

# UN ESTUDIO SOBRE EPISODIOS DE TEMPERATURAS EXTREMAS EN CANARIAS

Cristina Cardós, Ernesto Barrera y Ricardo Sanz  
Centro Meteorológico Territorial en Canarias Occidental

## 1. INTRODUCCIÓN: OLAS DE CALOR Y DE FRÍO

No existe un criterio uniforme para su definición. Las olas de frío y calor son producto de un fuerte y anormal enfriamiento o calentamiento del aire motivado por la invasión de una masa de aire muy fría o muy cálida, según el episodio del que se trate, que se extiende sobre un amplio territorio y durante un periodo de tiempo prolongado.

En el caso de **olas de calor**, los servicios meteorológicos europeos utilizan para describirlos umbrales basados en la temperatura del aire y en la duración del episodio cálido; también emplean índices que combinan la humedad y temperatura del aire, como el conocido *heat index*, o incluso las situaciones meteorológicas a escala sinóptica. Otras variables como la velocidad del viento y la temperatura media radiante se están integrando en índices más ambiciosos como UTCI (*Universal Thermal Climate Index*), PET (*Physiological Equivalent Temperature*), OUT\_SET\* (*Outdoors Standard Effective Temperature*) y PT (*Perceived Temperature*), este último utilizado de manera operativa en el *Deutscher Wetterdienst*.

El hecho de que las olas de calor afecten considerablemente a la salud de las personas y produzcan daños materiales (impactos sobre recursos agropecuarios e hídricos) y sociales (migración del turismo y aumento del consumo energético), abre la problemática a un ámbito interdisciplinar donde la fisiología o la economía juegan un rol tan importante como la meteorología.

Volviendo al tema de los umbrales, el criterio más extendido es el de establecer una temperatura umbral diaria para una zona geográfica dada, ya que tiene la ventaja de ajustarse bien a las diferencias locales de cómo se percibe el calor. Superada la temperatura umbral definida para una época del año y un lugar determinado, pueden observarse consecuencias negativas para la salud, sobre todo en las áreas urbanas, donde el episodio se ve intensificado en varios grados por el efecto de isla térmica. La temperatura umbral suele definirse en el caso de olas de calor como el percentil 95 de la serie. La persistencia juega un papel importante en la calificación de una ola de calor, ya que la duración del fenómeno durante un periodo superior a dos o tres días, agrava considerablemente las consecuencias.

Las olas de calor en verano pueden causar mayor número de víctimas en vidas humanas en menos tiempo que casi cualquier otro suceso climático, produciendo sus efectos más graves sobre ancianos, enfermos crónicos y los más jóvenes. Sin embargo, temperaturas invernales más cálidas (olas de calor en invierno) causan, en general, una reducción de la mortalidad durante esa época del año, aunque pueden producir el aumento puntual de cierto tipo de enfermedades transmitidas por insectos, como ocurrió en Suecia, donde la incidencia de encefalitis transmitida por garrapatas aumentó tras unos inviernos más cálidos, para desplazarse luego hacia el Norte después de un incremento de la frecuencia de inviernos más cálidos en el período 1980-1994. Otro punto a tener en cuenta es la forma en que se produce el inicio de la ola de calor, si el carácter térmico de los días que la preceden es normal o fresco para la época de año las consecuencias para la salud

se agravan. La que tuvo lugar en Canarias en julio de 2004 afectó más intensamente a la salud de las personas por la brusquedad con la que se produjo el tránsito de un episodio de casi 30 días con temperaturas normales a uno de temperaturas extremadamente cálidas (ver gráfico 2).

Las **olas de frío** se definen de forma análoga a las olas de calor, mediante una temperatura umbral (se suele utilizar el percentil 5), por debajo de la cual se considera episodio frío. En Canarias, como era de esperar, este es un fenómeno que no tiene, en términos absolutos, la misma intensidad que en latitudes más altas. Veremos que en términos relativos es también un fenómeno residual.

