

INFORME FINAL DE L'ASSISTÈNCIA TÈCNICA

**ESTUDI SOBRE EL CANVI CLIMÀTIC A
LES ILLES BALEARS**

Juny 2002

Aquest informe recull el treball realitzat dins el marc de l'assistència tècnica entre la Conselleria de Medi Ambient del Govern de les Illes Balears i la Fundació Universitat Empresa de les Illes Balears signada el 13 de juny de 2001. L'objectiu és realitzar un **"Estudi sobre el canvi climàtic a les Illes Balears"**

L'equip que ha dut a terme aquest estudi està format pels següents investigadors de la Universitat de les Illes Balears:

Director: Dr. Climent Ramis Noguera. Departament de Física.

Investigadors: Dr. Sergio Alonso Oroza. Departament de Física.
Dra. Mercedes Laita Ruiz de Asúa. Departament de Ciències de la Terra.
Dr. Romualdo Romero March. Departament de Física.
Dr. Víctor Homar Santaner. Departament de Física.
Sr. José Luís Arreola Contreras. Departament de Física.

L'informe seguirà a la memòria tècnica, la qual descriu en detall els diferents punts que formen l'estudi. Aquesta memòria tècnica s'inclou a continuació:

Memòria tècnica

1. Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals

Per a l'estudi de les tendències climàtiques es consideraran les variables: precipitació i temperatura.

1.1. Precipitació

Es consideraran les estacions pluviomètriques de les Illes Balears que tenguin sèries pluviomètriques de precipitació diària durant els darrers 50 anys (1951-2000). Amb les dades diàries s'obtidran les sèries mensuals i anuals per a cada estació.

Es determinaran per a cada any i per a cada estació pluviomètrica les freqüències de les precipitacions diàries per a diferents categories (0-2, 2-4, 4-8, 8-16, 16-32, 32-64, 64-128, >128 mm). Es faran mitjanes dels valors obtinguts per eliminar les particularitats pròpies de cada estació pluviomètrica. Aquests valors permetran conèixer si el règim pluviomètric ha sofert alguna modificació durant els darrers 50 anys i estudiar la tendència que presenten les pluges febles, les moderades i les fortes.

Les precipitacions mensuals, fetes les mitjanes per a totes les estacions, permetran dur a terme un estudi de l'estacionalitat del règim pluviomètric i la seva variabilitat temporal. Una anàlisi d'aquesta estacionalitat en permetrà determinar la tendència i el motiu pel qual està variant (augment o disminució de les precipitacions els diferents mesos de l'any) i, per tant, si el règim pluviomètric anual té alguna tendència significativa.

Quant a les precipitacions anuals, si s'utilitza una finestra de 30 anys (recomanat per l'OMM per determinar valors climàtics), mitjançant el mètode de mitjanes mòbils, es podrà determinar si la precipitació total anual sofreix alguna modificació significativa.

1.2. Temperatura

Es consideraran les temperatures de l'aire al nivell de la superfície de la terra i a la troposfera i baixa estratosfera.

1.2.1. Temperatures superficials de l'aire

La totalitat de les estacions termomètriques a les Illes Balears seran utilitzades per a formar la base de dades, inclòs el període més llarg possible amb sèries diàries completes a totes les estacions. A partir de les dades diàries es determinaran les temperatures mitjanes mensuals, mitjanes de les màximes i mitjanes de les mínimes per a cada estació termomètrica, i amb mitjana de totes les dades anteriors, els valors corresponents per a les Illes Balears. També es determinaran les mitjanes anuals per a cada estació i la mitjana anual per a l'arxipèlag.

A partir dels valors diaris, es consideraran les freqüències d'esdeveniments extremes: màximes per sobre alguns valors de referència (p. e., 35 °C) i mínimes per sota alguns valors de referència (p. e., 5 °C) per a cada estació termomètrica. A partir d'aquestes

dades se'n determinaran les freqüències per a les Illes i la variabilitat. També es consideraran els percentils extrems i l'evolució que tenen al llarg del temps.

Amb la utilització de les mitjanes mensuals, les mitjanes de les màximes i les mitjanes de les mínimes, es podrà fer un anàlisi de l'evolució temporal, en particular si s'ha observat un augment de les mínimes.

Amb la consideració de les mitjanes anuals, se n'estudiarà l'evolució en referència a una mitjana del període estudiat.

1.2.2. Temperatures a la troposfera i baixa estratosfera

L'estació de radiosondes de Palma és una font d'informació única per determinar els possibles canvis de temperatura a la troposfera i baixa estratosfera a la vertical de les Illes Balears.

Per dur a terme aquest estudi es considerarà el període més llarg possible de dades a les 00 UTC a 850 hPa (1.500 m d'altura), 500 hPa (5.500 m) a la troposfera i a 150 hPa (14.000 m) a la baixa estratosfera. A partir de les dades diàries es determinaran els valors mitjans mensuals a cada nivell i a partir d'ells les possibles tendències de la temperatura.

Totes les dades per dur a terme l'apartat 1 seran sol·licitades al Centre Meteorològic a les Illes Balears de l'Institut Nacional de Meteorologia.

2. Anàlisi de les tendències climàtiques a les Illes Balears per als propers cent anys a partir de models climàtics globals i regionals

2.1. Models globals

Es consideraran les variables precipitació i temperatura mitjanes mensuals obtingudes a partir dels models climàtics globals del centre Hadley (HadCM2 i HadCM3) per a diferents dècades des de l'any 2000 al 2100.

Prèviament i per validar els models climàtics, es compararan els resultats dels models considerats per a la dècada 1991-2000 amb les dades instrumentals.

Es consideraran diferents escenaris climàtics (definits per l'IPCC) que representen distints escenaris socioeconòmics mundials per contemplar un espectre de possibilitats futures.

Per assignar valors de precipitació i temperatura a les Illes Balears, com a conseqüència de la baixa resolució dels models globals ($2.5^\circ \times 2.5^\circ$), es consideraran els valors corresponents als 9 punts de malla dels models més propers a les Illes. Això és per eliminar possibles particularitats d'un únic punt.

Tant per a la temperatura com per a la precipitació es duran a terme estudis semblants als indicats a l'apartat anterior amb les dades dels models i per a cada escenari climàtic considerat.

2.2. Models regionals

La presentació en etapes múltiples pel que fa als models d'àrea limitada, amb una resolució molt més alta (devers 60 km) que la dels models globals, permet afinar respecte als resultats obtinguts per aquests darrers.

Es consideraran resultats d'alguns models regionals (PROMES, UK-Met Office, CRU East Anglia) per repetir l'estudi anterior amb valors més sensibles a la distribució geogràfica de l'orografia i a la distribució de mar i terra.

Les dades per a l'apartat 2 s'obtindran del centre Hadley, del Met Office, de la Universitat d'East Anglia i de la Universitat Complutense de Madrid.

3. Anàlisi de l'evolució de les emissions d'efecte hivernacle a les Illes Balears

A partir de les dades disponibles sobre el consum dels diferents derivats del petroli i de carbó a les Illes Balears, s'estimarà l'evolució de les emissions de CO₂, CH₄, NO_x, SO_x, etc. S'estudiarà també el règim anual d'emissions de cada un dels gasos.

La metodologia que s'emprarà està fonamentada en les directrius de l'IPCC de l'Organització de Nacions Unides per al càlcul dels inventaris nacionals de gasos d'efecte hivernacle, però evidentment aplicada a les Illes Balears. S'utilitzarà un software «ad hoc» de l'IPCC.

4. Anàlisi de la contaminació tèrmica a les Illes Balears

Com a aplicació concreta del punt anterior, es donarà informació sobre les emissions calorífiques a l'atmosfera pel consum de combustibles fòssils i de carbó. S'estudiarà també el règim anual d'emissions calorífiques.

La metodologia que s'emprarà està també fonamentada en les directrius de l'IPCC de l'Organització de Nacions Unides per al càlcul dels inventaris nacionals de gasos d'efecte hivernacle. S'utilitzarà un software «ad hoc» de l'IPCC.

Les dades per als apartats 3 i 4 s'obtindran del Govern de les Illes Balears.

5. Anàlisi de l'illa tèrmica urbana a Palma

L'illa tèrmica urbana és un fenomen ambiental que consisteix en l'existència de temperatures més elevades a l'interior de la ciutat que a la zona rural que l'envolta, especialment durant la nit. Aquest fenomen és causat per l'emissió calorífica que es produeix a les ciutats com a conseqüència de la presència de focus lluminosos, del trànsit, de les emissions de les calefaccions o dels aires condicionats i també a causa de la dificultat que té la radiació, acumulada durant el dia, d'escapar del canons que formen els carrers. És un exemple de contaminació calorífica.

La forma de l'illa de calor i la seva intensitat depèn, a més de les condicions meteorològiques, de la forma de la ciutat i de la relació entre l'alçada dels edificis i l'amplària dels carrers.

S'estudiarà la forma i intensitat de l'illa de calor a Palma i la seva evolució al llarg de l'any, a partir d'observacions realitzades dins de la ciutat i la zona rural que l'envolta a un nombre important de punts, devers mitjanit, que és l'hora que, teòricament, la intensitat de l'illa de calor és més gran.

Les dades corresponen a observacions pròpies.

INFORME

1. Estudi de les tendències climàtiques a les Illes Balears amb dades instrumentals.

1.0. Introducció

L'augment notable de la concentració de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera; especialment de diòxid de carboni, metà i òxids de nitrogen; observat durant el segle XX, (figura 1), està íntimament lligat al desenvolupament tecnològic que ha tingut lloc i al consum massiu de combustibles fòssils, especialment petroli, per obtenir l'energia que aquest desenvolupament ha necessitat. Aquest augment dels gasos d'efecte hivernacle durant els darrers cent anys és, per tant, degut a actuacions antropogèniques i mai a la història de la Terra no s'havia produït un augment tan gran en tan poc temps. El creixement conseqüent de l'efecte hivernacle ha tingut com a resposta un augment de la temperatura de l'aire al nivell de la superfície de la Terra, com també de l'aigua de la superfície de la mar (figura 2). És ben evident l'augment produït durant els últims cinquanta anys i en una proporció molt més elevada durant els darrers vint-i-cinc. Aquest és segurament el senyal més conegut i important del reforçat efecte hivernacle, però hi ha també altres senyals tal volta menys clars per la seva naturalesa, com per exemple la redistribució planetària de la precipitació o la freqüència i intensitat del fenomen de *El Niño*, que indiquen la realitat d'un canvi climàtic que es produeix a una velocitat ràpida, encara que no mesurable (IPCC, 2001).

Els augments de la temperatura de l'aire al nivell de la superfície té, d'altra banda, repercussions en la distribució de la temperatura a tota l'atmosfera per mantenir el balanç energètic global del sistema terra-atmosfera. En particular, si les capes baixes atmosfèriques s'encalenteixen, les capes superiors s'han de refredar. Aquesta deducció de caire teòric esta confirmada observacionalment, la qual cosa és un senyal més de les modificacions que es produeixen a l'atmosfera i que han de tenir alguna conseqüència sobre el clima.

