



El clima de los Pirineos:

BASE DE DATOS Y PRIMEROS RESULTADOS

JOSÉ M. CUADRAT, ROBERTO SERRANO, MIGUEL A. SAZ, ERNESTO TEJEDOR, MARC PROHOM, JORDI CUNILLERA, JEAN-MICHEL SOUBEYROUX, NAHALIE DEAUX Y PERE ESTEBAN

Introducción

El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, IPCC, en su último informe señala como escenario global para los próximos años el creciente aumento de las temperaturas, la fusión generalizada de la nieve y variaciones en la frecuencia e intensidad de los fenómenos extremos; y sugiere la necesidad de poner el estudio de las áreas de montaña en el núcleo de la discusión, por su vulnerabilidad y especial sensibilidad frente al cambio climático.

También la Agencia Europea de Medio Ambiente reconoce la fragilidad de las montañas y las identifica como espacios particularmente apropiados para la detección de las modificaciones del clima y para definir estrategias de adaptación, porque actúan como verdaderos laboratorios que permiten anticipar los efectos del cambio y sus posibles consecuencias en otros territorios.

Lógicamente, para el estudio del clima, y en particular para analizar su variabilidad y tendencia, es esencial la disponibilidad de una amplia base de datos, con control de calidad, sin valores aberrantes, y sometidas a análisis de homogeneidad para que cualquier cambio o tendencia registrada sea respuesta directa de la evolución del clima y no de aspectos externos no climáticos. Desafortunadamente, las observaciones meteorológicas están afectadas con frecuencia por circunstancias ajenas al comportamiento del clima, tales como variaciones de emplazamiento, cambios de instrumentación, alteración del entorno de los observatorios, etc.; y además, en el caso de las áreas de montaña es difícil disponer de largas series de datos y muy limitado el número de observatorios.

En los Pirineos muchos proyectos han iniciado trabajos de recuperación y control de datos (Soubeyroux et al., 2011; Esteban, et al., 2012; Espejo et al., 2008), pero estas series climáticas son parciales y de calidad muy variable; además, están limitadas por

los enfoques estrictamente nacionales, reduciendo la capacidad de análisis global de las variaciones climáticas. En este contexto, la puesta en marcha del Observatorio Pirenaico del Cambio Climático ha supuesto la creación de una base de datos única de temperaturas y precipitaciones, siguiendo una metodología común de control de calidad y homogeneización, que permite elaborar indicadores climáticos y realizar un diagnóstico completo de las tendencias térmicas y pluviométricas recientes.

El trabajo se ha desarrollado de forma coordinada entre Météo France, la Agencia Estatal de Meteorología de España, el Servei Meteorològic de Catalunya, el Centre d'Estudis de la Neu i la Muntanya d'Andorra y la Universidad de Zaragoza. En este artículo se describe el proceso y metodología para la construcción de la base de datos de temperaturas y precipitaciones para el periodo temporal 1950-2010, y se avanzan los primeros resultados de su análisis espacial y del cálculo de las tendencias de las mismas.

2. Fuentes y metodología

2.1. LA BASE DE DATOS CLIMÁTICA

Para poder analizar correctamente el clima pirenaico y generar una base de datos fiable y representativa, ha sido necesaria la consulta de diversos bancos de datos nacionales, para extraer aquellas series más útiles y de calidad tanto de temperatura como de precipitación. Así, para el ámbito septentrional del Pirineo, Météo France ha proporcionado las series de los departamentos franceses limítrofes con la cordillera. Para Andorra, el Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya d'Andorra del Institut d'Estudis Andorrans (CENMA - IEA) ha ofrecido las series climáticas de FEDA (Forces Elèctriques d'Andorra). Para Catalunya, el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) ha proporcionado las



series localizadas en territorio catalán, mientras que la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) ha sido el organismo que ha cedido los datos para el resto del sector meridional del Pirineo.

