

ANÁLISIS ESPACIOTEMPORAL DE LAS OLAS DE FRÍO EN LA PROVINCIA DE ALICANTE (1947-2016)

David CORELL¹, Adrián REVERT², María José ESTRELA², Juan Javier MIRÓ², Sara ARRIBAS¹, Raquel NICLÓS¹ y M. Yolanda LUNA³

¹*Departamento de Geografía. Universidad de Valencia.*

²*Departamento de Física de la Tierra y Termodinámica. Universidad de Valencia.*

³*Departamento de Desarrollo y Aplicaciones. Agencia Estatal de Meteorología.*

david.corell@uv.es, majoesna@uv.es

RESUMEN

Este estudio analiza las olas de frío en la provincia de Alicante durante el periodo 1947-2016, utilizando el test de Mann-Kendall para detectar tendencias mediante la definición de ola de frío de AEMET. Durante los 70 años analizados se registraron 93 olas de frío, acumulando 465 días bajo esta situación. Aunque para todo el periodo no se detecta una tendencia significativa, el análisis por subperiodos revela un descenso significativo entre 1947-1981 y un aumento significativo desde 1982. Las olas de frío más duraderas se concentran antes de 1990, destacando el episodio de febrero de 1956 (15 días). Sin embargo, también se han registrado eventos significativos en décadas recientes, como el de febrero de 2012 (12 días). La duración media ha disminuido desde 6 días en las primeras décadas hasta menos de 4,5 días en las más recientes. En cuanto a la intensidad, no se observa una tendencia clara, registrándose las temperaturas más bajas (-17°C) en 2006. El análisis espacial muestra tendencias significativas en el 42 % de los observatorios, con un patrón diferenciado: descenso de días fríos en zonas litorales y de montaña, mientras que las llanuras y valles del interior muestran una tendencia hacia el incremento. Estos resultados sugieren la importancia de los factores topográficos en la distribución de las temperaturas extremas y corroboran algunas de las conclusiones de los últimos informes del IPCC, que señalan que el calentamiento global no solo incrementa los valores medios de temperatura sino también su variabilidad, manteniendo la posibilidad de eventos fríos extremos.

Palabras clave: ola de frío, eventos extremos, tendencias, cambio climático, impactos.

ABSTRACT

This study analyses cold waves in the province of Alicante during the period 1947-2016, using the Mann-Kendall test to detect trends and applying the AEMET cold wave definition. During the 70 years analysed, 93 cold waves were recorded, accumulating 465 days under this situation. Although no significant trend is detected for the whole period, the analysis by sub-periods reveals a significant decrease between 1947-1981 and a significant increase since 1982. The longest lasting cold waves are concentrated before 1990, with the episode of February 1956 (15 days)

standing out. However, significant events have also been recorded in recent decades, such as in February 2012 (12 days). The average duration has decreased from 6 days in the first decades to less than 4,5 days in recent decades. In terms of intensity, no clear trend is observed, with the lowest temperatures (-17°C) recorded in 2006. Spatial analysis shows significant trends in 42 % of the observatories, with a differentiated pattern: decreasing cold days in coastal and mountain areas, while inland plains and valleys show an increasing trend. These results suggest the importance of topographic factors in the distribution of extreme temperatures and corroborate some of the conclusions of the latest IPCC reports, which indicate that global warming not only increases average temperature values but also their variability, maintaining the possibility of extreme cold events.

Key words: cold wave, extreme events, trends, climate change, impacts.

1. INTRODUCCIÓN

La acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera está provocando un incremento de la temperatura global del planeta sin precedentes desde que se tienen registros instrumentales. Ello ha promovido que la comunidad científica centre sus investigaciones en analizar el impacto que este ascenso térmico está causando o puede producir en el futuro sobre nuestro planeta, siendo esta línea de investigación imprescindible para predecir el devenir de la sociedad actual.

