

TENDENCIAS RECIENTES EN LAS SERIES DE TEMPERATURA DEL PIRINEO CENTRAL Y OCCIDENTAL

Francisco ESPEJO GIL¹, Javier FERRAZ CAMPO¹, María PALOMO SEGOVIA²

¹ *Agencia Estatal de Meteorología, Delegación Territorial en Aragón*

² *Agencia Estatal de Meteorología, Subdirección General de Climatología y Aplicaciones*

pespejo@inm.es, jferraz@inm.es, mpalomo@inm.es

RESUMEN

Se ha realizado un estudio de las series de temperatura de una selección de estaciones de las redes de observación climatológica y nivometeorológica de la Agencia Estatal de Meteorología en el Pirineo Central y Occidental, con altitudes comprendidas entre 920 y 2215 m. y diferentes periodos (1982-2007, 1995-2007, 2000-2007). El resultado es una gran heterogeneidad en las tendencias de las series estudiadas, que depende mucho de la altitud, la exposición y la topografía del observatorio. Sin embargo, el resultado más generalizable es una tendencia al calentamiento en los meses primaverales en el último cuarto de siglo.

Palabras clave: Tendencias de temperatura, Pirineos, observatorios meteorológicos de montaña.

ABSTRACT

A study work of the temperature series of selected stations belonging to the climatological and nivometeorological networks of the AEMET (Meteorological State Agency) has been carried out in the central and western Pyrenees. Heights ranging from 920 to 2215 m., and three different periods of time (1982-2007, 1995-2007, 2000-2007) have been considered. The results show a high degree of heterogeneity in the trends of the studied series, greatly depending on the height, the exposition and the topography of and around the stations. The most generalizable result is, nevertheless, a warming trend in spring during the last quarter-century.

Key words: Temperature trends, Pyrenees, mountain weather stations.

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto actual, el tema del estudio de la tendencia de las series de temperatura en entornos de montaña es particularmente importante y sensible (IPCC, 2007). Pequeñas variaciones pueden suponer grandes cambios en elementos tales como la disponibilidad de recursos hídricos, la distribución altitudinal de especies y biotopos (Thuiller et al., 2005) o las actividades económicas que se llevan a cabo en los propios medios de montaña. El estudio climatológico de series de entornos montañosos presenta el problema añadido de los condicionantes del relieve que hace que por un lado, sean necesarios periodos de tiempo más largos que los habituales para la detección de tendencias y, por el otro, una red más densa de estaciones para poder establecer cualquier tipo de estudio climatológico (Barry, 1992). Desgraciadamente, lo más común es que en raras ocasiones se puedan satisfacer esos

requerimientos ideales y que falten datos con la calidad y continuidad suficientes como para poder obtener conclusiones de cualquier tipo.

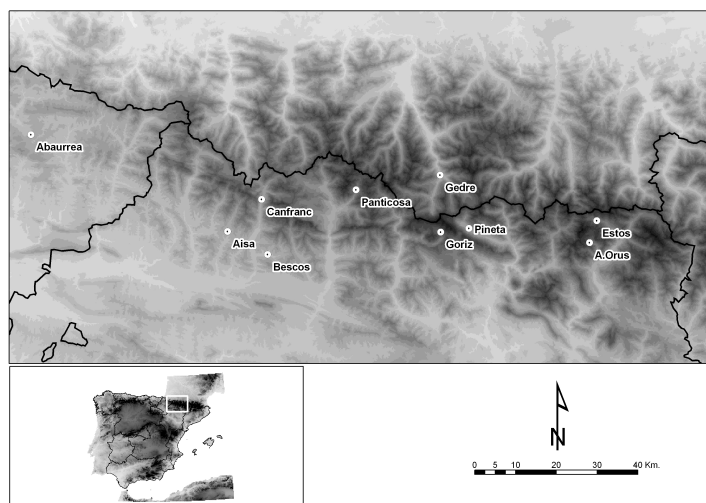
La red de observación climatológica de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) dispone de un número adecuado de estaciones en los Pirineos que, aunque con duraciones dispares, permite la caracterización climática de las áreas pobladas de la zona. Una limitación de la misma es su circunscripción a núcleos habitados, por lo que en raras ocasiones se encuentran observatorios convencionales por encima de los 1200 m.

