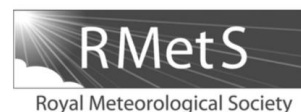


Expansió de les condicions estivals cap a la primavera a la Mediterrània occidental

INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY
Int. J. Climatol. (2016)
Published online in Wiley Online Library
(wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/joc.4824



Extension of summer climatic conditions into spring in the Western Mediterranean area

A. Jansa,^{a*} V. Homar,^a R. Romero,^a S. Alonso,^{a,b} J. A. Guijarro^c and C. Ramis^a

^a Physics Department, Group de Meteorology, University of the Balearic Islands (UIB), Palma, Mallorca, Spain

^b Global Change Research Department, Institut Mediterrani d'Estudis Avançats (IMEDEA), Palma, Mallorca, Spain

^c Balearic Is. Office, State Meteorological Agency (AEMET), Palma, Mallorca, Spain

ABSTRACT: From a local point of view, in May/June, there is an important and positive 2 m temperature trend at Palma (Mallorca), which is simultaneous and highly correlated with a strong increase in the 500 hPa geopotential height. This study analyses this fact as well as the observed tendencies in a wider seasonal and geographical context.

We confirm the particularly high correlation between 2 m temperature and 500 hPa geopotential during the warm months as opposed to the much weaker correlation in winter. This suggests that mechanisms for thermal changes act differently throughout the year in this region. Besides the direct radiative effect, warm season near-surface temperatures are linked to the presence of deep anticyclones, which effectively determine the northern edge of the Hadley cell. Accordingly, the strong warming trend in the area of Palma during the warm months of the year is purportedly related to the poleward extension of the Hadley cell.

The fact that May/June shows the highest low-level temperature trend among all bi-monthly series is a common regional feature over a relatively wide area over the Western Mediterranean. Different geographical patterns emerge in other periods of the year. In July/August, the strongest low-level warming area drifts to the east-northeast, towards Ukraine and Russia. Coincidentally, the 500 hPa geopotential tendencies show a coherent pattern, with an intense positive trend ridge over the Western Mediterranean area in May/June, and a displacement of this ridge to the north-east in July/August.

We show the connection between 500 hPa geopotential height and near-surface temperature by means of a multiple lineal regression that attributes half of the local temperature tendency in Palma to the intensification of a 500 hPa ridge centred over the Western Mediterranean and surroundings.

KEY WORDS Mediterranean; summer; spring; expansion; Hadley cell; deep subtropical anticyclone; climate change

