

TENDENCIAS RECIENTES EN PRECIPITACIÓN, TEMPERATURA Y NIEVE DE ALTA MONTAÑA EN LOS PIRINEOS (REFUGIO DE GÓRIZ, HUESCA)

Roberto Serrano-Notivoli¹, Samuel T. Buisán Sanz², Leon Manuel Abad Pérez², Eva Sierra Álvarez², Cesar Rodríguez Ballesteros³, Juan Ignacio López-Moreno⁴, José María Cuadrat¹

¹*Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza.*

²*Delegación Territorial de AEMET en Aragón.*

³*Servicios Centrales, AEMET.*

⁴*Instituto Pirenaico de Ecología IPE-CSIC
rs@unizar.es*

RESUMEN

En el marco del proyecto CLIM'PY, financiado por el programa POCTEFA (Programa INTERREG V-A España-Francia-Andorra), se realizó una recuperación de datos climáticos históricos de 25 estaciones de alta montaña en el Pirineo por parte de la Delegación Territorial de AEMET en Aragón y la Universidad de Zaragoza. Entre estas estaciones la serie más singular, por su altitud (2.200 m) y longitud de su serie climática (1981-2018), es sin duda la del Refugio de Góriz, ubicada en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Huesca).

Este trabajo analiza las tendencias climáticas en precipitación, temperatura y espesor de nieve de esta estación en base a los datos diarios recuperados. Los resultados preliminares indican que no existen tendencias anuales significativas en precipitación, aunque muestran signos generalizados positivos en invierno y negativos en otoño. Respecto a la temperatura, existe una tendencia anual positiva (no significativa) pero muy dependiente de la estación del año, mientras que en invierno la tendencia no es considerable, en primavera se observó la mayor tendencia positiva y significativa de todo el periodo. El espesor de nieve muestra una ausencia de tendencia durante los meses centrales del invierno, aunque durante los meses asociados a la desaparición completa del manto nivoso, muestra una tendencia negativa (no significativa) y un menor número de días con el suelo cubierto de nieve.

Estos resultados explican la evolución reciente del clima observado en este enclave tan singular, sirviendo como base para la evaluación de las respuestas de entornos de alta montaña y los recursos hídricos en forma de nieve en el contexto actual de cambio global.

Palabras clave: precipitación, temperatura, nieve, montaña, tendencias, Pirineos.

ABSTRACT

Within the framework of the CLIM'PY project, the AEMET regional office and the University of Zaragoza made a recovery of the historical climatic data of 25 stations at high elevation in the Pyrenees. Among these stations, the most special data series, due to its elevation (2,200 m a.s.l.) and its length (1981-2018) is, clearly, the Góriz refuge, which is located in the Ordesa and Monte Perdido National Park (Huesca, Spain).

This work analyses the climatic trends of precipitation, temperature and snow depth of this station based on the recovered daily data. The preliminary results show that there are not significant annual trends in precipitation but with general positive trends in winter and negative in autumn. In regard of temperature, there is an annual positive trend (non-significant) highly dependent of the season, while in winter the trend is negligible. The highest positive significant trend was observed in spring. The snow depth shows an absence of trend during the central winter months, but with a negative trend (non-significant) and a lower number of days with snow covering the soil during the months associated to the complete disappearing of snow cover.

These results explain the recent observed climate evolution in this singular location, being useful to the assessment of the high mountain areas and water resources responses to the current global change context.

Key words: temperature, precipitation, snow, trends, mountain, Pyrenees.

1. INTRODUCCIÓN

La precipitación invernal en forma de nieve constituye una parte significativa del total de precipitación en zonas frías y de montaña del planeta siendo un importante indicador de cambio climático y variabilidad climática. La nieve es crítica en numerosos aspectos tales como ciclo del agua a nivel local, recursos hídricos, evolución de glaciares, intercambios radiativos tierra-atmósfera, agricultura, prevención de desastres y turismo invernal (Barnett et al. 2005, Abegg et al. 2007, Lasanta et al. 2007, Gilaberte et al. 2014) y depende no solo de la precipitación sino también de la temperatura que permita una mayor permanencia sobre el terreno.

A escala regional, zonas como la Península Ibérica están sometidas a una alta variabilidad de patrones atmosféricos por encontrarse a una latitud entre las altas presiones subtropicales y la zona de paso habitual de ciclones extra-tropicales de latitudes medias. Por esta razón, el clima de las zonas montañosas del norte de la Península Ibérica, como los Pirineos, es muy sensible a ligeros cambios de los patrones atmosféricos y a procesos de calentamiento global. En la Península Ibérica la evaluación de su impacto ha sido el objeto de numerosos estudios (Vicente-Serrano & López-Moreno 2006; Martín-Vide & López-Bustins 2006; López Serrano et al. 2006, 2008, 2009, 2011; 2012; Buisán et al., 2014, 2016; Navarro-Serrano et al., 2016), pero siempre limitados a la utilización de series climáticas en altura con poca longitud temporal. La ausencia de series de precipitación, temperatura y espesor de nieve a cierta altitud es un hecho (Serrano-Notivoli, 2017) y por tanto aquellas extrapolaciones de la precipitación, temperatura y espesor de nieve en

altura mediante modelización espacial pueden incurrir en importantes errores y distorsionar las tendencias climáticas en altura.

