para analizar la evolución de Tx en verano, se presentan en parte inferior de la Fig. 1 los suavizados de las series de Tx correspondientes a 7 periodos de 5 semanas de longitud: 18My-21Jn, 1Jn-5Jl, 15Jn-19Jl, 29Jn-2Ag, 13Jl-16Ag, 27Jl-30Ag y 10Ag-13Sp, en Zaragoza. Se puede apreciar que la evolución sigue dos perfiles diferentes: uno corresponde a las primeras dos curvas, fin de la

primavera e inicio del verano, y el otro a las cuatro últimas, meses de Julio y Agosto, siendo el tercer periodo 15Jn-19Jl un intervalo de transición. Del análisis de estos gráficos podemos deducir que:

- Durante 1975-2004, el mayor incremento de Tx, casi 5°C medidos sobre los valores suavizados, ocurre al final de la primavera y comienzo del verano. En esta etapa, la pendiente de Tx es siempre positiva y más intensa de 1994 en adelante. El incremento de Tx en el centro y fin del verano es menor, alrededor de 2°C, y ocurre en un intervalo más breve, 1976-92; las curvas suavizadas correspondientes a esta fase del verano muestran estabilidad durante el periodo 1992-2004.

- La evolución de Tn es similar pero con un incremento menor: 3°C a comienzo de verano y alrededor de 1.5°C en julio y agosto.

- Señalemos por último, que la evolución de Tx y Tn en el observatorio de Huesca Monflorite es análogo.

Como consecuencia de esta evolución, el verano se ha hecho más cálido y homogéneo; es más uniformemente cálido ahora de lo que era 30 años atrás. De hecho, la diferencia de temperatura entre los periodos más fresco y más cálido, los centrados en el 4 de junio y el 30 de julio respectivamente, se ha reducido: en Tx, la diferencia ha pasado de ser 6.25°C a 3°C, y en Tn de 4.7°C a 3.5°C. La evolución observada en Huesca es similar, con diferencias incluso mayores entre los periodos fresco y cálido: 3.5°C y 1.4°C en Tx y Tn, respectivamente.

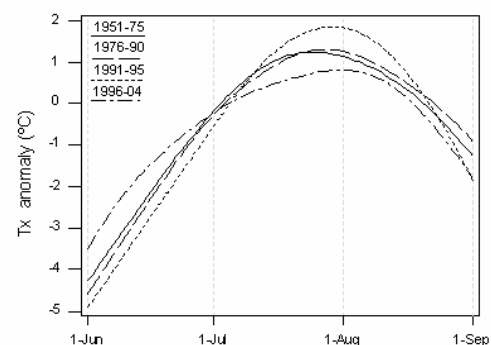


Fig. 2: Perfil estacional de las series de anomalías de Tx en 4 periodos, en Zaragoza.

Esta evolución de Tx y Tn se refleja en el patrón estacional de las variables. La Figura 2 muestra para Zaragoza los perfiles estacionales de Tx entre el 1 de Junio y el 1 de Septiembre en los periodos, 1951-75, 1976-90, 1991-95 y 1996-2004. Las curvas han sido calculadas suavizando los datos diarios del intervalo 1 de marzo-30 de noviembre, después de extraerles la media del periodo JJA del mismo año. Como podemos observar: (i) los patrones de los

periodos 1951-75 y 1976-90 son casi idénticos; (ii) el incremento del máximo en la primera mitad de los años 90 es consecuencia del calentamiento observado en la mitad de verano alrededor de 1991, y, finalmente, (iii) la curva correspondiente a 1996-04, refleja el incremento de temperatura en mayo y junio y la mayor uniformidad del verano en este periodo final.

3. Definiciones de ola de calor

Ya hemos señalado que no existe una definición operativa unificada de este fenómeno. La definición más habitual es caracterizar una ola de calor como un episodio en el que una variable relacionada con la temperatura sobrepasa un umbral fijo. Este umbral puede ser una temperatura de referencia, 40.6°C para el Servicio Meteorológico Norteamericano, o, más frecuentemente, un percentil extremo de la distribución de Tx en el lugar o región considerados.

Con frecuencia, las definiciones de ola de calor imponen, además del exceso sobre un umbral, condiciones adicionales, como una duración temporal mínima, de 2, 3 ó 5 días, o que la temperatura mínima supere también un umbral. Kysely (2002) introduce una definición donde se permite que algún día de la ola no supere el umbral especificado, siempre que el conjunto del episodio sea extremadamente cálido; es decir, define la ola de calor como un conglomerado de episodios extremos. Kysely, para Europa Central (Praga, Viena), exige que Tx supere los 25°C durante todos los días del episodio y el umbral 30°C al menos 3 días; asimismo exige que la media de Tx durante la totalidad del episodio se mantenga por encima de 30°C.