No obstante, el calentamiento global no sólo se está traduciendo en un progresivo desplazamiento de los valores de tendencia central de temperatura (media, mediana, etc.) hacia valores más elevados, sino que también está causando un incremento de la varianza, de modo que, aunque los valores extremos se incrementan notablemente en el caso de los valores cálidos, siguen produciéndose valores extremos fríos (Martín Vide et al., 2008). A modo de ejemplo, Sigró et al. (2008), en un estudio sobre el área mediterránea de la Península Ibérica, determinó que entre los años 1901 y 2005 se produjo una disminución más notable de la frecuencia de días fríos, determinados por el percentil del 10 % (P10), que de días muy fríos (determinados por el percentil del 2 % (P02)), siendo a su vez más significativa la disminución de las máximas bajas ($-8,8$ días/año) que de las mínimas bajas ($-5,7$ días/año). Los resultados de dicho estudio coinciden con algunas de las conclusiones de los últimos informes del IPCC (IPCC, 2023) que indican que los valores muy fríos (extremos) no están disminuyendo tanto como los fríos (extremos moderados), por lo que el riesgo de que sigan apareciendo situaciones de ola de frío sigue existiendo en la actualidad, a pesar del calentamiento global.

Un ejemplo que corrobora lo mencionado anteriormente podría ser lo acontecido en el centro peninsular tras el paso de la borrasca Filomena en enero de 2021. Durante dicho episodio de frío extremo, el tiempo anticiclónico posterior a las fuertes nevadas favoreció unas temperaturas mínimas extremadamente bajas en el interior peninsular. Unido a ello, el albedo de la nieve también tuvo un impacto sobre las temperaturas registradas, ya que redujo el calentamiento diurno y agudizó el enfriamiento nocturno de las noches despejadas. Esto se tradujo en mínimas inferiores a -25°C en algunos municipios de Teruel y Guadalajara (AEMET, 2021). En la Comunidad Valenciana,

los valores más fríos se alcanzaron en el interior de Castellón, donde se registraron -26,1 °C en Vistabella del Maestrazgo y -25,2 °C en El Toro (AVAMET, 2021). Los registros mencionados alcanzaron, si no récords históricos de temperatura mínima, valores muy próximos a ellos.

Por todo ello, el objetivo fundamental de este trabajo es analizar la evolución de las olas de frío en la provincia de Alicante durante un periodo de 70 años (1947-2016), a partir de datos de observación en superficie procedentes de una densa red de estaciones meteorológicas. Para ello, se analiza la evolución temporal, la duración, la intensidad y la afección espacial de las olas de frío.

2. MÉTODOS

2.1. Área de estudio

Se ha seleccionado la provincia de Alicante, situada al sudeste de la Península Ibérica, como área de estudio (figura 1). Se trata de un área, bañada por el mar Mediterráneo por el este, que posee un relieve abrupto en la parte norte y noroeste, con altitudes que alcanzan los 1500 m. Las importantes diferencias de altitud condicionan contrastes térmicos en la temperatura media anual y la orientación del relieve condiciona grandes contrastes en las precipitaciones. El clima del ámbito de estudio es mayormente mediterráneo. Se trata de un clima subtropical, caracterizado por inviernos moderados y veranos calurosos, y por poseer un periodo seco durante el verano. Con respecto a las temperaturas, existe un marcado contraste entre las tierras del litoral y sur de la provincia, y las del interior. En el litoral los inviernos son suaves y los veranos cálidos, con medias anuales alrededor de los 18 °C. En el interior, oscilan entre 13 y 15 °C debido a inviernos más fríos, con heladas nocturnas, y a veranos más suaves. El sector del Alt Vinalopó, más alejado del mar, es una zona de transición hacia la meseta, con una mayor continentalidad y un importante número de heladas.

2.2. Base de datos

Para este estudio, se ha utilizado los datos de observación en superficie de 92 estaciones meteorológicas distribuidas a lo largo de la provincia de Alicante (figura 1) gestionadas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) y el Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM). Todos los datos han sido sometidos a un proceso de homogenización y relleno de datos faltantes, según la metodología descrita por Miró et al. (2015), lo que ha permitido disponer de series completas de temperatura mínima del periodo 1947-2016 (70 años) en todos los observatorios empleados.