Received 28 July 2015; Revised 30 May 2016; Accepted 8 June 2016

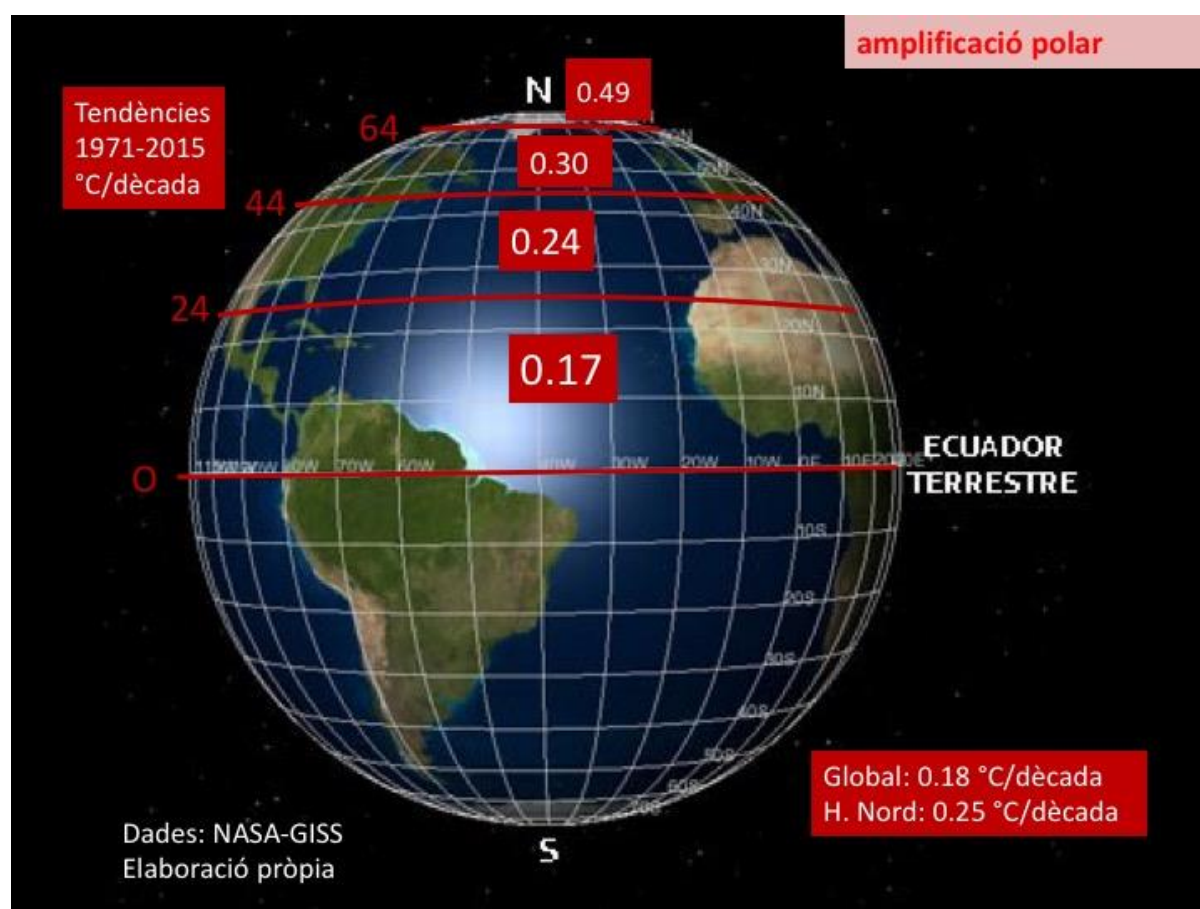
Resum per als mitjans de comunicació

Que el canvi climàtic és un fet està avui dia fora de dubtes, i també hi ha un amplíssim consens sobre les causes antropogèniques d'aquest canvi: en essència, el canvi climàtic es manifesta per un escalfament global de les capes atmosfèriques baixes com a conseqüència de la intensificació de l'efecte hivernacle, produïda per l'augment continuat de la concentració de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera (com el CO₂, que ha passat en cent anys d'una concentració inferior a les 300 ppm a les actuals 400 ppm). L'augment de concentració del CO₂, en particular, és conseqüència d'un nivell d'emissions alt i creixent – procedent de la utilització de combustibles fòssils en transport, indústria i generació d'energia –, que els mecanismes naturals d'absorció no són capaços de compensar.

Repartiment geogràfic i estacional del canvi climàtic

Els gasos d'efecte hivernacle s'emeten a l'atmosfera d'una manera molt heterogènia, molt més intensament des d'uns llocs que des d'altres, però els mecanismes de transport i mescla a l'atmosfera fan que aquests gasos acabin per tenir una concentració molt homogènia, amb molt poques diferències entre un lloc i un altre. Per exemple, a les 400 ppm de concentració mitjana anual del CO_2 s'hi ha arribat gairebé a la vegada en estacions especialitzades tan allunyades com Izaña (AEMET, Tenerife) i Mauna Loa (NOAA, Hawaii).

La mescla i l'homogeneïtzació dels gasos d'efecte hivernacle podria fer pensar que l'efecte, l'escalfament de l'atmosfera baixa, hauria de ser, també, homogeni, però no ho és. El desequilibri radiatiu –és a dir, que una pèrdua de calor per radiació d'ona llarga a les regions polars és més gran que l'entrada per radiació d'ona curta (solar), i el contrari a les regions tropicals– és el motor de tots els moviments atmosfèrics i oceànics, que són, en definitiva, un mecanisme de transport de calor, per cercar el reequilibri. L'escalfament general augmenta el desequilibri i, per tant, també canvia la circulació, amb intensificació del transport de calor, la qual cosa suposa l'anomenada «amplificació polar». Quan hi ha escalfament global (sigui per raons naturals o antropogèniques), l'escalfament és més gran a la regions polars que a les tropicals. La figura, construïda amb dades de la NASA, mostra com ha estat, per bandes latitudinals, la tendència (graus per dècada), de la temperatura al llarg dels darrers quaranta-cinc anys.

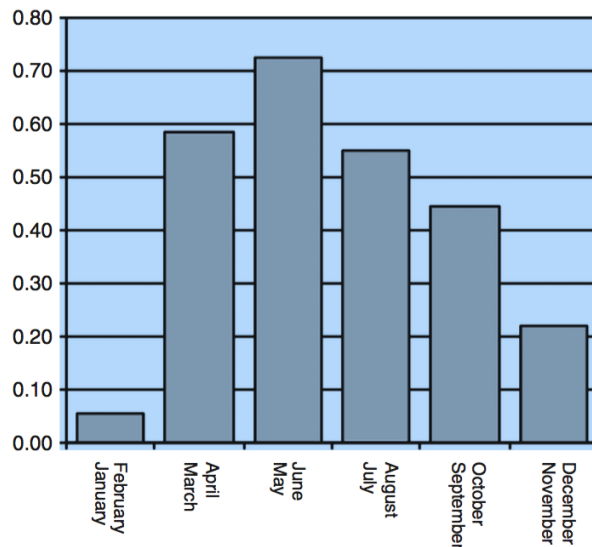


A més de les diferències per latitud, l'escalfament presenta diferències notables en una mateixa banda latitudinal. Les zones continentals, per exemple, s'escalfen més, o més ràpidament, que les marítimes. Hi ha zones marítimes on no hi ha hagut escalfament les darreres dècades, sinó, fins i tot, refredament, com passa a l'Atlàntic nord-occidental, cap a Islàndia. L'hemisferi nord (més continental que el sud) s'ha escalfat més (0,25 graus per dècada) que el conjunt planetari (0,18 graus/dècada, tot referit a 1971-2015).