Para los objetivos planteados se contempló el período 1950-2010 y se seleccionaron aquellas series de temperatura y de precipitación con esa cobertura, o que al menos, cubrieran ese período en un 75%. En aquellos casos en los que ha sido necesario utilizar datos procedentes de dos o más puntos de observación para obtener una serie completa, se ha seguido el criterio propuesto por Météo France:

A) PARA LAS SERIES DE TEMPERATURA:

- la distancia entre los puntos de observación debe ser inferior a 20 km;
- el cambio de altitud debe ser inferior a 50 m;
- preferiblemente, se deben considerar un máximo de tres series individuales para confeccionar una única serie final.

B) PARA LAS SERIES DE PRECIPITACIÓN:

- la distancia entre los puntos de observación debe ser inferior a 10 km;
- el cambio de altitud debe ser (en general) inferior a 25 m;
- deben tener la misma exposición (vertiente).

En conjunto, se han identificado un total de 66 series de temperatura máxima y mínima y 139 series de precipitación. Las tablas 1 y 2 muestran, respectivamente, el número de series seleccionadas y su distribución altitudinal.

Altitud (m)	Número de series
< 200 m	13
De 201 a 500 m	16
De 501 a 750 m	13
De 751 a 1000 m	10
De 1001 a 1500 m	10
De 1501 a 2000 m	3
> 2000 m	1

Tabla 1. Número de series de temperatura seleccionadas y distribución altitudinal de las mismas.

Altitud (m)	Número de series
< 200 m	19
De 201 a 500 m	44
De 501 a 750 m	34
De 751 a 1000 m	21
De 1001 a 1500 m	18
De 1501 a 2000 m	3
> 2000 m	0

Tabla 2. Número de series de precipitación seleccionadas y distribución altitudinal de las mismas.

2.2. LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS: HOMER

Para el control de calidad y homogeneización de las series se han considerado las aportaciones de la Acción COST ES0601 HOME (*Advances in homogenisation methods of climate series: an integrated approach*). Esta Acción tenía como objetivo principal determinar una metodología estándar para el análisis de homogeneidad de bases de datos ambientales y climáticos, y fruto de la misma, en 2011 se generó el método HOMER para la homogeneización de series mensuales y anuales de temperatura y precipitación.

HOMER incluye las mejores prestaciones de otros métodos ya existentes, tales como PRODIGE (Causinus y Mestre, 2004), ACMANT (Domonkos, 2011) y cghseg, un método de segmentación conjunta desarrollada inicialmente por bioestadísticos en el campo de la segmentación del ADN (Picard et al., 2011). Los resultados de diversos experimentos a ciegas realizados durante la acción COST, validaron estas aproximaciones, ya que PRODIGE y ACMANT resultaron estar entre los mejores métodos para homogeneizar series climáticas a resolución anual y mensual (Venema et al. 2012).

HOMER es un método interactivo y semiautomático, ya que durante su aplicación el usuario puede escoger entre la salida totalmente automática que le ofrece el resultado surgido de cghseg (detección) y la técnica de comparación por parejas, en parte subjetiva, que le ofrece la adaptación del método PRODIGE. Al mismo tiempo, se incluye algunas innovaciones adaptadas de ACMANT, y se incorporan diferentes técnicas de análisis de calidad de las series procedentes de otra metodología: CLIMATOL (Guijarro, 2011). Finalmente, también agrega la metodología UBRIS para la carac-

El clima de los Pirineos:

BASE DE DATOS Y PRIMEROS RESULTADOS

terización de posibles tendencias en la temperatura atribuibles al efecto de la urbanización. En Mestre et al. (2013), se detallan más aspectos sobre el uso y características técnicas de HOMER.

3. Resultados

3.1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

La base de datos creada permite una primera cartografía de la distribución espacial de los elementos del clima (figuras 2 y 3) y un análisis inicial de sus características más destacadas. En el caso de las temperaturas, el mapa muestra obviamente el natu-

ral descenso de los valores térmicos con la altitud, desde los 9-10° C de promedio anual del Prepirineo hasta los menos de 3° C que con probabilidad se alcanzan en las altas cumbres de la zona central; a lo que hay que añadir los fuertes contrastes de exposición entre valles y, en particular, los existentes entre la vertiente francesa y la española.