Uno de los objetivos del proyecto CLIM'PY (Caracterización de la evolución del clima y provisión de información para la adaptación en los Pirineos) es crear una base de datos climática homogénea de todo el Pirineo incluyendo todo tipos de observaciones de distintas fuentes. Las series climáticas con mayor recorrido han sido gestionadas por los servicios meteorológicos nacionales de cada país. AEMET comenzó hace dos años un proyecto de recuperación y digitalización de datos climáticos de 25 puntos de observación en altura (refugios de montaña y estaciones de esquí) del Pirineo cuya finalización se realizó dentro del marco del proyecto CLIM'PY y en colaboración con la Universidad de Zaragoza. De entre estas estaciones, la serie más singular por su altitud (2.200 m) y longitud de su serie climática (1981-2018), es sin duda la del Refugio de Góriz, ubicada en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (Huesca) y que ha sido objeto de un análisis detallado de sus tendencias climáticas.

2. MÉTODOS

El refugio de Góriz pertenece a la Federación Aragonesa de Montañismo (FAM) y se ubica a 2.200 m sobre el nivel del mar en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido en la provincia de Huesca (Figura 1). Localizado en la cara sur del macizo de Monte Perdido, en la cabecera del Valle de Ordesa, está flanqueado en el norte y el noreste por las cimas del Cilindro (3.325 m.s.n.m) y Monte Perdido (3.355 m.s.n.m) respectivamente y Tobacor al suroeste (2.779 m.s.n.m). Está abierto a las entradas del noroeste que son bloqueadas por una barrera de 3.000 m.s.n.m. que supone el límite natural con el Valle de Gavarnie en Francia. El origen de las primeras observaciones se remonta a diciembre de 1981 y han continuado ininterrumpidamente desde entonces. Las medidas han sido realizadas con instrumentación clásica utilizada por AEMET en todas sus estaciones manuales: un conjunto de termómetros de máxima y mínima en un abrigo meteorológico de tipo Stevenson, un pluviómetro de tipo Hellman y un jalón nivométrico graduado con una resolución de 1 cm. Estos instrumentos se sitúan sobre una plataforma de observación a 4 m de altura sobre el suelo para evitar en invierno que la nieve pueda cubrir la instrumentación (Figura 2).

Los datos fueron sometidos durante el proceso de digitalización a un profundo control de calidad manual. El número final de lagunas diarias de datos es menor del 1% y por tanto resultando adecuada para un análisis de tendencias, dado que debido a lo remoto de esta ubicación hubiese sido imposible realizar un adecuado relleno de lagunas con estaciones en general muy alejadas y a mucha menor altitud.

Es de sobra conocida la infraestimación que se produce de la precipitación en forma de nieve debido al efecto del viento sobre el pluviómetro (Goodison et al. 1998, Rasmussen et al. 2012, Korchendofer et al. 2017, Buisán et al 2017) y que evidentemente ha afectado a las medidas de precipitación en Góriz. Asumiendo que este sesgo a lo largo del tiempo es aproximadamente constante (y por tanto

proporcional a la cantidad de precipitación total) analizaremos las tendencias de precipitación utilizando el dato original y sin realizar ningún ajuste adicional.



Figura 1. Ubicación del refugio de Góriz



Figura 2. Plataforma de observación en el refugio de Góriz en verano e invierno

Se realizó un análisis de tendencias anual, estacional y mensual utilizando el coeficiente no paramétrico de Spearman para cada una de las siguientes variables: temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y espesor de nieve para los

36 años completos del periodo 1982-2017. Se consideró como nivel de significación estadística aquellos valores con un p-valor menor de 0.05.

3. RESULTADOS

3.1 ESTADÍSTICAS BÁSICAS CLIMÁTICAS

La Tabla 1 muestra los promedios mensuales de temperatura máxima, mínima, precipitación y espesor de nieve para el periodo 1982-2017. Además, se incluye su coeficiente de variación para mostrar la variación interanual de cada variable.

Los meses de mayor precipitación son octubre y noviembre, seguidos de mayo; los de mayor temperatura máxima son los meses estivales, desde junio hasta agosto y los de menor temperatura mínima son los invernales, desde diciembre hasta febrero. Los espesores mayores se dan desde enero hasta abril, con máximos muy similares en febrero y marzo.