L'escalfament mitjà, en el conjunt anual, a Palma, Aeroport, entre 1973 i 2012, amb dades de l'AEMET homogeneïtzades mitjançant la metodologia desenvolupada per un dels autors (Dr. J. A. Guijarro, AEMET), és de 0,43 graus/dècada, més del doble de la mitjana mundial i prop del doble de la mitjana hemisfèrica i del que correspondria a la nostra banda latitudinal. Tot i això, l'anomalia no seria tanta si consideràssim que la regió mediterrània, malgrat la presència marítima, es podria considerar més continental que oceànica, per la limitada extensió de la nostra mar, enfront de les masses continentals que l'envolten. Però és un primer fet que crida l'atenció.

Expansió de l'estiu mediterrani cap a la primavera

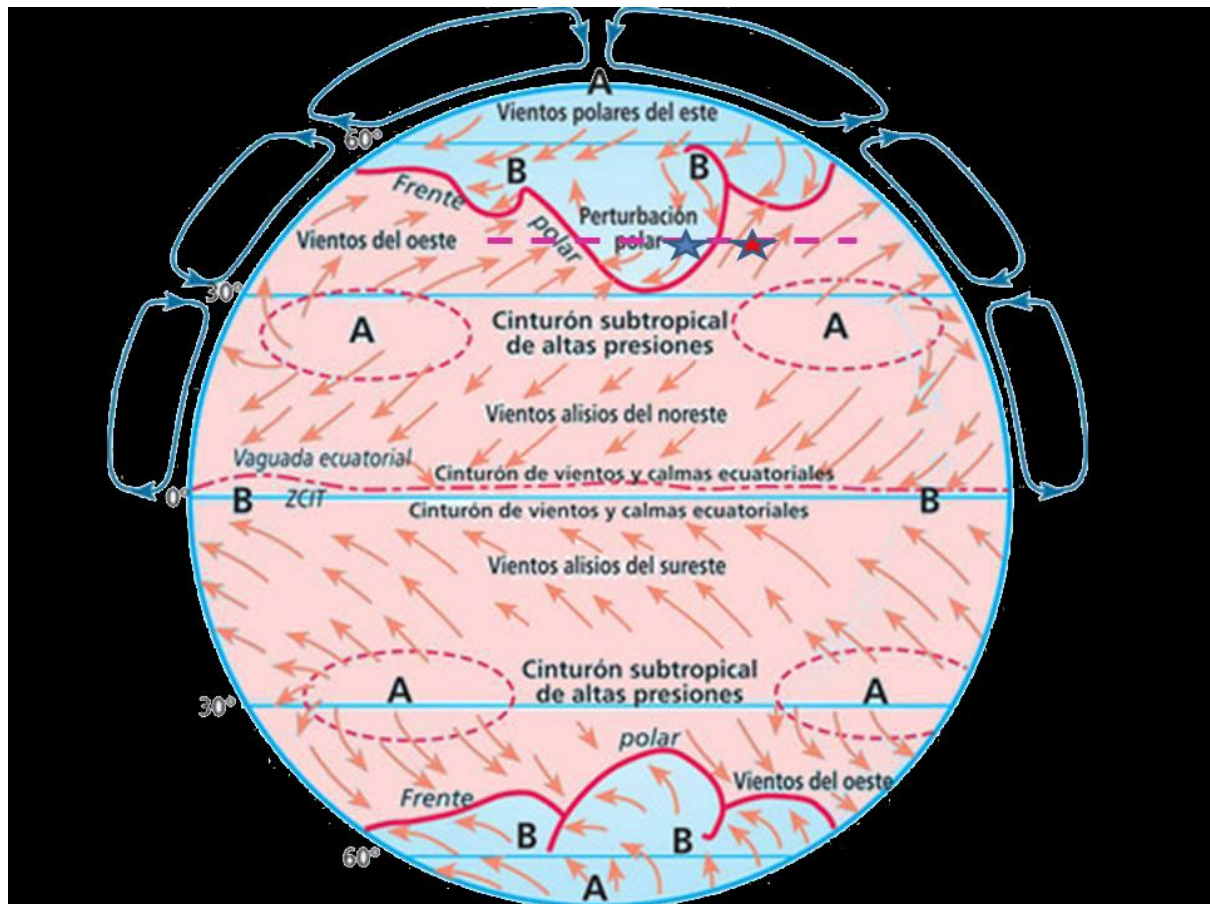
El segon és l'espectacular variació estacional de l'escalfament que el canvi climàtic presenta a la nostra regió. Per estudiar la variació dins l'any, en contra del que és habitual, hem triat una anàlisi bimensual, no mensual, ni trimestral. Un mes és un període massa curt i l'anàlisi resulta amb renou, poc neta; tres mesos són molt llargs, ja que no permeten separar els períodes plenament estivals (juliol i agost) o de ple hivern (gener i febrer) dels de transició, com maig i juny. Quan prenem períodes bimensuals resulta que l'escalfament presenta un màxim i un mínim ben marcats. És notablement major a l'estiu que a l'hivern, però és màxim, sobretot, a la transició entre la primavera i l'estiu, és dir, en el bimestre de maig i juny. En el conjunt d'aquests dos mesos l'escalfament a Palma és de més de 0,7 graus/dècada, més del triple que la mitjana anual mundial i que la mitjana anual que correspon al nostre hemisferi i a la nostra latitud, i prop del doble del que correspon al nostre escalfament anual mitjà. Aquesta repartició anual de l'escalfament pot ser vista com una reducció del període primaveral, per l'anticipació del període estival, que seria un període en extensió: ***l'estiu s'expandeix cap a la primavera.***



