

EVENTOS TÉRMICOS Y PLUVIOMÉTRICOS MÁXIMOS EXTREMOS EN LA ISLA DE EL HIERRO

Damián CABALLERO FERNÁNDEZ¹, Ferran SALVADOR FRANCH¹ y
Montserrat SALVÀ CATARINEU¹

1 Departament de Geografia, Universitat de Barcelona

damian.caballero@ub.edu, fsalvador@ub.edu, salva@ub.edu

RESUMEN

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) evidencia un incremento en la frecuencia e intensidad de extremos climáticos y meteorológicos.

El presente trabajo tiene como objetivo principal analizar los eventos térmicos y pluviométricos máximos extremos acontecidos en El Hierro, así como comprobar si estos han presentado algún tipo de tendencia.

El método empleado ha consistido en el uso de percentiles, aplicación del test de Mann-Kendall, estimación de la intensidad máxima de precipitación horaria y el cálculo de SPI, índice de precipitación estandarizado para diversos periodos.

El estudio sobre tendencias climáticas recientes nos ha mostrado un patrón claro en lo relativo a las temperaturas con un aumento sostenido del promedio de las máximas y unas anomalías positivas de las mismas muy marcadas durante este último siglo. Se ha observado un incremento notable en la frecuencia de episodios cálidos, además de cambios destacables en su distribución a lo largo del año. La irrupción de días de verano ($\geq 25^{\circ}\text{C}$) también han mostrado un aumento destacable.

Las precipitaciones totales no han presentado una tendencia concluyente, salvo un incremento en la frecuencia de las precipitaciones fuertes, un aumento muy significativo de lluvia en verano y un descenso destacable del total durante la última década en invierno.

Los resultados obtenidos nos han permitido comprender los mecanismos inductores de precipitaciones torrenciales en la isla así como conocer la situación atmosférica reponsable de temperaturas muy elevadas en El Hierro.

Palabras clave: extremos meteorológicos, máximos extremos térmicos, máximos extremos pluviométricos, cambio climático, tendencias.

ABSTRACT

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) evidences an increase in the frequency and intensity of climatic and meteorological extremes.

The main purpose of this paper is to analyze the extreme maximum thermal and rainfall phenomena in El Hierro, as well as checking if there has been any climatic trend.

The methodology has been the use of the percentiles, the use of the Mann Kendall test, the estimation of the maximum intensity of hourly precipitation, and the SPI, standardized precipitation index has been calculated for various periods.

The study of recent climatic trends has shown us a clear pattern in terms of temperatures with a sustained increase in the average of the maxima and some positive anomalies of the same very marked during this last century. A significant increase in the frequency of heat episodes was observed and significant changes in their distribution throughout the year. Summer days have shown a significant rise ($\geq 25^{\circ}\text{C}$). Total precipitation has not shown a conclusive trend, except for a increase in the frequency of heavy rainfall, a very significant increase in rainfall in summer, and a notable decrease in the total during the last decade in winter.

The results us to understand how torrential rains triggered on the island and know the situation that made very high temperatures in El Hierro.

Keywords: meteorological extremes, maxim thermal extremes, maxim pluviometric extremes, climate change, trends.

1. INTRODUCCIÓN

Conocer pormenorizadamente aquellos eventos meteorológicos y climáticos extremos tienen una gran relevancia. No debemos obviar que la población humana es muy susceptible ante cualquier cambio en el clima (López-Abente et al., 2004).

Las evidencias sobre la existencia de un cambio climático global son múltiples (Dorta et al., 2018; IPCC, 2020) Por este motivo los estudios centrados en investigar episodios meteorológicos infrecuentes o que exploren tendencias climáticas adquieren una gran significancia. Trabajos de esta temática, presentan una relevancia notable en nuestra área de interés, puesto que se trata de un territorio históricamente poco abordado (Salvà Catarineu et al., 2015, 2016).

1.1 Caracterización del área de estudio

El Hierro es la isla más occidental y reciente de todo el archipiélago canario. Se localiza entre las coordenadas $27^{\circ}38'$ - $27^{\circ}50'$ N y $17^{\circ}53'$ - $18^{\circ}09'$ O (figura 1) y se caracteriza por su notable singularidad bioclimática (Salvà-Catarineu et al., 2016).