Mes	Espesor (cm)	Precipitación (mm)	TMax (°C)	TMin(°C)
ENE	65.29	126.0	3.1	-4.2
FEB	84.47	85.2	3.0	-4.8
MAR	80.62	98.4	5.1	-3.3
ABR	69.31	157.6	6.2	-1.8
MAY	26.76	178.1	9.3	1.8
JUN	1.54	135.2	13.5	6.5
JUL	0.0	105.8	16.8	9.7
AUG	0.0	109.0	16.5	9.6
SEP	.18	144.9	12.9	6.3
OCT	2.63	211.2	9.1	2.9
NOV	18.15	212.3	5.3	-1.2
DIC	39.95	134.6	4.2	-3.0
Coef. Var.	68.2	18.99	7.19	40.39

Tabla 1: Promedios mensuales y coeficiente de variación interanual (%) de las variables climáticas en el refugio de Góriz (1982-2017)

La tabla 2 muestra los extremos mensuales de precipitación, temperatura mínima, máxima y espesor de nieve. Cabe destacar la gran variabilidad observada tanto en precipitación como en espesor de nieve respecto a sus valores promedios mensuales. Las efemérides diarias de Goriz son para temperatura máxima 27°C, temperatura mínima -22°C, precipitación en 24h de 300 mm y espesor máximo de nieve 396cm.

M es	Esp. máx.	Esp. mín.	Prec. máx.	Prec. mín.	Tmax. máx.	Tmax. mín.	Tmin. máx.	Tmin. mín.
E	211.61	0.61	401.5	0.0	8.9	-2.3	0.3	-9.3
F	341.39	0.89	233.9	14.0	8.2	-1.9	-0.1	-8.7
M	287.09	4.13	352.6	0.0	10.7	0.3	0.7	-7.5
A	191.83	4.37	367.0	31.4	10.0	2.0	3.1	-5.3
M	145.61	0.0	523.3	38.4	12.2	4.9	5.3	-3.2
J	21.52	0.0	496.0	4.6	17.1	8.5	10.9	2.0
J	0.0	0.0	356.0	16.2	20.0	14.3	12.9	7.0
A	0.0	0.0	307.2	11.5	19.7	13.7	12.3	6.9
S	2.03	0.0	399.1	6.0	16.6	9.0	9.5	3.1
O	22.90	0.0	657.8	0.0	13.2	4.1	5.8	-2.1
N	66.53	0.34	592.0	28.9	9.3	2.0	2.3	-4.3
D	130.97	0.87	434.1	0.0	7.6	1.7	2.0	-5.4

Tabla 2: Promedios de extremos mensuales (máximo y mínimo) de las variables climáticas en el refugio de Góriz (1982-2017)

3.2 ANALISIS DE TENDENCIAS

La tabla 3 muestra los valores del coeficiente de Spearman de manera anual, estacional y mensual para el espesor de nieve, precipitación y temperatura, Desde el punto de vista anual no existe ningún tipo de tendencia significativa para ninguna de estas variables.

La figura 3 muestra una pendiente lineal positiva para la temperatura, 0.022 °C/década para la temperatura máxima y 0.025 °C/década para la temperatura mínima. Esta tendencia lineal es nula tanto para la precipitación como para el espesor. También se observa una alta variabilidad inter-anual especialmente en precipitación y espesor de nieve

3.1. Análisis de tendencias en temperatura

Si analizamos cada una de las estaciones (Figura 4a-d) y los resultados de la tabla 3 observamos que en invierno la tendencia de la temperatura máxima es negativa no significativa mientras que en primavera es positiva y significativa. En verano y otoño las tendencias son positivas pero no significativas.

Mensualmente (figura 4e-p) se confirman las tendencias detectadas de manera estacional, destacando especialmente dos meses del año cuyas tendencias son positivas y significativamente estadísticas, mayo y junio, con un aumento de temperatura según la tendencia lineal 0.62 °C/década y 0.65 °C/década respectivamente. Se observa además que, en dos meses del año, abril y octubre, las tendencias son también cercanas a la significación estadística. Por otro lado, conforme nos acercamos a los meses invernales estas tendencias se moderan, llegando incluso a ser negativas en los meses centrales, enero y febrero.

	Espesor	Precipitación	T. máxima	T. mínima
TOT	-0.013	0.022	0.052	0.053
INV	0.023	0.178	-0.041	-0.016
PRI	0.087	-0.09	0.394	0.472
VER	NA	-0.116	0.273	0.316
OTO	0.07	-0.124	0.167	0.116
ENE	0.031	0.181	0.037	0.07
FEB	0.178	0.353	-0.062	-0.107
MAR	0.266	0.291	0.098	0.067
ABR	-0.04	-0.19	0.263	0.409
MAY	-0.143	-0.038	0.357	0.396
JUN	-0.026	-0.019	0.417	0.359
JUL	NA	-0.035	-0.029	-0.044
AGO	NA	-0.114	0.195	0.216
SEP	-0.09	0.025	0.064	-0.036
OCT	-0.062	0.045	0.277	0.247
NOV	0.041	-0.043	-0.039	-0.069
DIC	-0.013	-0.179	-0.063	-0.045

Tabla 3: Valores de tendencia (Spearman) de las variables climáticas en el refugio de Góriz (1982-2017). En negrita las tendencias significativas al 95%. TOT: serie total mensual; INV a OTO: serie estacional, un valor por año; ENE a DIC: serie mensual, un valor por año.