Respecto a las precipitaciones, el mapa dibuja la cordillera como una amplia zona húmeda, de lluvias superiores a los 700 mm, que sobresale sobre un entorno que recibe cantidades mucho más moderadas. Con la altitud, además, las lluvias aumentan y alcanzan registros alrededor de 1.800-2.000 mm e incluso

valores algo superiores en las vertientes mejor expuestas. Pero a su vez, existen marcadas diferencias espaciales, que se contemplan muy bien al observar los Pirineos vasco-navarros, los Pirineos orientales o, sobre todo, los Pirineos franceses, mucho más húmedos, como se refleja intensamente en la vegetación y que tanto sorprende siempre a quienes cruzan por primera vez la vertiente francesa y la española.

3.2. EVOLUCIÓN DE LAS TEMPERATURAS Y LAS PRECIPITACIONES

La complejidad climática del territorio se convierte en un elemento de notable dificultad para evaluar el cambio climático y, especialmente, las previsiones futuras. El complejo mosaico climático del Pirineo responde de forma ligeramente diferente ante estas primeras señales de cambio, y no se puede esperar que en el futuro la respuesta sea igual en toda la región.

En cualquier caso, respecto a las temperaturas parece que el calentamiento es general en toda la cordillera, con ligeras diferencias territoriales. Para cada una de las series mensuales disponibles se ha calculado el valor de la anomalía de la temperatura media de las últimas 6 décadas respecto al valor medio del período de referencia 1961-1990. La evolución de estos valores decadales (figura 4) permite comprobar el descenso de la temperatura durante la década 1971-1980 respecto al período inicial, el fuerte aumento en la década siguiente, 1981-1990 y, sobre todo, el aumento sostenido durante las dos últimas décadas. Las barras verticales que acompañan al valor medio de la anomalía de cada década representan la desviación típica de la muestra, e indican que cuanto mayor es este valor, mayor es la dispersión de valores de la temperatura media.

El mismo criterio se ha seguido para las precipitaciones: se ha calculado la anomalía decadal de cada una de las series respecto al valor medio del período 1961-1990, y su evolución se muestra en la figura 5. Observando los valores

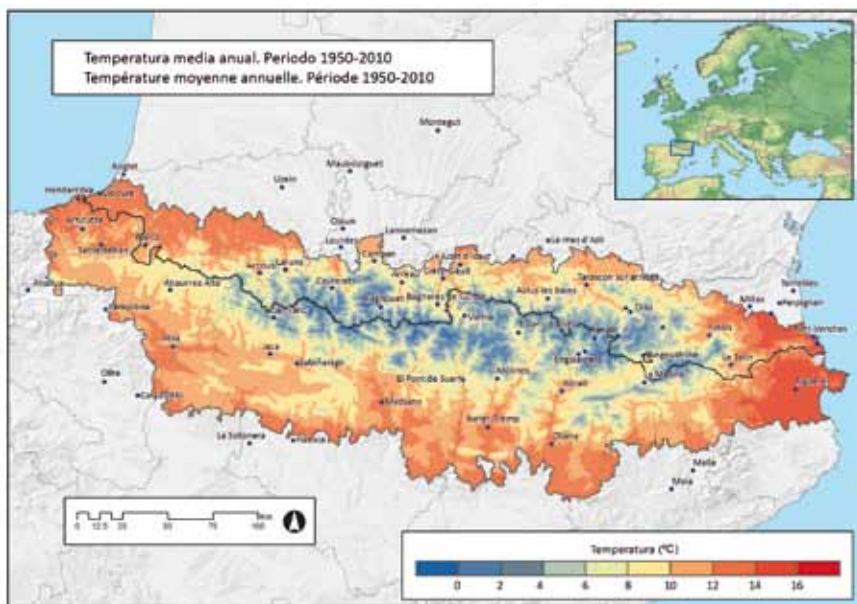


Figura 2. Distribución de la temperatura media anual en el Pirineo en el periodo 1950-2010