Con el fin de obtener información fiable para la elaboración de boletines de riesgo de aludes y, de manera secundaria, para el apoyo de la predicción de montaña, la AEMET dispone de una red de observación nivometeorológica constituida, en el Pirineo navarro y aragonés, por una red de observatorios atendidos por personal colaborador con formación específica básica en meteorología y nivología a altitudes que varían desde los 1240 a los 2215 m. localizada en refugios de montaña y estaciones de esquí (Ferraz et al., 2007). Aunque la finalidad primordial de esta red no es la observación climatológica, muchos de ellos permanecen activos durante todo el año y no sólo durante la temporada de nieve y proporcionan datos diarios de elevada calidad sobre diversos elementos como la temperatura, la precipitación, el viento, la humedad, la forma de la precipitación, etc. El más veterano de todos estos observatorios, el Refugio de Góriz, situado en el Parque Nacional de Ordesa entre el Monte Perdido y la cabecera del Valle de Ordesa, y el de mayor altitud de toda la red, viene registrando datos desde 1982, por lo que constituye una serie de enorme valor para el estudio de diferentes elementos del clima en la alta montaña pirenaica.

La longitud de esta serie marca el periodo de estudio más largo de este trabajo, que se complementa con otras estaciones de la red climatológica y de la red nivometeorológica que se han ido añadiendo posteriormente (Tabla 1). La elección del resto de las estaciones pretende establecer una solución de compromiso entre una buena distribución espacial (Mapa 1), una altitud representativa y una duración de la serie suficiente, con el fin de reducir al mínimo las manipulaciones que pudieran alterar la calidad de los resultados obtenidos.

Estación	Provincia	Altitud	Periodo estudiado		
			82-07	95-07	00-07
Abaurrea Alta	Navarra	1047 m.	X	X	X
Aísa de Jaca	Huesca	1040 m.	X	X	X
Bescós de Garcipollera	Huesca	920 m.	X	X	X
Canfranc-Los Arañones	Huesca	1240 m.	X	X	X
Gédre	Htes. Pyr. (F)	1000 m.	X	X	X
Ref. de Eriste-"Ángel Orús"	Huesca	2150 m.			X
Refugio de Estós	Huesca	1890 m.		X	X
Refugio de Góriz	Huesca	2215 m.	X	X	X
Ref. Panticosa-Casa de Piedra	Huesca	1660 m.		X	X
Refugio de Pineta	Huesca	1240 m.			X

Tabla 1: ESTACIONES CONSIDERADAS EN EL ESTUDIO



Mapa 1: Localización de las estaciones utilizadas en el estudio. (Elaboración propia)

2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Se ha realizado un estudio de las series de temperaturas medias, máximas y mínimas a partir de datos diarios para las estaciones seleccionadas. Cinco de ellas pertenecen a la red nivometeorológica de la AEMET, cuatro a la red climatológica de la AEMET y otra a la red climatológica de Météo France. Los datos se han promediado mensualmente y por estaciones, y es con estos datos, mediante las anomalías sobre las medias para los periodos considerados, que se han estudiado las tendencias de las series.

Pese a que las estaciones se han seleccionado de forma que los datos tuvieran que sufrir el menor número posible de manipulaciones, en una proporción mínima de los casos ha sido necesario el rellenado puntual de algunos datos faltantes con otras estaciones próximas con buena correlación por medio del programa AnClim (Stepanek, 2005), o la interpolación lineal entre los datos de los días anterior y posterior para el rellenado de lagunas diarias. Posteriormente, se ha procedido a una homogeneización de todas ellas según el test SNHT de Alexandersson mediante el mismo programa.