Según el informe de evaluación de 2001 del grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), se espera un descenso generalizado en la variabilidad diaria de la temperatura media del aire en la superficie durante el invierno en las zonas terrestres del Hemisferio Norte, y un crecimiento de esa variabilidad en verano. Un aumento de la temperatura media y la varianza (variabilidad) producirán una elevación de las temperaturas mucho más marcada que si solo aumentara la media y no la variabilidad (Gráfico 1). Los días calurosos y olas de calor irán en ascenso, tanto en frecuencia como en intensidad, y los días fríos, heladas y olas de frío disminuirán.

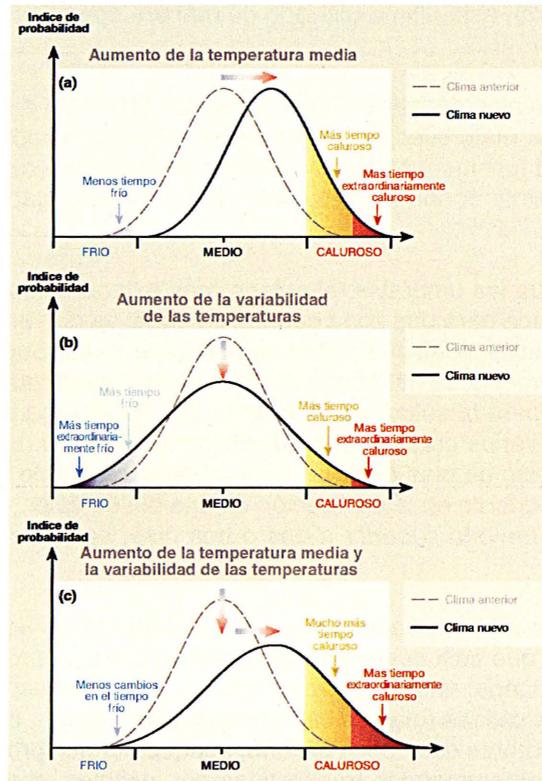


Gráfico 1. Diagramas esquemáticos que muestran los efectos sobre las temperaturas extremas cuando: a) Aumenta la temperatura media; b) Aumenta la varianza y se mantiene la temperatura media; c) Aumentan tanto la temperatura media como la varianza.

Ref.: Cambio Climático 2001, Informe de síntesis, Una evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC), página 87

En este trabajo se analizarán datos de temperatura media diaria de tres estaciones meteorológicas en Canarias desde 1974, año a partir del cual comenzaron a funcionar muchas de las nuevas Oficinas Meteorológicas de Aeropuerto en islas pequeñas. Se explicará el criterio utilizado para la calificación de olas de calor y de frío. El primer objetivo será la localización de estos episodios para, a continuación, investigar si existen tendencias significativas y buscar los patrones sinópticos asociados.

## 2. EPISODIOS CÁLDIDOS: LOCALIZACIÓN, PERSISTENCIA, FRECUENCIA E INTENSIDAD

Como se ha indicado anteriormente, las olas de calor se pueden definir estableciendo umbrales relativos o absolutos en los valores de una serie de variables meteorológicas, o de una combinación las mismas. Se utilizarán aquí umbrales relativos correspondientes al percentil 95 (p95) de la temperatura media diaria de las series del periodo 1961-1990 de tres observatorios situados en el centro y en los extremos oriental y occidental del archipiélago canario (C449C Santa Cruz de Tenerife; C029O OMA de Lanzarote y C929I OMA de El Hierro). Bastará con estas tres estaciones meteorológicas garantizar una aceptable representación espacial del fenómeno en todo el archipiélago.

Un problema que surge cuando se trata con climatologías diarias es la gran variabilidad que se presenta en cortos intervalos temporales. Con objeto de disminuir sus efectos, se han suavizado los resultados utilizando un método que opera de manera similar al de las medias móviles. El procedimiento consiste en tener en cuenta las tres jornadas que preceden y suceden a cada uno de los días, de manera que la muestra de la cual se obtiene los p95 diarios consta, no ya de 30 datos (1 por año), sino de 210 ( $7 \times 30$ ).