2.3. Definición de Ola de frío

Para la identificación de los episodios de ola de frío se ha utilizado la definición de AEMET (2018), que establece que una ola de frío es “un episodio de al menos tres días consecutivos, en que como mínimo el 10 % de las estaciones consideradas registran mínimas por debajo del percentil del 5 % (P05) de su serie de temperaturas mínimas diarias de los meses de enero y febrero del periodo 1971-2000”.

En base a esta definición, en primer lugar, se ha calculado el P05 de la temperatura mínima de enero y febrero del periodo 1971-2000 para cada una de las 92 estaciones meteorológicas. Posteriormente, se han identificado todas las olas de frío del periodo 1947-2016, teniendo en cuenta todas aquellas situaciones en las que el 10 % de las estaciones consideradas registraron mínimas inferiores a dicho percentil durante un mínimo de tres días consecutivos. Teniendo en cuenta que algunas olas de frío se han desarrollado en dos meses o años diferentes, se ha considerado asignar estas olas al mes o año en que terminaron.

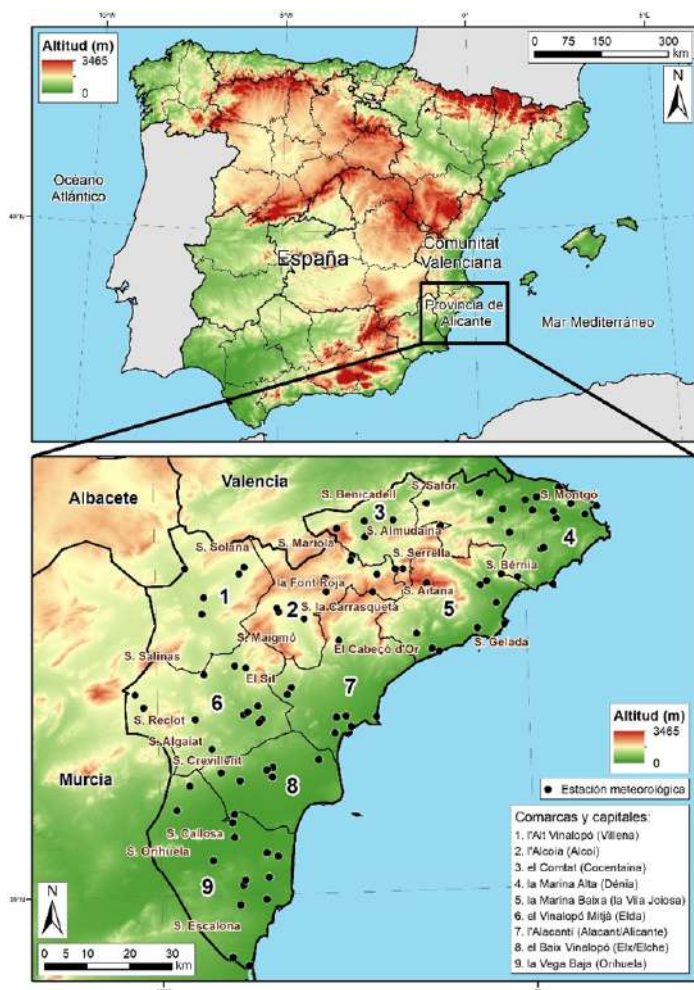


Fig. 1: Área de estudio. Los puntos de color negro representan las estaciones meteorológicas utilizadas. Fuente: elaboración propia.