Algunos autores tienen en cuenta en la definición de ola de calor el impacto de la temperatura sobre la mortalidad. Díaz et al. (2002, 2005) han identificado en diversas capitales de la Península Ibérica la existencia de una “temperatura de disparo”, cuya superación, incluso en un solo día, tiene asociado un incremento extraordinario de la mortalidad. Han estimado ese umbral en Madrid (36.5°C), Barcelona (30.3°C), Sevilla (41°C), Lisboa (33.5°C) y encontrado que se corresponde con el percentil 95 de los datos de Tx en el intervalo Junio-Septiembre durante el periodo 1991-2002. Aplicando este criterio han obtenido los umbrales para el resto de capitales españolas, 37.3°C en Zaragoza y 36.1°C en Huesca, y definen la ola de calor como un episodio de longitud arbitraria en el que Tx supera diariamente ese umbral.

Existen otras cuestiones, relacionadas con el impacto, que la mayoría de las definiciones no tienen en cuenta. Por ejemplo, episodios de calor extremo equivalentes meteorológicamente pueden tener consecuencias diferentes debido, entre otros

motivos, al proceso de adaptación de los individuos a las condiciones climáticas. Así, bastantes autores señalan que las olas que ocurren al comienzo de verano tienen mayor impacto; esto puede ocurrir porque el umbral de definición resulta más exigente en ese periodo que en otros e indicaría la necesidad de proponer un umbral variable a lo largo del verano, como hace, por ejemplo, el Servicio Meteorológico Indio.

Definición utilizada en este trabajo

Dado el proceso de calentamiento observado en Tx y Tn desde los años 70 y el diferente efecto que tiene un mismo umbral de temperatura a lo largo de verano, hemos considerado umbrales diferenciados según el periodo temporal y la época de verano. Los umbrales se basan en el valor de un percentil, valor que se estima para cada día del periodo considerado.

Los valores 39°C y 22°C, los umbrales de alarma por ola de calor aplicados en el verano de 2005 por el Centro Territorial del INM en Aragón, se han convertido a la escala percentil utilizando las series de Tx y Tn en Zaragoza durante el periodo 16/6 a 15/9 de los años 1997 a 2003. Dichas temperaturas constituyen los percentiles 98.7 y 98.4, respectivamente, por lo que decidimos tomar como umbral el percentil 98 de cada día.

El procedimiento para estimar ese umbral cada día se basa en una regresión de percentiles, Koenker y d'Orey (1994), que permite estimarlo como una función del suavizado loess bidimensional de Tx, en función del día y del año, calculado con un parámetro de ventana igual a 0.11; de manera análoga se estima el percentil 98 de Tn. En la Figura 3 se muestra la evolución de los valores estimados para los días de Mayo a Septiembre, en Zaragoza, en los años 1971 y 2002.

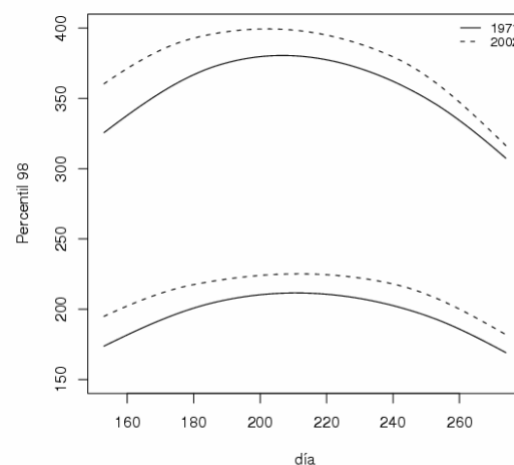


Figura 3: Percentil 98 estimado de Tx y Tn para los días de Mayo a Septiembre en los años 1971 (trazo continuo) y 2002 (discontinuo).

Para seleccionar los episodios a analizar, hemos establecido que un día *t* constituye o forma parte de una ola de calor cuando el valor de *T_x* es igual o superior al correspondiente *p98* estimado y, además, el valor de *T_n*, en el mismo día *t*, o en el día posterior, supera su correspondiente umbral *p98*. Con este procedimiento se identificaron en el periodo 1971-2002, 18 olas que, en total, comprenden 31 días. De estos episodios se han seleccionado 8 que son los que se analizan desde el punto de vista sinóptico.