El nostre estudi s'ha centrat en el període de maig i juny, sobre el qual tot d'una sorgeix una pregunta: es pot explicar un escalfament tan gran com l'observat simplement per la intensificació general de l'efecte hivernacle? Directament, no. I no n'hi hauria prou a considerar les amplificacions per la latitud o la suposada continentalitat de la regió balear. Aquests factors també influeixen en els altres períodes bimensuals, i no s'hi observa un escalfament tan important.

Al gran escalfament de final de primavera hi contribueix, naturalment, la intensificació de l'efecte hivernacle, per causa antropogènica, però **hi han de contribuir**, també, **els canvis** induïts per l'escalfament global **en la circulació general atmosfèrica**.

Per comprendre per què s'expandeix cap a la primavera l'estiu mediterrani hem d'entendre, primer, per què l'estiu mediterrani és tan marcat, tan típic, tan càlid i sec.



Els principals elements de la circulació atmosfèrica general (la ZCIT, el cinturó subtropical d'altres pressions i el front polar), se situen, a la primavera i a la tardor, mentre que a l'estiu pugen de latitud i a l'hivern baixen. **L'estiu mediterrani és el resultat del predomini temporal del cinturó anticiclònic subtropical sobre la nostra regió**, degut al canvi latitudinal: la franja dels deserts ve temporal a casa nostra.

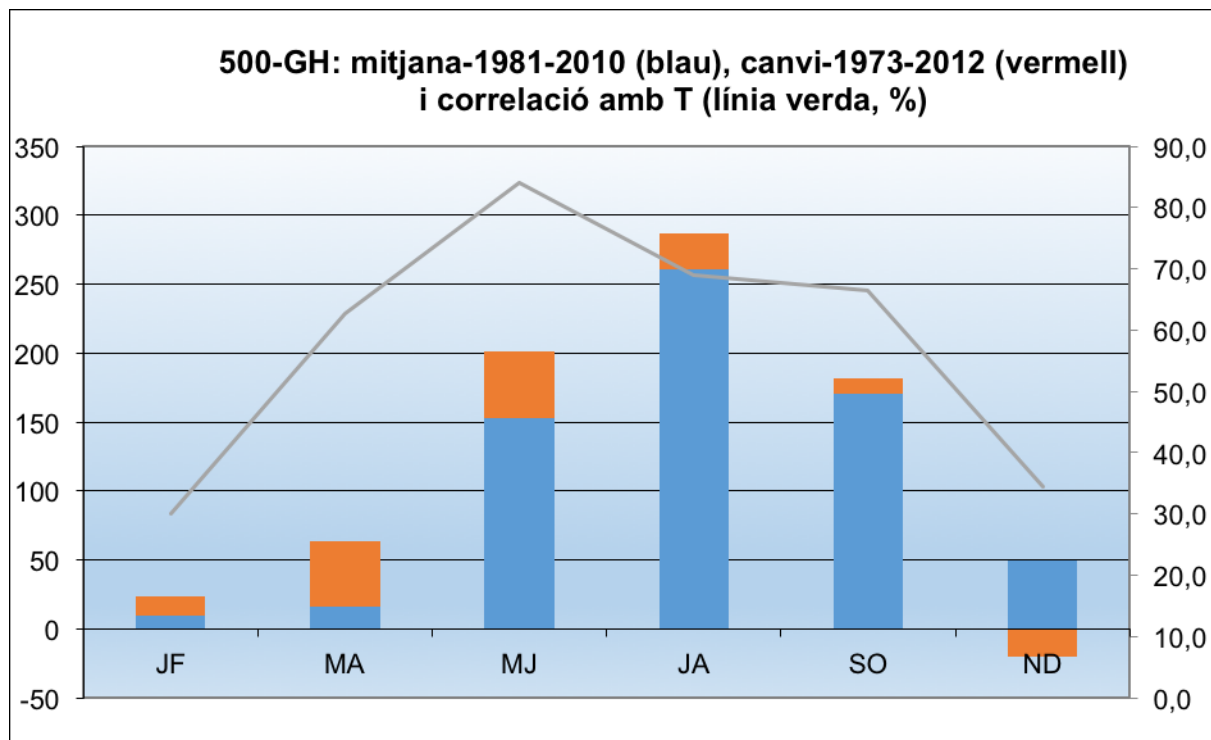
La hipòtesi d'aquest treball és que l'estiu mediterrani s'està allargant, en particular cap a la primavera, **perquè el canvi climàtic provoca una expansió de la franja de circulació tropical** (també anomenada cèl·lula de Hadley), **i això fa que els anticiclons subtropicals tendixin a ser l'element predominant de la circulació general a la nostra regió durant més temps**, més enllà del juliol i l'agost.

