

Evolució recent de la temperatura i la precipitació a Andorra

(1934-2008):
resultats anuals
i estacionals

Pere Esteban, Marc Prohom, Enric Aguilar i Olivier Mestre

En aquest treball es presenten els resultats obtinguts del càlcul de les tendències anuals i estacionals de la temperatura màxima, la temperatura mínima i la precipitació a Andorra del 1934 al 2008 a partir de les observacions de tres estacions meteorològiques del Principat gestionades per Forces Elèctriques d'Andorra, FEDA. Abans de calcular les tendències per a les diferents variables, s'han aplicat filtres de qualitat i d'homogeneïtat de les dades per resoldre possibles errors associats a la digitalització o al mostreig (canvis d'emplaçament, canvis de sensors, etc.), que en alguns casos han requerit la consulta de les dades originals dels arxius de FEDA. Els resultats obtinguts representen una primera descripció sòlida de la dinàmica del clima a Andorra durant les darreres vuit dècades i permeten conèixer la variabilitat i el canvi climàtic experimentats al país, tot confirmant les tendències detectades regionalment per altres organismes, tant francesos com espanyols.

abstract/résumé

Below are the results obtained from the calculation of the annual and seasonal tendencies of the maximum temperature, the minimum temperature and the precipitation in Andorra from 1934 to 2008. The recording of these data has been carried out in three meteorological stations in the Principality managed by *FEDA* (*Forces Elèctriques d'Andorra*), the Andorran electricity suppliers. Before calculating the tendencies for the different variables, the data have been filtered for quality and homogeneity in order to resolve possible errors associated to the digitalisation or the sampling method (site changes, sensor changes etc) which in some cases have required consulting the original data in the *FEDA* archives. The results obtained are a first sound description of the climate dynamics in Andorra over the past eight decades and procure information on the variability and the climate change that have taken place in the country. These confirm the tendencies detected regionally by other institutions both French and Spanish.

En nous appuyant sur les observations de trois stations météorologiques de la Principauté gérées par *Forces Elèctriques d'Andorra (FEDA)*, nous présentons dans ce travail les résultats du calcul des tendances annuelles et saisonnières des températures maximales et minimales, ainsi que des précipitations en Andorre de 1934 à 2008. Avant de calculer les tendances pour les différentes variables, des filtres de qualité et d'homogénéité des données ont été utilisés afin de corriger les erreurs liées à la digitalisation ou à l'échantillonnage (changement d'emplacement, de capteurs, etc.). Dans certains cas il a été nécessaire de consulter les données originales des archives de *FEDA*. Les résultats obtenus constituent une première description fiable de la dynamique du climat en Andorre durant les huit dernières décennies. Ils permettent de connaître la variabilité du changement climatique qu'a connu le pays, et que confirment les tendances régionales détectées par d'autres organismes français et espagnols.

En aquest article es presenten els resultats obtinguts a partir de l'anàlisi de tendències de les mitjanes anuals i estacionals de la temperatura de l'aire màxima i mínima diària, així com de les acumulacions anuals i estacionals de la precipitació. El període d'estudi abasta des del 1934 fins al 2008, durant el qual es disposa de dades de tres estacions meteorològiques del Principat d'Andorra. Aquests resultats s'emmarquen en la recerca conjunta que s'està duent a terme entre el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), el Centre en Canvi Climàtic (C3) de la Universitat Rovira i Virgili de Tarragona, Météo-France i el Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya

d'Andorra de l'Institut d'Estudis Andorrans (CENMA-IEA). Aquesta col·laboració va sorgir arran de les activitats del projecte COSTES0601(HOME) en el qual participen totes quatre entitats. Per a més informació, consulteu: Prohom et al. (2009) i <http://www.homogenisation.org/>

L'objectiu principal d'aquest estudi ha estat disposar d'uns valors de referència sobre el grau d'afectació que està tenint el canvi climàtic a Andorra des de la perspectiva climatològica (canvis en el comportament de variables meteorològiques), i s'hi mostren els resultats obtinguts a escala anual i estacional (hivern, primavera, estiu i tardor).

Les dades emprades han estat les de tres estacions meteorològiques instal·lades i gestionades per FHASA (Forces Hidroelèctriques d'Andorra, SA) i, des del 1988, per FEDA (Forces Elèctriques d'Andorra), que són: Central (Comú d'Encamp, 1.140 m), Engolasters (Comú d'Escaldes-Engordany, 1.640 m) i Ransol (Comú de Canillo, 1.645 m). En totes elles s'han fet observacions manuals diàries a les 8 del matí (hora local) fins a la darrera dècada, quan progressivament s'ha passat a l'observació amb sensors automàtics (fotos 1, 2 i 3). Les tres sèries es presenten contínues des de l'inici de les observacions el 1934, amb l'excepció d'algun dia concret en què no hi ha dades.



Fotos 1, 2, 3: A la fotografia 1 podem veure la garita meteorològica i el pluviòmetre manual de l'estació meteorològica de Ransol. El pluviòmetre manual tipus Hellmann ha estat substituït per aparells automàtics moderns (fotografia 2). La garita de fusta s'emptra encara a totes les estacions de FEDA. A l'interior d'una d'elles s'hi poden veure tres tipus diferents de termòmetres (fotografia 3): l'automàtic (dalt esquerra), de màxima i mínima (dalt dreta) i de mínima d'alcohol (a baix).

Control de qualitat

El control de qualitat –que segueix les directrius de Brunet *et al.* (2008)– ha identificat una sèrie de problemes derivats de l'obtenció i la digitalització de les dades, la major part dels quals han estat resolts. Els tests aplicats sobre les sèries diàries de temperatura consisteixen en: identificació de les dates duplicades (aplicat també a les sèries diàries de precipitació); cerca d'*outliers* (definitos com aquells valors que s'allunyen més de tres vegades del quantil 0,75/0,25 més/menys tres vegades el rang

interquantílic); cerca de diferències excessives entre dies consecutius ($> 20^{\circ}\text{C}$); cerca de seqüències de valors idèntics consecutius (> 4 , aplicat també a precipitació superior a 0 mm); cerca de dies amb temperatura màxima inferior o igual a la temperatura mínima i anàlisi d'arrodoniment (aplicat també a la precipitació). Els tests numèrics s'han complementat amb l'anàlisi de diagrames de caixa o *boxplot*, que han estat especialment útils per validar les dades de precipitació, variable per a la qual la major part de tests numèrics són difícils d'aplicar.