4. Análisis de los tipos de tiempo en olas de calor sobre el centro de la Cuenca del Ebro

En esta sección se describe el análisis de los tipos de tiempo que contribuyen al establecimiento y desaparición de los episodios seleccionados. Los tipos de tiempo, según Font Tullot, se entienden como “la distribución particular de los sistemas de presión de las masas de aire sobre una región geográfica especificada, asociados con típicas características generales del tiempo atmosférico”. La identificación de los tipos de tiempo no es fácil, dada la complejidad y variabilidad inherentes a la propia naturaleza de la circulación general de la atmósfera, que hace que las distribuciones de los sistemas de presión sobre un área determinada no se repitan exactamente, apareciendo mapas sinópticos similares pero nunca idénticos. Además, en áreas con condiciones climáticas tan complejas como la Península Ibérica, puede ocurrir que a distribuciones aparentemente similares les correspondan distintas características del tiempo. En consecuencia, cualquiera que sea el criterio que se siga en la identificación de los tipos de tiempo siempre habrá un cierto grado de subjetividad.

Dada la dependencia de las características generales del tiempo atmosférico con el estado de la circulación general, dirigida por las variaciones del vórtice circumpolar, podemos clasificar los tipos de tiempo según estas variaciones. La contracción o expansión del vórtice permite diferenciar entre circulación en altura del oeste a latitudes normales, altas o bajas. A su vez, en función del grado de ondulación del vórtice, se distingue entre: Z (Circulación zonal), M (Circulación meridiana), ó D (Depresión aislada en niveles altos desprendida del vórtice).

Font Tullot (1983), siguiendo estos criterios, identifica 23 tipos de tiempo, correspondientes a situaciones meteorológicas que se mantienen en sus rasgos generales durante tres o más días. Generalmente, en la sucesión de los tipos de tiempo no existe ni regularidad ni continuidad, siendo habitual que se observe entre ellos periodos de transición, más o menos largos, durante los cuales la rapidez e irregularidad con que varían las características del tiempo atmosférico, impide su

clasificación más allá de las divisiones mencionadas en grupos y subgrupos.

A partir de la lista extraída de las situaciones en las que se han registrado altas temperaturas extremas en la ciudad de Zaragoza, se han identificado aquellos tipos de tiempo que aparecen con mayor frecuencia durante ellas, bien sea en el establecimiento de las altas temperaturas como en su debilitamiento y retirada. El resultado es la reducción del número de tipos de tiempo a 11, de los cuales sólo 4 se repiten más de dos veces.

Tipo	Nombre	Masas de aire	Meses típicos	Frec. ocurr.
5.Z	Anticiclón en Azores y depr. térm. penins.	cT,msubT	Jl,Ag.	4
<i>6.M</i>	<i>Depresión del Golfo de Vizcaya</i>	<i>mT,mP</i>	<i>F,Mr, Ab.</i>	<i>1</i>
<i>7.M</i>	<i>Depresión británica</i>	<i>mP,mA</i>	<i>Ab,My.</i>	<i>4</i>
8.M	Anticiclón atlántico y depr. térm. penins.	cT	Jl,Ag, S.	4
9.M	Altas presiones en el Atlántico y Europa	Ibérica cálida	Jl,Ag.	8
<i>10.M</i>	<i>Depresión del Golfo de Génova</i>	<i>CP,mP</i>	<i>O,N,A b,My</i>	<i>1</i>
11.M	Anticiclón centroeuropeo	mT,cT	E,F,D.	2
<i>12.D</i>	<i>Depresión atlántico-ibérica</i>	<i>mT,mP</i>	<i>---</i>	<i>2</i>
<i>14.D</i>	<i>Depresión balear</i>	<i>Mediterránea</i>	<i>---</i>	<i>1</i>
18.D	Vaguada ibero-africana	msubT	E,F,Mr, Jn.	1
21.	Pantano barométrico	msubT	Jl,Ag, S.	1

Tabla 1: Tipos de tiempo observados en los episodios cálidos analizados.

La clasificación y descripción resumida de estos tipos aparece en la Tabla 1. Se representan en letra negrita los tipos que favorecen el establecimiento y/o persistencia de las secuencias de altas temperaturas, mientras que aparecen en cursiva aquellas situaciones en las que se tiende a recuperar los valores térmicos normales.

Todas ellas son situaciones del Oeste a latitudes normales, con excepción del tipo 21 (pantano barométrico) en el que la circulación está a mayores latitudes de lo habitual. Una situación corresponde a

circulaciones zonales, 6 a circulación meridiana, 3 a depresión aislada y 1 a ausencia de gradiente bórico.

A continuación, para los cuatro tipos más frecuentes, se señalan las características particulares de su efecto sobre el valle medio del Ebro. Para ilustrar cómo se manifiestan los distintos tipos en los mapas sinópticos de superficie y altura de situaciones reales, se presentan los mapas de superficie y de la topografía de 500 hPa de una situación característica elegida dentro de cada tipo ver Figuras 4 a 14.