L'altura de 500 hPa com a indicador de canvis regionals de circulació associats al canvi climàtic

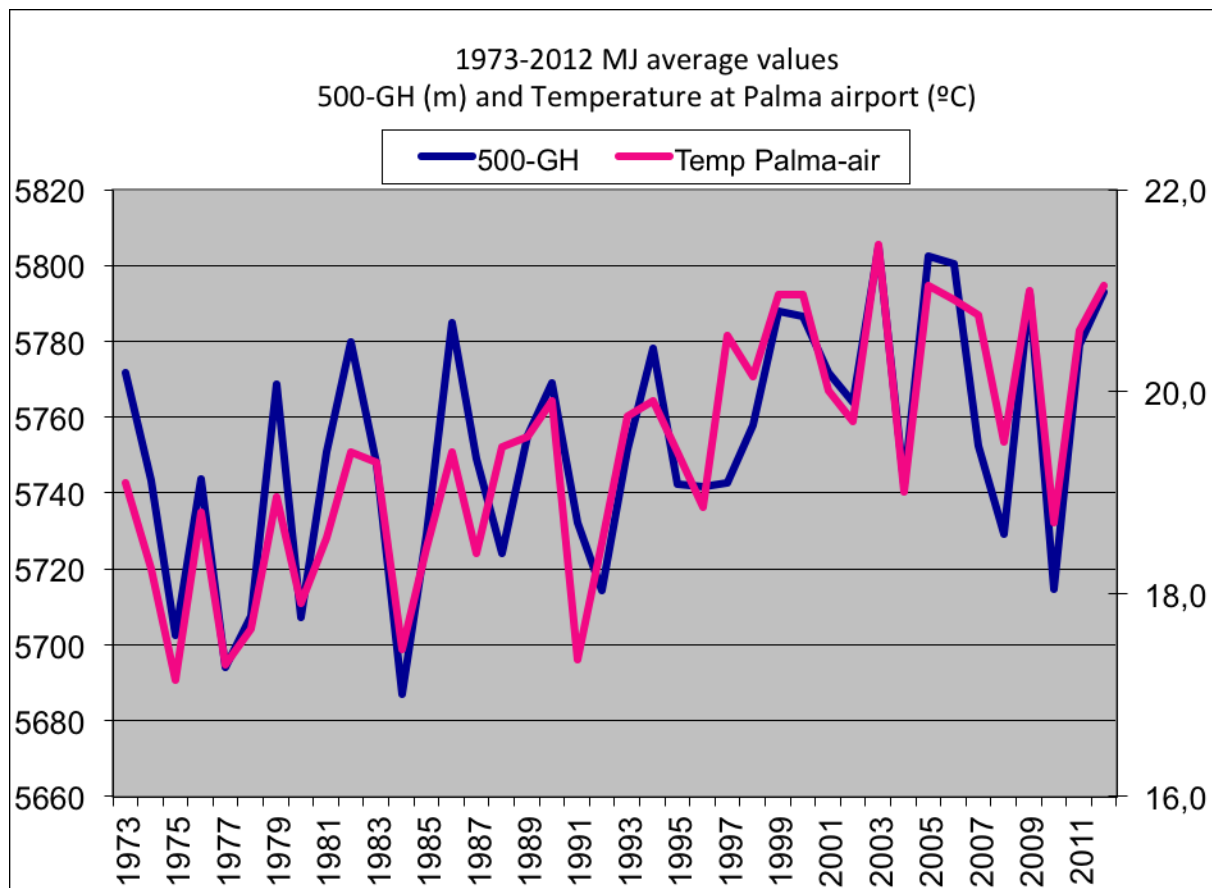
Per comprovar la hipòtesi hi hauria diversos camins. El més intuïtiu seria veure com evoluciona la marxa anual de la pressió atmosfèrica al nivell del mar, però aquest mètode no funciona, ja que la pressió està molt influenciada per les temperatures a baix nivell. En contra del que es podria imaginar, les pressions són més baixes a l'estiu que a l'hivern. Hem constatat que un nivell apropiat per notar el batec anual del predomini o no dels anticiclons subtropicals és l'altura de la pressió de 500 hPa, que ve a ser l'equivalent a una altura de devers 5.500 m, una altura mitjana de l'atmosfera. **En aquest treball hem analitzat**

l'impacte regional del canvi climàtic a través dels canvis de l'altura dels 500 hPa, i això sembla que no s'havia fet abans, és novetat.