Els problemes detectats han estat corregits després de consultar l'arxiu de FEDA, i s'han eliminat alguns errors que haurien esbiaixat l'anàlisi.

Tot i que les dades continuen tenint alguns problemes (i. e., la resolució de la variable temperatura és, tant a les sèries digitals com en arxiu, d'1 $^{\circ}\text{C}$, ja que els instruments emprats així ho determinen), el banc de dades de control de qualitat resultant constitueix un primer producte de valor d'aquest treball. La figura 1 mostra un exemple de control de qualitat.

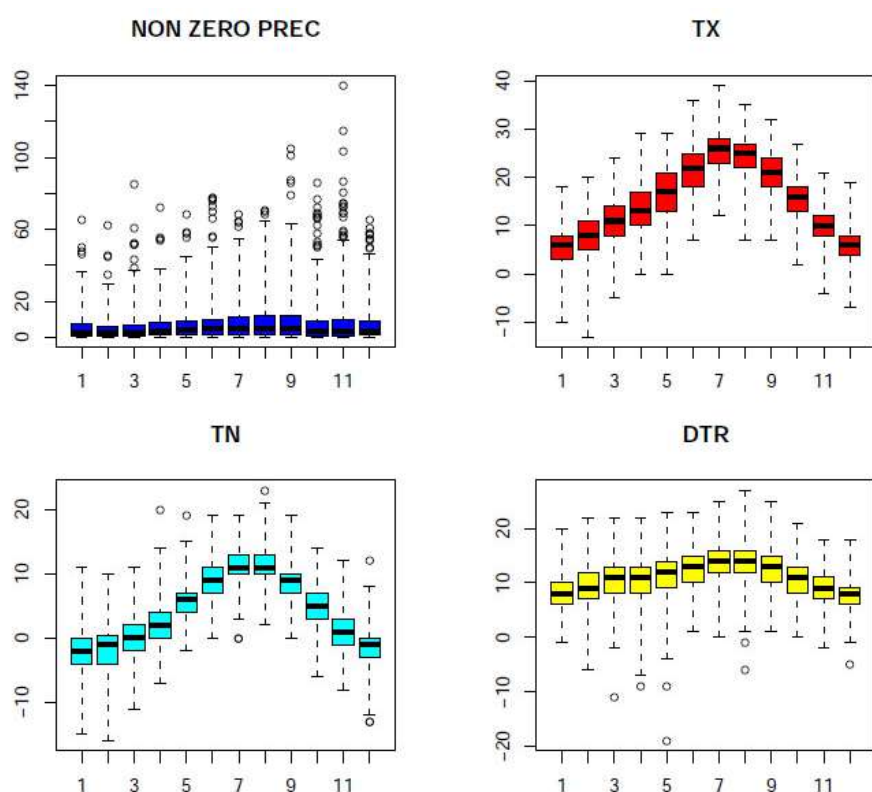


Figura 1: Gràfics de control de qualitat de l'estació Central (NON ZERO PREC: Precipitació superior a 0 mm; TX: Temperatura màxima ($^{\circ}\text{C}$); TN: Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$); DTR: Amplitud tèrmica diària ($^{\circ}\text{C}$)). S'observa com, en el cas de la DTR, existeixen valors (cercles) inferiors a zero que determinen temperatures màximes inferiors a la temperatura mínima; en el cas de la TN s'observen *outliers* (cercles). Aquests errors puntuals han estat revisats en arxiu i corregits.

Avaluació d'homogeneïtat i homogeneïtzació

Un cop assegurada la qualitat de la informació –és a dir, eliminats els errors no sistemàtics–, cal assegurar-ne l'homogeneïtat. Una sèrie és homogènia quan tota la variabilitat i el canvi presents tenen a veure amb la deriva del clima i no amb els esdeveniments que han afectat la forma de mesurar les dades (i. e., canvis d'emplaçament, d'instrumental, d'entorn, etc.) (Aguilar *et al.*, 2003).

L'homogeneïtat de les sèries s'ha inspeccionat a partir de diverses metodologies, que s'han utilitzat de forma complementària i independent per tal d'obtenir resultats sòlids.

En el cas de la temperatura, s'han utilitzat dues aproximacions per tal de detectar i ajustar punts de canvi. La primera és l'Standard Normal Homogeneity Test, SNHT (Alexanderson *et al.*, 1997), que es basa en raons de màxima versemblança, aplicades sobre sèries de referència (construïdes a partir de mitjanes ponderades segons correlació) i aplicat segons els criteris descrits a Aguilar *et al.* (2002) i Brunet *et al.* (2008). S'ha utilitzat el *software* del C3 elaborat per Enric Aguilar, emmarcat en el projecte espanyol CGL2007-65546-C03-02. També s'ha utilitzat el mètode de Caussinus-Mestre, basat en l'aplicació del teorema de Bayes i en la construcció de funcions de penalització, aplicades sobre comparacions entre