En el territorio predomina la estabilidad atmosférica, con régimen de alisios y marcada inversión térmica. Esta inversión es la responsable de la formación de la nubosidad baja y estratiforme en el norte de la isla.

A finales de otoño, invierno y comienzos de primavera, el clima isleño varía significativamente. El anticiclón de las Azores suele desplazarse hacia el sur y el oeste y de manera puntual diversos frentes y bajas afectan al territorio (Morales Matos & Pérez González, 2000).

2. MÉTODOS

2.1 Control de calidad de los datos meteorológicos y climatológicos

Para el presente estudio se han empleado ocho estaciones pertenecientes a la Agencia Estatal de Meteorología, AEMET (figura 1 y tabla 1). Estos observatorios cubren un periodo de tiempo que abarca desde el año 1945 hasta el 2020. Algunas de las mismas ya no se encuentran operativas, aunque sus datos siguen siendo de gran interés.

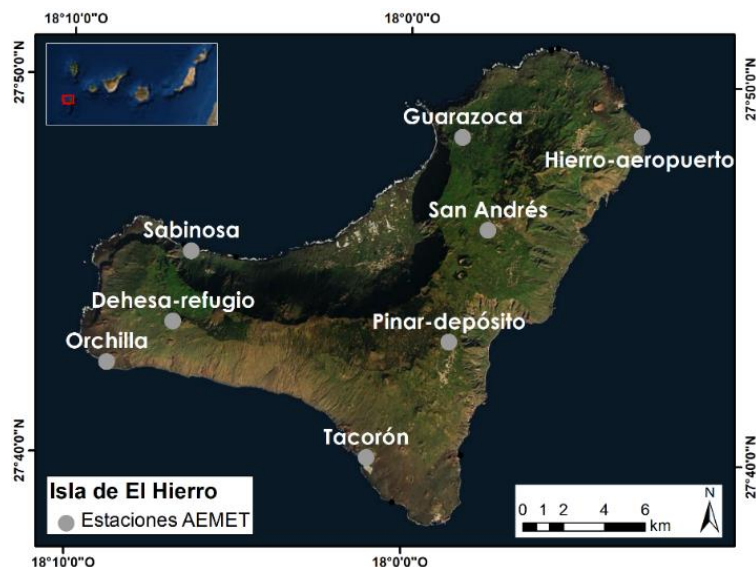


Figura 1. Localización de las estaciones. Fuente: elaboración propia con ArcGIS.

Estación	Altitud (m)	Coordenadas geográficas	Serie utilizada
El Hierro-aeropuerto	32	27°48'40" N 17°53'4" O	1975-2020
San Andrés	1070	27°46'6" N 17°57'35" O	2010-2018
Guarazoca	585	27°48'33" N 17°58'24" O	1949-1993
Pinar-depósito	948	27°43'8" N 17°58'40" O	2010-2018
Tacorón	98	27°40'1" N 18°1'3" O	2010-2018
Sabinosa	20	27°45'22" N 18°6'24" O	2010-2018
Dehesa-refugio	713	27°43'30" N 18°6'54" O	2010-2018
Orchilla	108	27°42'23" N 18° 8'50" O	1945-1993

Tabla 1. Datos básicos de las estaciones empleadas.

A los datos termo-pluviométricos disponibles se les aplicó dos test de homogeneidad, el de Von Neuman (1941) y el SNHT (*Standard Normal Homogeneity Test*) de Alexandersson et al. (1986), empleando el software Xlstat (Kocsis et al., 2019). Aunque con resultados algo dispares, estos mostraron una aceptable homogeneidad a un nivel de confianza del 95% (tablas 2 y 3).

Estaciones	Test de Von Neuman	Test SNHT
El Hierro-aeropuerto	0,448	0,454
Orchilla	0,001	0,024
Guarazoca	0,005	0,112
Sabinosa	0,008	0,001

Tabla 2. P-value de los registros pluviométricos. En negrita los registros no homogéneos.

En la estación de Sabinosa (tabla 2), la cual aporta problemas de homogeneidad, se efectuó una estimación de la precipitación del día analizado con Climatol (Guijarro, 2019).