Resulta que l'altura de 500 hPa augmenta més ràpidament a la primavera que a l'estiu (com ho fan les temperatures), de manera que ***les distàncies entre primavera i estiu*** (mesurades per la diferència entre altures de 500 hPa) ***tendeixen a escurçar-se***. D'altra banda, la correlació entre temperatura en superfície i altura de 500 hPa és particularment forta el maig i el juny, mentre que no és significativa cap a l'hivern (GF i ND). El camí triat per estudiar el perquè de l'escalfament singular de la primavera tardana és apropiat i pot donar resultats sòlids. Per als canvis en època d'hivern caldria cercar altres camins.



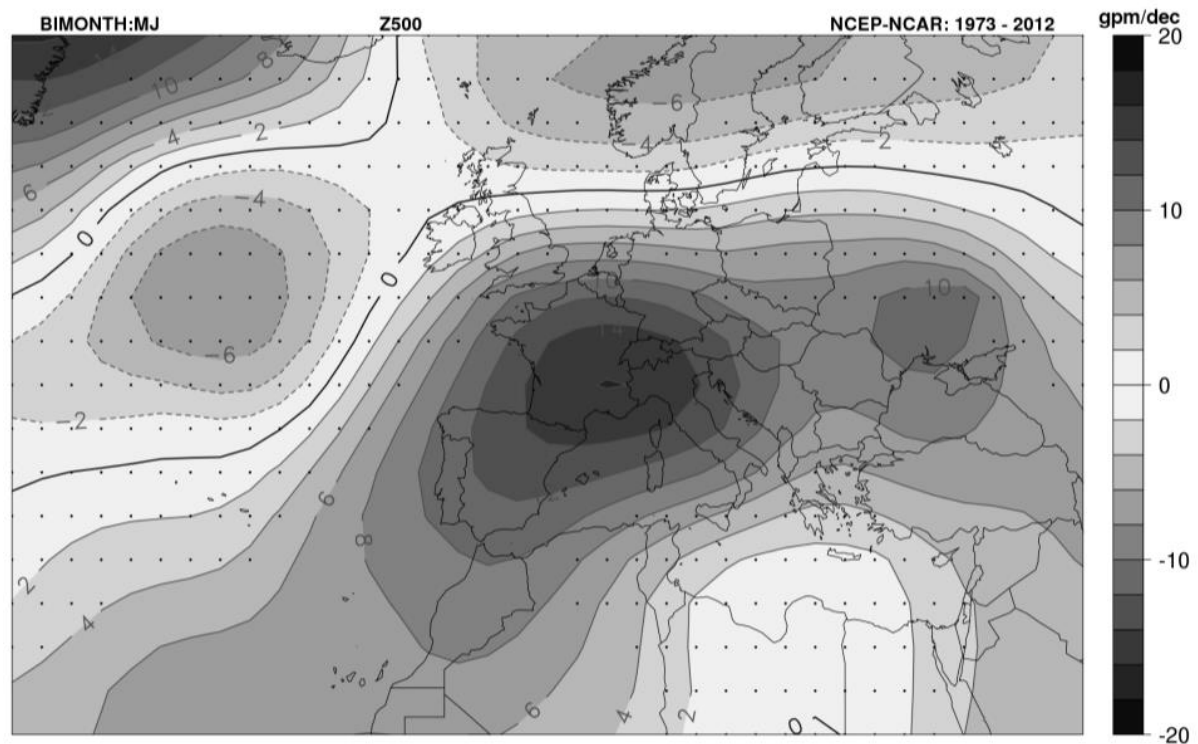
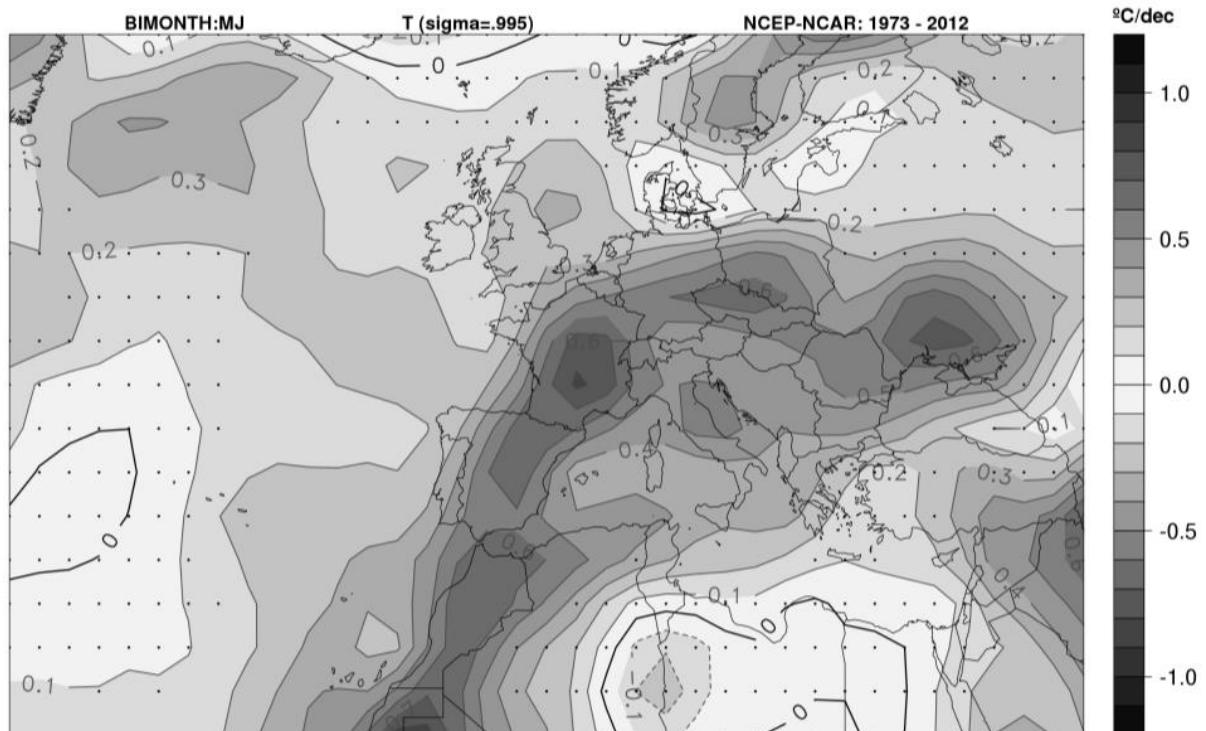
Quan a Palma (i a les Balears) un bimestre maig-juny és molt càlid és perquè és molt anticiclònic a 500 hPa, mentre que quan és fred, és més aviat ciclònic. La tendència observada amb el canvi climàtic, per a maig-juny en particular, és que augmenti el caràcter anticiclònic, tot i que d'una manera molt irregular, en forma de dents de serra.