Els models numèrics que simulen el clima són l'únic instrument disponible en aquests moments per analitzar el que pot succeir en un futur més o manco pròxim. Malgrat les seves imperfeccions actuals causades pels coneixements parcials sobre els processos físics i químics, per tant transformables en equacions matemàtiques, que relacionen els diferents subsistemes del sistema climàtic (atmosfera, hidrosfera, litosfera, criosfera, biosfera), i fins i tot dels que es produeixen dins d'un únic subsistema, els models climàtics són suficientment complets per tenir-ne en compte els seus pronòstics amb els diferents escenaris socioeconòmics considerats. És conegut que els models indiquen, pràcticament per a tots els escenaris, un augment global de la temperatura de l'aire al nivell de la superfície per a finals del segle XXI entre 3 i 6 °C, modificacions en el règim pluviomètric i modificacions en la cobertura de gel en els pols (IPCC, 2001). Aquestes modificacions no són les mateixes a tots els punts de la terra, unes regions sofriran augment i altres disminució de precipitació, i els augments de temperatura a les zones polars seran més importants que a les zones equatorials.

És interessant des d'aquest punt de vista, doncs, analitzar el que es produeix climàticament parlant a les Illes Balears. En primer lloc, si el senyal termomètric observat a nivell global també succeeix a les Illes Balears i quin és el valor d'aquest senyal, si és que existeix. Per extensió, també com està afectant el canvi climàtic recent en la precipitació, si és que l'afecta. Per últim, és interessant determinar què es

pot deduir d'alguns resultats de models climàtics quan estudiam amb cura els valors que s'obtenen per a les Illes Balears. Aquest és l'objectiu del present treball.

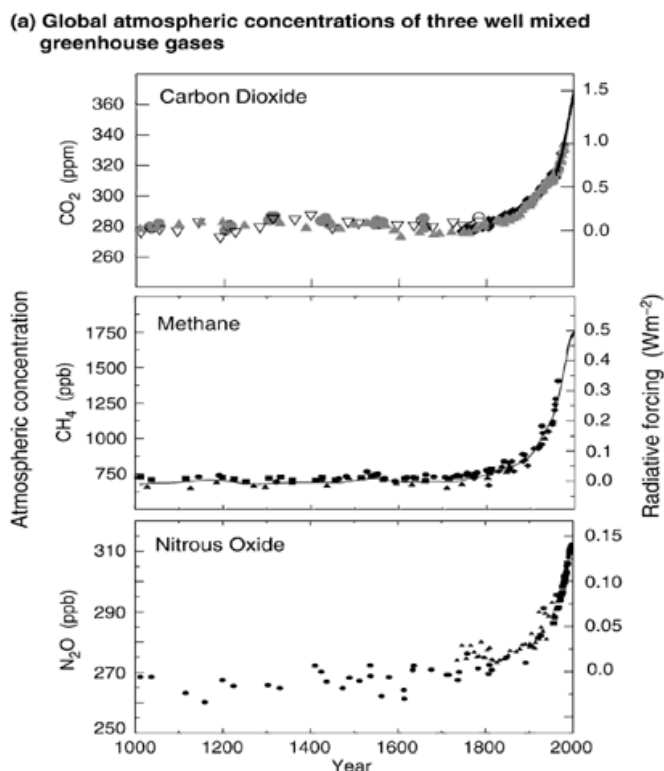


Fig. 1. Evolució de la concentració d'alguns gasos d'efecte hivernacle durant els últims 1000 anys. Es pot observar el creixement exponencial durant el segle XX (IPPC, 2001)

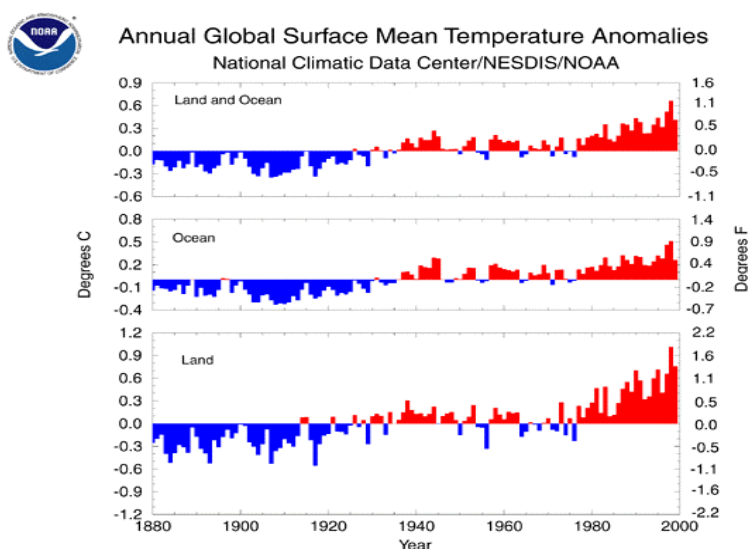


Fig. 2. Evolució de la temperatura superficial global mitjana des de 1880 a 2000. És ben notable l'augment observat durant els últims 20 anys

1.1. Precipitació

És convenient, abans d'estudiar les possibles tendències, posar un punt de partida per saber què representarien sobre aquest els previsibles canvis. La figura 3 mostra la distribució espacial de la precipitació mitjana anual a les Illes Balears obtinguda per Guijarro (1986), a partir de dades de 30 anys a un nombre important d'observatoris pluviomètrics i amb l'ús de tècniques d'interpolació en les quals hi va incloure paràmetres no convencionals a les interpolacions espacials, com l'altura de l'estació, la distància a la mar, etc.

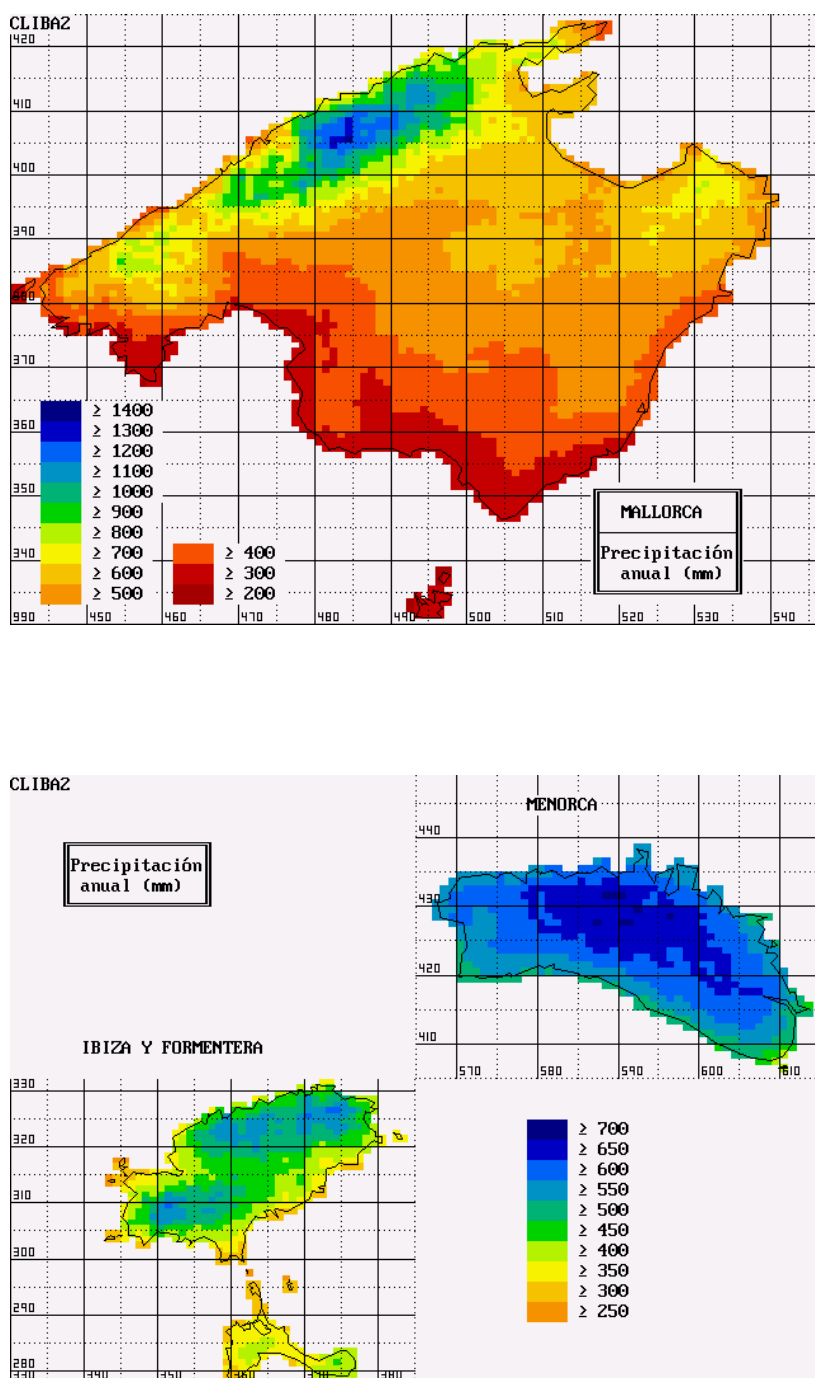


Fig. 3. Precipitacions mitjanes anuals a les Illes Balears. (Guijarro, 1986)

Es pot veure que, malgrat l'estructura fina que mostra la figura, hi ha unes característiques de més gran escala que permeten donar una descripció ben clara de la precipitació anual a les Illes Balears des del punt de vista climàtic. A Mallorca, el màxim de precipitació (superior als 1400 mm) es troba a la zona de la serra de Tramuntana on hi ha les muntanyes més altes. Tota la serra rep les majors quantitats de precipitació. Quantitats semblants a les rebudes per la part oest de la serra també són les que es recullen al nord-est de l'illa. Les menors quantitats de precipitació són les que reben les terres del sud, amb una faixa costanera que a penes assoleix els 300 mm. El gradient de pluviometria és en direcció i sentit sud-nord, molt pronunciat a les costes del sud i a la falda de la serra de Tramuntana. A Menorca la distribució de la precipitació mitjana anual és molt simple. Les majors quantitats, que a alguns punts assoleixen els 700 mm, es donen al centre de l'illa. La precipitació disminueix progressivament cap a les costes. Les diferències no són tan notables com a Mallorca, possiblement perquè la orografia de Menorca és molt més simple. Eivissa és l'illa que rep menys precipitació. A la part nord de l'illa alguns punts assoleixen els 600 mm i és especialment seca a la part costanera de l'oest i del sud. El mateix succeeix a Formentera, que rep unes quantitats de precipitació semblants a les del sud d'Eivissa.

Una anàlisi de les tendències climàtiques, en particular de la precipitació, no es pot dur a terme amb una resolució espacial com la indicada anteriorment. Per aquest motiu s'ha fet una anàlisi global de la següent manera:

S'han obtingut del Centre Meteorològic Territorial en Illes Balears de l'Institut Nacional de Meteorologia, les dades de precipitació diària del nombre màxim d'estacions pluviomètriques de les Illes Balears que la seva sèrie inclou el període 1951-2000.

Malgrat que el nombre real d'estacions pluviomètriques és molt alt en relació amb l'extensió de les Illes, més de 180 estacions, n'hi ha poques que compleixin la condició de tenir la sèrie completa durant el període indicat. Després de filtrar les dades s'ha obtingut que el nombre de estacions disponibles per fer l'estudi es redueix a 21, les quals estan indicades a la figura 4. La referència completa de les estacions es pot veure a la taula 1.