Tipo 5.Z: “Anticiclón de las Azores y depresión térmica peninsular”

En superficie, su principal característica es la depresión térmica, centrada bien sobre la meseta sur o el centro de la Península. Cuando la circulación en el margen oriental del anticiclón de las Azores es muy intensa, la baja no se desarrolla y en el valle central del Ebro puede seguir soplando un cierzo ligero o por lo menos flujos catabáticos nocturnos con un efecto refrescante.

Frecuentemente, en las situaciones en que la vaguada superior aparece desplazada hacia el Este, el aire frío sobre la Península, a niveles altos, crea la inestabilidad necesaria para que se desarrollen las típicas tormentas de verano, principalmente al final de la tarde y primeras horas de la noche. Aunque la orografía y la naturaleza del suelo son factores determinantes en su localización, suelen afectar al valle medio del Ebro en su tránsito desde el Sistema Ibérico hacia los Pirineos, dirigidas por el flujo del suroeste en niveles medios que afecta a nuestro área al trasladarse hacia el Este la vaguada en altura. Estas tormentas refrescan el ambiente y tras ellas suelen producirse vientos del noroeste que ventilan la masa acumulada en el valle del Ebro los días anteriores, sustituyéndola por otra de origen cantábrico.

Las olas del calor bajo esta situación son frecuentes y en nuestro estudio se ha identificado en 4 secuencias:

- 11 de junio de 1981, que evolucionará al tipo 9.M;
- 5 y 6 de julio de 1982, que registrará 39.4°C de máxima y 21.4°C de mínima y evolucionará al tipo 8.M;
- 9, 10 y 11 de junio de 1983, en que tras el paso de un frente frío se recuperan paulatinamente los registros;
- 12 al 14 de agosto de 1987, con máximas de hasta 40.4°C y mínimas de 23.8°C, que evoluciona también a un tipo 8.M.

Tipo 7.M: “Depresión británica”

El factor diferencial más importante de esta situación es que, al final del periodo, la depresión se intensifica al desplazarse hacia el Este, a la par que

se desarrolla una depresión secundaria a latitudes más bajas, que se centra en el Mediterráneo occidental o sobre la Península y norte de África. Como resultado se produce una secuencia de días con altas temperaturas, seguida de descensos térmicos transitorios debido a la acción de los frentes que rozan los Pirineos y generan flujo del noroeste en el valle. Cuando este flujo se va viniendo abajo, vuelven a producirse ascensos térmicos progresivos, por lo que este tipo suele aparecer intercalado en las secuencias largas de días con altas temperaturas.

Algunos de los días con esta situación son:

- 9 de junio de 1981, con enfriamiento desde 36.4°C a 33.2 y 30.4°C en los días siguientes;
- 9 de julio de 1982, en que se pasa de 40.2 a 35.0°C;
- 2 al 4 de julio de 1994, con un marcado efecto foehn, que da lugar a una temperatura de 42.5°C el día 3 y pasa a 32.0°C el día 5;
- 27 y 30 de junio de 2001, con un descenso desde 40.5 hasta 27.6°C el día 27 y mucho más débil el día 30.

Tipo 8.M: “Anticiclón atlántico y depresión térmica peninsular”

Este tipo se diferencia de 5.Z en que, en superficie, la corriente del Norte, al oeste de la Península, procede de latitudes más altas, mientras que en altura la vaguada, próxima o sobre la Península, es más profunda apareciendo fusionada con el meandro del vórtice circumpolar; ello puede llevar incluso a la formación de pequeñas depresiones frías.

Durante la permanencia de este tipo, las rachas cálidas se ven perturbadas por episodios transitorios en los que las temperaturas descienden debido a la actividad tormentosa que, frecuentemente, se desarrolla en la cordillera Ibérica para pasar sobre Zaragoza hacia los Pirineos; estas tormentas son conducidas por la rama ascendente y difluente asociada a la borrasca en niveles medios y altos.

Este tipo se ha identificado en los días:

- 7 de julio de 1982, que evoluciona el día 9 a Depresión británica (Tipo 7.M);
- 6 de junio de 1983, que evoluciona a un tipo Depresión Atlántico-Ibérica (Tipo 12.D);
- 15 a 17 de agosto de 1987, produciéndose un descenso de 41.2 hasta 30.5°C en Tx y de 23.8 a 20.4°C en Tn, debido a una situación del tipo 8.M (Anticiclón Atlántico y depresión térmica peninsular);
- 25 y 26 de junio de 2001, donde se dan máximas de 40.4 y 40.5°C que descienden el día siguiente a 27.6°C y mínimas que

bajan progresivamente los siguientes días debido a su transformación en una depresión británica (Tipo 7.M).