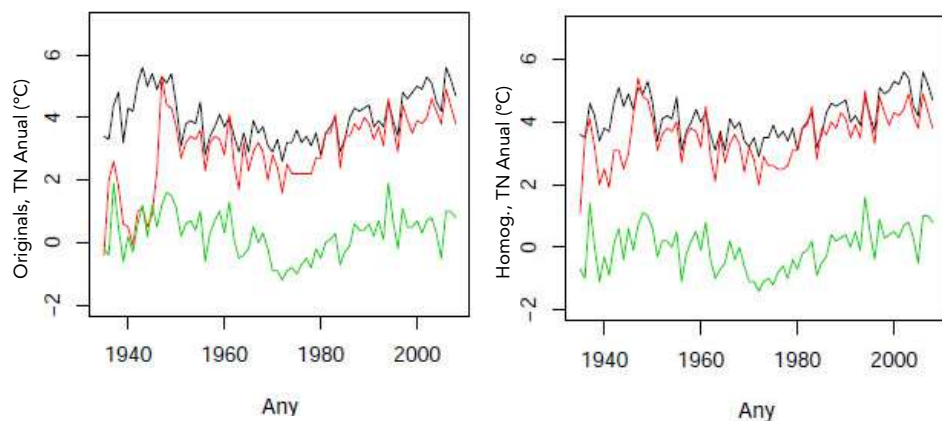
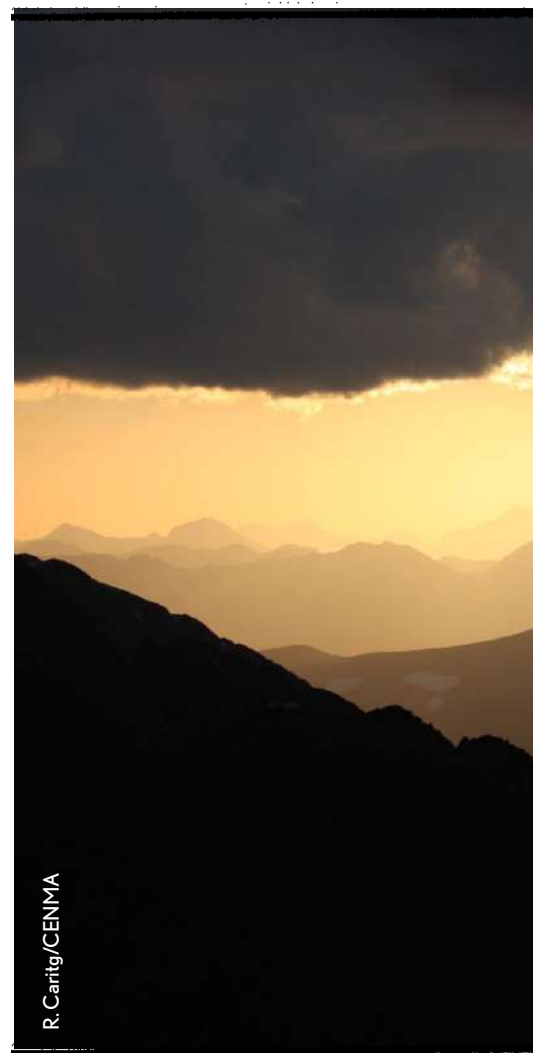


Figura 2: Evolució de les sèries de temperatura mínima anual dels tres observatoris andorrans sense homogeneïtzar (figura esquerra) i homogeneïtzada (figura dreta). S'aprecia clarament la presència d'una inhomogeneïtat a Engolasters en el període previ de 1945 i la seva correcció un cop la sèrie ha estat homogeneïtzada. Engolasters: vermell; Ransol: verd; Central: negre.



parelles de sèries (aproximació *pairwise*: comparacions una a una entre estacions) (Caussinus-Mestre, 2004).

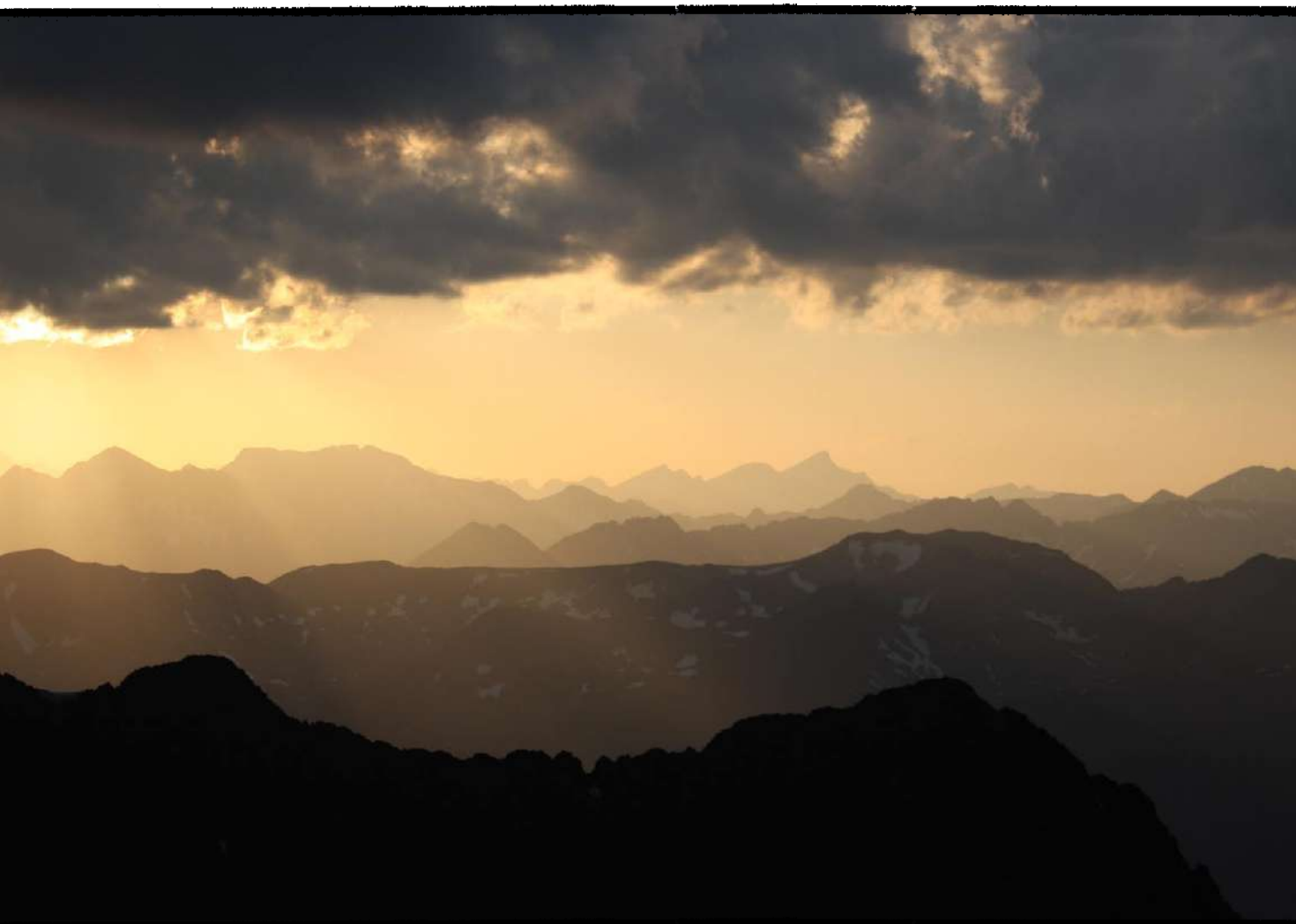
En el cas de la precipitació, a més a més dels tests anteriors, s'ha aplicat a les dades originals (aproximació absoluta) i de forma *pairwise* un test basat en regressió en dues fases (RhTestV3, Wang (2008, 2007)). Atesa la dificultat inherent de la variable (major variabilitat temporal i espacial i major dependència de fenòmens extrems i de mecanismes de variabilitat inter-anual i interdecennal) s'ha optat per no homogeneïtzar les sèries, ans al contrari, s'han utilitzat aquells resultats provinents de la sèrie de Ransol, que ha resultat homogènia segons els tests aplicats.