Con estos datos se ha realizado el análisis de tendencias mediante dos procedimientos no paramétricos diferentes, los de correlación bivariada Tau-b de Kendall (Storch et al., 1999) y Rho de Spearman (Wilks, 1995). Para el análisis de tendencias se han considerado tres periodos temporales, dependientes de la longitud de las series más representativas para los fines de este estudio, que son aquéllas de mayor altitud. El más largo (1982-2007) es el de los 26 años de duración de la serie de Góriz e incluye a ésta y al resto de las series climatológicas complementarias, uno intermedio (1995-2007) incorpora además las estaciones nivológicas de Estos y Panticosa y el más reciente (2000-2007) se completa con los datos de los refugios de Pineta y Ángel Orús. El trabajo incorpora un estudio de la evolución de la forma de

precipitación, que está relacionada directamente con la temperatura, para el observatorio con datos más completos durante un periodo de tiempo más largo, que es el Refugio de Góriz.

3. ANÁLISIS DE TENDENCIAS

3.1. Periodo 1982-2007

Los resultados para las temperaturas medias, media de las máximas y media de las mínimas anuales resultan ser significativos sólo para la serie del Refugio de Góriz, mientras que para las demás carecen de significación (Tabla 2).

Temperatura media anual			
Tau-b Kendall		Rho Spearman	
Correlación	Significación	Correlación	Significación
0.376	0.007	0.527	0.006
Media anual de máximas			
Tau-b Kendall		Rho Spearman	
Correlación	Significación	Correlación	Significación
0.357	0.011	0.493	0.011
Media anual de mínimas			
Tau-b Kendall		Rho Spearman	
Correlación	Significación	Correlación	Significación
0.345	0.014	0.484	0.012

Tabla 2: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE TENDENCIAS PARA TEMPERATURAS MEDIAS, MÁXIMAS Y MÍNIMAS DEL REFUGIO DE GÓRIZ.

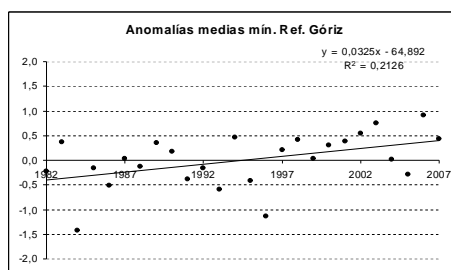
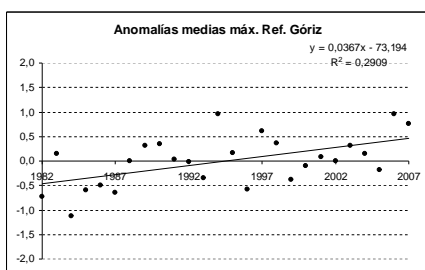
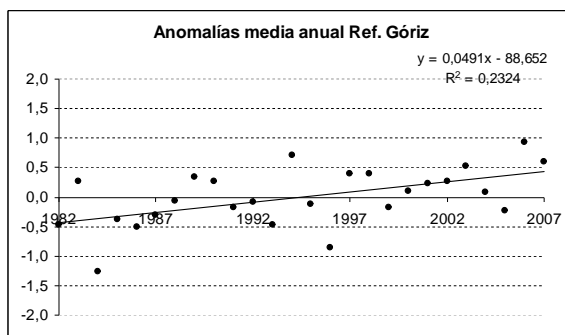
Es decir, se ha producido una tendencia positiva estadísticamente significativa para esta serie en el periodo considerado, que se puede apreciar mediante las gráficas de anomalías de la serie (Figura 1).

Si el análisis se realiza por estaciones, no aparecen tendencias significativas para las temperaturas medias invernales (DEF), mientras que sí aparecen tendencias al calentamiento significativas para los meses primaverales (MAM) en buena parte de las estaciones consideradas (Tabla 3).

Para las temperaturas medias de los meses de verano (JJA) no aparecen tendencias significativas salvo para, de nuevo, la serie de Góriz, que ofrece según rho de Spearman una correlación de 0,403 y una significación de 0,041. En cuanto al otoño (SON), la única tendencia significativa es al enfriamiento en la serie de Gédre, con una correlación según rho de Spearman de -0,425 y una significación de 0,038.

Si se analizan las tendencias estacionales de las series de temperaturas mínimas y máximas, los resultados son muy similares: sin tendencias significativas en invierno, tendencias significativas al calentamiento en la media de las máximas primaverales para Aísa, Bescós, Gédre y Góriz, con correlaciones de 0,4 o superiores, significativas en general al nivel 0,01, y

tendencias al calentamiento también en las mínimas para las series de Gédre y Góriz con



correlaciones del orden de 0,5 y significativas al nivel 0,01.