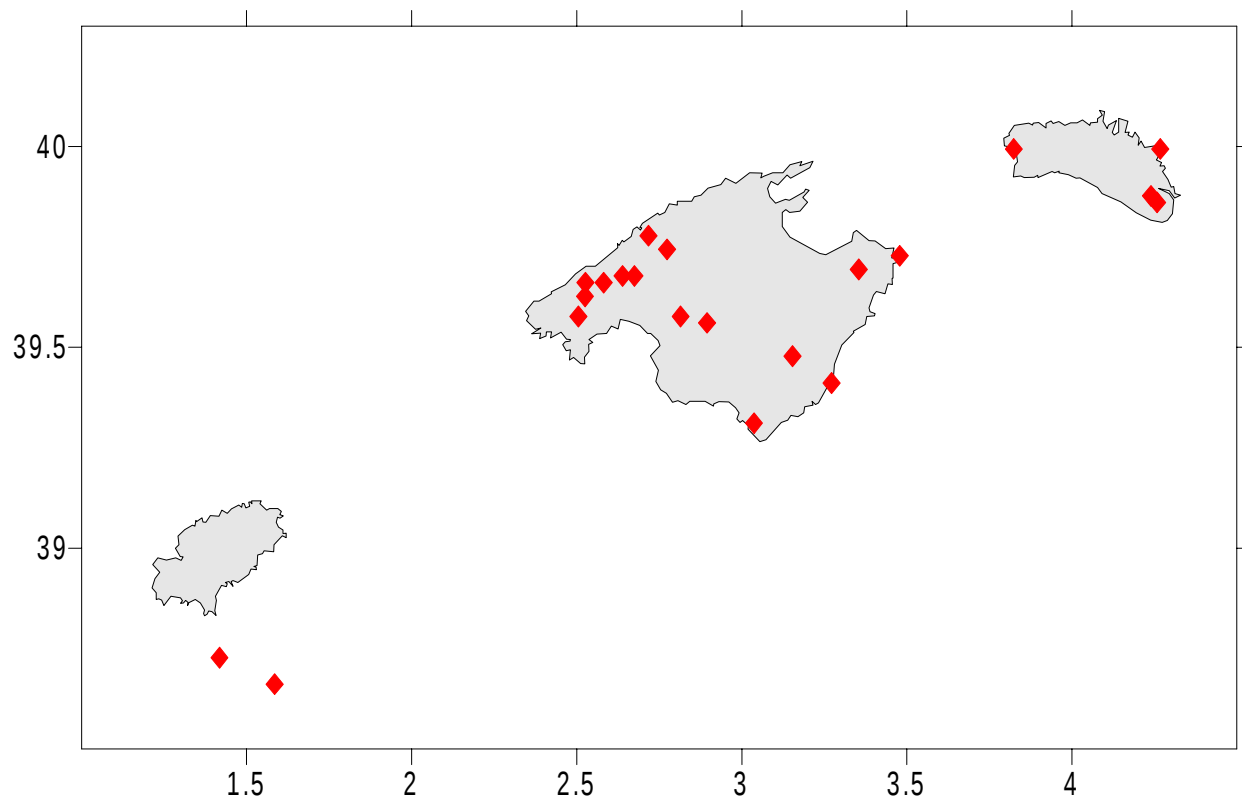


Fig. 4. Localització de les estacions pluviomètriques que tenen la sèrie diària completa en el període 1951-2000

Longitud (°)	Latitud (°)	altura (m)	estació pluviomètrica
2.717	39.778	40	B061 SÓLLER
2.505	39.577	145	B178 CALVIÀ
2.526	39.661	535	B217 LA CAMPANETA
2.525	39.627	265	B220 SON NÉT
2.582	39.661	180	B240 ESPORLES
2.639	39.678	190	B244 SON PACS
2.675	39.678	155	B260 BUNYOLA RAIXA
2.815	39.577	62	B282 XORRIGO
3.037	39.311	10	B379 SES SALINES SA VALL
3.272	39.411	17	B434 FAR DE PORTO COLOM
3.354	39.694	115	B520 ARTÀ
3.478	39.728	70	B569 FAR DE CAPDEPERA
3.154	39.478	115	B606 FELANITX
2.774	39.744	480	B648 ORIENT (SON BERNADES)
2.895	39.561	194	B670 ALGAIDA I (FARMÀCIA)
4.258	39.861	60	B801 SANT LLUÍS
4.24	39.877	50	B802 MAÓ LLUCMASSANES
4.268	39.994	12	B818 MAÓ FAR DE FAVARITX
3.824	39.994	9	B851 CIUTADELLA F. PORT
1.418	38.727	1	B982 LA SAVINA
1.585	38.661	109	B999 FAR DE FORMENTERA

Taula 1. Estacions pluviomètriques indicades a la figura 4

S'han separat, per a cada any i per a cada estació pluviomètrica, les precipitacions diàries en diferents categories (0-1(traça), 1-4 (a), 4-16 (b), 16-32 (c1), 32-64 (c2), 64-128 (d1), >128 (d2) mm). Per a cada una de les categories s'han considerat dues variables: el percentatge de precipitació respecte a la precipitació total anual i el nombre de dies anuals. S'han calculat les mitjanes dels valors obtinguts per eliminar les particularitats pròpies de cada estació pluviomètrica. A més, s'ha determinat la tendència de cada categoria per a cada una de les dues variables considerades, mitjançant l'ajust d'una recta a les sèries obtingudes.

Quant al percentatge de precipitació respecte a la precipitació total anual, el resultats es poden veure a les figures 5 i 6.

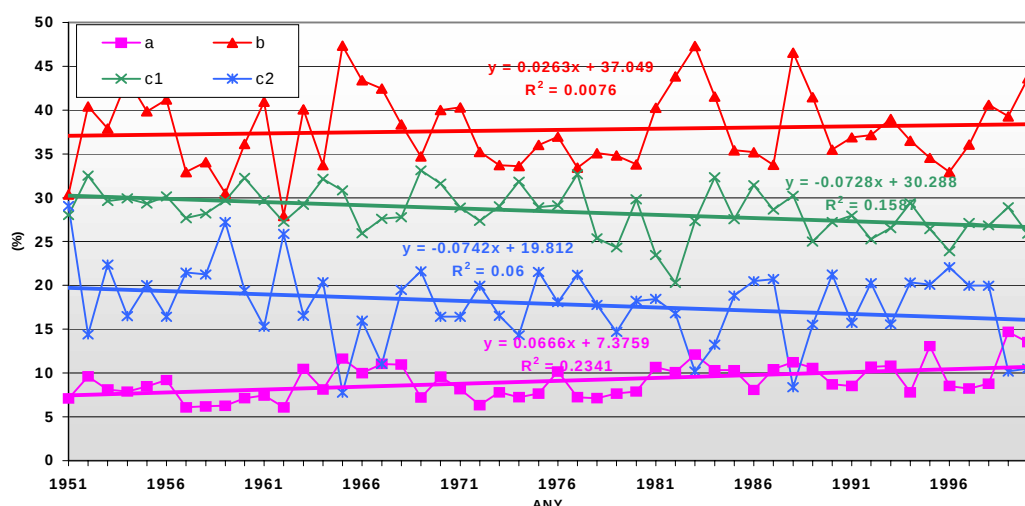


Fig. 5. Percentatge de precipitació respecte de la precipitació total anual corresponent a les categories a, b, c1 i c2

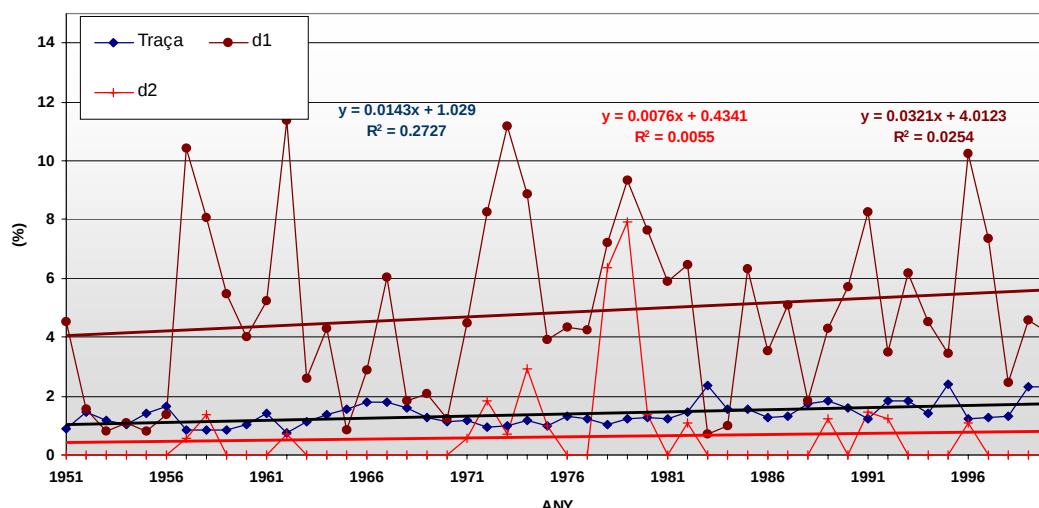


Fig. 6. Percentatge de precipitació respecte de la precipitació total anual corresponent a les categories traça, d1 i d2

Es pot veure que les precipitacions inapreciables (categoria traça) representen entre un 1 i un 2% de les precipitacions totals anuals, però que aquestes precipitacions tenen una tendència a augmentar la seva contribució anual; que les precipitacions febles (categoria a) representen entre un 7 i un 10% de les precipitacions anuals i tenen

tendència a augmentar la contribució; que les pluges moderades (categoria b) representen entre el 30 i el 40% i també tenen tendència a augmentar lleugerament; que les pluges fortes (categories c1 i c2) representen del 25 al 30% i el 20 al 25% respectivament i que ambdues tenen tendència a disminuir la seva contribució. Finalment, les pluges torrencials (categories d1 i d2) presenten una gran variabilitat: alguns anys poden arribar al 10% de la precipitació total, i la tendència és a augmentar la contribució.

En general, les tendències (deduïdes de la rectes ajustades) de totes les categories són febles i les variabilitats són grans, de tal manera que els corresponents coeficients de determinació (R^2 a les gràfiques) són petits, la qual cosa vol dir que la variabilitat explicada per la recta ajustada és petita. S'ha aplicat el test *t* de *Student* (Harned and Soni, 1991) per a determinar el nivell de significància estadística de les tendències obtingudes. El resultat es mostra a la taula 2. Els ajusts amb un nivell de significància estadística inferior al 95% no es poden considerar significatius, no hi ha seguretat estadística del signe del pendent. A la taula 2 també s'hi inclouen els intervals per als pendents al 95% de significància estadística per a les categories en les quals la significància de l'ajust és igual o superior al 95%.

Categoria	Pendent (%/100 anys)	Nivell de significància estadística del pendent (%)	Interval del pendent al 95% de significància estadística
traça	1,43	99,99	0,75 - 2,11
a	6,66	99,96	3,16 – 10,16
b	2,63	45,28	---
c1	-7,28	99,57	-12,16 - -2,40
c2	-7,42	91,36	---
d1	3,21	73,11	---
d2	0,76	39,12	---

Taula 2. Pendent, nivell de significància i interval del pendent al 95% de significància estadística per al percentatge de precipitació anual

Quant als dies anuals de precipitació de cada categoria, els resultats es presenten a les figures 7 i 8.