En tots els casos, s'han tingut en compte les metadades disponibles, és a dir, l'historial o inventari d'incidències de cada observatori, que fins avui es limiten al coneixement aproximat de l'automatització de les estacions i a algun canvi d'emplaçament ocorregut a la dècada de 1990.

Els processos d'avaluació d'homogeneïtat (detecció de punts de canvi artificials) i d'homogeneïtzació (correcció de biaixos introduïts pels mateixos punts de ruptura) faciliten una anàlisi correcta de la informació climàtica. La figura 2 mostra els impactes (i la necessitat) d'homogeneïtzar les sèries climàtiques. Per exemple, la sèrie original d'Engolasters presenta un punt de canvi

evident a mitjan dècada de 1940. La simple comparació de les dades amb les altres dues sèries evidencia que les dades d'abans i de després d'aquest punt de canvi no són directament comparables. Així, la tendència de 0,18 °C/dècada (excessiva i forçada per factors no climàtics), un cop homogeneïtzada es redueix a 0,13 °C/dècada.

Les tendències calculades a partir de l'SNHT i per a la precipitació s'han estimat a partir del mètode no paramètric de Sen (1968), adaptat a l'anàlisi de sèries climàtiques per Wang *et al.* (2001). Les tendències calculades a partir dels resultats de Caussinus-Mestre s'han avaluat mitjançant l'aproximació tradicional per mínims quadrats.



Les diverses metodologies emprades, que han donat valoracions coincidents, almenys qualitativament, reforcen la validesa dels nostres resultats.

Resultats per a la temperatura

Tot i que les dades originals utilitzades per a l'estudi corresponen a observatoris concrets (Central, Engolasters i Ransol), per les dimensions del Principat d'Andorra s'ha considerat oportú presentar els resultats a partir de l'agregació d'anomalies respecte al període de referència 1971-2000 mitjançant la seva mitjana aritmètica. Així, mentre la digitalització de les dades i l'anàlisi de la seva qualitat i la seva correcció es fa separatament per a cadascuna de les sèries climàtiques, l'anàlisi de tendència es fa de forma conjunta. En aquest sentit s'han obtingut les tendències agregades per a Andorra amb els dos mètodes comentats anteriorment. Els resultats es presenten en

°C/dècada, és a dir, variació de la temperatura en graus centígrads per a un període de 10 anys, alhora que es destaca si presenten significació estadística amb un nivell de confiança (o significació) del 95% segons el test de Mann-Kendall.

Els resultats obtinguts per al període 1934-2008 mostren que **la temperatura màxima mitjana anual i la mínima mitjana anual han augmentat al llarg del període d'estudi a Andorra**, encara que aquesta afirmació puntualment (per a la temperatura mínima anual i segons l'SNHT) no es veu secundada pels resultats de la significació estadística.

Aquest increment és més important en el cas de la temperatura màxima, on ens mouríem a l'entorn de valors entre 0,10 i 0,12 °C/dècada d'increment anual, significatius tant si s'utilitza la metodologia Causinus-Mestre com l'SNHT (vegeu taules 1

i 2). Estacionalment, els valors són també d'increment per als solsticis i els equinoccis, però només l'estiu (0,17-0,25 °C/dècada) presenta tendències estadísticament significatives. És important fer notar que aquest ritme d'increment de les màximes estivals és el més important de tots els que s'han calculat en aquests treball per al període 1934-2008, i es tradueix en un increment de la temperatura (increment acumulat) que oscil·laria entre 1,3 °C i 1,8 °C en els 74 anys analitzats i segons el mètode emprat.

Pel que fa les mínimes, tots dos mètodes obtenen la mateixa tendència a l'increment pel que fa a la mitjana anual: 0,07 °C/dècada, tot i que aquest resultat no és significatiu estadísticament quan fem l'homogeneïtzació i el càlcul de tendències amb el mètode SNHT. Així, tot i que no podem confirmar aquesta tendència a l'increment fruit de la manca de significació estadística segons un dels mètodes emprats, sí que volem apuntar

CAUS-MEST	Temperatura màxima (°C)	
1934-2008	Tendència decennal	Increment acumulat
Anual	0,10* [0,01/0,18]	0,74
Hivern	0,14 [0,00/0,30]	
Primavera	0,07 [-0,08/0,22]	
Estiu	0,17* [0,03/0,32]	1,26
Tardor	0,03 [-0,11/0,18]	

*resultats estadísticament significatius a un nivell de confiança del 95%

Taula 1: Tendències decennals (°C/dècada) i increment anual i estival acumulat de la temperatura màxima obtinguts amb el mètode Causinus-Mestre (2004) i per al període 1934-2008. Entre claudàtors, els corresponents intervals de confiança.

SNHT	Temperatura màxima (°C)	
1934-2008	Tendència decennal	Increment acumulat
Anual	0,12* [0,03/0,21]	0,89
Hivern	0,08 [-0,07/0,23]	
Primavera	0,08 [-0,10/0,24]	
Estiu	0,25* [0,09/0,41]	1,85
Tardor	0,06 [-0,10/0,20]	

*resultats estadísticament significatius a un nivell de confiança del 95%

Taula 2: Tendències decennals (°C/dècada) i increment anual i estival acumulat de la temperatura màxima obtinguts amb el mètode SNHT i per al període 1934-2008. Entre claudàtors, els corresponents intervals de confiança.

la possibilitat que aquesta manca de significació sigui conseqüència de l'elevada variabilitat hivernal, un aspecte que comentem amb els resultats obtinguts per al període 1971-2008.

Estacionalment, ens trobem amb la mateixa situació que amb les mitjanes anuals de les mínimes. Així, s'obtenen tendències d'increment en tots els casos, però només significatives estadísticament per a l'estiu segons Causinus-Mestre (0,14 °C/dec; 1,04 °C en 74 anys) i per a l'hivern segons SNHT (0,18 °C/dec; 1,33 °C en 74 anys).