2.4. Métodos estadísticos utilizados

Para determinar la presencia de tendencias estadísticamente significativas de la serie, se aplicó la prueba de tendencias de Mann-Kendall (Kendall, 1962; Mann, 1945) para los niveles de significación estadística $\alpha = 0,1$, $\alpha = 0,05$ y $\alpha = 0,01$. Esta prueba resulta particularmente apropiada para detectar tendencias monótonas en series de datos meteorológicos, ya que no requiere que los datos sigan una distribución específica ni es sensible a valores atípicos. A su vez, se ha calculado la estimación de pendiente de Sen (Gilbert, 1987), que proporciona una cuantificación fiable de la magnitud del cambio temporal sin verse afectada por valores puntuales muy anómalos. Ambas pruebas son herramientas estadísticas robustas y ampliamente aceptadas y utilizadas en el análisis de datos climáticos. Para la realización de estos cálculos se utilizó la herramienta informática MAKESENS 1.0 (Salmi et al. 2002).

3. RESULTADOS

En total, se han registrado 93 olas de frío en la provincia de Alicante en los 70 años analizados que transcurren entre 1947 y 2016, lo que supone un promedio anual de 1,3 olas de frío. Ello ha supuesto que el área de estudio ha permanecido 465 días bajo esta situación de frío extremo.

La figura 2 representa el número anual de días que han sido catalogados como “ola de frío” en el área analizada. Como se puede observar, tanto en los primeros años del periodo analizado (1954, 1956 y 1965), como en la década más reciente (2005, 2010 y 2012), se han registrado años con al menos 18 días de ola de frío. Durante el resto de años analizados, no se han superado los 13 días con presencia de ola de frío. Es también reseñable que en 15 de los 70 años no se computó ningún día con ola de frío, destacando el periodo de 3 años consecutivos comprendido entre 1975 y 1977, con ausencia de este fenómeno. A su vez, la figura muestra una tendencia plana (línea discontinua), lo que indica que no se observa una variación en el número anual de días con ola de frío a lo largo del tiempo. El test de Mann-Kendall, el cual no se muestra en la figura, confirma que no existe tendencia estadísticamente significativa.

Sin embargo, al dividir la muestra en dos periodos de 35 años, 1947-1981 y 1982-2016 y se calcula la media móvil de 5 años para cada uno de los años analizados, los resultados varían (figura 3). Durante el primer periodo analizado, se observa una tendencia al descenso del número anual de días con ola de frío, la cual es estadísticamente significativa al 95 %. Durante los primeros años de la serie, los promedios se situaban próximos a 14 días, descendiendo con el tiempo, en primer lugar, hasta valores entre 8-10 días, y, finalmente, por debajo de 6 días. Por el contrario, el periodo más reciente muestra una tendencia positiva, estadísticamente significativa al 90 %, lo que indica que, desde principios de los años 80, el número de días con ola de frío ha aumentado. Como se puede apreciar, durante los años 80 el promedio de días con ola de frío se encontraba próximo a 6 días, mientras que en los últimos años analizados se han registrado valores próximos a 10 días.

La figura 4 recoge, para cada década del periodo analizado, la duración media de las olas de frío, así como la temperatura mínima promediada de todos los observatorios afectados. Con respecto a la duración de las olas de frío (línea discontinua de la figura), se observa que ha disminuido con el paso del tiempo. Las olas de frío más

largas fueron registradas en las primeras décadas del periodo y tuvieron una duración, en promedio decadal, de entre 5 y 6 días por cada ola de frío. Este valor se ha ido reduciendo con el paso del tiempo y en las décadas más recientes, es inferior a 4,5 días. Sin embargo, al analizar la intensidad de las olas de frío a partir de la temperatura mínima, en promedio, de todos los observatorios afectados en cada ola de frío, no se observa que se hayan producido cambios, mostrando la gráfica una forma de dientes de sierra, alternando décadas con olas de frío más frías con otras con temperaturas más elevadas (figura 4, línea continua). De entre todas las décadas, destaca la comprendida entre 1997 y 2006, en la que se ha registrado el valor promedio más bajo, con una temperatura mínima media de 0,5 °C.