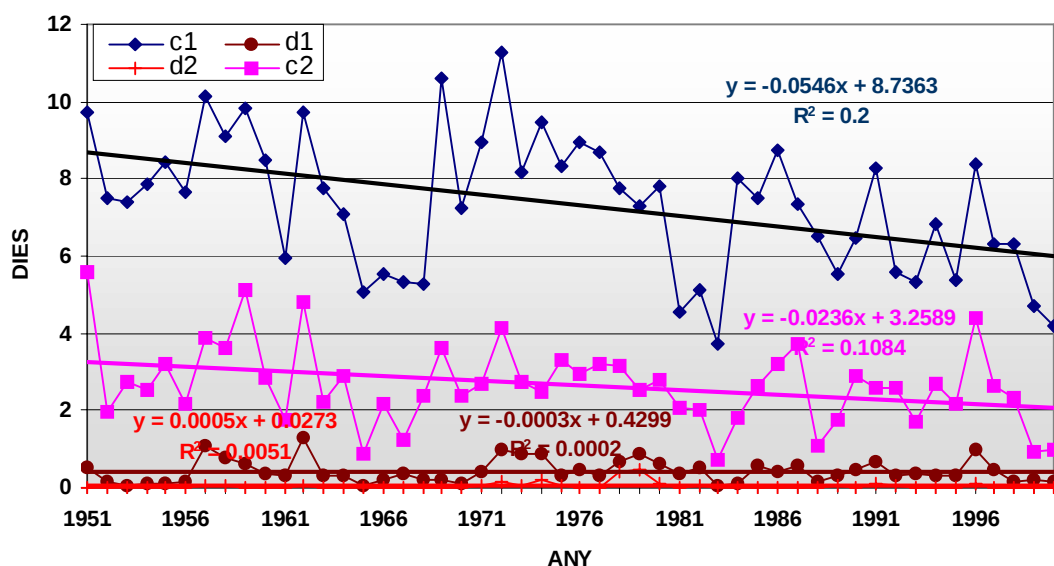


Fig. 7. Nombre anual de dies de precipitació corresponents a les

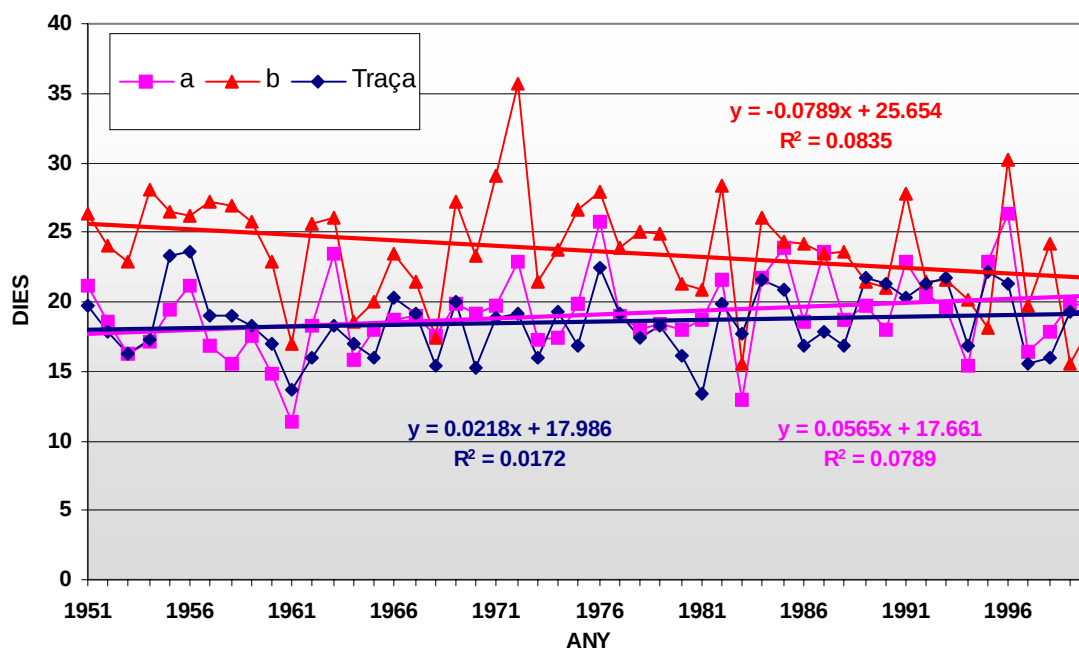


Fig. 8. Nombre anual de dies de precipitació corresponents a les categories traça, a i b

Es pot veure que el nombre de dies anuals de precipitacions inapreciables (categoria traça) varia entre els 13 i 24 i que tenen tendència a augmentar lleugerament. El mateix es pot dir per a la categoria a, però el nombre de dies oscil·la entre els 12 i els 27 anuals. El nombre de dies corresponents a pluges moderades (categoria b) varia entre els 16 i els 36 anuals amb una tendència clara a la disminució. Pel que fa a les pluges fortes (categories c1 i c2), el nombre de dies anuals és inferior a les categories anteriors amb una clara tendència a la disminució. Els dies de pluja torrencial (categories d1 i d2) amb dificultat supera un dia a l'any de mitjana entre les 21 estacions considerades. La seva tendència és pràcticament nul·la. La variabilitat interanual és alta i la part explicada per la recta ajustada no és molt gran.

El nivell de significància obtingut amb el test *t* de *Student* per al nombre anual de dies de precipitació es pot veure a la taula 3.

Categoria	Pendent (dies/100 anys)	Nivell de significància estadística del pendent (%)	Interval del pendent al 95% de significància estadística
traça	2,18	63,60	---
a	5,65	95,18	0,05 – 11,25
b	-7,89	95,82	-15,48 - -0,30
c1	-5,46	99,89	-8,63 - -2,30
c2	-2,36	98,04	-4,32 - -0,40
d1	0,05	37,79	---
d2	-0,03	7,77	---

Taula 3. Pendent, nivell de significància i interval del pendent al 95% de significància estadística per al nombre anual de dies de precipitació

També, per a cada una de les estacions considerades, s'ha determinat la precipitació anual i després se n'ha calculat la mitjana per a representar la precipitació mitjana de les Illes Balears. El resultat obtingut es pot veure a la figura 9. La gràfica mostra clarament una tendència negativa de la precipitació anual (280 mm en 100 anys). La variabilitat és molt gran (malgrat ésser valors mitjans), de tal manera que la recta ajustada sols dóna una explicació del 9% de la variabilitat observada. A falta d'una anàlisi harmònica, sembla que hi ha una periodicitat marcada en els 50 anys considerats, la qual tendria un període d'uns 22 anys. És remarcable la baixa precipitació dels anys 1965, 1983, 1999 i 2000, i la forta pluviositat dels anys 1951, 1962, 1972 i 1996.

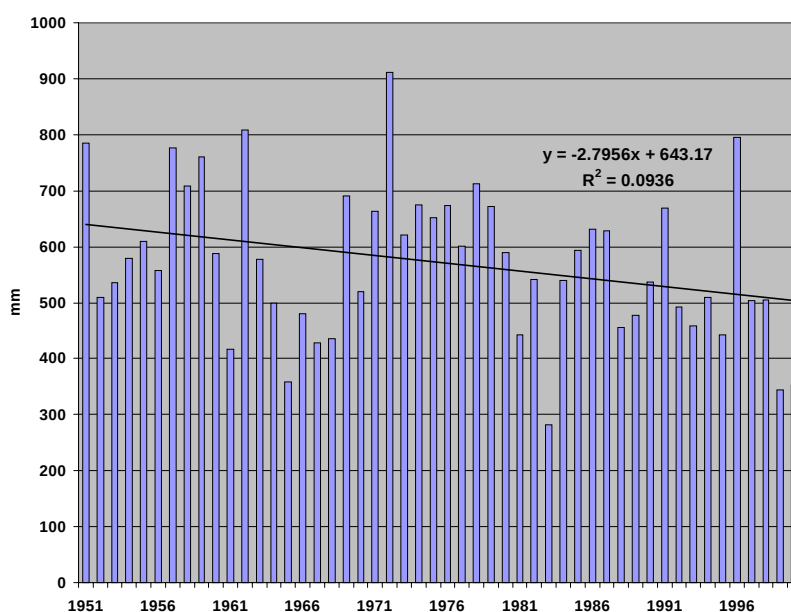


Fig. 9. Tendència de la precipitació mitjana anual

Per eliminar part de l'elevada variabilitat s'ha aplicat un filtre passa-baixa (mitjana mòbil de 5 anys) a les dades de precipitació anual i també s'ha calculat la tendència de la nova sèrie obtinguda. El resultat es pot veure a la figura 10, on queda de manifest una marcada disminució de la precipitació (214 mm en 100 anys) amb una representativitat de la recta més gran que en les dades inicials.

Encara per eliminar més la variabilitat, s'ha aplicat a la sèrie original un filtre de les mateixes característiques amb una amplada de 30 anys (per obtenir-ne valors normals). El resultat es mostra a la figura 11. La disminució de la precipitació és menys forta però encara molt significativa (186 mm en 100 anys), encara que el nombre de dades s'ha reduït fortament.