Si s'observen els gràfics anuals d'evolució de l'anomalia de temperatura anual (figura 3) i estacional (figura 4) es pot afirmar que en general hi ha una acumulació d'anys càlids, especialment en les darreres dècades del període d'estudi. Això és especialment evident a l'estiu i a la primavera, mentre que queda més difuminat a l'hivern i a la tardor,

fet que respondria a la seva major variabilitat interanual.

Finalment, i seguint amb l'anàlisi de la tendència acumulada i els resultats dels dos mètodes emprats, es pot concloure que **la temperatura mitjana anual a Andorra ha augmentat entre 0,63 i 0,71 °C durant el període 1934-2008, uns valors que permeten afirmar que hi ha hagut un escalfament del clima a Andorra al llarg dels darrers 74 anys.** Aquesta afirmació no hauria de sorprendre, ja que tots els estudis realitzats a l'àrea propera (Espanya, Pirineus, França) van en la mateixa línia.

Resultats per al període recent 1971-2008

Segons el darrer informe sobre l'estat global del clima (IPCC, 2007), les modelitzacions realitzades només amb forçaments naturals

del clima, d'una banda, i forçaments naturals juntament amb els d'origen antropogènic, d'altra banda, detecten clarament que l'activitat humana està afectant l'evolució de les temperatures de forma inequívoca des de finals dels anys seixanta i principis dels setanta. És per això que s'ha volgut abordar de forma preliminar (només amb un mètode) l'anàlisi de les tendències d'aquest període més recent, que a més d'informar-nos del ritme i les característiques del canvi de les darreres dècades, es poden plantejar com una validació dels resultats que s'han anat obtenint. Aquesta anàlisi es farà comparant els resultats obtinguts en aquest estudi amb els d'altres treballs, concretament amb el de Brunet *et al.* (2007) per a Espanya.

Observant els valors (taules 5 i 6) s'aprecia clarament que la tendència a l'increment de la temperatura a Andorra s'ha reforçat durant el període recent 1971-2008, tal com reflecteixen altres resultats. A més, els valors

CAUS-MEST	Temperatura mínima (°C)	
1934-2008	Tendència decennal	Increment acumulat
Anual	0,07* [0,00/0,15]	0,52
Hivern	0,11 [-0,02/0,23]	
Primavera	0,03 [-0,12/0,15]	
Estiu	0,14* [0,03/0,24]	1,04
Tardor	0,02 [-0,11/0,12]	

*resultats estadísticament significatius a un nivell de confiança del 95%

Taula 3: Tendències decennals (°C/dècada) i increments anual, hivernal i estival de la temperatura mínima obtinguts amb el mètode Causinus-Mestre (2004) per al període 1934-2008. Entre claudàtors, els corresponents intervals de confiança.

SNHT	Temperatura mínima (°C)	
1934-2008	Tendència decennal	Increment acumulat
Anual	0,07 [-0,07/0,20]	0,52
Hivern	0,18* [0,04/0,31]	1,33
Primavera	-0,01 [-0,20/0,18]	
Estiu	0,13 [-0,01/0,26]	
Tardor	0,06 [-0,07/0,18]	

*resultats estadísticament significatius a un nivell de confiança del 95%

Taula 4: Tendències decennals (°C/dècada) i increments anual i hivernal de la temperatura mínima obtinguts amb el mètode SNHT i per al període 1934-2008. Entre claudàtors, els corresponents intervals de confiança.

SNHT	Temperatura màxima (°C)	
	Tendència decennal a Andorra 1971-2008	Tendència decennal a Espanya 1973-2005 (Brunet <i>et al.</i> , 2007)
Anual	0,40* [0,15/0,77]	0,51*
Hivern	0,27 [-0,26/0,66]	0,35
Primavera	0,68* [0,12/1,16]	0,82*
Estiu	0,42* [0,04/0,79]	0,73*
Tardor	0,00 [-0,33/0,37]	0,13

*resultats estadísticament significatius a un nivell de confiança del 95%

Taula 5: Tendències decennals (°C/dècada) de la temperatura màxima amb el mètode SNHT per al conjunt d'Andorra (1971-2008) i per al conjunt d'Espanya (1973-2005) (Brunet *et al.*, 2007). Entre claudàtors, els valors de significació per a les tendències andorranes.

SNHT	Temperatura mínima (°C)	
	Tendència decennal a Andorra 1971-2008	Tendència decennal a Espanya 1973-2005 (Brunet <i>et al.</i> , 2007)
Anual	0,48* [0,05/0,97]	0,47*
Hivern	0,28 [-0,10/0,59]	0,06
Primavera	0,61* [0,10/1,14]	0,66*
Estiu	0,61* [0,03/1,22]	0,62*
Tardor	0,40* [0,11/0,73]	0,43*

*resultats estadísticament significatius a un nivell de confiança del 95%

Taula 6: Tendències decennals (°C/dècada) de la temperatura mínima amb el mètode SNHT per al conjunt d'Andorra (1971-2008) i per al conjunt d'Espanya (1973-2005) (Brunet *et al.*, 2007). Entre claudàtors, els valors de significació per a les tendències andorranes.

Precipitació	
1934-2008	Tendència decennal
Anual	-0,43 [-3,24/0,85]
Hivern	-0,42 [-1,83/0,85]
Primavera	0,02 [-0,81/0,96]
Estiu	-1,02 [-1,88/0,03]
Tardor	0,35 [-0,90/1,64]

*resultats estadísticament significatius a un nivell de confiança del 95%

Taula 7: Tendència decennal (mm/dècada) de la precipitació acumulada diària a Ransol durant el període 1934-2008.

obtinguts estan amb total consonància amb els resultats de l'estudi de Brunet *et al.* (2007) per a Espanya. Així, destaca el ritme de creixement significatiu de la temperatura tant a la primavera com a l'estiu en ambdós casos. Molt notable és la manca de significació dels resultats hivernals, fet que denota un aspecte molt interessant que cal considerar, sobretot tenint en compte la seva significació en el període 1934-2008: probablement estaríem davant un increment de la variabilitat hivernal, és a dir, un increment de l'ocurrència d'hiverns càlids i freds ben diferenciats i poc separats en el temps (poden ser consecutius). Per constatar-ho només cal observar els gràfics de la figura 4, on l'hivern presenta clarament un comportament irregular pel que fa a les anomalies, mentre que altres estacions com l'estiu i la primavera permeten identificar clarament uns períodes freds i càlids persistents. En definitiva, l'hivern també presenta un comportament d'increment tèrmic, tot i que també incrementa la variabilitat.