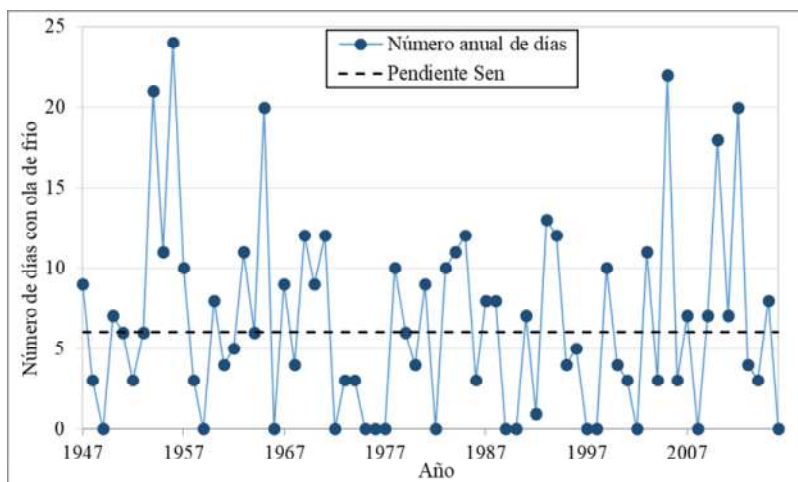


Fig. 2: Número anual de días con ola de frío en la provincia de Alicante durante el periodo 1947-2016. La línea discontinua muestra la tendencia calculada mediante el estimador de pendiente de Sen.

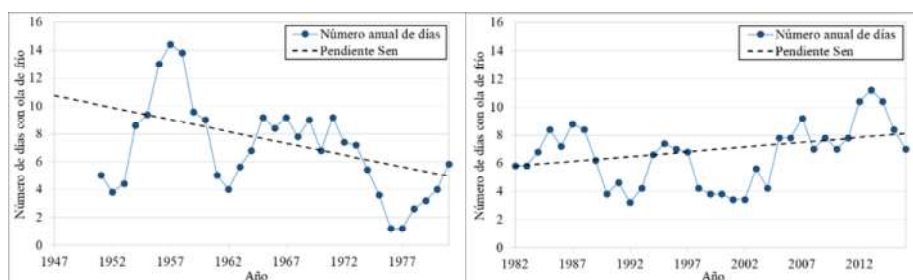


Fig. 3: Número anual de días con ola de frío (media móvil de 5 años) en la provincia de Alicante durante los periodos 1947-1981 (izquierda) y 1982-2016 (derecha). La línea discontinua muestra la tendencia calculada mediante el estimador de pendiente de Sen.

En cuanto a su persistencia temporal, la tabla 1 recoge las 12 olas de frío de más de 9 días de duración. La ola de frío de mayor extensión temporal se registró entre los días

9 y 23 de febrero de 1956 y duró 15 días, afectando en alguno de ellos al 100 % de las estaciones analizadas y con una temperatura mínima absoluta de $-16,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que indica la intensidad de la misma. La mayor parte de estas olas de frío tan persistentes han sido registradas con anterioridad a la década de los 90, aunque en décadas recientes también han estado presentes. Ejemplo de ello es la ola de frío registrada entre el 8 y el 19 de febrero de 2012, que duró 12 días. En cuanto a la intensidad, cabe destacar que las dos olas de frío que han registrado los valores más bajos de temperatura mínima absoluta han tenido lugar en la década de los 2000. En concreto, durante la ola de frío registrada entre el 25 de enero y el 2 de febrero de 2005 se alcanzó una temperatura de $-16,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en alguno de los observatorios, mientras que en la observada entre los días 28 y 30 de enero de 2006, el termómetro llegó hasta $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ (esta ola de frío no aparece en la tabla 1 ya que su duración fue de solo 3 días).