Estaciones	Test de Von Neuman	Test SNHT
El Hierro-aeropuerto	0,991	0,859
Sabinosa	0,942	0,751
San Andrés	0,542	0,317
Dehesa refugio	0,112	0,008
Pinar depósito	0,750	0,736
Tacorón	0,315	0,796

Tabla 3. P-value de los datos térmicos máximos. En negrita, datos no homogéneos.

En el caso de que algún observatorio presentase datos incoherentes como en Orchilla, se verificó que la magnitud registrada en el día estudiado fuese coherente con la situación atmosférica y con los registros obtenidos en estaciones circundantes (Lakhraj-Govender et al., 2017; Pérez González et al., 2009).

En el contexto del análisis de situaciones meteorológicas singulares, no se tuvo en cuenta la cantidad de lagunas de información existentes, presentando los observatorios un porcentaje inferior al 20% de registros totales ausentes.

Las estaciones que presentan registros largos y continuados, como la de Guarazoca o la de El Hierro-aeropuerto, se efectuó un control de calidad más riguroso. Además de realizar los test de homogeneidad y una identificación de datos anómalos, se comprobaron sus lagunas de información. En el caso de que fuera necesario, se efectuaron rellenos de datos faltantes.

Los registros pluviométricos de la estación de El Hierro-aeropuerto arrojó un resultado de gran calidad. En el caso de Guarazoca, esta presentó una ausencia de totales pluviométricos reducida. La cantidad de datos faltantes fue de un 1,08%. Para completar los registros de la estación se empleó Climatol (Guijarro, 2019).

En lo concerniente a las temperaturas máximas diarias registradas, únicamente se tuvo en cuenta la estación de El Hierro-aeropuerto, por ser el único observatorio con una serie larga y sin demasiados datos ausentes. Los resultados fueron también de una gran calidad, disponiendo de un 99,86% de los datos. En este caso, al encontrarnos ante una variable de naturaleza continua y presentar unas ausencias de distribución aleatoria, se decidió que no era preciso efectuar relleno de lagunas, cumpliendo con lo establecido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2017).

2.2 Tratamiento de datos meteorológicos y climatológicos

Con la finalidad de discernir episodios infrecuentes, se calculó el percentil 95 de las temperaturas máximas diarias y el percentil 99 de los registros pluviométricos totales diarios (Mahbod & Rafiee, 2021). De entre todos estos se seleccionaron aquellos más repetitivos, representativos y sobresalientes entre las diversas estaciones.

Tras este primer análisis, se decidió estudiar en el caso de las precipitaciones acumuladas diarias el día 27 de febrero de 1988 y, de las temperaturas máximas el día 17 de julio de 2012.

Con los registros climáticos se efectuó un estudio de tendencias. Se investigaron, con especial énfasis, el comportamiento que han presentado las precipitaciones extremas, considerando como tales los eventos de precipitaciones fuertes, $15 < I \leq 30$ mm/h; muy fuertes, $30 < I \leq 60$ mm/h; y torrenciales, $I > 60$ mm/h. Para ello se estimaron

las intensidades máximas horarias de precipitación, a partir del dato diario, empleando la siguiente fórmula (Sánchez, 2008):

$$I_t = I_d \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{3,5287 - 2,5287 \cdot t^{0.1}}$$

Donde t es el periodo de tiempo (horas) para el que se quiere evaluar la intensidad; I_t la intensidad media en el periodo t ; I_d intensidad media diaria e I_1 intensidad media en la hora más lluviosa del día.

Asimismo, se calculó para ambas estaciones su correspondiente índice de precipitación estandarizado (SPI) empleando para ello el paquete SPEI de *RStudio* (Ariyanto et al., 2020).

Este mismo análisis de tendencias se realizó a las temperaturas máximas, buscando conocer, prioritariamente, la pauta que han presentado los episodios cálidos en la isla. No ha sido posible evaluar las olas de calor existentes debido a que esto requeriría analizar los registros de otras islas, excediendo las limitaciones del presente trabajo. Con el fin de conocer la significancia de la tendencia de cada una de las variables se empleó el test de Mann Kendall a una confianza del 95% (Mann, 1945; Kendall, 1975).