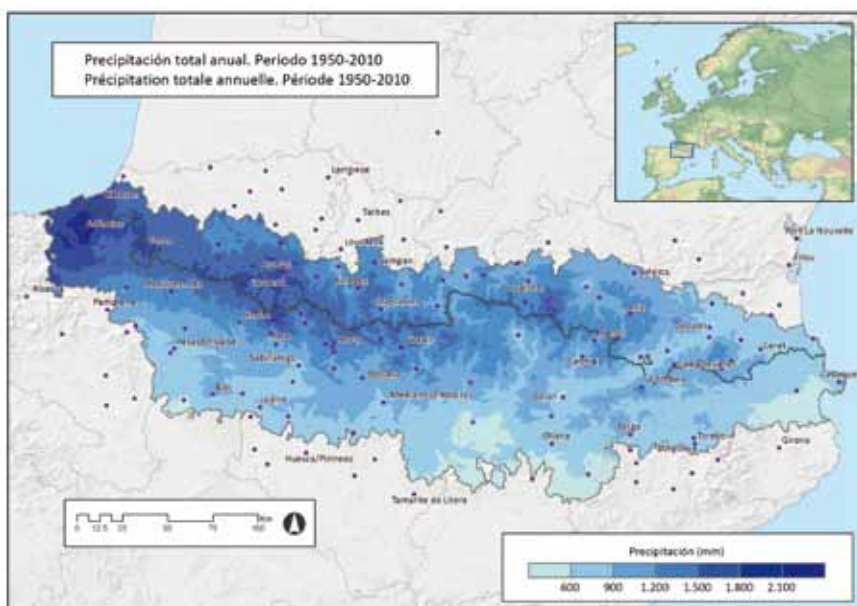


Figura 3. Distribución de la precipitación media anual en el Pirineo en el periodo 1950-2010

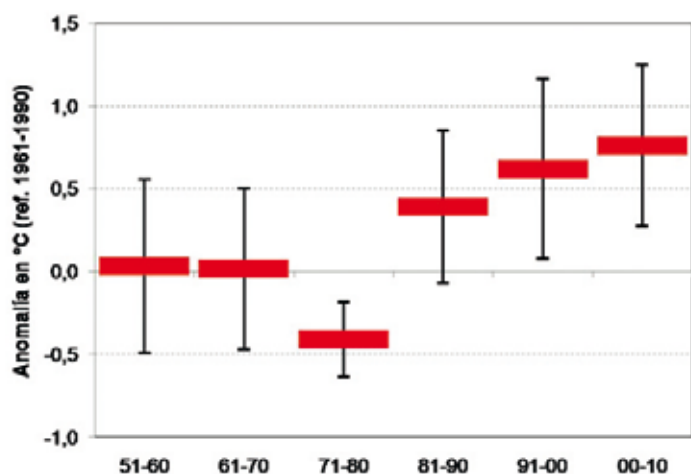


Figura 4. Evolución de la anomalía media (en rojo) y de la desviación típica (barras de color negro) de cada década respecto al valor medio del período de referencia 1961-1990. Se han considerado las 66 series homogéneas de temperatura.

representados, es difícil determinar un comportamiento bien definido de la precipitación, pues tras un ligero aumento durante las tres primeras décadas del período 1950-2010, los valores medios de las tres décadas siguientes no siguen un patrón claro: la precipitación se sitúa claramente por debajo de la media en la década 1981-1990, está muy próximo al promedio durante 1991-2000, y otra vez por debajo de la media la última década. En definitiva, la precipitación en los Pirineos durante la segunda mitad del período 1950-2010 es inferior a la registrada durante la primera mitad del período, pero la tendencia durante los 60 años estudiados no es muy robusta.