Tipo 9.M: “Altas presiones sobre el Atlántico y Europa”

En superficie, este tipo se caracteriza por el alejamiento hacia el Oeste del anticiclón de las Azores y por la extensión de las altas presiones hacia el Este cubriendo la mayor parte de Europa y del Mediterráneo; en altura, el anticiclón africano desplazado hacia el Norte, cubre toda la Península dentro de su radio de acción. Esta situación propicia la aparición de altas temperaturas, es de gran estabilidad y suele dar lugar a las olas más importantes, que se ven rotas por algunas de las situaciones que se comentan:

- 14 de julio de 1978, donde se alcanzan los 38.0°C desde 32.6, dando paso a la situación 11.M;
- 10, 12 y 14 de junio de 1981, en que alterna con situaciones 5.Z (Anticiclón en Azores y baja térmica peninsular) y 11.M (Anticiclón centroeuropeo);
- 18 al 20 de agosto de 1987, que da lugar a un episodio de varios días con máximas de 38.0°C y mínimas de 22°C, que termina con el paso de un frente frío al final del día 21, asociado a una depresión en el Golfo de Vizcaya (Tipo 6.M);
- 28 al 30 de junio de 1994, que evoluciona a una depresión británica (Tipo 7.M) en los primeros días de julio, en donde se mantienen las temperaturas debido a un efecto foehn hasta la tarde-noche del día 4, momento en que el cierzo tras el frente frío refresca el ambiente;
- 9 al 11 de agosto de 1998, con registros de hasta 38.8°C;
- 20 al 22 de junio de 2001 en que se registran hasta 39.0°C de máxima y 21.6°C de mínima.

Otros tipos menos frecuentes

Otros tipos aparecen de forma esporádica, ligados en ocasiones a una evolución desde uno de los anteriores. El tipo 6.M “Depresión del golfo de Vizcaya” puede dar origen a un efecto foehn en el valle del Ebro, con actividad convectiva tras el paso del frente asociado, que produce un descenso notable de los termómetros en pocas horas; se ha identificado en la tarde del 21 de agosto de 1987, en que pone fin a una secuencia de días de 38°C con situación 9.M.

El tipo 11.M, “Anticiclón centroeuropeo”, propicia altas temperaturas debido a un efecto foehn; se ha presentado los días 16 y 17 de julio de 1978, donde se llega a alcanzar 42.6°C tras una situación 9.M, y el 13 de junio de 1981, como transición entre dos

días de situación 9.M. El tipo 21, “Pantano barométrico”, caracterizado por la estabilidad en un área extensa alrededor de la Península, ha aparecido el 6 de junio de 1983 como evolución transitoria desde el tipo 8.M.

El tipo 12.D tiene un efecto de ruptura de la ola de calor; en general, va precedido por la presencia en superficie de una vaguada de gran extensión entre dos anticiclones, uno centrado al oeste de Azores y otro sobre Europa; la vaguada se transforma en una depresión de rápido desarrollo, provocando gran inestabilidad, con fuertes temporales de lluvia y ocasionalmente actividad tormentosa que refresca el ambiente y rompe rachas cálidas. Esta situación finaliza una ola de calor el 18 de julio de 1978 y provoca un descenso térmico desde 36.0°C a 29.2°C el 8 de junio de 1983.

El episodio de calor de agosto de 1998 presentó características diferenciadas; fue precedido por el tipo 10.M “depresión del golfo de Génova”, el 2 de agosto, que evolucionó rápidamente al tipo 14.D “depresión balear” y, posteriormente, a 18.D “vaguada ibero-africana” durante los días 6 al 8, cuando se alcanzaron los 38°C. Posteriormente evolucionó al tipo 9.M en los días 9 y 10 de agosto.

5. Conclusiones

Como resumen del trabajo se plantean las siguientes conclusiones:

a) La evolución de la temperatura en el centro del valle del Ebro ha mostrado desde 1975 un calentamiento no homogéneo a lo largo del verano, donde las mayores diferencias se dan a partir de los años 90. El verano es en la actualidad más uniformemente cálido que hace 30 años, con lo que el periodo propicio para la ocurrencia de olas de calor se ha ampliado.

b) La definición de umbrales para determinar si un día forma parte de una ola de calor debe considerar la distinta distribución que presenta la temperatura en cada fecha del verano y a su evolución decadal. En este trabajo, se ha utilizado como umbral básico el percentil 98 de Tx correspondiente a cada fecha, que se ha estimado por un método de regresión no paramétrica.

c) Se han analizado los tipos de clima de la clasificación de Font Tullot que aparecen en los episodios de calor más significativos identificados en la serie del observatorio de Zaragoza entre 1971 y 2002. Los tipos más frecuentes (5.Z, 7.M, 8.M, 9.M) están asociados a la advección de masa cálida, la subsidencia de aire y a la falta de ventilación ligada a un débil gradiente de presión. Durante los episodios se observan transiciones frecuentes del

tipo 5.Z a 8.M ó 9.M, entre estos dos tipos, o de 9.M a 7.M.

d) Algunos de estos tipos de tiempo tienen un efecto particular sobre el valle central del Ebro, como consecuencia de su geografía, y hacen que se refresque parcialmente: se pueden producir reducciones de la temperatura por la acción de cierzo con el tipo 5.Z, mientras que con el 8.M puede darse un viento catabático nocturno o actividad tormentosa generada en la zona de Teruel y desplazada hacia el valle por la tarde.