A modo de ejemplo incluimos una gráfica en la que se representan los valores de las temperaturas medias diarias registradas en 2004 en el Observatorio de Santa Cruz de Tenerife frente a los quintiles, extremos y percentiles 5 y 95 (p5 y p95), todos ellos calculados con el mismo procedimiento utilizado para los p95. Las olas de calor de verano de 2004, las más intensas registradas hasta la fecha, aparecen claramente destacadas por encima de la línea de puntos del p95. Análogamente, la metodología empleada permite detectar los episodios fríos cuando la temperatura media diaria (línea roja) cae por debajo del p5. En el gráfico se han señalado también aquellos episodios que, por su brevedad, no han sido considerados como olas de calor sino como *episodios cálidos*.

Como se dejó indicado al principio, el interés de este trabajo se centra en la localización de las olas de calor más intensas que han afectado a Canarias en el periodo 1974-2006\* (\*hasta septiembre). Con objeto de seleccionar sólo esos casos extremos impondremos condiciones de búsqueda radicales en lo que se refiere a la extensión geográfica y a la persistencia de estos fenómenos, para quedarnos finalmente con aquellos episodios que, al menos durante un día, hayan sido observados simultáneamente en los tres observatorios de trabajo, en los cuales, a su vez, la duración o persistencia del mismo ha tenido que ser de tres días consecutivos o más. En la tabla 1 se detallan algunas de las características de los 37 casos encontrados hasta septiembre de 2006. La persistencia que aparece tabulada hace referencia a los días en que se observa simultáneamente el episodio en las tres islas; la temperatura media ( $T_{media}$ ) es el valor medio de las temperaturas medias diarias registradas en esos observatorios durante esos mismos días. Asimismo, se ha construido un índice (H) que trata de dar cuenta de la intensidad de la ola de calor teniendo en cuenta la persistencia y la temperatura media del periodo. Su cálculo

lo (ver expresión matemática abajo) permite establecer un ranking que será útil para establecer valoraciones.

$$H \text{ de un periodo} = (\text{Persistencia del Periodo} / \text{Persistencia Máxima de todos los periodos}) + (\text{Temperatura media del periodo} / \text{Temperatura máxima de las medias de todos los periodos})$$

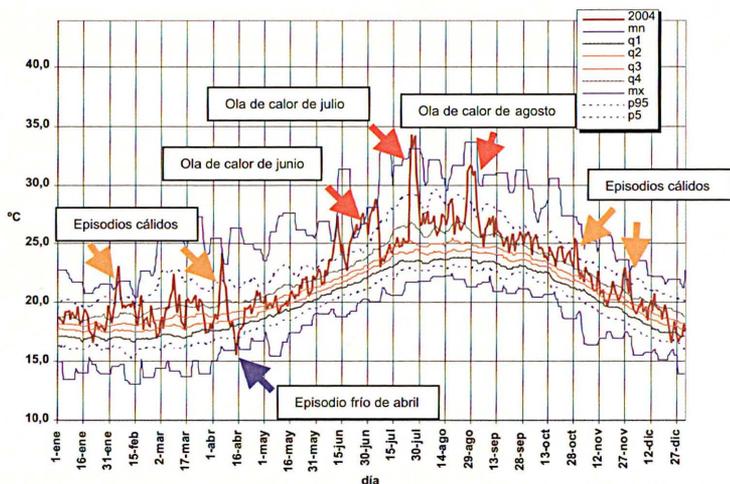


Gráfico 2. Evolución de las temperaturas medias diarias en Santa Cruz de Tenerife durante 2004