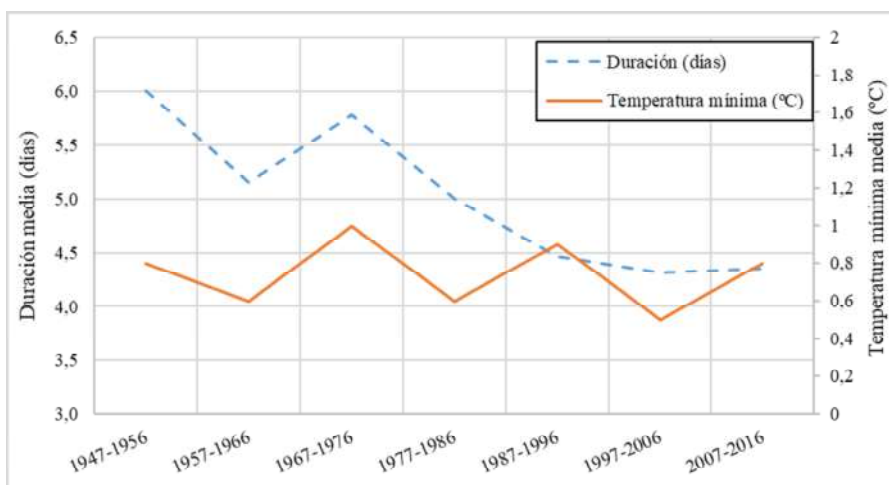


Fig. 4: Duración media (línea discontinua) de las olas de frío y temperatura mínima diaria media (línea continua) registrada por todos los observatorios afectados en cada ola de frío computada, agrupados por décadas.

La figura 5 muestra, para cada observatorio, la tendencia, durante el periodo 1947-2016, del número anual de días cuya temperatura mínima ha sido inferior a P05 de su serie de temperaturas mínimas diarias. En ella se aprecia que, en 39 de los 92 observatorios, se ha detectado una tendencia estadísticamente significativa, lo que supone el 42 % del total de estaciones analizadas. A su vez, se observa que los observatorios que muestran una tendencia negativa, es decir, un descenso del número anual de días por debajo del P05, se sitúan principalmente en zonas litorales (sobre todo entre l'Alacantí y el sur de la Marina Alta) y en zonas de montaña. Por el contrario, la mayor parte de los 15 observatorios en los que se ha detectado una tendencia al incremento de este tipo de días fríos se localizan en llanuras y valles del prelitoral e interior (el Vinalopó, el Comtat, los valles de la Marina Alta, etc).

Inicio dd/mm/aa	Final dd/mm/aa	Dura- ción (días)	Día extensión espacial máxima dd/mm/aa	Extensión espacial máxima (%)	Día más frío dd/mm/aa	Temp. mín. absoluta día más frío (°C)
09/02/56	23/02/56	15	13/02/56	100,0	11/02/56	-16,0
23/12/70	05/01/71	14	02/01/71	97,8	01/01/71	-12,9
01/01/54	13/01/54	13	10/01/54	76,1	10/01/54	-9,8
06/01/85	17/01/85	12	10/01/85	100,0	07/01/85	-12,7
08/02/12	19/02/12	12	12/02/12	98,9	12/02/12	-10,3
27/01/63	06/02/63	11	03/02/63	97,8	03/02/63	-9,1
12/01/57	21/01/57	10	17/01/57	98,9	17/01/57	-10,0
08/02/83	17/02/83	10	14/02/83	98,9	13/02/83	-13,1
25/01/47	02/02/47	9	27/01/47	72,8	27/01/47	-10,0
14/02/53	19/02/53	9	16/02/53	75,0	16/02/53	-7,8
11/12/67	19/12/67	9	13/12/67	97,8	12/12/67	-11,1
25/01/05	02/02/05	9	27/01/05	100,0	28/01/05	-16,5

Tabla 1: Olas de frío de mayor duración registradas en la provincia de Alicante entre los años 1947 y 2016. Fuente: elaboración propia.