La figura 5 muestra un comportamiento similar para la temperatura mínima que el observado para la temperatura máxima con tendencias negativas para el periodo invernal y tendencias positivas en el resto de las estaciones, siendo significativas para la época de primavera. Las tendencias lineales en los meses con significación estadística mayo y junio, son 0.75 °C/década y 0.68 °C/década respectivamente.

3.2. Análisis de tendencias en precipitación

Desde el punto de vista estacional (Figura 6a-d) no existen tendencias significativas, aunque son positivas en invierno, negativas en verano y otoño y nulas en primavera. Cabe destacar que mensualmente (Figura 6e-p) solo existe un mes con tendencia significativa estadísticamente y positiva y es el caso de febrero, con marzo muy cercano de este umbral.

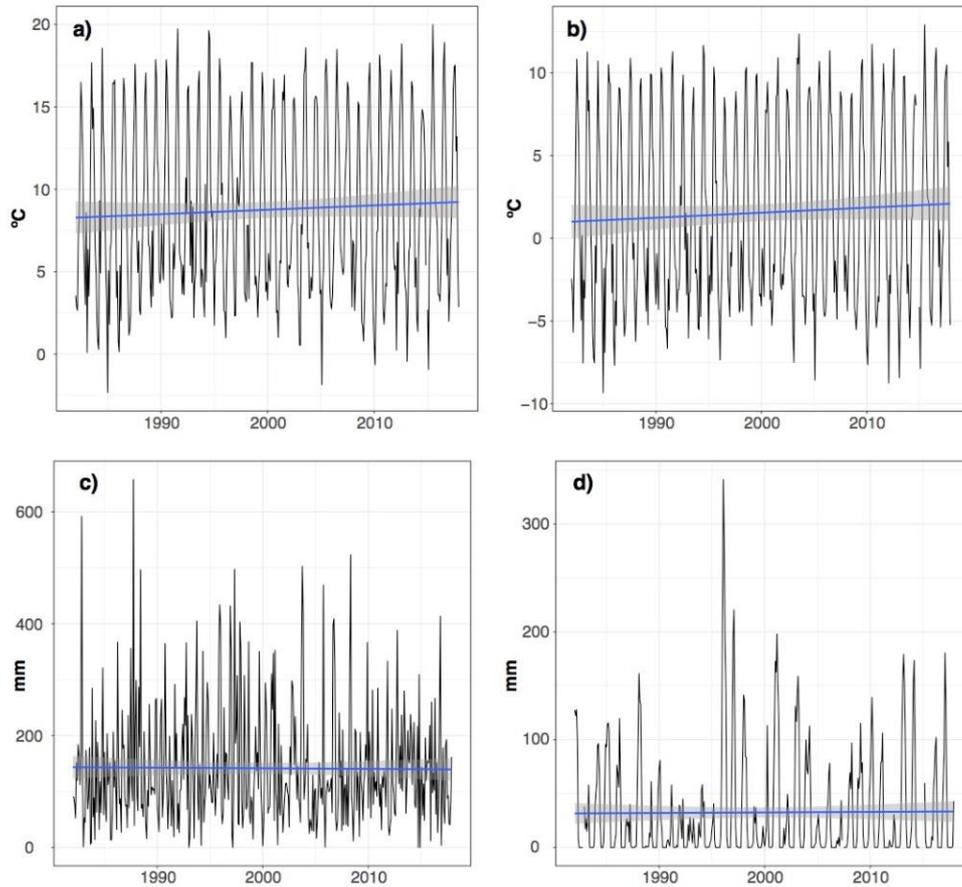


Figura 3. Series mensuales completas de a) temperatura máxima, b) temperatura mínima, c) precipitación y d) espesor de nieve.

3.3. Análisis de tendencias en espesor de nieve

La figura 7a-d indica que no existen tendencias en espesor de nieve en ninguna de las tres estaciones con posibilidad de presencia de nieve (invierno, primavera y otoño). Es interesante observar que en primavera la tendencia no es decreciente debido a la acumulación previa de febrero y marzo años caracterizados por una tendencia positiva de precipitación.

La figura 7e-p muestra que en general existe presencia de nieve continua desde enero hasta abril, y dependiendo del año, se puede extender a diciembre y mayo.