**TABLA 1**  
**OLAS DE CALOR EN CANARIAS DURANTE EL PERIODO 1974-septiembre de 2006**

Ranking	H	inicio	fin	Persistencia [días]	Tmedia [°c]	Ranking	H	inicio	fin	Persistencia [días]	Tmedia [°c]
1	1.815	22/06/2004	29/06/2004	8	25.3	19	1.122	03/05/1996	05/05/1996	3	23.1
2	1.666	18/03/1990	24/03/1990	7	24.5	20	1.105	21/04/1987	23/04/1987	3	22.6
3	1.625	24/07/2004	28/07/2004	5	31.0	21	1.099	07/11/1999	08/11/1999	2	26.3
4	1.595	27/08/2004	31/08/2004	5	30.1	22	1.095	28/11/1997	30/11/1997	3	22.3
5	1.442	12/02/1998	17/02/1998	6	21.5	23	1.067	17/11/1995	19/11/1995	3	21.5
6	1.439	20/05/2003	24/05/2003	5	25.2	24	1.066	22/12/2001	24/12/2001	3	21.4
7	1.424	29/01/1997	03/02/1997	6	20.9	25	1.066	20/12/2003	22/12/2003	3	21.4
8	1.323	04/09/2005	06/09/2005	3	29.4	26	1.056	29/12/2001	31/12/2001	3	21.1
9	1.307	26/08/1990	28/08/1990	3	28.9	27	1.056	07/01/1998	09/01/1998	3	21.1
10	1.300	04/01/1996	08/01/1996	5	20.9	28	1.049	11/02/2001	13/02/2001	3	20.9
11	1.272	11/10/1983	13/10/1983	3	27.8	29	1.037	12/01/2002	14/01/2002	3	20.5
12	1.232	04/09/2006	05/09/2006	2	30.4	30	1.030	13/04/1983	14/04/1983	2	24.2
13	1.220	01/07/2004	03/07/2004	3	26.2	31	0.960	17/12/1996	18/12/1996	2	22.0
14	1.203	26/10/2001	28/10/2001	3	25.7	32	0.950	15/06/1997	15/06/1997	1	25.6
15	1.201	22/10/1996	24/10/1996	3	25.6	33	0.946	25/04/1997	26/04/1997	2	21.6
16	1.178	21/03/2002	23/03/2002	3	24.9	34	0.925	20/02/1998	21/02/1998	2	20.9
17	1.153	28/04/1994	30/04/1994	3	24.1	35	0.919	13/06/1997	13/06/1997	1	24.6
18	1.149	22/04/2002	24/04/2002	3	24.0	36	0.821	02/05/1997	02/05/1997	1	21.6
						37	0.810	24/02/1998	24/02/1998	1	21.2

A la vista de la tabla, y especialmente de las gráficas que siguen, resulta bastante claro que estos episodios se están presentando en Canarias con frecuencia y persistencia crecientes. Como también se observa ese mismo sentido en la tendencia de las temperaturas, es de esperar que la intensidad del fenómeno (como función que es de la temperatura, de la persistencia y de su extensión geográfica) vaya a más. Para corroborar lo anterior de manera más objetiva se han efectuado test no paramétricos de correlación serial (Wald Wolfowitz) y tendencia (Spearman) con objeto de investigar el carácter aleatorio simple de las series de *frecuencia anual de olas de calor* (tal como los definimos más arriba) y en la de la *persistencia máxima anual* de los episodios observándose tendencia significativamente creciente en ambas con un nivel de confianza de 95%.

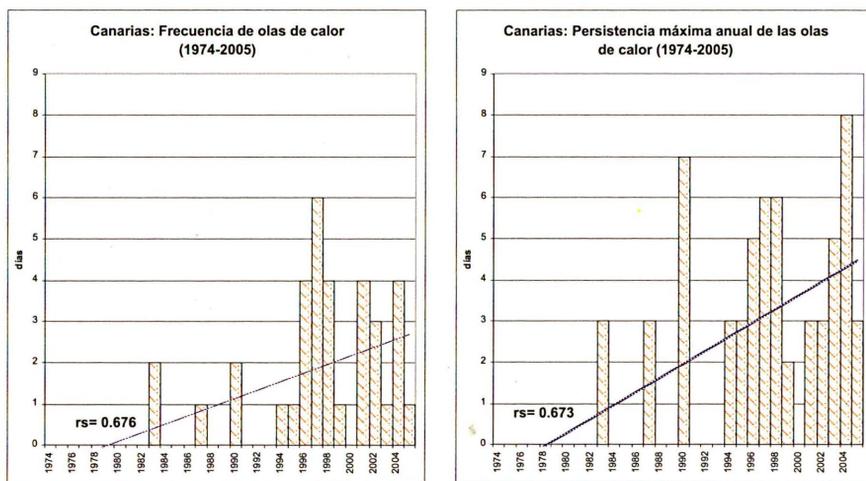


Gráfico 3. Test tendencia de Spearman ( $r_s$  coeficiente de Spearman)

Por otra parte, es de destacar el hecho de que el número de casos observados durante la segunda mitad del periodo sea casi 7 veces superior al observado en la primera mitad, y el de que las olas de calor estivales sean un fenómeno casi nuevo: desde 2004 se han observado 5 de las 6 registradas en los últimos 33 años.