Referencias

- Abaurrea, J., Asín, J., Erdozain, O., Fernández, E., (2001). Climate variability analysis of temperature series in the medium Ebro river basin. En: Brunet, M., López, D. (Eds.), *Detecting and modelling regional climate change*. Springer-Verlag, 109-118.
- Abaurrea, J., Asín, J., Cebrián, A. C., Centelles, A. (2004). Modeling and projecting extreme hot events in the central Ebro valley, a continental-Mediterranean area. Por aparecer en *Global and Climate Change*.
- Brunet, M., Aguilar, E., Saladié, O., Sigró, J., López, D. (2001). The variations and trends of the surface air temperature in the Northeastern Spain from middle nineteenth century onwards. In: Brunet, M., López, D. (Eds.), *Detecting and modelling regional climate change*. Springer-Verlag, pp. 81-94.
- Díaz, J., et al. (2002). Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986 to 1997. *Int. J. Biometeorology*, 46, 145-149
- Díaz, J., Linares, C., García-Herrera, R. (2005). Impacto de las temperaturas extremas en la salud pública. Futuras actuaciones. *Rev Esp Salud Pública*, 79, 145-157
- Font, I. (1983). *Climatología en España y Portugal*. Ed. Sección Publicaciones, INM. Madrid.
- Klein Tank, A.M., Winjgaard, J., Van Engelen, A. (2002). *Climate of Europe. Assessment of observed daily temperature and precipitation extremes*. KNMI, De Bilt, the Netherlands, 36 pp.
- Koenker, R. W., D'Orey, V. (1994). Computing regression quantiles. *Applied Statistics*, 43, 410-414.
- Kysely, J. (2002). Temporal fluctuations in heat waves at Prague, the Czech republic, from 1901-97 and their relationship to atmospheric circulation. *Int. J. Climatol.*, 22, 33-50
- Robinson, P. J. (2001). On the definition of a heat wave. *J. of Applied Meteorology*, 40, 762-75.

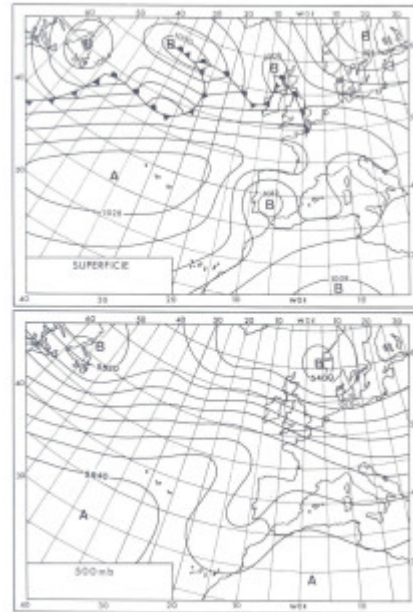


FIG. 2 Tipo de tiempo nº 5. Z. — Anticiclón de las Azores y depresión térmica peninsular.

Fig. 4: Tipo 5.Z. Anticiclón de las Azores y depresión térmica peninsular.

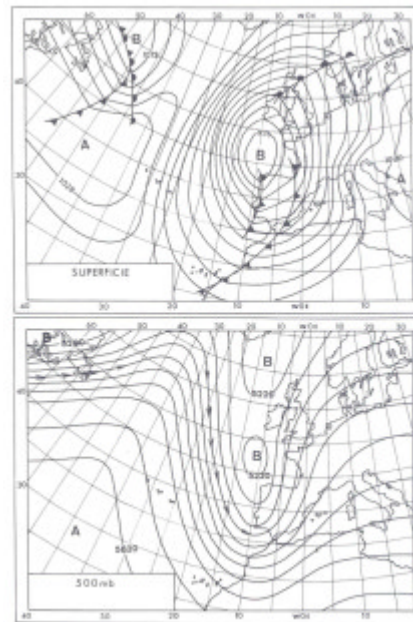


FIG. 3 Tipo de tiempo nº 6. M. — Depresión del Golfo de Vizcaya.

Fig. 5: Tipo 6.M. Depresión del Golfo de Vizcaya.