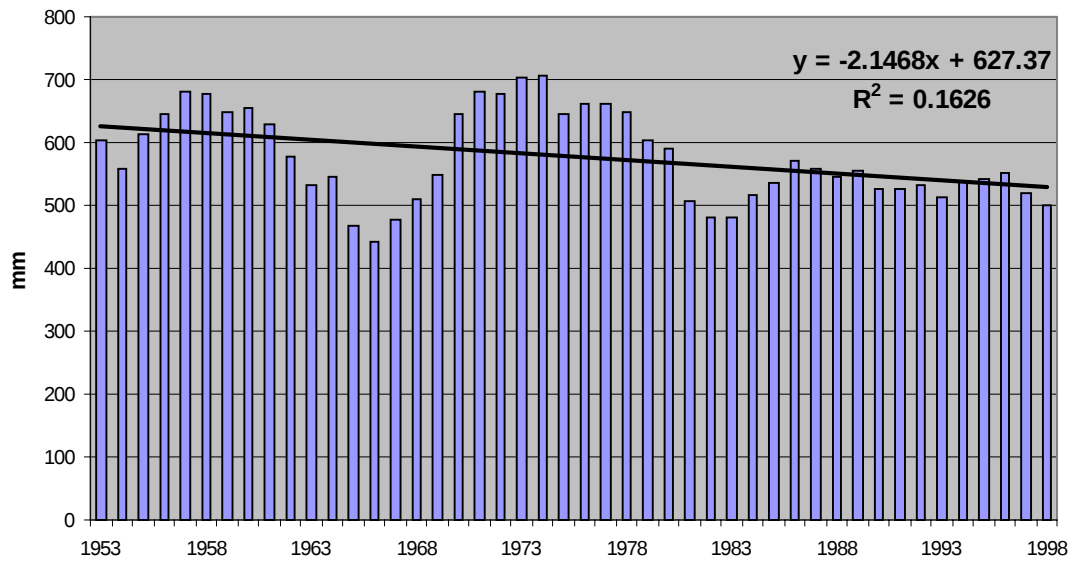


Fig. 10. Tendència de la precipitació mitjana anual. Mitjana mòbil de 5 anys

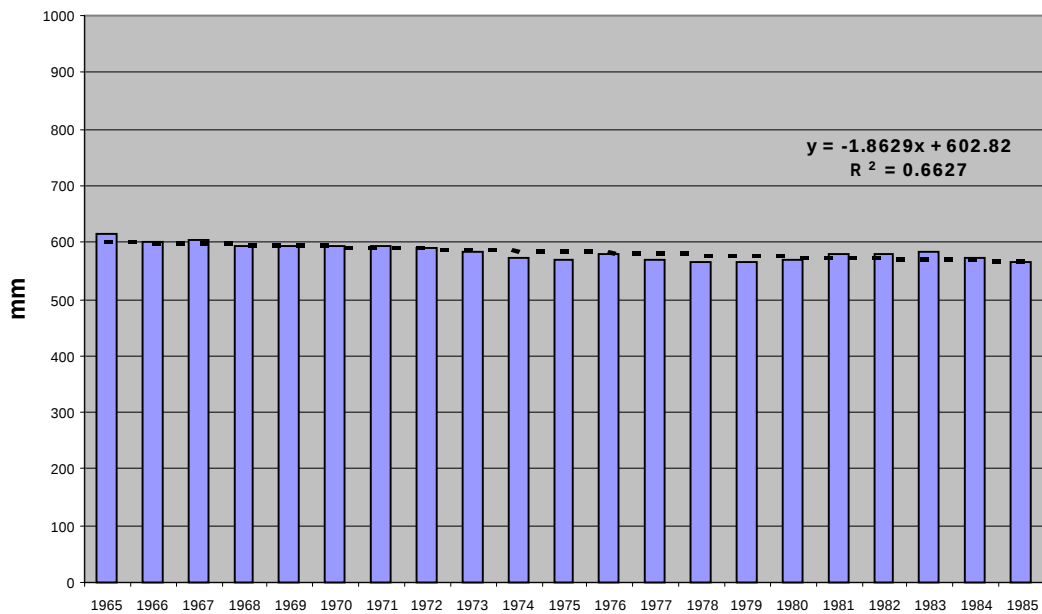


Fig. 11. Tendència de la precipitació mitjana anual. Mitjana mòbil de 30 anys

Considerant les quatre estacions climàtiques, on l'hivern ve representat pels mesos de desembre, gener i febrer; la primavera pels mesos de març, abril i maig; l'estiu per juny, juliol i agost; i la tardor per setembre, octubre i novembre, s'ha dut a terme un exercici semblant a l'anterior però focalitzat en les estacions. Els resultats es poden veure a les figures 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 i 19. Per a eliminar variacions interanuals, s'ha aplicat el filtre de la mitjana mòbil de 5 anys a cada una de les quatre sèries de dades.

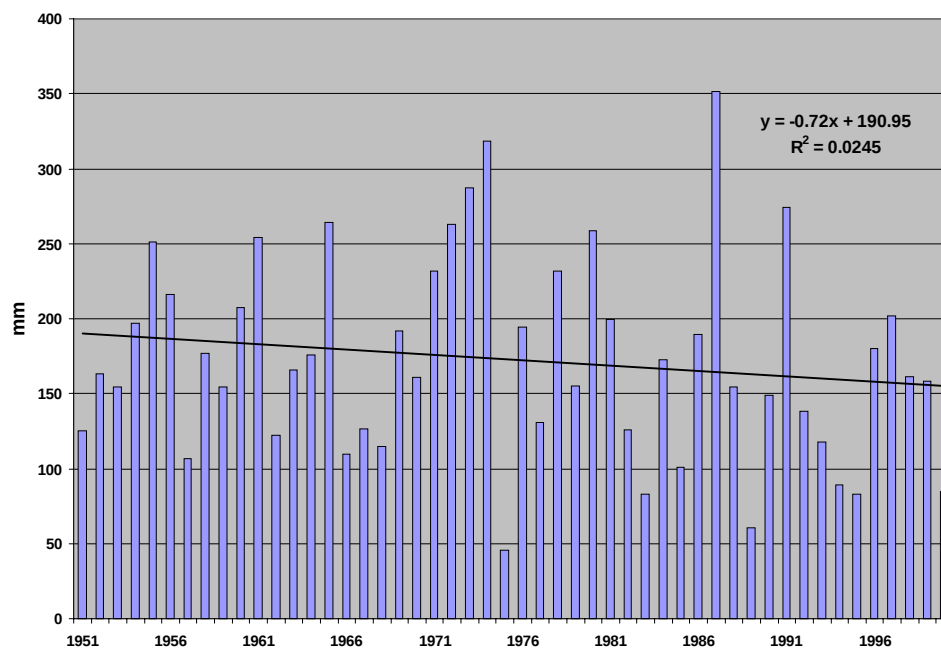


Fig. 12. Tendència de la precipitació mitjana durant l'hivern

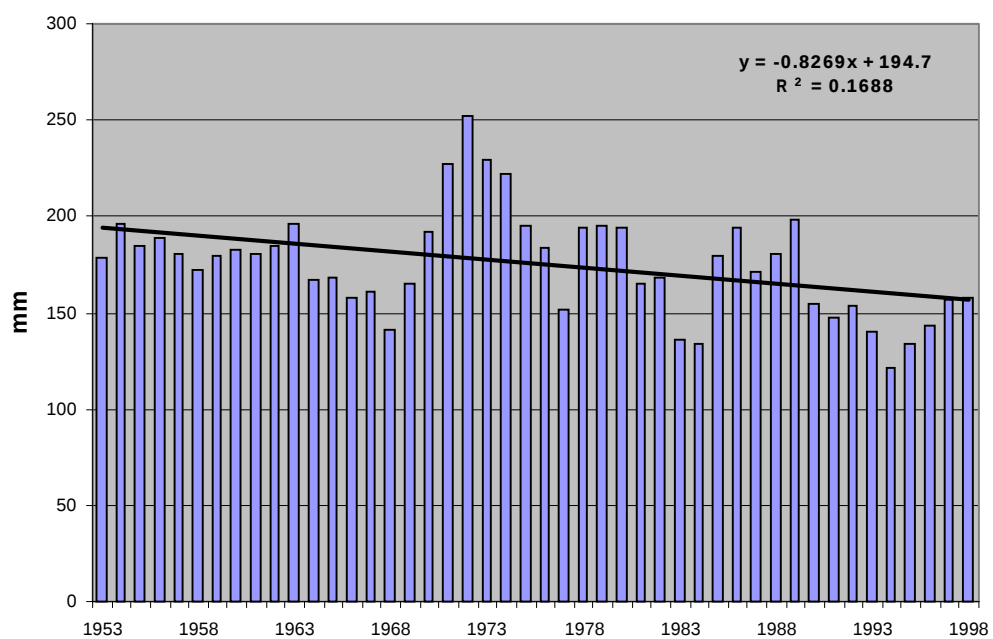


Fig. 13. Tendència de la precipitació mitjana durant l'hivern. Mitjana mòbil de 5 anys

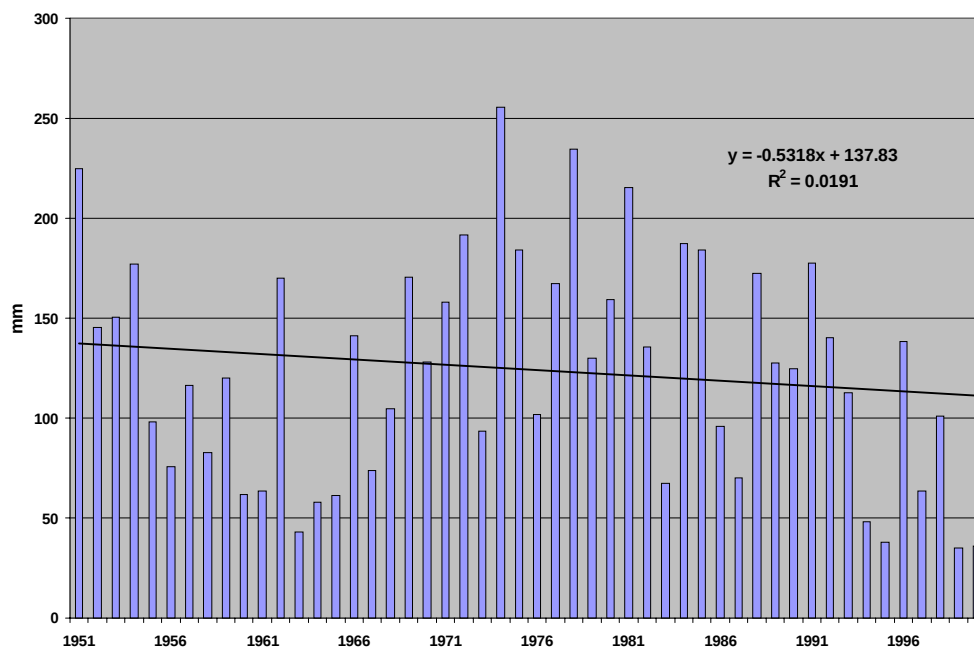


Fig. 14. Tendència de la precipitació mitjana durant la primavera

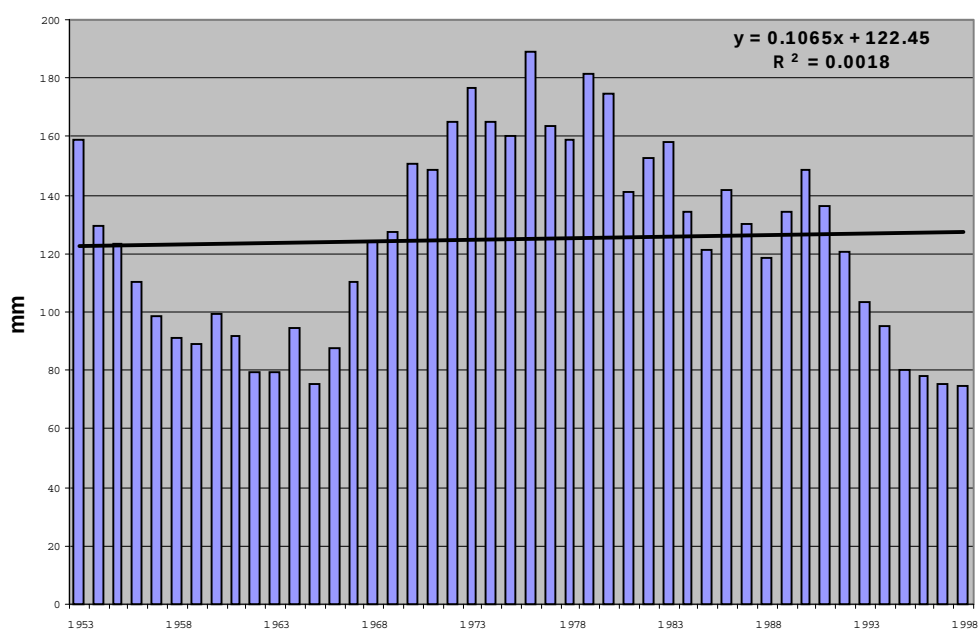


Fig. 15. Tendència de la precipitació mitjana durant la primavera. Mitjana mòbil de 5 anys