Figura 1: Anomalías de las temperaturas medias anuales, las medias de las máximas y las medias de las mínimas anuales para la serie del Refugio de Góriz.

Estación	Tau-b de Kendall		Rho de Spearman	
	Correlación	Significación	Correlación	Significación
Abaurrea Alta	No hay	-	No hay	-
Aísa de Jaca	0.265	0.070	0.389	0.060
Bescós de G.	0.352	0.016	0.473	0.020
Canfranc- L.A.	No hay	-	No hay	-
Gédre	0.370	0.011	0.472	0.020
Góriz	0.489	0.000	0.644	0.000

Tabla 3: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE TENDENCIAS PARA LAS TEMPERATURAS MEDIAS DE LOS MESES DE PRIMAVERA.

En el resto de las estaciones sólo aparecen tendencias al calentamiento para las máximas estivales de Góriz significativas al nivel 0,05 y, con menor significación aún, tanto para las máximas como para las mínimas otoñales de Gédre.

3.2. Periodo 1995-2007

Para este intervalo temporal han aparecido menos tendencias significativas. En las temperaturas medias hay un enfriamiento apenas significativo para la serie de Gédre, que sí es significativo para la media de las mínimas de ese observatorio (rho de Spearman con correlación de -0,700 y una significación de 0,016). Analizando por estaciones, esa tendencia

negativa es especialmente significativa para las máximas y las mínimas invernales de Gédre. También aparecen tendencias negativas con cierta significación para las mínimas invernales de Abaurrea Alta, Aísa de Jaca, Bescós de Garcipollera y Canfranc, una tendencia reflejada en otros estudios llevados a cabo para periodos similares en otros entornos pirenaicos (Peña et al., 2006), aunque para estaciones más altas (Góriz, Panticosa o Estós) aparecen correlaciones negativas pero con poca significación estadística. Las mínimas otoñales presentan para este periodo una tendencia positiva y estadísticamente significativa para Canfranc, Góriz y Panticosa.

3.3. Periodo 2000-2007

La principal novedad en este periodo es la incorporación al estudio una nueva estación por encima de 2100 m., el Refugio Ángel Orús, cerca del Pico Posets en Eriste. No aparecen tendencias significativas en las temperaturas medias, acaso una tendencia al enfriamiento en Gédre, que se aprecia mejor en las máximas. Por periodos estacionales destaca una fuerte tendencia al enfriamiento en las máximas invernales de Gédre y de Pineta, con correlaciones