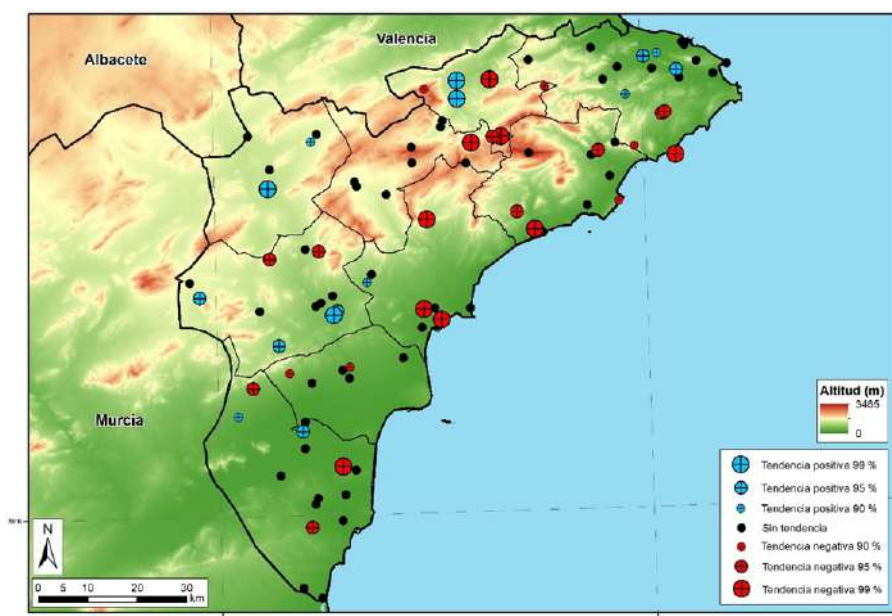


Fig. 5: Distribución espacial de la tendencia (1947-2016) en el número de días anuales con temperatura mínima inferior al percentil del 5% de la serie de temperaturas mínimas diarias de los meses de enero y febrero de cada observatorio y del periodo 1971-2000, en la provincia de Alicante. Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en relación al número de olas de frío en la provincia de Alicante durante el periodo 1947-2016 muestran un promedio de 1,3 olas de frío anuales y un total de 465 días bajo esta situación en 70 años e indican que, si bien estos eventos son relativamente poco frecuentes, constituyen un fenómeno climático relevante en la zona de estudio.

El análisis temporal revela una ausencia de tendencia significativa en el número total de días con ola de frío durante todo el periodo. Sin embargo, el estudio por subperiodos muestra una evolución más compleja: una tendencia decreciente estadísticamente significativa en 1947-1981, seguida de una tendencia positiva en 1982-2016. Este dato puede llamar la atención, ya que, la década de los 70, coincide con la época de mayor anomalía negativa de la temperatura media registrada en la Comunidad Valenciana en las últimas décadas (AEMET, 2022). Sin embargo, ello se debe a que, en dicha década, la anomalía negativa de la primavera, el verano y el otoño fue mucho más acusada que la registrada los meses invernales, los más propensos a las olas de frío.

Un resultado destacable del estudio indica la disminución de la duración de las olas de frío. Durante las primeras décadas, las olas de frío tenían una duración aproximada de 6 días, mientras que en épocas recientes este número ha descendido a valores alrededor de 4,5 días. Sin embargo, episodios como el registrado en febrero de 2012 de 12 días de duración, indican que, a pesar de la reducción en la duración media, la variabilidad natural del clima sigue permitiendo la ocurrencia de eventos persistentes. La disminución en su duración media contrasta con el mantenimiento de su intensidad, como demuestra la alternancia de décadas con olas más o menos frías sin una tendencia clara. Este mantenimiento de la intensidad se confirma con el registro de las temperaturas más bajas del periodo (-17°C) en años recientes (2006) y reafirman algunas de las conclusiones de Sigró et al. (2008) y de los últimos informes del IPCC (IPCC, 2023).