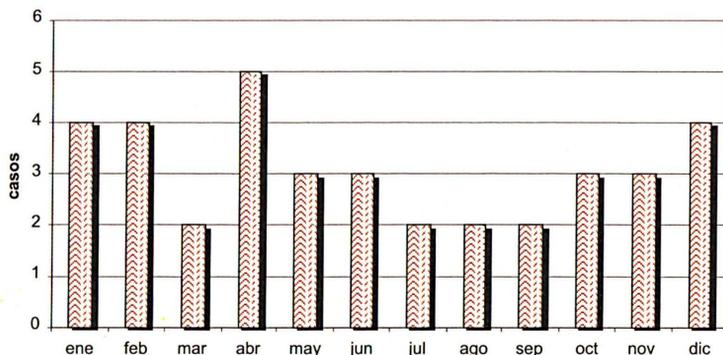


Gráfico 4. Número de olas de calor en Canarias desde 1974 hasta septiembre de 2006

### 3. CAMBIOS EN LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE OLAS DE CALOR EN CANARIAS

Según informa *Tyndall Centre for Climate Change Research*, el incremento de temperatura media estival previsto por cuatro modelos climáticos (revisados por el IPCC) entre 1961-1990 y el periodo 2070-2099 para la zona de Canarias será de entre 1 y 3 °C. Con objeto de estimar el posible aumento de olas de calor estivales de ser cierta esa predicción, se ha tomado una muestra de temperaturas medias diarias del periodo de referencia 1961-1990 de las estaciones canarias situadas por debajo de 50m de altitud (tamaño de la muestra=18897datos). A pesar de que esta muestra no se distribuye *normalmente* (el menor p-valor obtenido de practicar los test de ajuste *Chi-cuadrado* y *Kolmogorov-Smirnov* es menor que 0.01) se supondrá en primera aproximación que sí lo es con objeto de simplificar los cálculos y efectuar una estima sencilla y rápida (en la gráfica se pueden observar esas ligeras diferencias entre la distribución de temperaturas medias diarias y la distribución normal que vamos a obviar en nuestros cálculos). En el clima del periodo 2070-2099 (Gráfico 1) se supondrá que esa distribución de temperaturas medias diarias es también una *normal* en la que la temperatura media ha aumentado entre 1 y 3 grados sin que la varianza varíe.

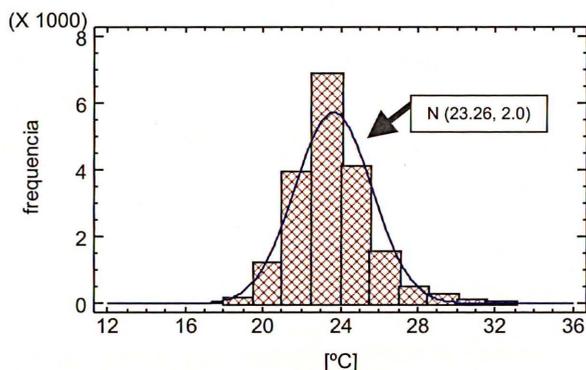


Gráfico 5. Histograma de frecuencias de temperaturas medias de verano de estaciones meteorológicas situadas por debajo de 50 m de altitud

Los resultados que se detallan en la tabla se han efectuado, como se ha dicho anteriormente, admitiendo que la distribución de temperaturas medias diarias de los meses de verano es una normal  $N(23.6, 2.0)$  (el P95 en la distribución de temperaturas medias diarias pasa a ser el P96 si se la aproxima a una distribución normal lo que indica que entre ellas sólo hay ligeras diferencias). Aumentos de la temperatura media en 1, 2 y 3 °C recolocan el P95 inicial en P89, P77 y P58 respectivamente lo que implicaría, un aumento del 7, 19 y 36% en el número de días calurosos durante el periodo 2070-2099 con respecto al periodo de referencia 1961-1990.