El treball es pregunta, també, si l'augment singular de temperatura en superfície i a l'altura dels 500 hPa que s'ha estat observant a Palma (i a les Balears) el maig-juny és local, específic, o afecta una regió més gran, i es pregunta, en concret, quina forma tenen les àrees afectades per aquests augments, si són la translació cap al nord, en bloc, d'una àmplia banda latitudinal de temperatures i altures de 500 hPa elevades o hi ha una limitació espacial clara de l'àrea afectada.

Per a aquesta part d'estudi, a escala més àmplia, s'han emprat reanàlisis americanes NCEP/NCAR. Pel que fa a temperatures en superfície, els resultats mostren que ***l'escalfament singular de maig-juny no és exclusiu de les Balears, sinó que ocupa una important franja latitudinal, des del Sàhara occidental fins a França i encara s'estén cap a l'interior d'Europa***. Les Balears apareixen com si fossin pura mar, amb valors subestimats. Aquesta franja és limitada, amb tendència tèrmica molt menor, gairebé nul·la, a les mateixes latituds nostres, cap a l'Atlàntic i cap a la Mediterrània i el Sàhara orientals.

Les tendències de l'altura de 500 hPa mostren unes intensitats i una distribució geogràfica molt congruents amb els mapes de distribució de tendència tèrmica: les zones de màxim i de mínim es corresponen prou bé. Els valors a les Balears no estan subestimats a altura atmosfèrica mitjana. Encara que congruent globalment amb el mapa de canvi de temperatura, la distribució del canvi d'altura de 500 hPa passa per sobre de molts de detalls geogràfics: és més suau, més contínua.