Como comentario final señalar que la Acción Clima del OPCC ha hecho posible crear por primera vez una base de datos única, con control de calidad y homogeneizada. Esta información

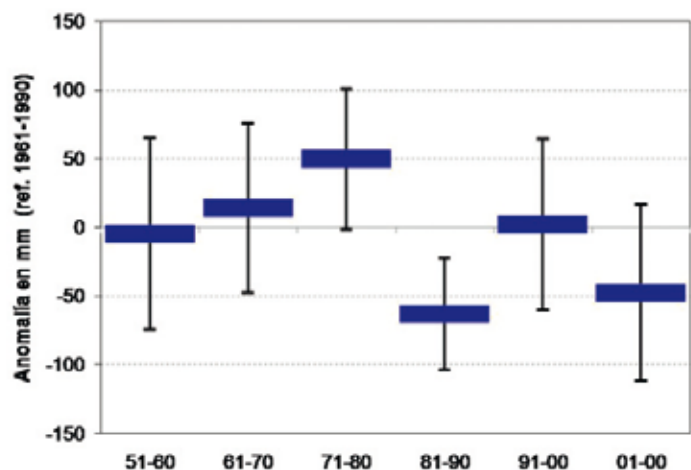


Figura 5. Evolución de la anomalía absoluta de la precipitación media (en azul) y de la desviación típica (barras de color negro) de cada década respecto al valor medio del período de referencia 1961-1990. Se han considerado las 139 series homogéneas de precipitación.

permite realizar una cartografía de la distribución de las temperaturas y precipitaciones del conjunto del Pirineo y un examen comparativo de la vertiente francesa y española, además de observar las significativas diferencias entre los distintos valles.

Los resultados ponen en evidencia también las dificultades de estudio del clima de las áreas de montaña por la debilidad de la red de estaciones meteorológicas y la escasez de datos disponibles a partir de cierta altitud, que en el caso pirenaico se hace muy evidente desde los 1.500 m. Este problema genera siempre notables incertidumbres en los cálculos que puedan hacerse para las altas cimas y la necesidad de tomarlos con mucha cautela, razón por la cual los socios de la Acción continuarán actualizando anualmente la información, junto con la incorporación de las observaciones meteorológicas no contempladas en este primer trabajo.

Bibliografía

- Caussinus, H. and Mestre, O. (2004): Detection and correction of artificial shifts in climate series. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C. Applied Statistics*, 53. 405-425.
- Domonkos, P. (2011): Adapted Caussinus-Mestre Algorithm for homogenising Networks of Temperature series (ACMANT), *Int. J. Geosci.*, 2. 293-309. DOI:10.4236/ijg.2011.23032.
- Espejo, F.; Ferraz, J. y Palomo, M. (2008): Tendencias recientes en las series de temperatura del Pirineo Central y Occidental. VI Congreso Internacional de la AEC, serie A, 6: 99-108.
- Esteban, P.; Prohom, M. y Aguilar, E. (2012): Tendencias recientes e índices de cambio climático de la temperatura y la precipitación en Andorra (1935-2008). *Pirineos*, 167: 71-88.
- Guijarro, J.A. (2011): User's guide to CLIMATOL. <http://www.meteobal.com/climatol/climatol-guide.pdf>
- Mestre, O; Domokos P, Picard F, Auer I, Robin S, Lebarbier E, Böhm R, Aguilar E, Guijarro J, Vertachnik G, Klancar M, Gubuisson B and Stepanek P (2013): HOMER: a homogenization software – methods and applications. *Quart. Jour. of the Hungarian Meteorological Service*, 117, 1, pp. 47-67.
- Picard, F.; Lebarbier, E.; Hoebeke, M.; Rigauil, G.; Thiam, B.; and Robin, S. (2011): Joint segmentation, calling and normalization of multiple CGH profiles. *Biostatistics*, 12, pp. 413-428. doi: 10.1093/biostatistics/kxq076
- Soubeyroux, J.M.; Jourdain, S.; Grimal, D.; Espejo, F.; Esteban, P. y Merz, T. (2011): Approche transfrontalière pour l'inventaire et la valorisation des données climatologiques sur le Massif des Pyrénées. Colloque SHF "Eaux en montagne". Lyon.
- Venema, V. et al. (2012): Benchmarking homogenization algorithms for monthly data. *Clim. Past Discuss.*, 8, 89-115. DOI: 10.5194/cp-8-89-2012.