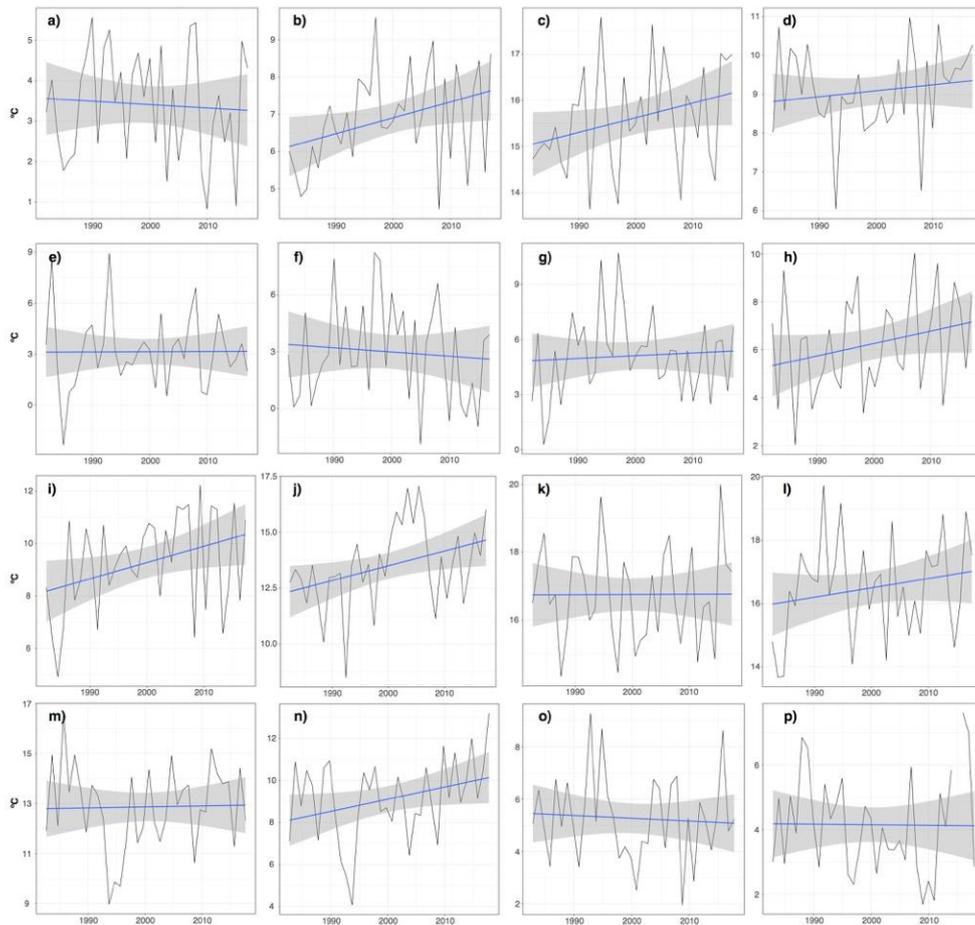


Figura 4. Evolución temporal de las temperaturas máximas estacionales (de a) a d)) y mensuales (de e) a p)). Son significativas al 95% las tendencias de d), i) y j).