Resultats pel que fa a la precipitació

L'avaluació de la qualitat de les sèries i de la seva homogeneïtat amb els diferents mètodes citats anteriorment ha fet rellevant la bona qualitat de les observacions de precipitació a les tres estacions de FEDA. Així, a les sèries s'han detectat pocs punts de trencament, i fins i tot en el cas de Ransol no se n'ha detectat cap, de manera que les dades d'aquest observatori no requereixen homogeneïtzació. És per això que, a diferència de la temperatura, s'ha optat per prendre com a referència principal els resultats obtinguts a Ransol a l'hora de concloure les tendències anuals i estacionals, tenint en compte la dificultat inherent d'aquesta variable (major variabilitat

Precipitació	
1950-2008	Tendència decennal
Anual	-4,26* [-7,80/-1,03]
Hivern	-1,48 [-3,12/0,41]
Primavera	-1,00 [-2,43/0,42]
Estiu	-2,44* [-3,74/-1,13]
Tardor	-0,28 [-2,16/1,49]

Taula 8: Tendència decennal (mm/dècada) de la precipitació acumulada diària a Ransol durant el període 1950-2008.

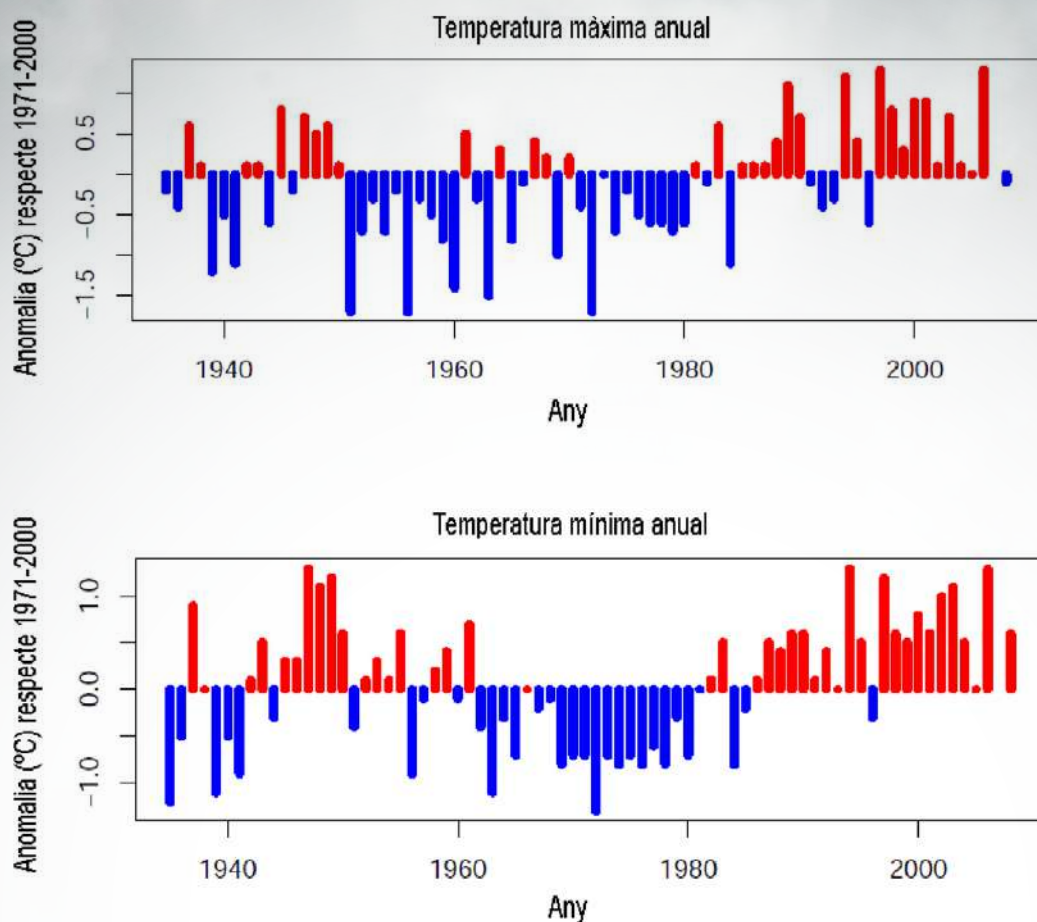


Figura 3: Anomalies en °C de la mitjana anual de la temperatura màxima (superior) i mínima (inferior) diària, durant el període 1934-2008 i respecte al període de referència 1971-2000.