3. RESULTADOS

3.1 Estudio días significativos: 27 de febrero de 1988 y 17 de julio de 2012

El día 27 de febrero de 1988 se registraron precipitaciones torrenciales en la isla (figura 2a). La situación del día 17 de julio de 2012 se caracterizó por la irrupción de de una masa de aire muy cálida (figura 2b).

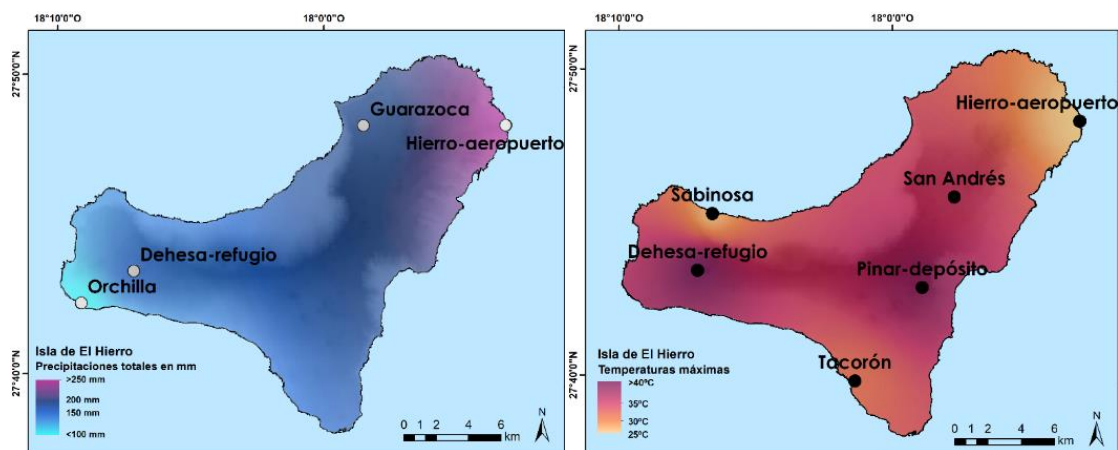


Figura 2a y 2b. A la izquierda, precipitaciones totales registradas el día 27 de febrero de 1987, a la derecha, temperaturas máximas del día 17 de julio de 2012.

Fuente: elaboración propia con ArcGIS.

3.2 Configuración atmosférica del día 27 de febrero de 1988

La situación sinóptica de este día se singularizó por la presencia de un potente anticiclón al oeste de Irlanda. Se produjo un bloqueo en omega que provocó el

desalojo de una masa de aire muy fría y seca y polar continental, sobre buena parte del continente europeo. La circulación en el continente es claramente retrógrada.

Las islas occidentales del archipiélago canario se encontraron afectadas por una DANA que paulatinamente se fue fusionando con la baja mediterránea en retrogradación. Dicha depresión tuvo presencia en altura y se encontró reforzada por la masa de aire fría europea.

Asimismo, durante ese día irrumpieron grandes cantidades de humedad específica, relativa y de agua disponible precipitable, a todos los niveles, incidiendo con especial énfasis en la isla de El Hierro (figura 3). Todos los factores atmosféricos expuestos con anterioridad, propiciaron y ofrecieron las condiciones idóneas para la formación de un notable sistema convectivo de mesoscala, responsable de las precipitaciones torrenciales en la isla (figura 3). La accidentada orografía del territorio también contribuyó al incremento de las precipitaciones.

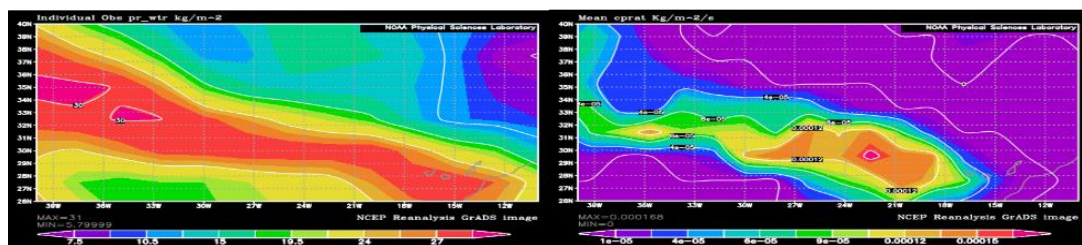


Figura 3. A la izquierda, contenido de agua precipitable, a la derecha tasa de precipitación convectiva. Fuente: NOAA.