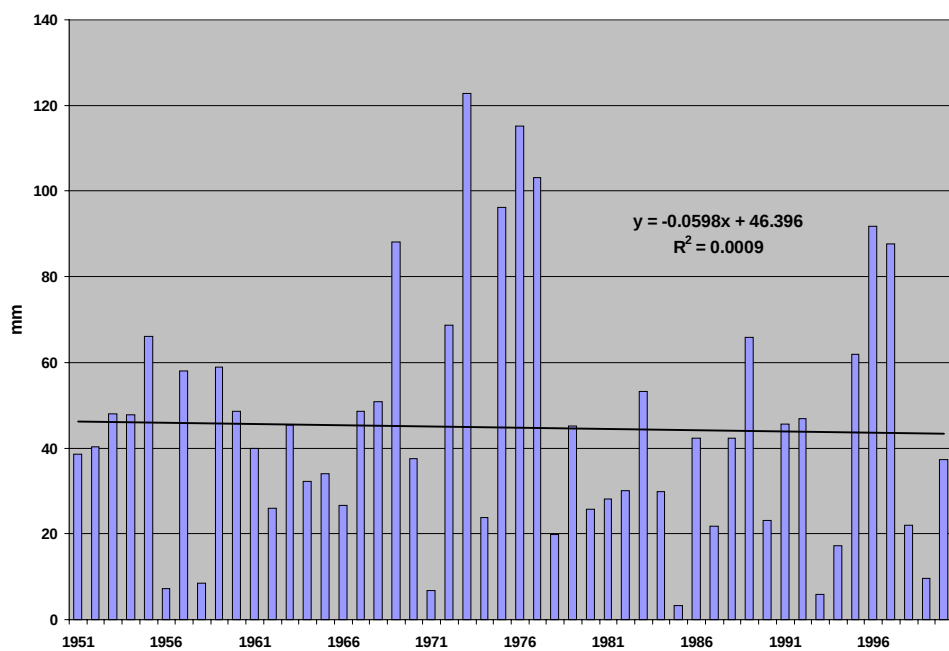


Fig. 16. Tendència de la precipitació mitjana durant l'estiu

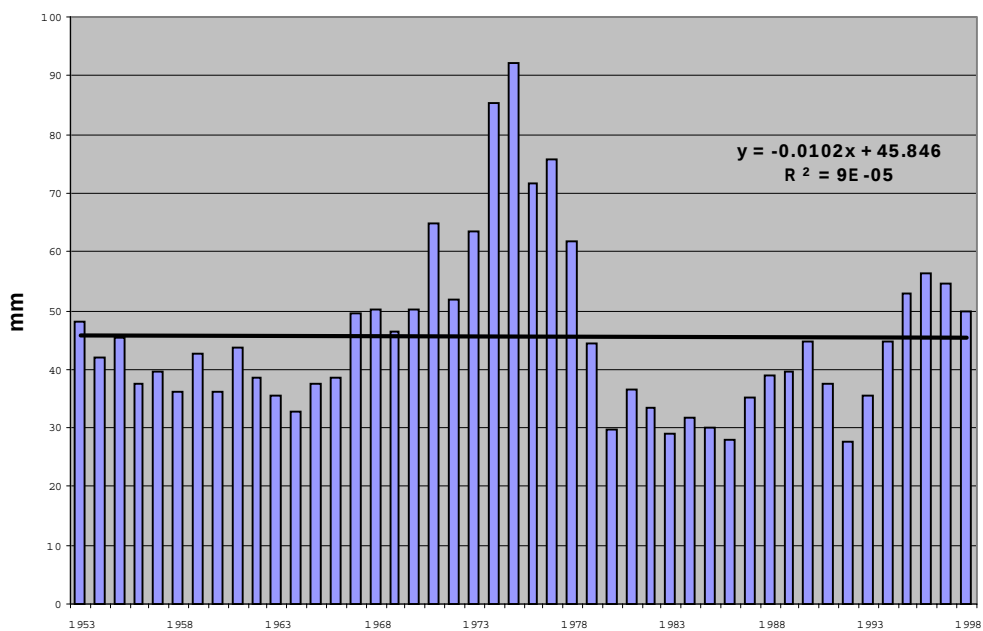


Fig. 17. Tendència de la precipitació mitjana durant l'estiu. Mitjana mòbil de 5 anys

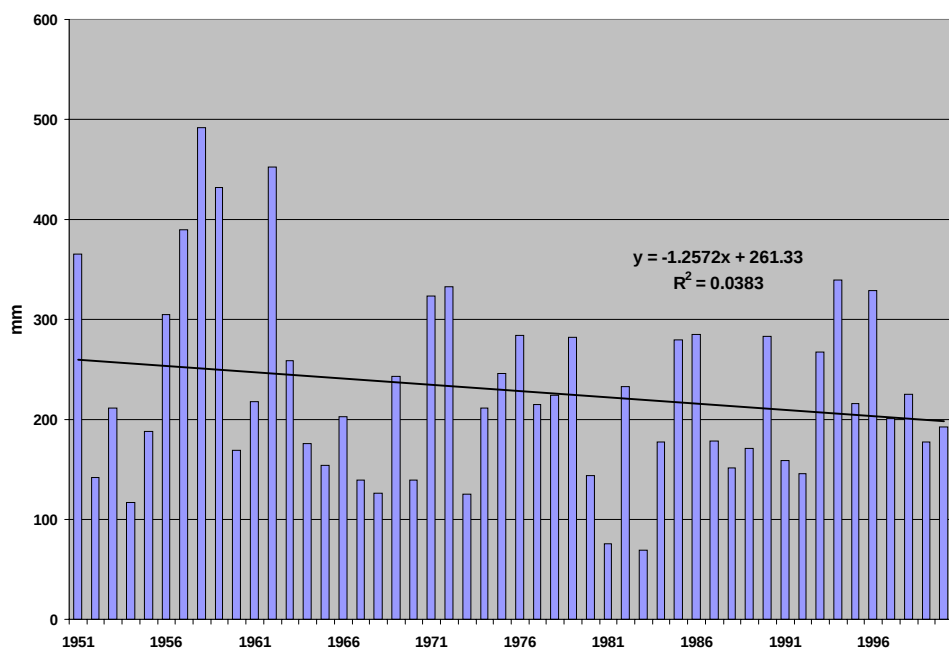


Fig. 18. Tendència de la precipitació mitjana durant la tardor

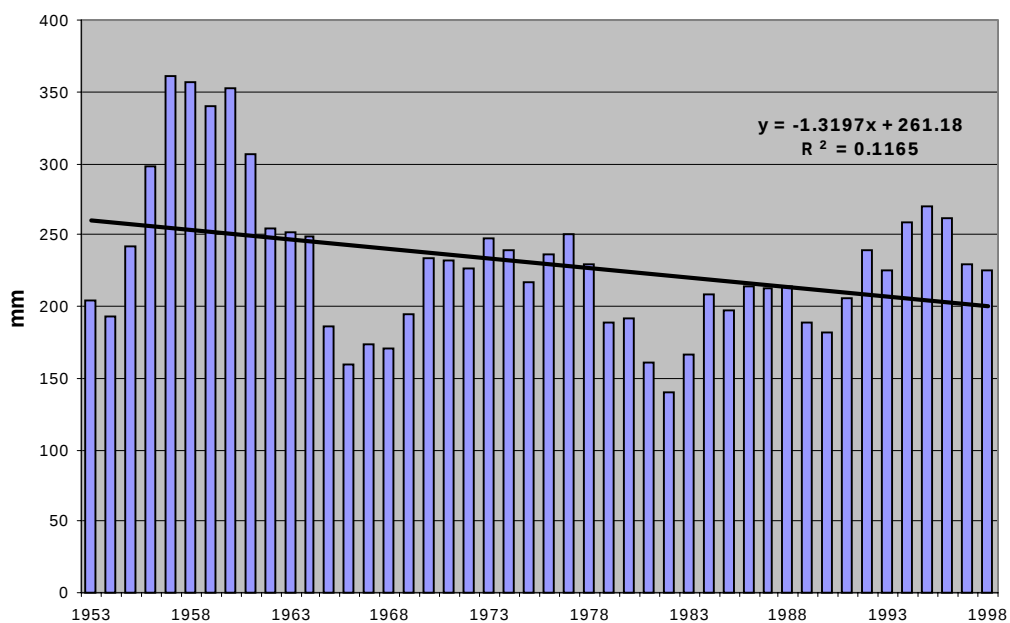


Fig. 19. Tendència de la precipitació mitjana durant la tardor. Mitjana mòbil de 5 anys

Els resultats mostren que la tendència és negativa en les quatre estacions (el valor absolut més petit correspon a l'estiu i el més gran a la tardor) per a les sèries originals, però igualment la variabilitat és molt gran i la representativitat de la recta és baixa (el coeficient de determinació és petit). La variabilitat més gran es presenta durant l'estiu i la més baixa durant la tardor. Les sèries filtrades mostren una tendència semblant a la de les sèries originals, si exceptuam la primavera, per a la qual la sèrie filtrada presenta una tendència lleugerament positiva.

El resultat d'aplicar el test *t* de *Student* a les anteriors sèries pluviomètriques es pot veure a la taula 4.

Variable	Pendent (mm/100 anys)	Nivell de significància estadística del pendent (%)	Interval del pendent al 95% de significància estadística
Precipitació mitjana anual	-279,56	96,93	-532,03 - -27,10
Precipitació mitjana anual, mitjana mòbil 5 anys	-214,68	99,45	-362,70 - -66,70
Precipitació mitjana anual, mitjana mòbil 30 anys	-186,29	99,99	-250,11 - -122,50
Precipitació mitjana hivern	-72,00	72,23	---
Precipitació mitjana hivern, mitjana mòbil 5 anys	-82,69	99,54	-138,44 - -26,90
Precipitació mitjana primavera	-53,18	66,15	---
Precipitació mitjana primavera, mitjana mòbil 5 anys	10,65	22,05	---
Precipitació mitjana estiu	-5,98	16,38	---
Precipitació mitjana estiu, mitjana mòbil 5 anys	-1,02	4,99	---
Precipitació mitjana tardor	-125,72	82,68	---
Precipitació mitjana tardor, mitjana mòbil 5 anys	-131,97	97,97	-242,39 - -21,6

Taula 4. Pendent, nivell de significància i interval del pendent al 95% de significància estadística per a la precipitació anual i estacional.

Per a completar l'anàlisi de la precipitació s'ha calculat l'índex d'estacionalitat. Aquest índex (Walsh and Lawler, 1981) intenta, en un sol nombre, caracteritzar el règim pluviomètric d'una regió. Es defineix de la següent manera per a un any determinat :

$$SI = \frac{1}{R} \sum_{n=1}^{12} \left| Mi - \frac{R}{12} \right|$$

on M_i és la precipitació mensual i R és la precipitació anual.

Els valors de l'índex indiquen el tipus de règim pluviomètric segons la taula 5:

Valor Index	Règim pluviomètric
<0.19	pluja distribuïda durant tot l'any
0.20-0.39	estació humida ben marcada
0.40-0.59	estació seca curta
0.60-0.79	Estacional
0.80-0.99	estació seca llarga
1.00-1.99	precipitació en menys de 3 mesos
>1.20	precipitació en 1-2 mesos

Taula 5. Índex d'estacionalitat i règim pluviomètric

Una anàlisi de l'índex d'estacionalitat a la zona mediterrània espanyola es pot veure a Sumner *et al.* (2001).

S'ha determinat l'índex d'estacionalitat per a les Illes Balears, calculant-lo per cada any dels 50 considerats per a cada una de les 21 estacions pluviomètriques i després se n'ha determinat la mitjana. A la sèrie de valors s'hi ha aplicat un filtre passa-baixa de la mitjana mòbil amb una finestra de 5 anys i la nova sèrie s'ha emprat per determinar-ne la tendència. El resultat es presenta a la figura 20, la qual mostra una disminució molt feble de l'estacionalitat. El nivell de significància estadística és del 98,84% i l'interval del pendent al 95% de significància del SI és de (-0,28 ; -0.004) cada 100 anys.