TABLA 2						
Ajuste a distribución normal						
P95 1961-1990	Media 1961-1990	Desviación 1961-1990	z	Función distribución acumulativa	Percentil	
27.1	23.6	2.0	1.75	0.9599	P96	
Ajuste a distribución normal						
P95 1961-1990	Media prevista 2070-2099	Desviación 1961-1990	z	Función distribución acumulativa	Percentil 2070- 2099	Aumento días calurosos
27.1	24.6	2.0	1.25	0.8944	P89	7%
27.1	25.6	2.0	0.75	0.7734	P77	19%
27.1	26.6	2.0	0.25	0.5897	P60	36%

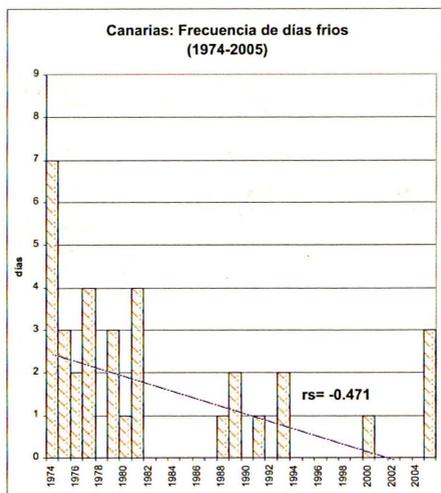
#### 4. EPISODIOS FRÍOS: LOCALIZACIÓN, PERSISTENCIA, FRECUENCIA E INTENSIDAD

Como en el caso de episodios cálidos, se han utilizado umbrales relativos para localizar los episodios fríos, en este caso los correspondientes al percentil 5 (p5) de temperatura media diaria obtenidos de las series del periodo 1961-1990 de los mismos observatorios seleccionados para el estudio de episodios cálidos, suavizando los resultados mediante el mismo procedimiento. Se han buscado en el periodo 1974-2005, olas de frío que afectaran a todo el archipiélago simultáneamente, de forma similar a lo que se hizo con las olas de calor, buscando que coincidan temporalmente al menos un día, y en cada isla la duración o persistencia del episodio de temperaturas medias diarias inferiores al p5 tendrá que haber sido de tres días o más. En la tabla 3 se muestran los 3 casos de olas de frío encontrados hasta diciembre de 2005, detallando sus características tal como se hizo en la tabla 1. Se puede observar que mientras las olas de calor se producen durante todo el año, las de frío solo se han producido en épocas otoñales ó invernales, nunca en primavera ó verano.

TABLA 3					
OLAS DE FRÍO EN CANARIAS DURANTE EL PERIODO 1974-2005					
Ranking	H	inicio	fin	Persistencia [días]	Tmedia [°c]
1	1.92	11/02/1981	14/02/1981	4	15.5
2	1.75	29/01/2005	31/01/2005	3	14.3
3	1.54	25/10/1974	27/10/1974	3	18.1

$H$  de un periodo =  $(\text{Persistencia del Periodo} / \text{Persistencia Máxima de todos los periodos}) + (\text{Temperatura mínima de las medias de todos los periodos} / \text{Temperatura media del periodo})$

Dada la poca frecuencia natural de las olas de frío en Canarias, es difícil estudiar cualquier tipo de tendencia en su ocurrencia o intensidad, por lo cual se ha decidido hacer un estudio con el número de días fríos al año, días en los que las temperaturas medias diarias se encuentran por debajo del p5 en las tres estaciones de referencia. Con los resultados obtenidos se han realizado los mismos test que se efectuaron con las olas de calor, y el resultado es una tendencia significativamente decreciente (al 95% de confianza) de los días fríos en Canarias.



*Gráfico 6.*

## 5. ASPECTOS SINÓPTICOS

Pese a la proximidad del continente africano, una de las características del clima canario es la suavidad de su régimen térmico anual. Esto se debe principalmente a dos circunstancias: el régimen de los vientos alisios y la corriente oceánica fría que desciende por la costa noroccidental africana. Los alisios tienen origen en el flanco oriental del anticiclón de las Azores y alcanzan las islas tras un largo recorrido oceánico sobre aguas frescas proporcionando humedad y temperaturas superficiales más suaves que las que corresponderían por latitud geográfica. Esta circunstancia, unida a la existencia de una inversión térmica de subsidencia en torno a los 1500 m, da lugar a una estratificación muy estable de la atmósfera y a una tónica dominante de cielos despejados y escasa oscilación térmica anual en costas y medianías. Estas condiciones se alteran ocasionalmente para dar lugar a los episodios de temperatura extrema descritos en los apartados anteriores.