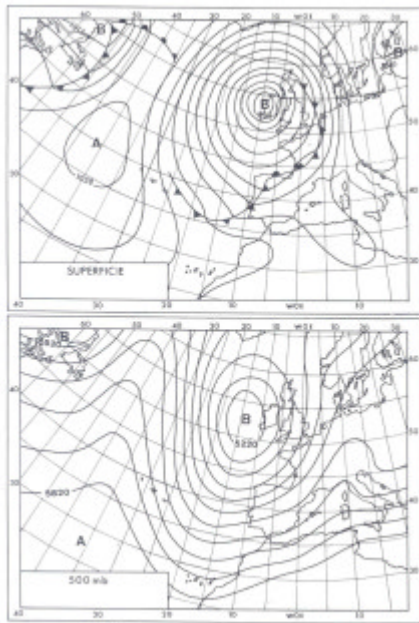


FIG. 4 Tipo de tiempo nº 7. M. — Depresión británica.

Fig. 6: Tipo 7.M. Depresión británica.

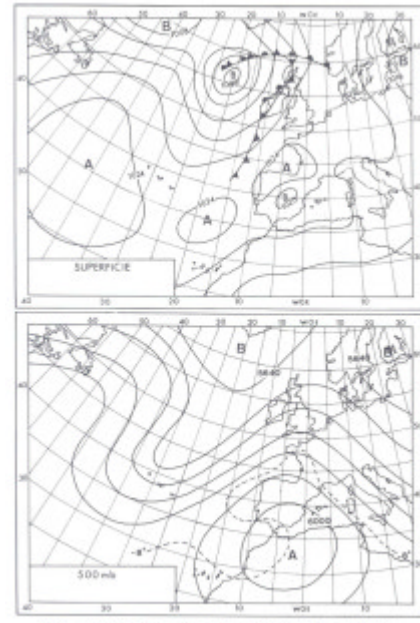


FIG. 8 Tipo de tiempo nº 9. M. — Altas presiones sobre el Atlántico y Europa.

Fig. 8: Tipo 9.M. Altas presiones sobre el Atlántico y Europa.

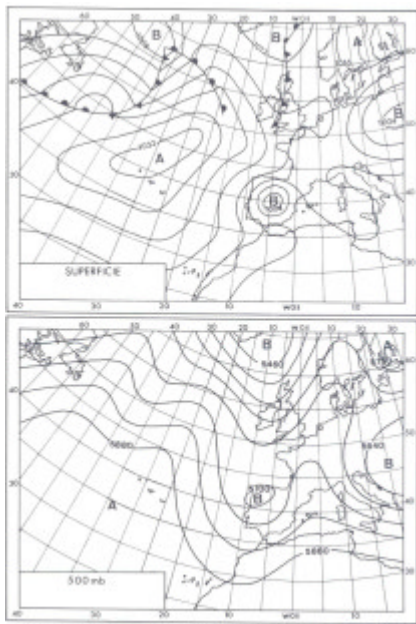


FIG. 5 Tipo de tiempo nº 8. M. — Anticiclón atlántico y depresión térmica peninsular.

Fig. 7: Tipo 8.M. Anticiclón atlántico y depresión térmica peninsular.

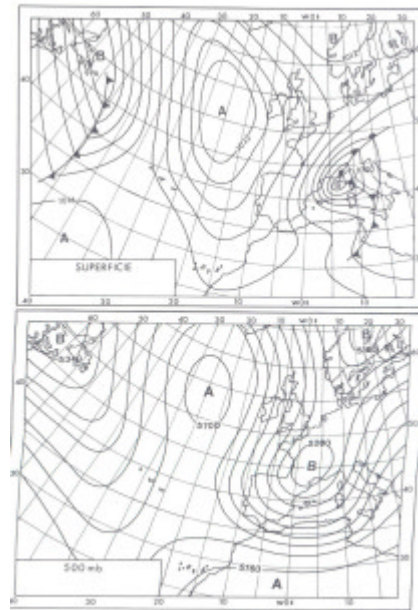


FIG. 7 Tipo de tiempo nº 10. M. — Depresión del Golfo de Génova.

Fig. 9: Tipo 10.M. Depresión del Golfo de Génova.