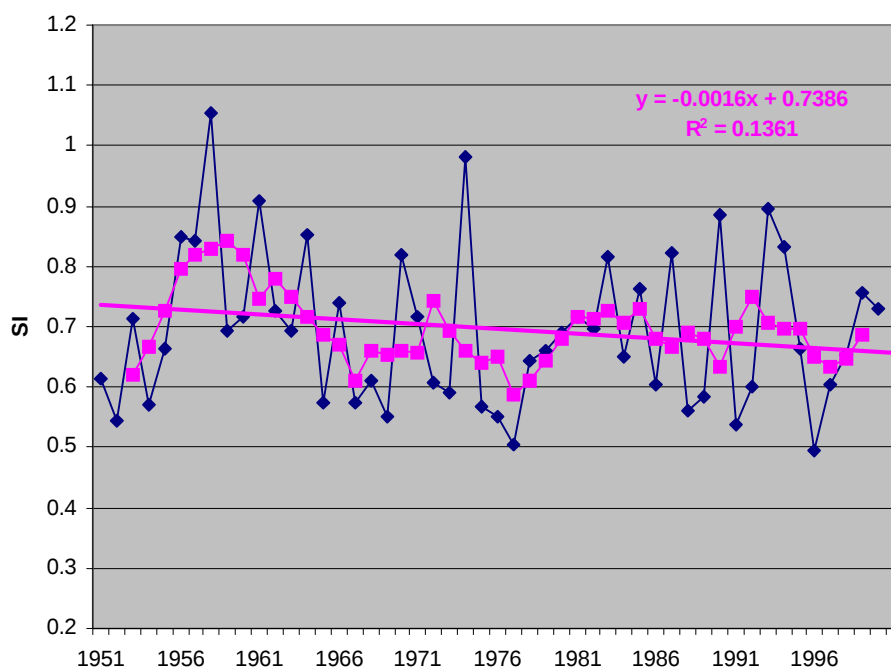


Fig. 20. Índex d'estacionalitat i mitjana mòbil de 5 anys amb la seva tendència

1.2. Temperatura

1.2.1. Temperatura superficial de l'aire

La distribució espacial de la temperatura mitjana anual sobre les Illes Balears (Guijarro, 1986) es pot veure a la Figura 21. A Mallorca, les temperatures menors es donen a la serra de Tramuntana mentre que les majors es localitzen a la falda de l'esmentada serra. Tota la part central de l'illa pràcticament gaudeix de la mateixa temperatura mitjana anual. Al sud hi ha una zona on les temperatures són un poc inferiors com a conseqüència de les menors temperatures mínimes que allà es donen.

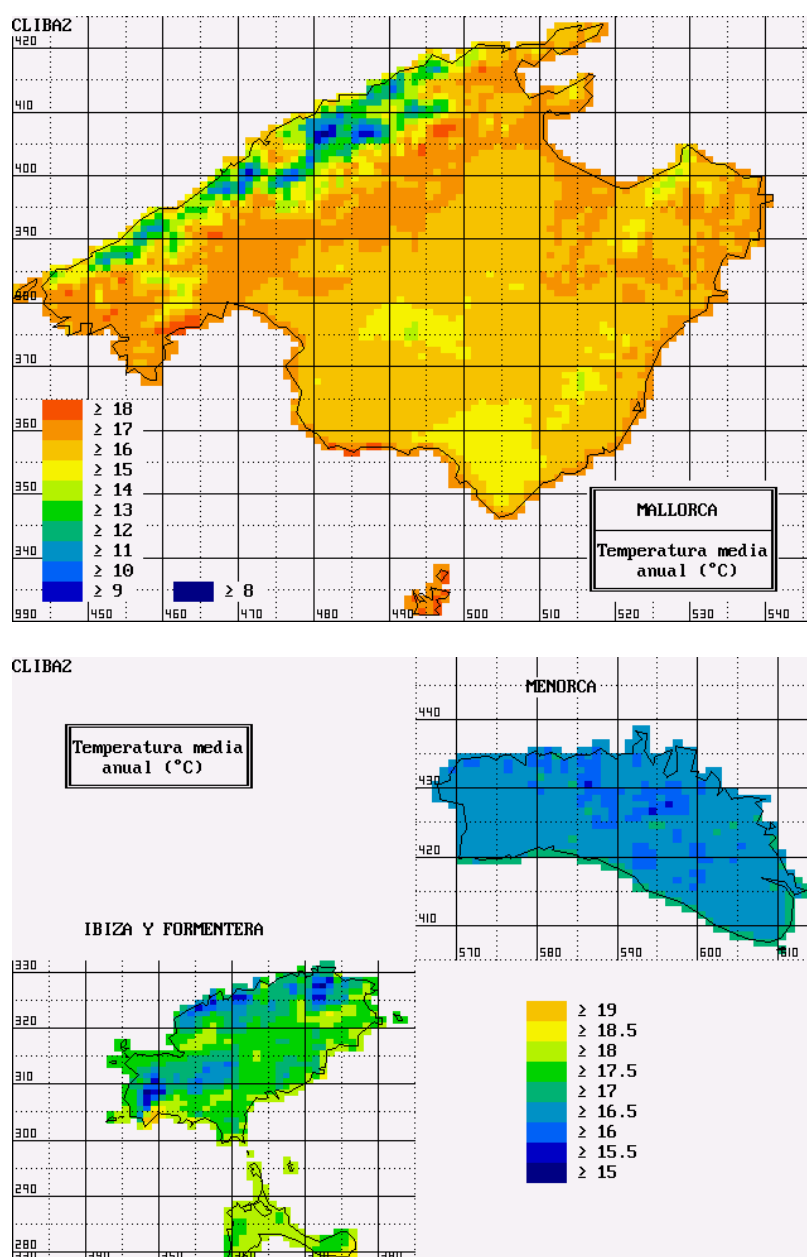


Fig. 21. Temperatures mitjanes anuals a les Illes Balears (Guijarro, 1986)

A Menorca, la uniformitat és pràcticament total, mentre que a Eivissa la part nord de l'illa presenta una temperatura mitjana anual un poc inferior a la part sud. Formentera presenta unes característiques semblants a les del sud d'Eivissa.

Per estudiar les tendències termomètriques a les Illes Balears s'ha seguit una metodologia semblant a l'emprada per a l'estudi de les precipitacions, és a dir, un estudi global sense cercar detalls locals.

S'han obtingut del Centre Meteorològic Territorial en Illes Balears, de l'Institut Nacional de Meteorologia, les dades de temperatura màxima i mínima diàries de totes les estacions termomètriques que han operat a les Illes Balears. El nombre d'estacions termomètriques és molt inferior al nombre d'estacions pluviomètriques i gran part d'aquestes tenen una sèrie molt curta. La situació de les estacions termomètriques es pot veure a la figura 22. La figura 23 mostra la llargària de les respectives sèries temporals i la taula 6 indica la referència completa de les estacions. Com es pot veure a la figura 23, la llargària de les sèries és molt heterogènia i molt poques estacions tenen les sèries coincidents i, si ho són, és durant un interval curt de temps.

Després d'analitzar les sèries de dades disponibles, amb l'exigència d'una llargària mínima de 25 anys i amb un màxim de faltes, s'han seleccionat 4 estacions termomètriques que aconsegueixen amb les condicions indicades: Sa Cabaneta, aeroport de Palma, aeroport de Menorca i aeroport d'Eivissa. El període considerat de 25 anys és 1976-2000, que és precisament quan les observacions mostren el major augment de la temperatura global de la Terra. Les sèries seleccionades s'han completat mitjançant una comparació de la respectiva sèrie amb totes les altres sèries disponibles en els dies que mancava la data.

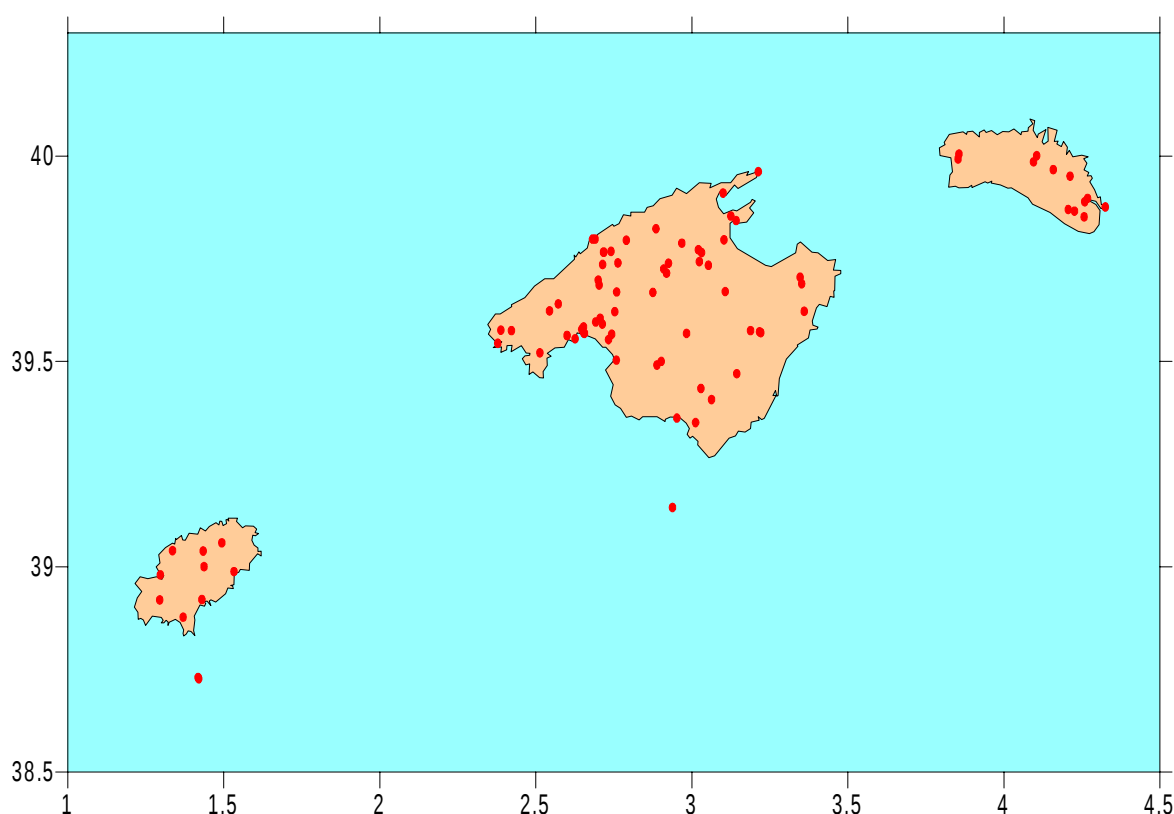


Fig. 22. Localització de les estacions termomètriques que han operat a les Illes Balears