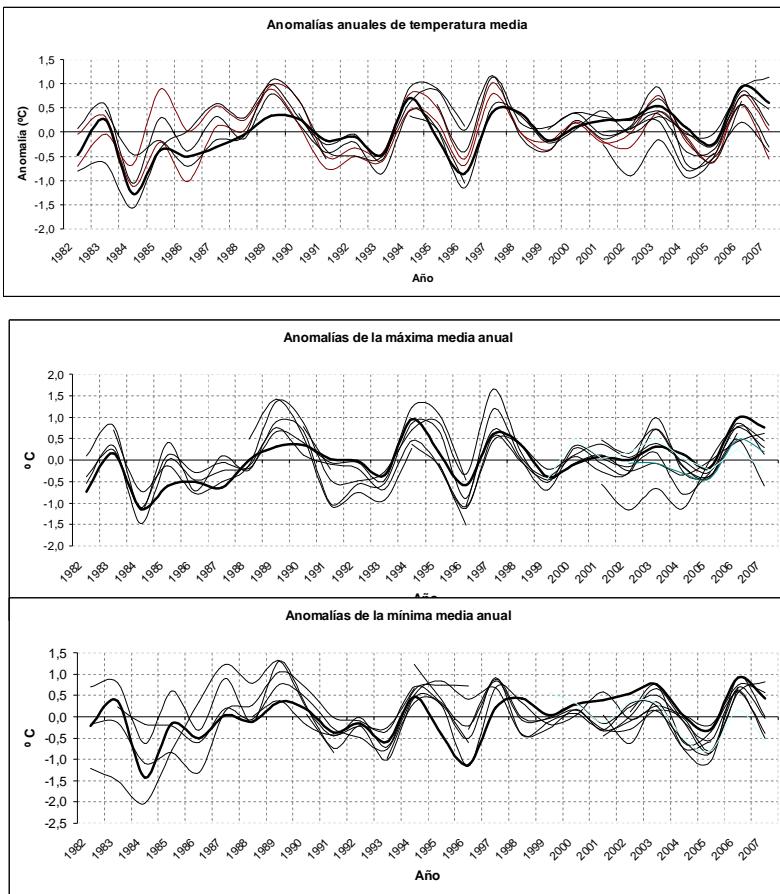


Figura 2: Gráficas suavizadas para la evolución de las anomalías de las temperaturas medias, máximas y mínimas de todas las series consideradas con respecto a sus valores medios. Destacada: Refugio de Góriz.

significativas del orden de $-0,7$ o superiores. Es destacable, además, el hecho de que estas dos estaciones estén situadas en fondos de valle a altitudes similares (1000-1250 m.) y próximas al Góriz, a una altitud 1000 m. superior y que sin embargo no presenta ningún tipo de tendencia, lo que bien podría deberse a una mayor frecuencia de tipos de tiempo determinados en la zona (predominio anticiclónico, inversiones térmicas) para este periodo más reciente. Son igualmente llamativas las tendencias positivas para las mínimas otoñales en Aísa, Canfranc, Góriz, Panticosa y Ángel Orús, con correlaciones que van de 0,6 a 0,9 significativas, en general, al nivel de 0,02. Destaca la variedad de altitudes y exposiciones de esta tendencia, que tanto se presenta en estaciones de fondo de valle como de alta montaña. En otoño, las temperaturas máximas presentan una tendencia positiva significativa para la serie de Estós y, menor, para Pineta.

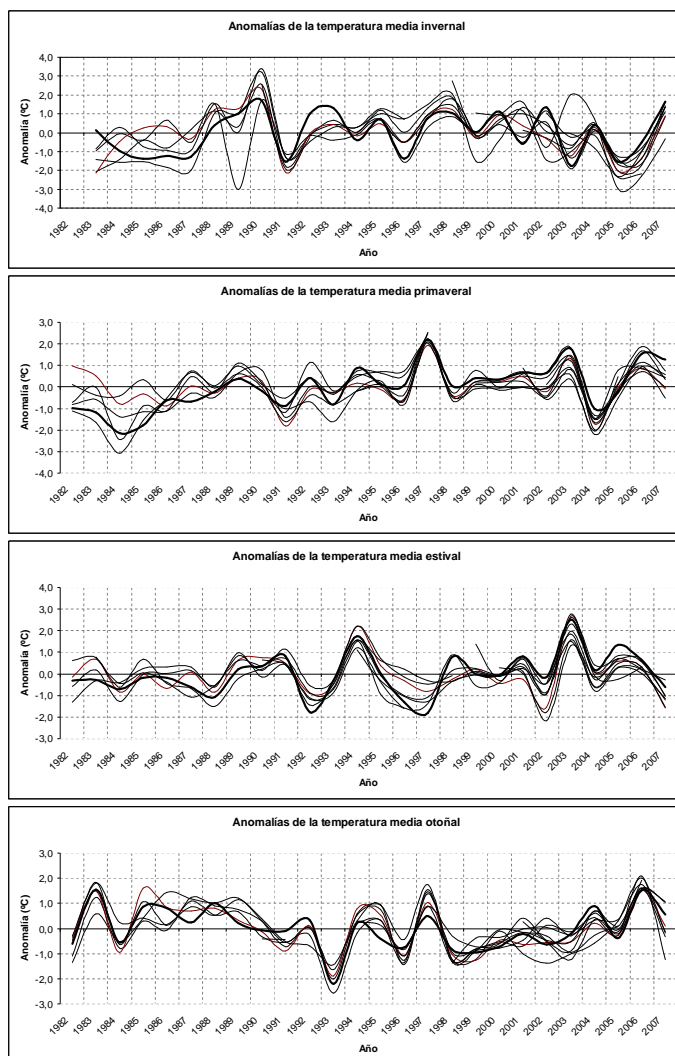


Figura 3: Gráficas suavizadas para la evolución de las temperaturas medias estacionales con respecto a sus valores medios de todas las series consideradas. Destacada: Refugio de Góriz.