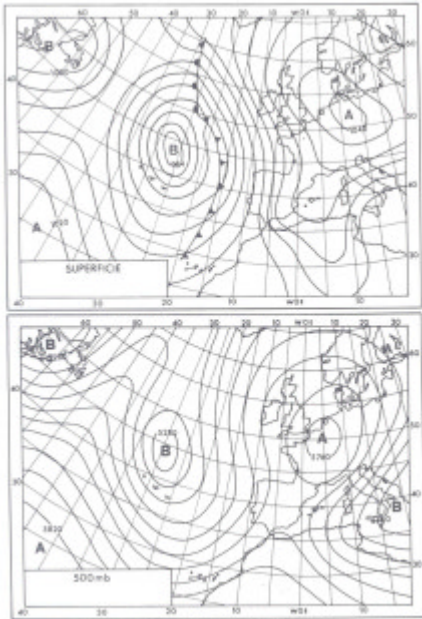


FIG. 9 Tipo de tiempo nº 11. M. — Anticiclón centroeuropeo.

Fig. 10: Tipo 11.M. Anticiclón centroeuropeo.

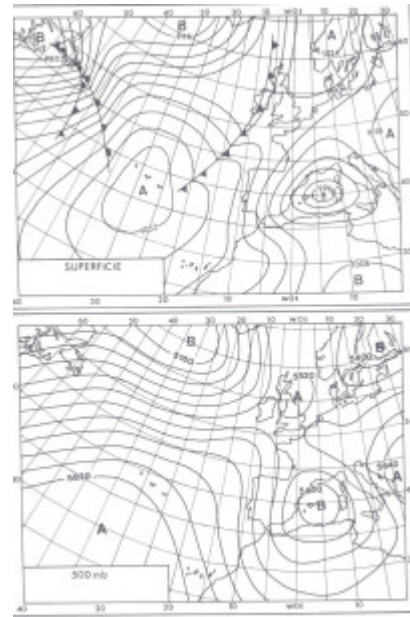


FIG. 10 Tipo de tiempo nº 14. D. — Depresión balear.

Fig. 12: Tipo 14.D. Depresión balear.

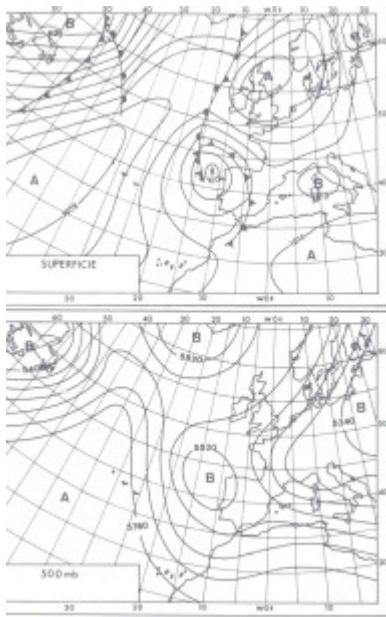


FIG. 11 Tipo de tiempo nº 12. D. — Depresión atlántico-ibérica.

Fig. 11: Tipo 12.D. Depresión atlántico-ibérica.

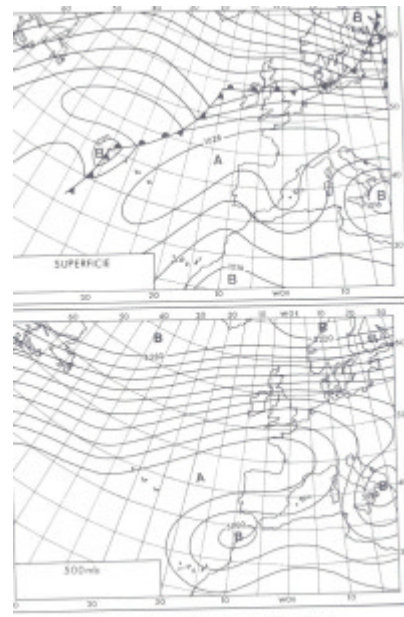


FIG. 11 Tipo de tiempo nº 18. D. — Vaguada ibero-africana.

Fig. 13: Tipo 18.D. Vaguada íbero-africana.

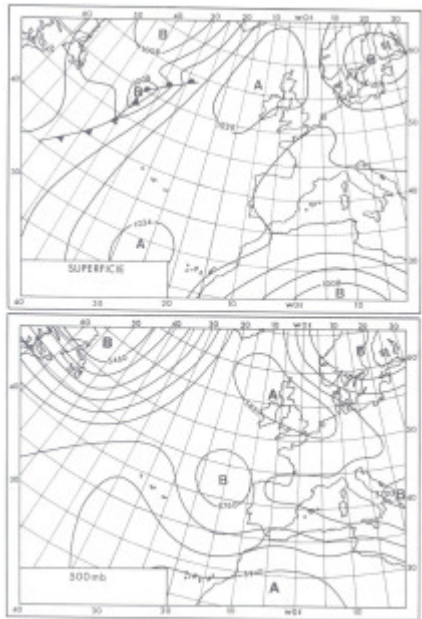


FIG. 14 Tipo de tiempo nº 21. — Pantano barométrico.

Fig. 14: Tipo 21. Pantano barométrico.