En la muestra analizada, se identifican configuraciones diferenciadas que pueden asociarse con marcados incrementos de temperatura. La primera de ellas (figura 7a), casi exclusiva de la estación estival, tiene su origen en el desarrollo de una depresión cálida sobre el continente africano. Durante el verano, el intenso calentamiento del suelo da lugar a la aparición de una baja térmica sobre el área comprendida entre el sur de Argelia, Mali y Mauritania. Con frecuencia, esta depresión se extiende hacia el Atlántico en forma de cuña quedando el archipiélago bajo su circulación del E, extremadamente seca y cálida. En estas condiciones, suele ocurrir que el anticiclón oceánico se prolongue sobre Marruecos, reforzando con el recorrido continental de su flujo ENE la advección térmica sobre Canarias.

Durante el resto del año, la franja de altas presiones subtropicales presenta mayor continuidad sobre el norte de África debido a la formación de un anticiclón térmico. Este patrón anticiclónico puede extenderse considerablemente hasta abarcar la península ibérica y parte del Mediterráneo. En este contexto, las olas de calor se presentan cuando Canarias queda bajo la acción del flanco meridional anticiclónico y el flujo del E o ENE inyecta sobre las islas el aire cálido del interior del continente (figura 7b).

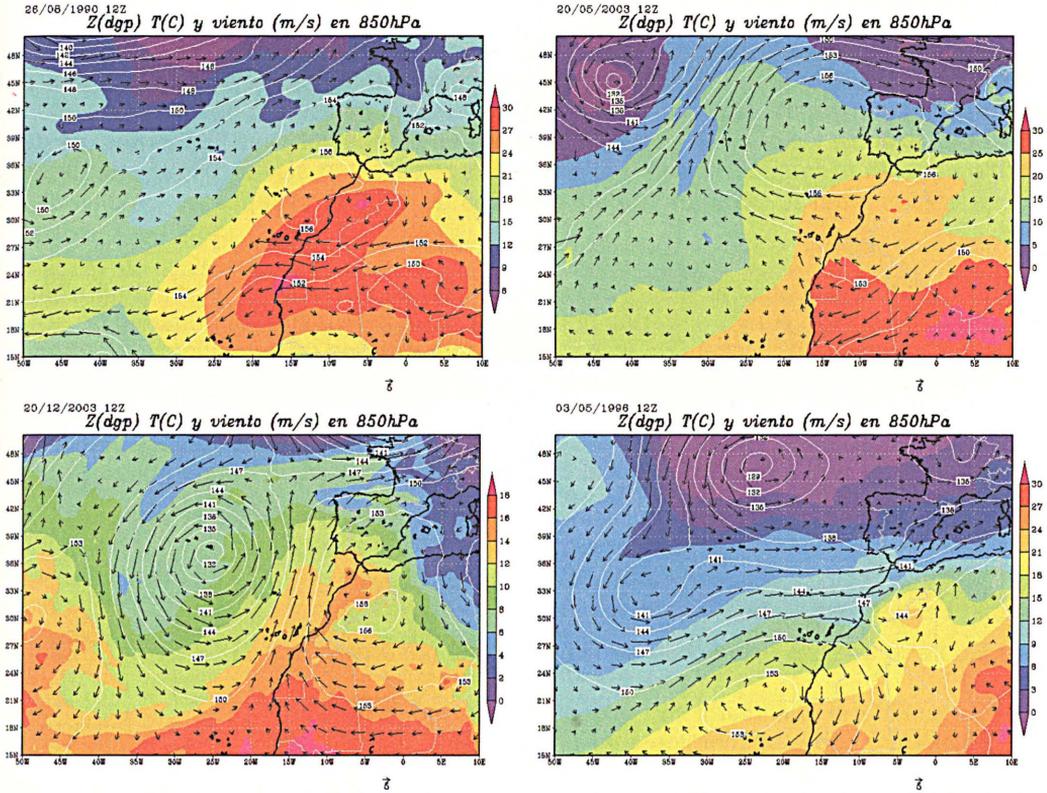


Figura 7. Configuraciones sinópticas de olas de calor en Canarias (a partir de análisis del modelo ECMWF)