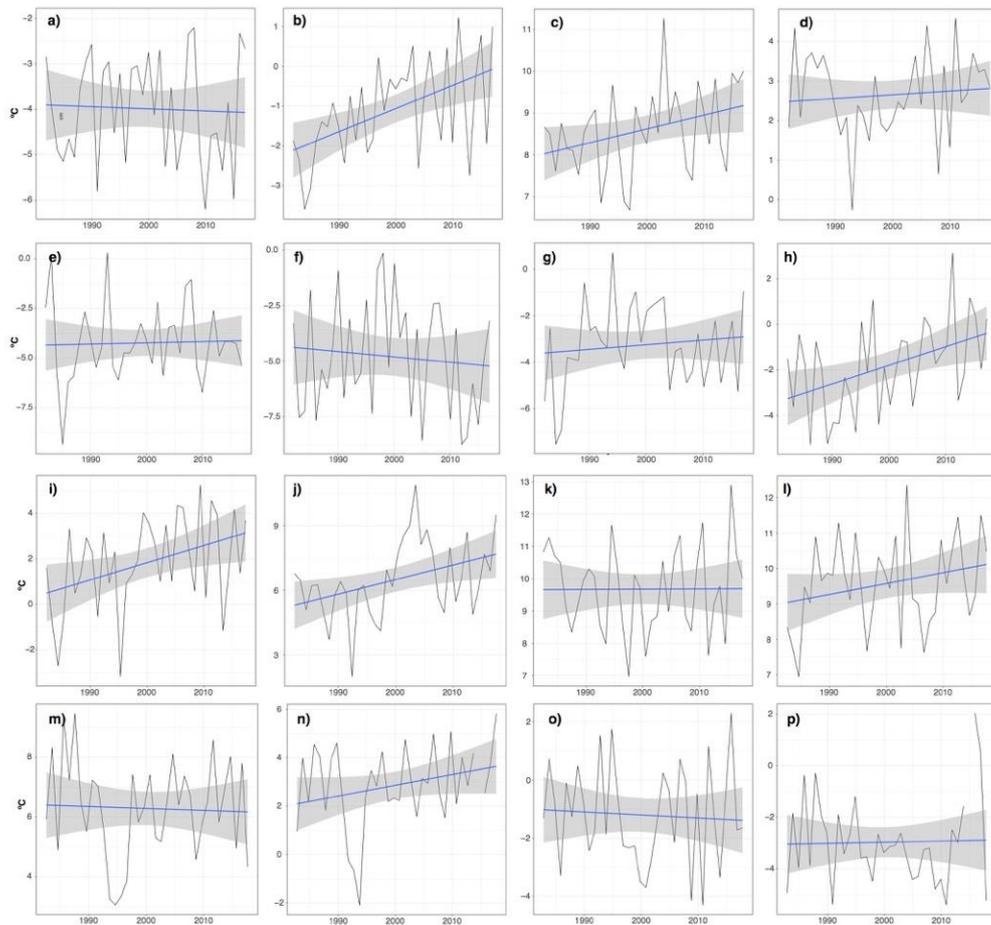


Figura 5. Evolución temporal de las temperaturas mínimas estacionales (de a) a d)) y mensuales (de e) a p)). Son significativas al 95% las tendencias de d), h), i) y j).

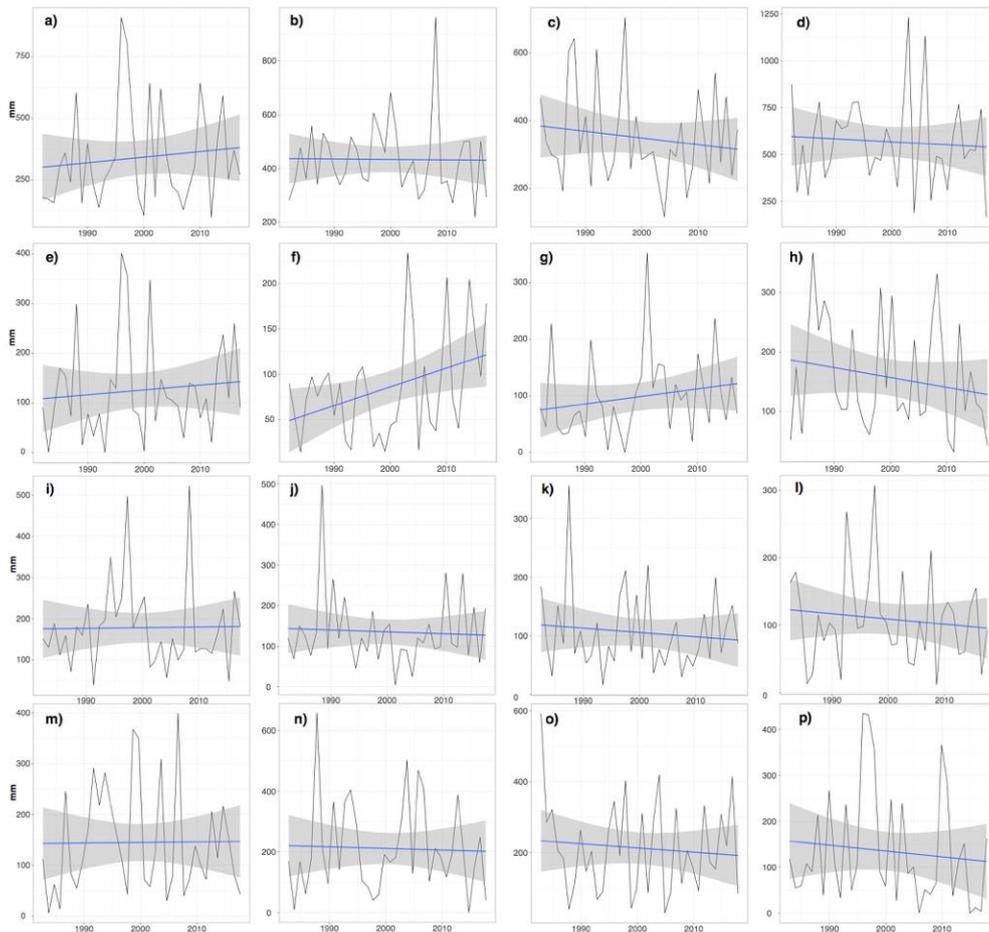


Figura 6. Evolución temporal de las precipitaciones estacionales (de a a d) y mensuales (de e a p). Es significativa al 95% la tendencia de f.