Todas las características del apartado 3 se resumen y aprecian en las figuras 2 y 3 donde, destacando la serie de Góriz que resulta ser la que presenta una tendencia más representativa para todo el periodo y la más larga de las de alta montaña, aparecen las anomalías de todas las series estudiadas.

4. ESTUDIO COMPLEMENTARIO: FORMA DE LA PRECIPITACIÓN

Una posible manera complementaria de abordar la tendencia térmica de una serie de alta montaña es el estudio de la forma de la precipitación. Se ha incorporado de manera relativa, de forma que lo que se tiene en cuenta es el porcentaje de días de nieve frente a los días de precipitación totales, que es independiente de la cantidad total de precipitación. Este estudio sólo se ha realizado para la serie del Refugio de Góriz, que presenta dato diario de forma de precipitación y meteoros para sus 26 años de duración. Los datos se han agregado de forma mensual, estacional y anual.

Aunque la evolución de los porcentajes (Figura 4) pueda parecer que una regresión lineal de los datos implique tendencias negativas, un estudio de tendencias análogo al de las series de temperatura indica que dichas tendencias no son estadísticamente significativas (significaciones del orden de 0,2). Los ascensos térmicos primaverales se traducirían en una disminución de los días con nieve del orden del 5 al 10% en esta estación, pero ésta es una afirmación muy débil que, además, no tiene ninguna relación con la cantidad total de nieve o de precipitación que se pueda producir y que requeriría de un estudio específico para poder afirmar esta hipótesis desde bases más sólidas o desmentirla.

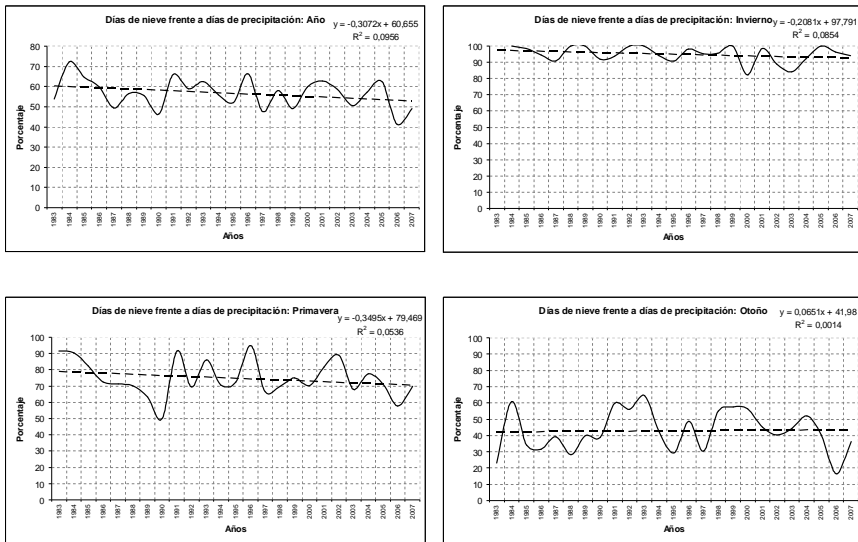


Figura 4: Porcentaje de días de nieve frente a días totales con precipitación anuales y en invierno, primavera y otoño en el Refugio de Góriz.

5. CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio de la evolución de las series de temperatura para diez observatorios diferentes de media o alta montaña en el Pirineo central y occidental. Desde un primer momento se ha aceptado que para poder determinar con un grado de fiabilidad razonable la caracterización del clima y la evolución de un entorno como el de esta área de estudio es necesario hacerlo con mayor número de estaciones y a lo largo de un periodo de tiempo mayor. Sin embargo, dadas las circunstancias, el ámbito de este trabajo y la duración de las series consideradas hacen que puedan aparecer indicios interesantes.

La evolución de las temperaturas que se refleja en las gráficas de anomalías pone de manifiesto la homogeneidad de las series consideradas (Figuras 2 y 3).