3.3 Configuración atmosférica del día 17 de julio de 2012

Durante esa jornada la borrasca irlandesa y sus diversos frentes asociados afectaron el centro-norte de Europa. Por su parte, el anticiclón de las Azores estuvo localizado al norte de la península Ibérica.

Al igual que el sur de Europa, el archipiélago canario muestra una presión relativamente elevada, viéndose reducida hacia el este como consecuencia de una baja térmica africana (figura 4).

Los mapas de las capas medias y altas de la atmósfera muestran una invasión de una masa de aire muy seca y cálida con temperaturas, a 1500 m que rondan los 30°C (figura 4). Una masa de aire de estas características suele venir asociada a temperaturas muy elevadas, tiempo opresivo y una muy baja humedad (Morales Matos et Pérez González, 2000). Como suele ser habitual, dicha advección disparó los termómetros en medianías (figura 2).

Los valores térmicos de los observatorios localizados cerca de nivel del mar, como Sabinosa o El Hierro-aeropuerto presentaron unos registros suaves (figura 2). Las temperaturas máximas de estas estaciones se vieron moderadas como consecuencia de la inversión térmica cercana a la superficie, la acción de los vientos alisios del noreste y la existencia de algo de nubosidad de retención.

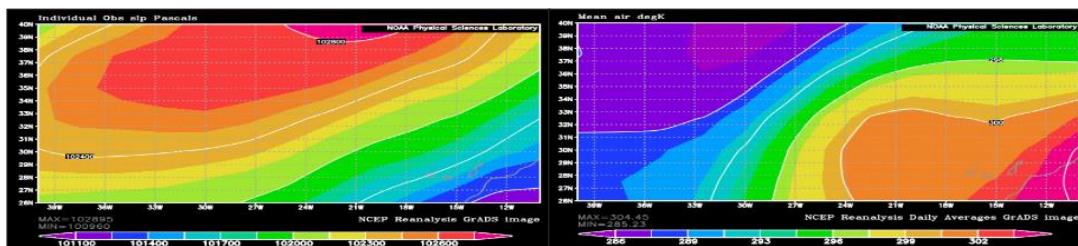


Figura 4 . A la izquierda, presión en superficie, a la derecha, temperatura a 850 hPa. Fuente: NOAA.

3.4 Tendencias pluviométricas en El Hierro-aeropuerto y Guarazoca

Las precipitaciones totales no han presentado una tendencia clara ni significativa. Tanto las precipitaciones muy fuertes como las torrenciales no presentan un comportamiento concluyente. Las precipitaciones fuertes muestran un incremento en su frecuencia en las últimas décadas, con 7 eventos en el siglo XX y 13 en el siglo XXI. No se aprecian cambios en la cantidad de días en los que se producen precipitaciones, salvo un ligero incremento, no significativo, probablemente debido a la mejora en la precisión de los pluviómetros utilizados.

A nivel estacional, es muy significativo el ascenso pluviométrico durante el verano (figura 5) y, sin embargo, se ha podido apreciar un descenso de la precipitación total invernal durante la última década. No obstante, el análisis de tendencias pluviométricas para todo el conjunto de años no han mostrado una pauta estadísticamente significativa. Dicho comportamiento ya ha sido advertido por el IPCC y podría denotar una tropicalización de las islas canarias (Dorta et al., 2018).