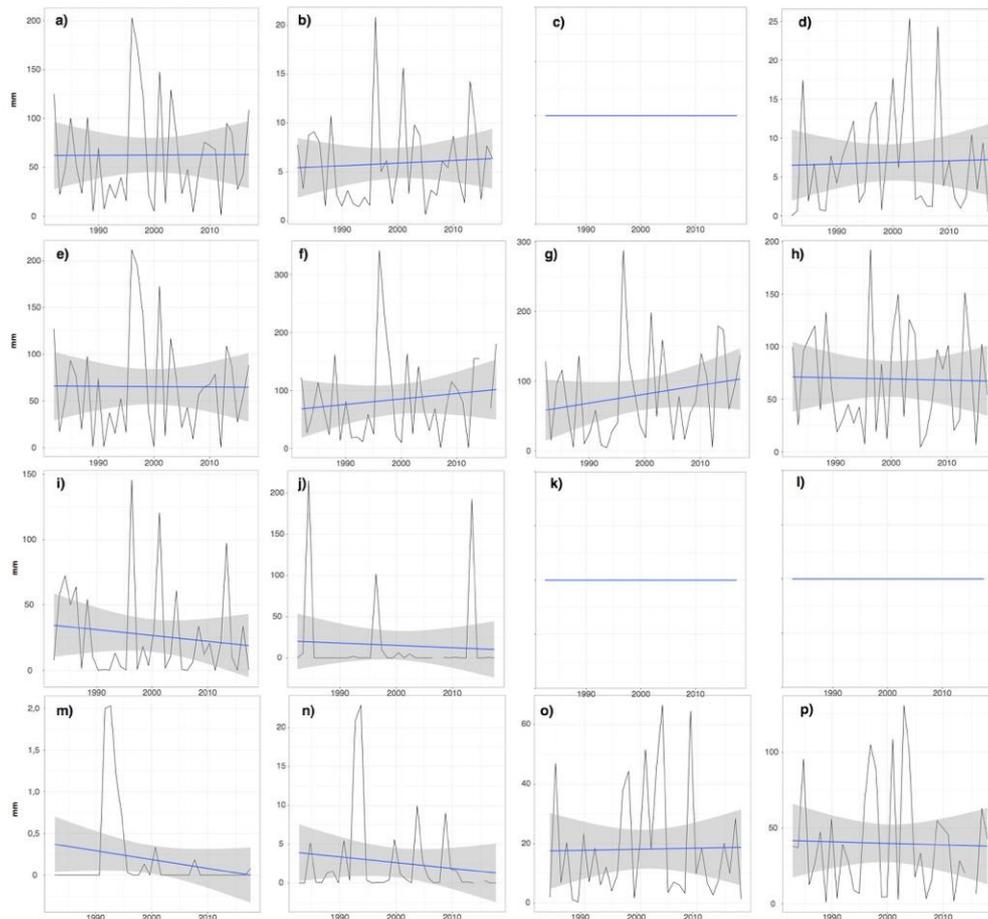


Figura 7. Evolución temporal de los espesores de nieve estacionales (de a) a d)) y mensuales (de e) a p)).

4. DISCUSIÓN

Este trabajo muestra el primer análisis de tendencias climáticas en la Península Ibérica para una serie que combine dos características, su elevada altitud > 2000 m y una duración superior a 30 años, periodo normal según la Organización Meteorológica Mundial. Los resultados indican que zonas elevadas se ven afectadas también por la tendencia observada de incremento de temperatura siendo este no tan acusado como en el caso de zonas bajas y concentrándose esencialmente en los meses de primavera y siendo incluso negativo para el invierno, siendo este resultado consistente con otros estudios (Buisán et al, 2016). Este resultado es muy importante pues es en esta época de año donde la fusión del manto nivoso es más activa y por tanto acelerando la desaparición a menores cotas de la nieve en altitud y por tanto produciendo un mayor impacto sobre los recursos hídricos disponibles, evolución de glaciares (Lopez-Moreno et al, 2018) y al riesgo asociado a actividades deportivas en altura. La variabilidad climática observada y que afecta especialmente a la

precipitación y al espesor de nieve en el Pirineo (Buisán et al. 2015, Navarro et al, 2017) se observa también en el Refugio de Góriz de manera muy acusada. Un análisis más completo de esta variabilidad atmosférica y su impacto sobre la serie de Góriz es necesario para evaluar con más precisión su sensibilidad respecto a cambios a nivel global de patrones atmosféricos.

AGRADECIMIENTOS

Guardas del refugio de Góriz por su dedicación en la toma diaria de datos meteorológicos y a la Federación Aragonesa de Montañismo por su apoyo en la tarea de observación meteorológica.

Personal de AEMET que durante muchos años y especialmente en los últimos ha realizado un esfuerzo de supervisión y anotación de los datos en el Banco Nacional de Datos Climáticos.