Especialmente en invierno y primavera, son frecuentes las borrascas atlánticas en las proximidades de las Azores. En ocasiones se ha observado que éstas acoplan su flujo con el del anticiclón africano para dar lugar a una intensa confluencia de flujos tropical marítimo del SW y continental del SE. Este tipo de situaciones suele extenderse en el tiempo de forma excepcional (hasta 5 días) (figura 7c).

Una configuración menos frecuente es la que tiene lugar cuando se desarrolla un anticiclón al S del archipiélago (7d) quedando éste bajo la acción de su flujo SW. Ocasionalmente la formación de una vaguada al NW refuerza la circulación incrementando la advección cálida y húmeda desde latitudes tropicales.

Las olas de frío en Canarias son escasas (sólo tres episodios en 31 años según el criterio de referencia). Las configuraciones sinópticas bajo las que se desarrollan son aquellas que canalizan de forma eficiente el transporte de masas de aire polar o siberiano sobre Europa hacia el SW. Un potente anticiclón sobre las islas británicas y un centro depresionario en el golfo de Génova durante los meses de invierno suelen ser motor suficiente para provocar descensos inusuales de la temperatura en la España peninsular, pero sólo cuando esta situación se prolonga suficientemente en el tiempo se llega a detectar la advección fría en la latitud de Canarias.

## 6. CONCLUSIONES

A la luz del estudio, parece razonable afirmar que, si bien los episodios cálidos cortos y de poca extensión geográfica (los que no afectan simultáneamente a la totalidad del archipiélago) son y han sido relativamente frecuentes en cualquier época del año, los de mayor persistencia y extensión geográfica parecen ser cada vez más frecuentes. Es destacable también la frecuencia con que estos episodios están siendo observados en los últimos veranos: desde 2004 se han observado 5 de las 6 registradas en los últimos 33 años.

Analizando las situaciones sinópticas de todas las olas de calor que se han encontrado, se han detectado cuatro patrones principales en esta muestra. El aumento de la frecuencia e intensidad en olas de calor, no responde a ninguno de estos tipos de patrones, ya que ninguno de ellos aparece más o menos en los últimos años.

Queda abierto este trabajo para analizar las situaciones sinópticas por estaciones astronómicas, o relajar el criterio de ola de calor (bajando al p90), donde quizás pudiera encontrarse un resultado distinto.

### Referencias:

- Sobre el análisis estadístico de las series de observaciones, R. Sneyers, OMM-Nº 415
- Respuesta al Calentamiento Global en las Series de Santa Cruz e Izaña, Primer Encuentro sobre Meteorología y Atmósfera en Canarias, ISBN 84-8320-251-4, Carlos Almarza, INM
- Impacto de las temperaturas extremas en la salud pública; Julio Díaz Jiménez, Cristina Linares Gil, Ricardo García Herrera; Revista Española de Salud Pública, vol.79 no.2 Madrid Mar./Apr. 2005, ISSN 1135-5727.
- Cambio Climático 2004, Informe de síntesis, Una evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC).
- Cost Action 730 on UTCI, Memorandum of Understanding
- Meteorología de España y Portugal, Inocencio Font-Tullot, Ediciones Universidad de Salamanca, ISBN 8476009442

### Websites:

- <http://www.utci.org/cost.php>
- [http://www.tyndall.ac.uk\(index.shtmlhttp://www.ipcc.ch/](http://www.tyndall.ac.uk(index.shtmlhttp://www.ipcc.ch/)
- <http://www.ipcc.ch/>
- <http://www.wmo.ch>
- [http://www.scielo.org/scielo.php?pid=S1135-57272005000200004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org/scielo.php?pid=S1135-57272005000200004&script=sci_arttext)
- <http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/Kioto/documentacion/pdfs/cambio-climatico-compendio-ruguai.pdf#search=%22persistencia%20olas%20de%20frio%2>