El análisis espacial de tendencias señala el incremento del número de días con ola de frío en zonas de valle y llanuras prelitorales e interiores (dependientes de las inversiones térmicas para registrar sus mínimas más bajas), mientras que las zonas litorales y de alta montaña (dependientes de las advecciones frías para registrar sus mínimas más bajas), han mostrado tendencias al descenso. Los resultados de Miró et al. (2015) refuerzan nuestros hallazgos sobre la variabilidad térmica a escala local en la provincia de Alicante: pese al calentamiento global generalizado, las temperaturas mínimas invernales han descendido en valles y llanuras interiores, áreas propensas a inversiones térmicas bajo condiciones anticiclónicas, mientras se incrementan en zonas elevadas y fuera de las depresiones.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto de investigación PID2020-118797RB-I00 financiado por MCIN/ AEI /10.13039/501100011033 (Ministerio de Ciencia e Innovación), y del proyecto de investigación PROMETEO/2021/016 financiado por la Conselleria d'Innovació, Universitats, Ciència i Societat Digital de la Generalitat Valenciana.

REFERENCIAS

- AEMET-Agencia Estatal de Meteorología (2018): Olas de frío en España desde 1975. Recuperado de: http://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/estudios/Olas_frio/Olas_Frio_ActualizacionOct2018.pdf. Última consulta el 22/10/2024.
- AEMET-Agencia Estatal de Meteorología (2021). Los récords de frío tras la borrasca Filomena y el calentamiento global (2021). Recuperado de <https://aemetblog.es/2021/01/12/los-records-de-frio-tras-la-borrasca-filomena-y-el-calentamiento-global/>. Última consulta el 22/10/2024.
- AEMET-Agencia Estatal de Meteorología (2022). Anomalía de la temperatura media anual en España (1950-2022). Recuperado de https://x.com/AEMET_CValencia/status/1605554836463820800. Última consulta el 22/10/2024.
- AVAMET-Asociación Valenciana de Meteorología (2021). Temperaturas mínimas en la Comunidad Valenciana el 12/01/2021. Recuperado de <https://www.avamet.org/mx-meteoxarxa.php?id=2021-01-12>. Última consulta el 22/10/2024.
- Gilbert, R.O. (1987). Statistical methods for environmental pollution monitoring. Van Nostrand Reinhold.
- IPCC-Panel Intergubernamental del Cambio Climático (2023). Sexto informe de síntesis sobre cambio climático. Recuperado de https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf. Última consulta el 22/10/2024.
- Kendall, M. (1962). Rank Correlation Methods. Charles Griffin Book Series.
- Mann, H.B. (1945). Nonparametric test against trend. *Econometrica*, 13, 245–259. <https://www.jstor.org/stable/1907187>.
- Martín Vide, J., Olcina, J., Estrela M.J. (2008). Cambio climático y riesgos en el área mediterránea. En Estrela M.J. (Ed.), *Riesgos climáticos y cambio global en el Mediterráneo español ¿Hacia un clima de extremos?* (pp. 15-25). Colección Interciencias, Centro Francisco Tomás y Valiente UNED Alzira-Valencia, CEAM.
- Miró, J.J., Estrela, M.J., Olcina Cantos, J. (2015). Statistical downscaling and attribution of air temperature change patterns in the Valencia region (1948–2011). *Atmos Res*, 156, 189-212. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.01.003>.
- Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., Amnell, T. (2002). Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutants by the Mann-Kendall Test and Sen's Slope Estimates–The Excel Template Application MAKESENS. En *Publications on Air Quality*, 31.
- Sigró, J., Brunet, M., Aguilar, E., Saladié, Ó. (2008). Variaciones temporales en los índices de extremos térmicos en el patrón SEES (South-Eastern and Eastern Spain) de la red SDATS (Spanish Daily Adjusted Temperature Series). En Estrela M.J. (Ed.), *Riesgos climáticos y cambio global en el Mediterráneo español ¿Hacia un clima de extremos?*, Valencia (pp. 77-95). Colección Interciencias, Centro Francisco Tomás y Valiente UNED Alzira-Valencia, CEAM.