CLIM'PY (Caracterización de la evolución del clima y provisión de información para la adaptación en los Pirineos, (EFA081/015) (Programa Interreg V A España/Francia/Andorra - POCTEFA 2014-2020))

REFERENCIAS

- Abegg B, Agrawala S, Crick F, de Montfalcon A (2007) Climate change impacts and adaptation in winter tourism. In: Agrawala S, editor. *Climate Change in the European Alps*. Paris, France: OECD, pp 25–60.
- Barnett TP, Adam JC, Lettenmaier DP (2005) Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature* 438: 303_309 DOI:10.1038/nature04141
- Buisán S.T., Sanz M.A. and López-Moreno J.I.: Spatial and temporal variability of winter snow and precipitation days in the western and central Spanish Pyrenees, *Int. J. Climatol.* 35(2):259-274. doi:10.1002/joc.3978, 2014.
- Buisán, S. T., Earle, M. E., Collado, J. L., Kochendorfer, J., Alastrué, J., Wolff, M., Smith, C. D., and López-Moreno, J. I.: Assessment of snowfall accumulation underestimation by tipping bucket gauges in the Spanish operational network, *Atmos. Meas. Tech.*, 10, 1079-1091, <https://doi.org/10.5194/amt-10-1079-2017>, 2017.
- Buisán, S.T., López-Moreno, J.I., Sanz, M.A. and Kochendorfer, J.: Impact of weather type variability on winter precipitation, temperature and annual snowpack in the Spanish Pyrenees. *Clim. Res.* ,CR 69:79-92, doi:10.3354/cr01391, 2016
- Gilaberte M, Pino MR, López F, López-Moreno JI (2014) Impacts of climate change on ski industry. *Environ Sci Pol* 44: 51-61
- Goodison BE, Louie PYT, Yang D (1998) WMO solid precipitation measurement intercomparison. WMO Instruments and Observing Methods Rep. 67, WMO/TD-872, 212 pp.
- Kochendorfer, J., Nitu, R., Wolff, M., Mekis, E., Rasmussen, R., Baker, B., Earle, M. E., Reverdin, A., Wong, K., Smith, C. D., Yang, D., Roulet, Y.-A., Buisán, S., Laine, T., Lee, G., Aceituno, J. L. C., Alastrué, J., Isaksen, K.,

- Meyers, T., Brækkan, R., Landolt, S., Jachcik, A., and Poikonen, A.: Analysis of single-Alter-shielded and unshielded measurements of mixed and solid precipitation from WMO-SPICE, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 3525-3542, <https://doi.org/10.5194/hess-21-3525-2017>, 2017.
- Lasanta T, Laguna M, Vicente-Serrano SM (2007) Do tourism-based ski resorts contribute to the homogeneous development of the Mediterranean mountains? A case study in the Central Spanish Pyrenees? *Tourism Manage.* 28(5):1326–1339. doi:10.1016/j.tourman.2007.01.003,
- López-Moreno JI (2005) Recent variations of snowpack depth in the Central Spanish Pyrenees. *Artic Alpine Res* 37(2): 253–260.
- López-Moreno JI and Vicente- Serrano SM. (2007) Atmospheric circulation influence on the interannual variability of snowpack in the Spanish Pyrenees during the second half of the twentieth century. *Nordic Hydrology.* 38(1): 38–44.
- López-Moreno JI, García-Ruiz JM and Beniston M (2008) Environmental Change and water management in the Pyrenees. Facts and future perspectives for Mediterranean mountains. *Glob. Planet. Change.* 66(3–4): 300–312. doi: 10.1016/j.bbr.2011.03.031.
- López-Moreno JI, Vicente-Serrano SM, Beguería S, El Kenawy AM and Angulo M. (2010) Trends in daily precipitation on the north-eastern Iberian Peninsula, 1955-2006. *Int J Climatol* 120: 248-257.
- López-Moreno JI, Vicente-Serrano SM, Morán-Tejeda E, Lorenzo J, Kenawy A, Beniston M. (2011) NAO effects on combined temperature and precipitation winter modes in the Mediterranean mountains: Observed relationships and projections for the 21st century. *Global Planet Change* 77: 72-66
- Lopez-Moreno, Juan Ignacio, Alonso-Gonzalez Esteban; Oriol Montserrat; Del Río Luis Mariano; Jaime Otero; Guido Luzi; Javier Lapazaran; Nicolas Dematteis; Alfredo Serreta; Ibai Rico; Enrique Serrano-Cañadas; Miguel Bartolome; Ana Moreno; Samuel Buisán; Jesus Revuelto Ground-based remote sensing techniques for diagnosis of the current state and recent evolution of the Monte Perdido Glacier, Spanish Pyrenees.in press 2018
- Martin-Vide J and Lopez-Bustins JA (2006) The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *Int J Climatol* 26: 1455-1475
- Navarro-Serrano, F., López-Moreno, J.I. 2017. Spatio-temporal analysis of snowfall events in the Spanish Pyrenees and their relationship to atmospheric circulation. *Cuadernos de Investigación Geográfica* 43, Doi: 10.18172/cig.304
- Rasmussen R et al. (2012) How Well Are We Measuring Snow: The NOAA/FAA/NCAR Winter Precipitation Test Bed, *Bull Amer Meteor Soc*, 93:811–829. doi: 10.1175/BAMS-D-11-00052.1
- Serrano-Notivoli R. Reconstrucción climática instrumental de la precipitación diaria en España: Ensayo Metodológico y aplicaciones. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza.2017