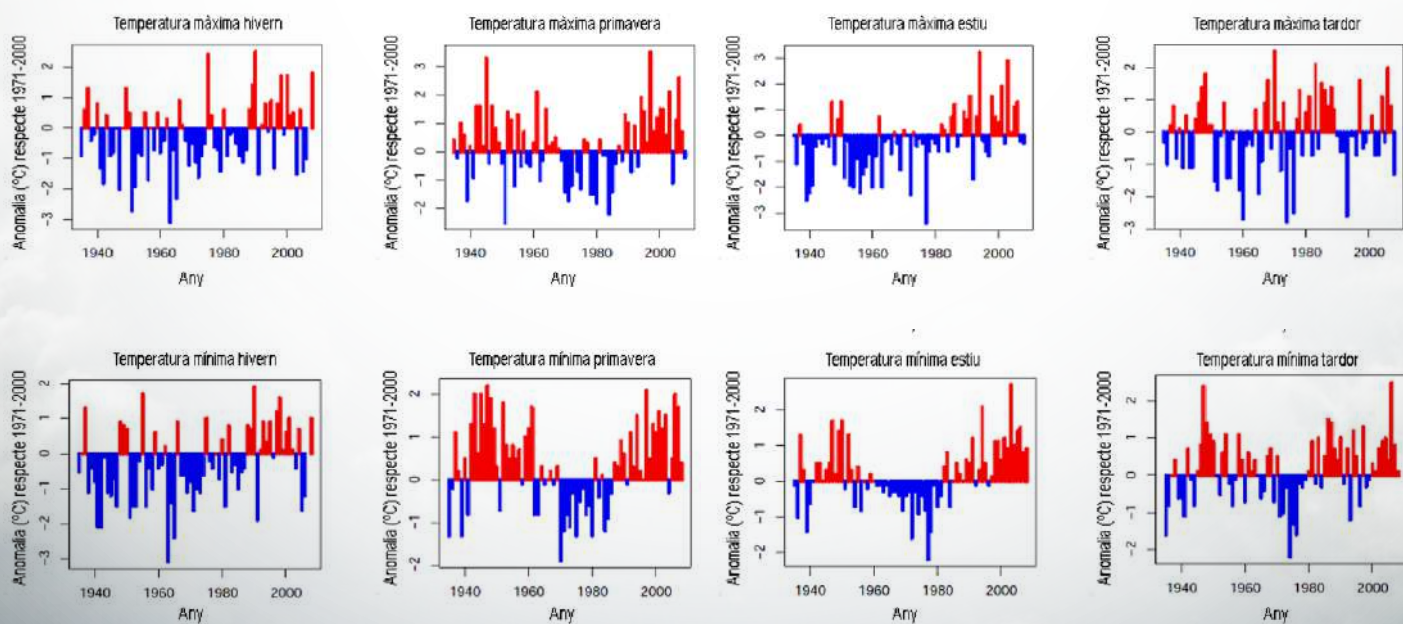


Figura 4: Anomalies en °C de les mitjanes estacionals de la temperatura màxima (línia superior) i mínima (línia inferior) diària, durant el període 1934-2008 i respecte al període de referència 1971-2000. Els quatre quadres superiors corresponen a les anomalies de la temperatura màxima estacional i els quatre quadres inferiors a les anomalies de la temperatura mínima estacional.

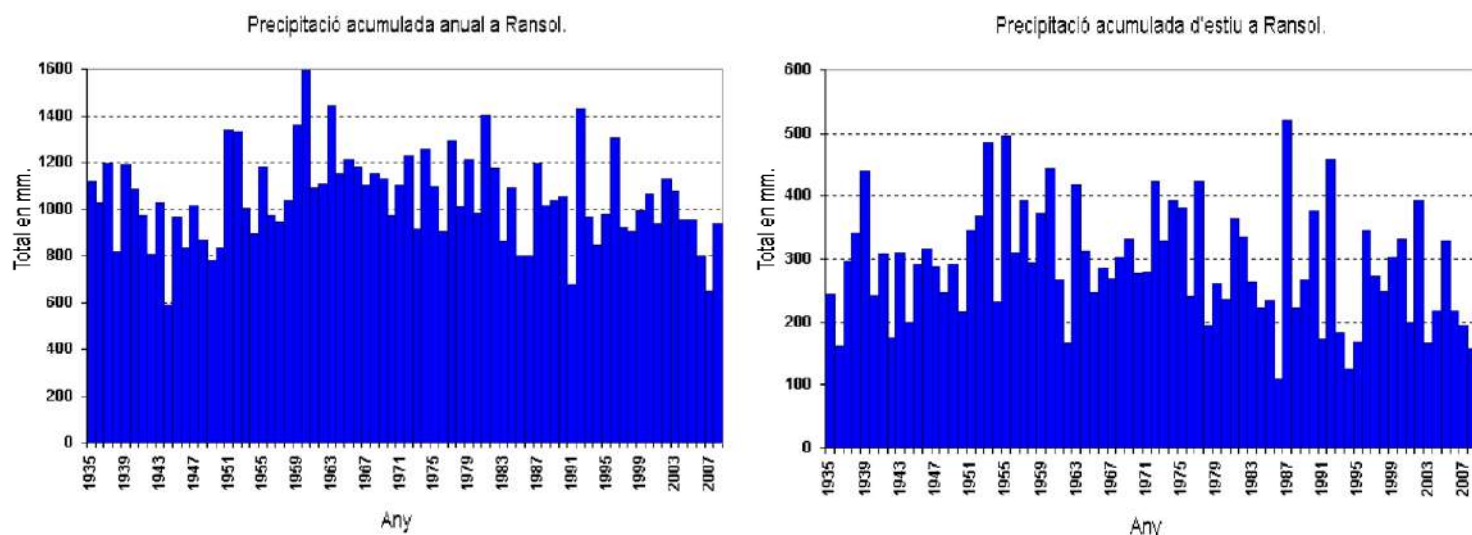


Figura 5: Precipitació acumulada (mm) durant el període 1934-2008 anual i estival a Ransol.

temporal i espacial i major dependència d'episodis puntuals). A la taula 7 es presenten els resultats del període 1934-2008, en mm/dècada, és a dir, variació de la precipitació en mil·límetres per a un període de 10 anys, i amb la significació estadística amb un nivell de confiança del 95% segons el test (o prova) de Mann-Kendall.

Els resultats de Ransol confirmen la **manca de tendències significatives pel que fa a la precipitació anual i estacional a Andorra durant el període 1934-2008**. Això vol dir que no es pot parlar encara de cap increment o davallada significatius d'aquesta variable per al període d'estudi, tot i que la tendència no significativa en general sigui negativa (disminució de la precipitació). S'observa, no obstant això, un contrast en el signe de l'estimador de tendència entre les estacions equinoccials i l'estiu i hivern.

La taula 8 mostra les tendències a la mateixa estació durant el període 1950-2008. Se'n desprèn una disminució significativa de la precipitació a escala anual, que estacionalment resulta d'una tendència significativa durant l'estiu.

Els resultats de la precipitació s'han de prendre amb molta cura, ja que provenen d'una sola estació i es relacionen amb un entorn geogràfic en què bona part de la precipitació es registra en forma sòlida i, per tant, es converteix a equivalent líquid. Aquest i altres processos poden introduir discontinuïtats en les freqüències dels valors baixos de precipitació que no s'han investigat i que caldrà analitzar amb més profunditat per confirmar els resultats preliminars obtinguts. La figura 5 és il·lustrativa de l'evolució de la precipitació anual i estival a Ransol.

Conclusions

Les tendències recents a Andorra pel que fa a la temperatura màxima i la temperatura mínima són d'increment per al període 1934-2008, d'acord amb els resultats obtinguts seguint dos mètodes independents d'anàlisi de l'homogeneïtat de sèries: SNHT i Caussinus-Mestre. Aquesta tendència a l'increment és especialment sòlida si tenim en compte la significació estadística i els resultats obtinguts amb els dos mètodes emprats, per a la temperatura màxima mitjana anual (0,10 a 0,12 °C/dècada), la temperatu-

ra màxima estival (0,17 a 0,25 °C/dècada). El càlcul de les tendències acumulades per a tot el període indica que la temperatura mitjana anual a Andorra ha augmentat entre 0,63 i 0,71 °C durant el període 1934-2008, uns valors que permeten afirmar que hi ha hagut un escalfament del clima a Andorra al llarg dels darrers 74 anys.