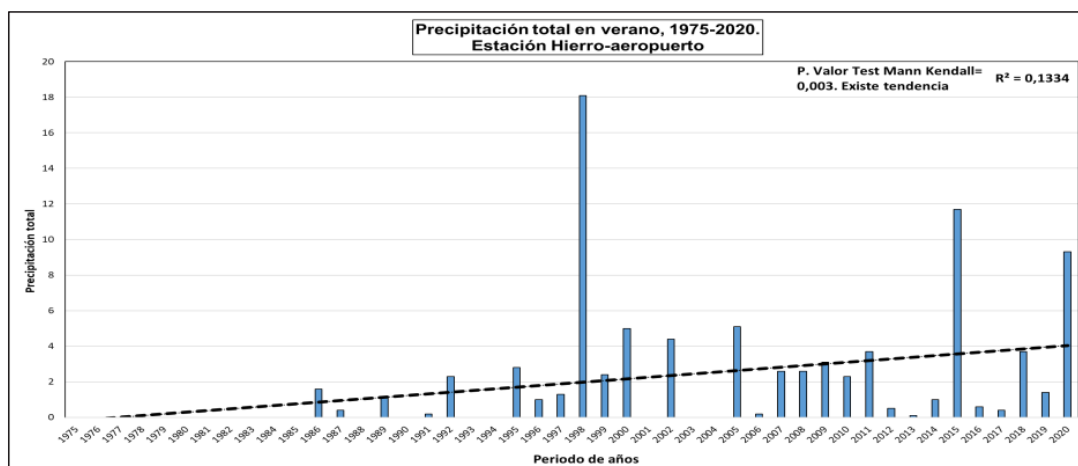


Figura 5. Precipitación total de verano, 1975 a 2020. Fuente: elaboración propia.

En la estación de Guarazoca, que proporciona datos anteriores (1949-1973) al inicio de la serie de El Hierro-aeropuerto, tampoco se ha podido extraer ninguna tendencia clara, mostrando un coeficiente de variabilidad pluviométrico elevado (del 31%). Los cálculos del SPI efectuados nos evidencian una fuerte sequía en los años 70 y unos periodos especialmente lluviosos en los años 80 (figura 6). El incremento de la pluviometría en la isla suele estar asociada a una NAO muy negativa y un incremento en las temperaturas del Atlántico tropical (García Herrera et al., 2001).

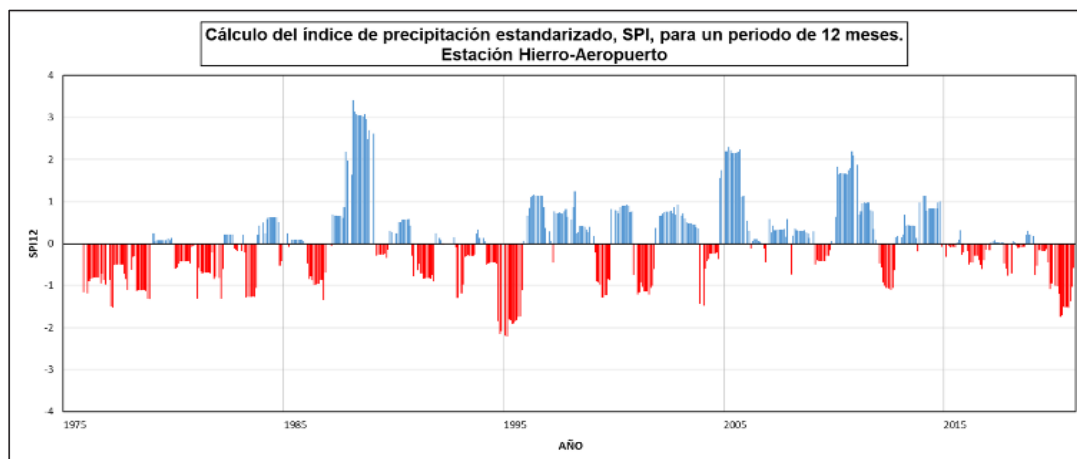


Figura 6. SPI12 calculado para la estación de El Hierro-aeropuerto. Fuente: elaboración propia.

3.5 Tendencias de temperaturas máximas en la estación El Hierro-aeropuerto

Se aprecia un incremento significativo de las temperaturas máximas promedio y en el número de días de verano ($\geq 25^{\circ}\text{C}$). Las anomalías de las temperaturas máximas promedio han alcanzado los $0,3^{\circ}\text{C}$ de media en el siglo XXI (figura 7).