No han aparecido tendencias generales en las series salvo en la más representativa de un entorno de alta montaña de las disponibles, y en la que presenta mayor duración y calidad, la del Refugio de Góriz. Esa tendencia ha sido positiva, tanto en las medias como en las máximas y mínimas, y podría estimarse en un ascenso del orden de entre 0,5 y 1° en el último cuarto de siglo. En cuanto a la forma de la precipitación -el porcentaje de días de nieve- no aparecen resultados concluyentes, aunque podrían ir en la dirección de una reducción suave. El hecho de que Góriz sea la serie de más altitud entre las consideradas puede ser una explicación a este reflejo más claro del calentamiento global, ya que las series de menor altitud tienen comportamientos mucho más complejos y condicionados por el relieve.

La segmentación por periodos y estaciones permite apreciar cambios de comportamiento. En general las tendencias positivas están más marcadas en primavera, tanto en las máximas (especialmente), como en las mínimas. Algunas estaciones reflejan también tendencias al aumento de temperatura en otoño, más marcadas en los periodos más recientes.

Otras estaciones, especialmente las de fondo de valles profundos, han experimentado enfriamientos en los meses invernales. En la Figura 3(a) se aprecian con claridad los cambios de fase entre estaciones de alta montaña y de fondos de valle en la evolución de las temperaturas invernales. Este fenómeno, que aparece en mucha menor medida también en otoño, contrasta con la fuerte sincronía de las tendencias de temperatura para todas las estaciones y refleja muy bien las inversiones térmicas. Una mayor frecuencia de inviernos con predominio anticiclónico, como los de los últimos años, puede ser la causa del reforzamiento de este proceso tan característico de los medios de montaña.

Pese a las variaciones locales, las series reflejan muy bien los procesos a escala mucho mayor. Así, las altas temperaturas de verano de 2003 o de otoño de 2006, episodios fríos como los de los de 1991 o el verano de 2007, se reflejan de manera general con claridad.

Es necesario continuar, completar y profundizar este trabajo en varias vías posibles de investigación: estudiando la evolución de los extremos y no sólo de los valores medios; involucrando en mayor grado la relación entre temperatura y precipitación, lo que supondría extender este estudio de tendencias a las precipitaciones y, por último, realizar una síntesis de los resultados de las líneas anteriores con un estudio sinóptico que ponga en relación todos los elementos considerados.

6. AGRADECIMIENTOS

A todo el personal de las estaciones climatológicas y nivometeorológicas, sin cuyo trabajo desinteresado ésta y otras muchas labores serían imposibles. Al Centro Departamental de Météo France en Hautes Pyrénées por la aportación de los datos de la serie de Gédre.

7. REFERENCIAS

- BARRY, R.G. (1992) *Mountain Weather and Climate*. Routledge, London y New York.
- FERRAZ, J.; PALOMO, M. (2007). *Actividades nivometeorológicas: Campaña 2005-2006*. Instituto Nacional de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente, Zaragoza. (Documento interno).
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, New York.
- PEÑA, J.C.; GARCÍA, C.; ESTEBAN, P.; MARTÍ, G.; PROHOM, M. (2006). "Análisis de la temperatura en alta montaña: reciente descenso térmico invernal en el Pirineo Oriental y su relación con la circulación atmosférica. Resultados preliminares", en CUADRAT, J.M.; SAZ, M.A.; VICENTE, S.M; LANJERI, S; DE LUIS, M.; GONZÁLEZ, J.C. (eds.). *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*. Asociación Española de Climatología, Zaragoza, pp. 261-271.
- ŠTĚPÁNEK, P. (2005). *AnClim - software for time series analysis*. Dept. of Geography, Fac. of Natural Sciences, Brno. 1.47 MB.
- STORCH, H.V.; ZWIERS, F.W. (1995). *Statistical Analysis in Climate Research*. Cambridge University Press, Cambridge.
- THUILLER, W.; LAVOREL, S.; ARAÚJO, M.; SYKES, M.T.; PRENTICE, I.C. (2005). "Climate change threats to plant diversity in Europe". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 23, pp. 8245-8250.
- WILKS, D.S. (1995). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press, New York.