És també de molt interès considerar els resultats obtinguts per al període 1971-2008, que és quan es considera que s'ha notat més clarament l'impacte de l'activitat humana en el clima (IPCC, 2007). En aquest període, l'increment ha estat generalitzat i acusat, essent especialment rellevant la tendència de la temperatura, tant màxima com mínima, primaveral i estival. La no-significació estadística dels resultats hivernals va en concordança amb altres resultats (Brunet et al. 2007), i podria respondre a la marcada variabilitat durant aquesta estació.

Pel que fa a la precipitació, l'aplicació de diferents tests obté resultats no significatius per a totes les estacions durant el període 1934-2008, de manera que no es pot concloure que aquesta variable segueixi un

comportament clar d'increment o descens al llarg de tot el període d'estudi. Amb tot, els valors de tendència anual obtinguts apunten cap a una disminució de la precipitació, uns resultats que es confirmen per a la tendència anual i estival segons els resultats preliminars (amb SNHT) obtinguts per al període 1950-2008.

És interessant fer notar que les tendències de temperatura i precipitació obtingudes estan en consonància amb els resultats obtinguts a Espanya (Agència Estatal de Meteorologia; Brunet et al., 2007), França (Météo-France; Spagnoli et al., 2002; Maris et al., 2009) i Catalunya (*Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics*, Servei Meteorològic de Catalunya, 2008).

Finalment, volem fer notar que al llarg del 2010-2011 s'obtidran els resultats d'índexs climàtics a escala diària que ajudaran a detallar els resultats ja obtinguts a escala anual i estacional.

Pere Esteban

Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya d'Andorra (CENMA) - Institut d'Estudis Andorrans (IEA).

Grup de Climatologia - Universitat de Barcelona.

Marc Prohom

Àrea de Climatologia - Servei Meteorològic de Catalunya (SMC).

Grup de Climatologia - Universitat de Barcelona.

Enric Aguilà

Centre en Canvi Climàtic (C3), Departament de Geografia, Universitat Rovira i Virgili de Tarragona.

Olivier Mestre

École Nationale de la Météorologie, Météo-France, Tolosa de Llenguadoc.

Agraïments

A FEDA (Forces Elèctriques d'Andorra), i especialment a Jordi Dejuan, Jesús Álvarez i Ferran Llach per la seva amable col·laboració. A Montserrat Mases, Aina Margalef, Laura Traperó i Natàlia Gallego per l'ajuda en el treball d'arxiu i el suport tècnic. A la Xarxa COST-ES0601 i al projecte espanyol CGL2007-65546-C03-02.

Bibliografia

AGUILAR, E.; BRUNET, M.; SALADIÉ, O.; SIGRÓ, J.; LÓPEZ, D. (2002). «Hacia una aplicación óptima del Standard Normal Homogeneity Test para la homogeneización de series de temperatura». A: CUADRAT, J. M.; VICENTE, S. M.; SAZ, M. A. [ed.]. *La información climática como herramienta de gestión ambiental*, VII Reunión Nacional de Climatología. Grupo de Climatología de la AGE. Saragossa: Universidad de Zaragoza, p. 17-33.

AGUILAR, E.; AUER, I.; BRUNET, M.; PETERSON, T. C.; WIERINGA, J. (2003). «Guidelines on Climate Metadata and Homogenization». WCDMP-53, WMO-TD-1186. Ginebra: World Meteorological Organization. 51 p.

ALEXANDERSSON, H.; MOBERG, A. (1997). «Homogenization of Swedish temperature data. 1. Homogeneity test for linear trends». *Int. J. Climatol.*, 17: 25-34.

BRUNET, M.; JONES, P.; SIGRÓ, J.; SALADIÉ, O.; AGUILAR, E.; MOBERG, A.; DELLA-MARTA, P. M.; LISTER, D.; WHALTER, A.; LÓPEZ, D. (2007). «Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005». *Journal of Geophysical Research*, 112, D12117, doi:10.1029/2006JD008249.

BRUNET, M.; SALADIÉ, O.; JONES, P.; SIGRÓ, J.; AGUILAR, E.; MOBERG, A.; LISTER, D.; WALTER, A.; ALMARZA, C. (2008). «A case-study/guidance on the development of long-term daily adjusted temperature datasets». WMO-TD-1425, WCDMP-66. Ginebra: World Meteorological Organization. 43 p.

Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics. Any 2008 (2009). Servei Meteorològic de Catalunya. <<http://www.meteo.cat>>

CAUSSINUS, H.; 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.

IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press. 996 p.

MARIS, M.; GIRAUD, G.; DURAND, Y.; NAVARRE, J. P.; MÉRINDOL, L. (2009). «Results of 50 years of climate reanalyses in the French Pyrenees (1958-2008) using the SAFRAN and CROCUS models». Davos: International Snow Science Workshop, Proceedings.

PROHOM, M. J.; AGUILAR, E.; ESTEBAN, P.; MESTRE, O. (2009). «Recent anual and seasonal temperature trends for a Trans-Pyrenean region, 1950-2008». Vol 6, EMS2009-339-1.

SEN, P. K. (1968). «Estimates of the Regression Coefficient based on Kendall's Tau». *Journal of the American Statistical Association*, 63:1379-1389.

SPAGNOLI, B.; PLANTON, S.; MESTRE, O.; DÉQUÉ, M.; MOISSELIN, J. M. (2002). «Detecting climate change at a regional scale: the case of France». *Geophys. Res. Lett.*, 29:10: 91-94.

WANG, X. L. (2008). «Accounting for Autocorrelation in Detecting Mean Shifts in Climate Data Series Using the Penalized Maximal t or F Test». *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47:9: 2423-2444.

WANG, X. L. (2008). «Penalized Maximal F Test for Detecting Undocumented Mean Shift without Trend Change». *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 25-3: 368-384.

Si utilitzeu els resultats d'aquests treball, citeu-lo com: ESTEBAN, P.; PROHOM, M. J.; AGUILAR, E.; MESTRE, O. (2009). Evolució recent de la temperatura i de la precipitació a Andorra (1934-2008): Resultats anuals i estacionals. Andorra: CENMA (Centre d'Estudis de la Neu i de la Muntanya d'Andorra de l'Institut d'Estudis Andorrans). AND.757-2009. ISBN: 978-99920-2-054-8.