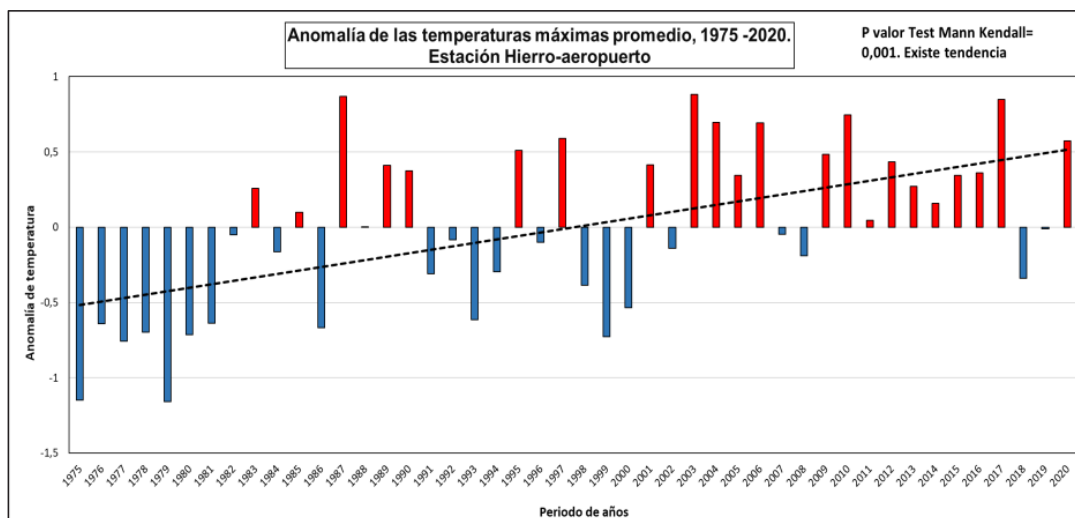


Figura 7. Anomalías de las temperaturas máximas promedio. Fuente: elaboración propia.

Las temperaturas de 30°C o más no presentan tendencia significativa. Estudios que abordan las islas Canarias especifican como los mayores incrementos se observan en medianías y en las islas orientales (Dorta et al., 2018).

Los episodios cálidos analizados no han presentado un aumento en su duración ni intensidad. No obstante, las frecuencias de dichos episodios han aumentado en este siglo, habiéndose registrado 25 eventos frente a los 13 apreciados en el siglo pasado. Asimismo, las distribuciones de dichos episodios se han visto modificadas, apreciándose un incremento de este tipo de eventos en los meses de octubre.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El Hierro es una isla de tamaño reducido, alejada de las principales áreas continentales, donde la influencia marítima es muy notable.

Tras realizar este estudio hemos podido conocer algunos de los eventos máximos extremos acontecidos en El Hierro, así como la evolución más reciente de los mismos. Este trabajo nos ha permitido conocer mejor las singularidades climáticas de El Hierro. Como conclusión al presente trabajo, podemos afirmar que tras el análisis de todas las estaciones utilizadas:

- El episodio de precipitación torrencial estudiado en El Hierro fue motivado por la aparición de un sistema convectivo mesoscalar (SMC).
- Las temperaturas máximas más extremas en medianías vienen asociadas a advecciones cálidas de masas de aire norteafricanas.

El estudio relativo a tendencias de El Hierro-aeropuerto nos ha permitido conocer que:

- Las precipitaciones totales globales no han presentado una variabilidad clara. Sin embargo, es significativo el incremento veraniego, la disminución del total invernal en la última década y un incremento en la frecuencia de las precipitaciones fuertes.
- Las temperaturas máximas promedio y los días de verano han mostrado un incremento significativo. La frecuencia de episodios cálidos ha aumentado en las últimas décadas y se ha observado un traslado en su distribución fuera de la estación veraniega.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la AEMET el proporcionamiento de los datos meteorológicos y climáticos. Este proyecto se inscribe dentro de los objetivos del programa Junitur (CSO2011-24425, 2012-2015) y Junitur+ (CSO2015-68500- R, 2016-2019) de la Secretaría de Investigación, Desarrollo e innovación del Ministerio de Economía y Competitividad.