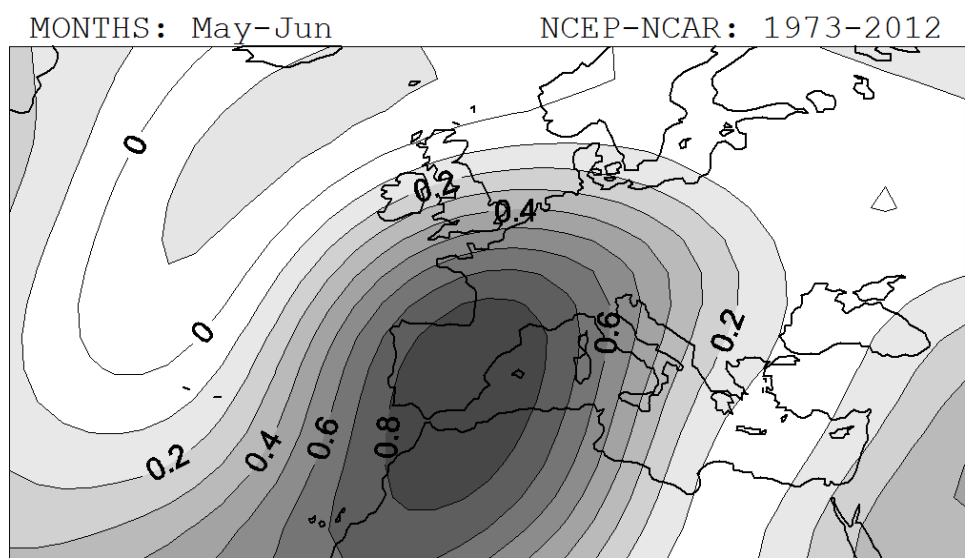


Finalment, per acabar de corroborar el caràcter limitat i dinàmic, lligat a la circulació atmosfèrica, de la singularitat regional en relació amb el canvi climàtic a la regió que inclou les Balears, s'han emprat tècniques estadístiques (*components principals*) per esbrinar quines estructures a 500 hPa dominen la variabilitat climàtica a aquesta altura, i s'ha analitzat com influeixen aquestes estructures macroescalars concretes en les temperatures locals, superficials, a Palma. Els resultats són bastant sorprenents: **les principals estructures macroescalars a 500 hPa expliquen gairebé el 80% de la variabilitat i de la tendència de la**

temperatura local a Palma, durant maig i juny. I la tendència a reforçar-se que presenta una sola d'aquestes estructures (una dorsal anticiclònica centrada sobre Ibèria i la Mediterrània occidental) explica gairebé la meitat de l'escalfament singular de Palma durant maig-juny, és a dir, és una clau principal per explicar l'expansió de l'estiu cap a la primavera, a la nostra zona i en una àmplia regió propera.

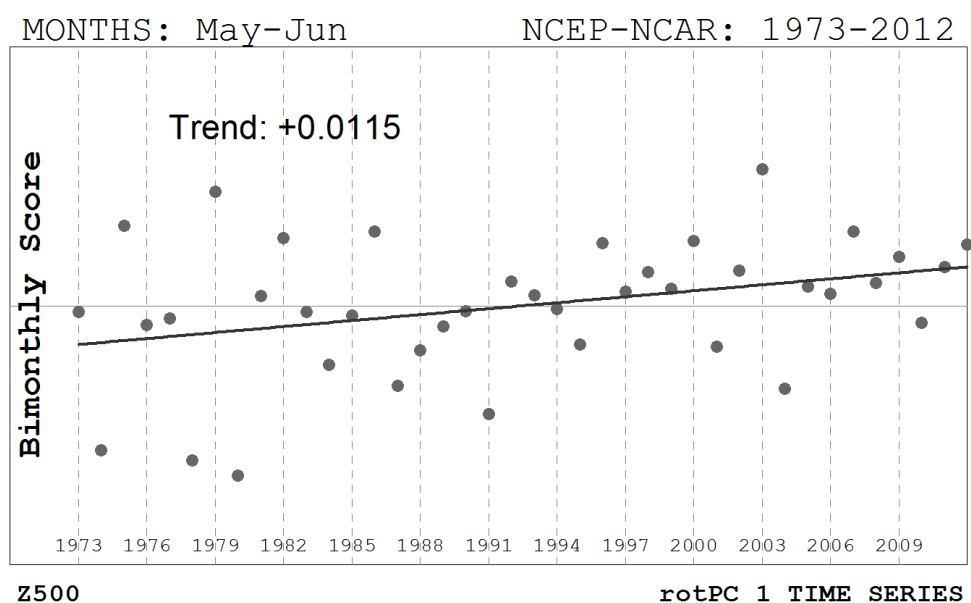
Aquesta explicació pot ser vista com una **tendència al fet que, durant maig i juny, l'anticicló subtropical guanya terreny**, és a dir, que **a la nostra regió**, en sentit ampli, **almenys una part de l'any, hauríem confirmat que el circuit tropical de la circulació (o cèl·lula de Hadley) està en expansió, s'eixampla, en detriment del circuit polar.**

Aquest treball és, així, una significativa contribució a la descripció i comprensió de la manera com passen fets importants i complexos, lligats al canvi climàtic.



rotPC 1
corr

Z500



En síntesi: *la primavera tardana és l'època de l'any en què més s'ha sentit, fins ara, l'escalfament global a la nostra regió. Durant maig i juny l'escalfament mitjà ha estat de prop de 3 graus en 40 anys! Això no s'explica per l'efecte hivernacle solament, directament, sinó que requereix causes dinàmiques afegides. S'explica, en gran part, per l'expansió cap al nord del cinturó anticiclònic subtropical, que hem constatat que s'identifica millor a devers 5.500 m d'altura. Aquesta expansió dels anticiclons subtropicals cap al nord és un aspecte de l'eixamplament de tot el circuit tropical de circulació atmosfèrica (cèl·lula de Hadley). El nostre estiu ja tenia abans caràcter subtropical. Ara tendeix a tenir-ne, també, la primavera tardana.*