REFERENCIAS

- Alexandersson, H. (1986) A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6: 661-675.
- Ariyanto, D.P.; Aziz, A.; Komariah, K.; Sumani, S. & Abara, M. (2020). Comparing the accuracy of estimating soil moisture using the Standardized Precipitation Index (SPI) and the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI). *Sains Tanah : Jurnal Ilmu Tanah Dan Agroklimatologi*, 17(1), 23-29. <https://doi.org/10.20961/stjssa.v17i1.41396>
- Dorta, P.; López Díez, A. & Díaz Pacheco, J.S. (2018). El calentamiento global en el Atlántico Norte Suroriental. El caso de Canarias. Estado de la cuestión y perspectivas de futuro [Article]. *Cuadernos Geograficos de La Universidad de Granada*, 57(2): 27-52. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v57i2.5934>
- García Herrera, R.; Gallego Puyol, D.; Hernández Martín, E.; Gimeno Presa, L. & Ribera Rodríguez, P. (2001). Influence of the North Atlantic Oscillation on the Canary

- Islands Precipitation. *Journal of Climate*, 14(19): 3889-3903.
[https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<3889:IOTNAO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<3889:IOTNAO>2.0.CO;2)
- Guijarro, J.A. (2019). Homogeneización de series climáticas con Climatol. http://www.climatol.eu/homog_climatol-en.pdf
- IPCC (2020). El cambio climático y la Tierra. In *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf
- Kendall, M.G. (1975). Rank Correlation Method. Charles Griffin, London.
- Kocsis, T.; Kovács-Székely, I. & Anda, A. (2019). Homogeneity tests and non-parametric analyses of tendencies in precipitation time series in Keszthely, Western Hungary. *Theoretical and Applied Climatology*, 139(3-4): 849–859.
<https://doi.org/10.1007/s00704-019-03014-4>
- Lakhraj-Govender, R.; Grab, S. & Ndebele, N.E. (2017). A homogenized long term temperature record for the Western Cape Province in South Africa: 1916 – 2013. *International Journal of Climatology*, 37(5), 2337–2353.
<https://doi.org/10.1002/joc.4849>
- López Abente, G.; Simón Soria, F. & Martínez Navarro, F. (2004). Valoración del impacto de la ola de calor del verano de 2003 sobre la mortalidad Evaluation of the impact of the heat wave in the summer of 2003 on mortality. *Gaceta Sanitaria*, 18, 250-258.
- Mahbod, M. & Rafiee, M.R. (2021). Trend analysis of extreme precipitation events across Iran using percentile indices. *International Journal of Climatology*, 41(2): 952–969. <https://doi.org/10.1002/joc.6708>
- Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13: 245-259.
- Morales Matos, G. & Pérez González, M. (dirs.) (2000). Gran atlas temático de Canarias. Ed. Interinsular Canaria.
- OMM (2017). Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas. OMM 1203.
https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4167
- Pérez González, M.; Sanz Donaire, J. & Llorca Ballester, J. (2009). Estudio climático de la temperatura de las estaciones existentes en la Tierra con datos desde el siglo XVIII. *Anales de Geografía Universidad Complutense*, 29(1), 167-199.
- Salvà Catarineu, M.; López Bustins, J.A.; Salvador Franch, F.; Padrón Padrón, P.A. & Cortés, A. (2016). Contrastes extremos de termohigrometría en la isla de El Hierro (islas Canarias). In: Olcina, J.; Rico, A. & Moltó, E. (eds.). *Clima, Sociedad, Riesgos y Ordenación del Territorio*, 355–363.
<http://dx.doi.org/10.14198/XCongresoAECAlicante2016-33>
- Salvà Catarineu, M.; Salvador Franch, F.; López Bustins, J.A.; Padrón Padrón, P.A. & Cortés, A. (2015). Study of the thermohygrometric conditions of *Juniperus turbinata* habitat in the island of El Hierro (Canary Islands). *Geophysical Research Abstracts*, 17, 13363. EGU General Assembly.
- Sánchez, J. (2008). *Hidrología e Hidrogeología*. Dpto. Geología, Universidad de Salamanca. <http://hidrologia.usal.es/temas/Precipitaciones.pdf>
- Von Neumann, J.; Kent, R.H.; Bellinson, H.R. & Hart, B.I. (1941). The mean square successive difference to the variance. *Ann. Math. Statist.*, 12: 153–162.