Nombre d'ordre	Longitud(°)	Latitud(°)	Altura (m)	Estació termomètrica
1	2.654	39.569	19	228M Palma Monti-sion
2	3.360	39.623	75	494 Son Servera
3	2.647	39.578	20	228I Palma Institut
4	4.268	39.897	43	804B Maó Base Naval
5	2.657	39.569	17	228J Palma Prefectura
6	1.421	38.728	6	982A La Savina A. M.
7	2.886	39.824	490	013 Lluc
8	4.260	39.889	47	804C Maó Esplanada
9	2.379	39.545	10	108 Port d'Andratx
10	2.717	39.767	40	061 Sóller
11	2.693	39.597	35	276 Pont d'Inca
12	4.207	39.870	80	890 Sant Climent
13	2.984	39.569	164	666 Montuiri
14	1.297	38.981	12	924 Sant Antoni Far Coves Blanques
15	3.013	39.351	3	373 Campos Salines de Llevant
16	2.706	39.606	50	275 Son Bonet Radiosondes
17	2.791	39.795	830	684 Escorca Son Torrella
18	1.336	39.039	180	919 Santa Agnès
19	3.213	39.963	150	001 Cap Formentor
20	2.733	39.553	2	278A Palma Aeroport 1
21	1.370	38.877	11	954 Aeroport d'Eivissa
22	3.101	39.911	2	780 Port de Pollença A. M.
23	2.919	39.716	105	678B Inca subestació
24	3.125	39.854	7	703 Alcúdia
25	2.902	39.501	162	331 Llucmajor subestació
26	3.856	40.006	27	856 Ciutadella subestació
27	3.189	39.575	77	614B Manacor subestació
28	4.095	39.986	63	825 Mercadal subestació
29	1.430	38.921	12	958 Eivissa C. Tèrmica
30	2.704	39.687	210	256 Bunyola subestació
31	3.031	39.766	25	690A Sa Pobla subestació
32	1.434	39.039	160	912 Sant Miquel E. A.
33	3.029	39.435	22	355 Campos subestació
34	2.719	39.767	40	061A Sóller II
35	3.021	39.773	25	690B Sa Pobla Escola
36	2.758	39.503	35	293A S'Arenal Parròquia
37	4.226	39.867	85	893 Aeroport de Menorca
38	2.714	39.736	1030	248 Puig d'Alfàbia
39	3.107	39.670	50	632 Maria de la Salut Montblanc
40	2.744	39.566	4	278 Palma Aeroport
41	4.258	39.852	60	801 Sant Lluís
42	1.534	38.989	25	964 Sta. Eulària
43	3.142	39.844	12	698 Alcúdia Butà
44	2.700	39.698	227	255 Bunyola
45	3.218	39.572	85	614 Manacor
46	3.054	39.735	50	682 Muro
47	2.910	39.725	140	678 Inca
48	2.888	39.491	140	334 Llucmajor II
49	2.626	39.555	3	228 Palma Centre Met.
50	4.158	39.968	120	820 Mercadal S'Albaida
51	2.653	39.585	35	228A Palma Urania
52	2.763	39.741	455	264 Bunyola Son Vidal
53	2.753	39.621	152	273 Sa Cabaneta
54	2.544	39.623	220	222A Son Puig
55	3.221	39.571	85	614C Manacor Parc Municipal
56	1.418	38.730	1	982 La Savina
57	3.024	39.744	30	691 Sa Pobla sa Cànova
58	2.691	39.798	15	051 Far de sa Creu
59	2.601	39.563	80	229 Gènova
60	2.422	39.576	75	115 Andratx
61	3.144	39.471	110	606B Felanitx III (Can Adrover)
62	4.106	40.002	80	826 Mercadal s'Arada
63	2.875	39.668	90	661 Binissalem Can Montcerdà
64	2.742	39.769	50	062 Sóller sa Vinyassa
65	2.682	39.798	130	075 Far Punta Grossa
66	2.953	39.363	5	371 Sa Ràpita
67	3.348	39.706	140	540 Artà sa Font Calenta
68	2.514	39.521	36	176 Sta. Ponsa Depuradora
69	3.104	39.796	2	605 Muro s'Albufera
70	4.325	39.877	78	800 Maó La Mola
71	3.064	39.408	40	362 Campos Can Sion
72	3.854	39.994	20	860 Ciutadella Son Quim
73	2.572	39.640	375	222B Es Verger
74	1.438	39.001	125	963 Sta. Gertrudis
75	2.939	39.145	5	398 Cabrera P. N.
76	1.494	39.058	110	908 Sant Joan de Llabritja
77	2.968	39.788	60	681 Campanet Son Estrany
78	2.925	39.739	145	675 Inca Son Estaràs
79	1.295	38.919	190	948 Sant Josep
80	2.389	39.576	70	111A S'Arracó Cana Pera
81	2.760	39.670	155	269A Santa Maria Can Borreó
82	3.352	39.689	110	526 Artà Molí d'en Leu
83	2.714	39.592	37	277 Son Ferriol
84	4.212	39.952	17	810 Maó Estància ses Penyes

Taula 6. Referència completa de les estacions termomètriques de les figures 22 i 23

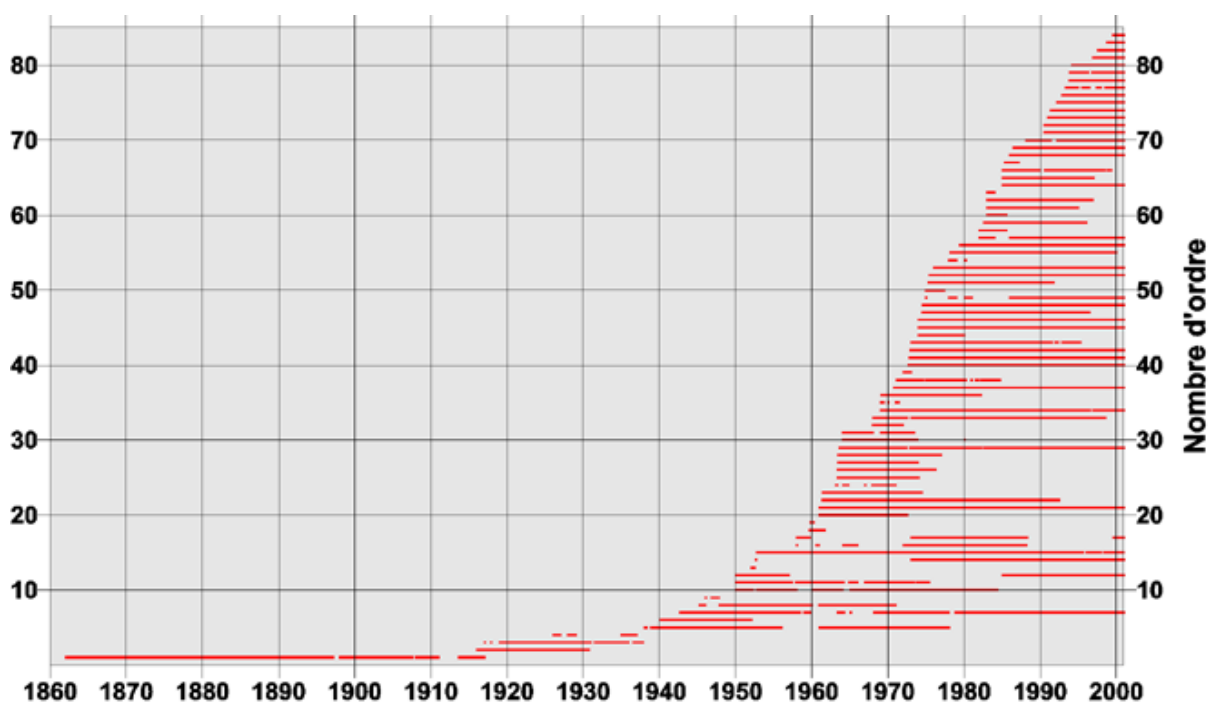


Fig. 23. Llargària de les sèries termomètriques. El nombre d'ordre correspon a l'indicat a la taula 6

La figura 24 mostra l'evolució de les temperatures mínimes mitjanes anuals a cada una de les estacions termomètriques considerades i la mitjana de totes elles. Es pot veure com l'aeroport de Palma té unes mínimes inferiors a la resta d'observatoris. La tendència a totes les estacions és positiva, clarament hi ha un augment de les temperatures mínimes. La tendència de la mitjana per a les Illes Balears mostra un augment de 7 °C cada 100 anys. La variabilitat de la sèrie està capturada en un 62% per la recta ajustada, tal com indica el coeficient de determinació.

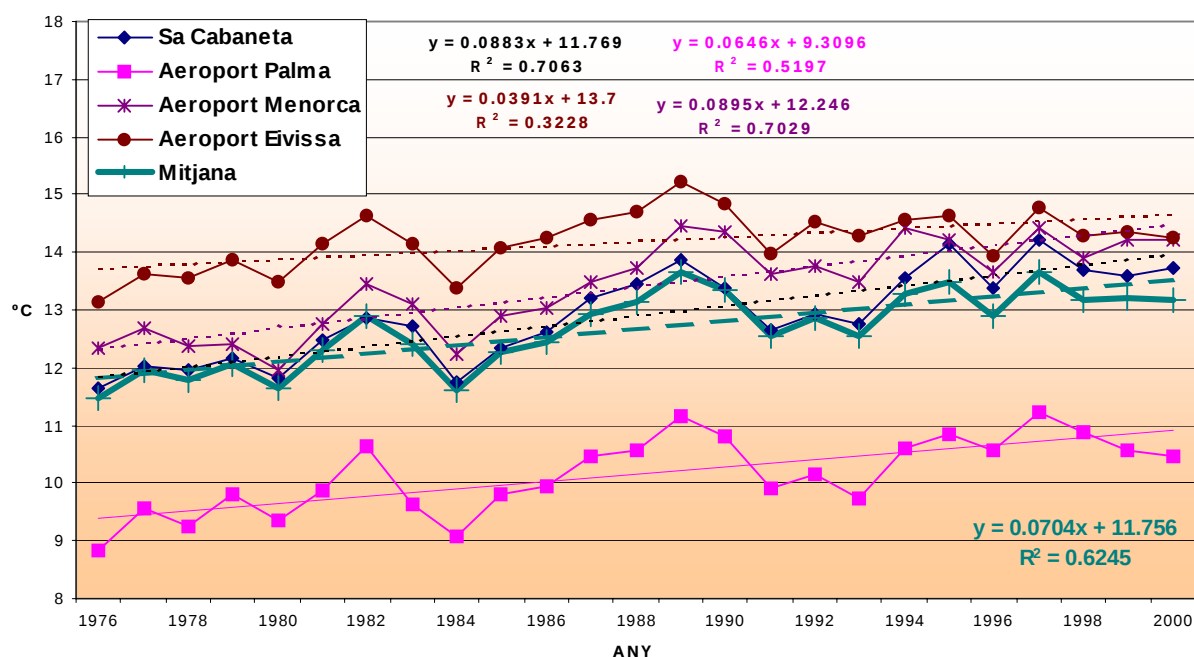


Fig. 24. Tendència de les temperatures mínimes mitjanes anuals

S'han analitzat les tendències de les temperatures mínimes mitjanes estacionals, per determinar si hi ha diferències de comportament entre les diferents estacions climàtiques. La figura 25 mostra el resultat obtingut. Malgrat que la tendència és positiva per a totes les estacions, hi ha diferències clares. L'estiu i la primavera presenten un creixement molt més gran que la tardor mentre que a l'hivern l'augment és més feble, si bé en aquest cas la variabilitat de la sèrie és molt poc explicada per la recta ajustada.

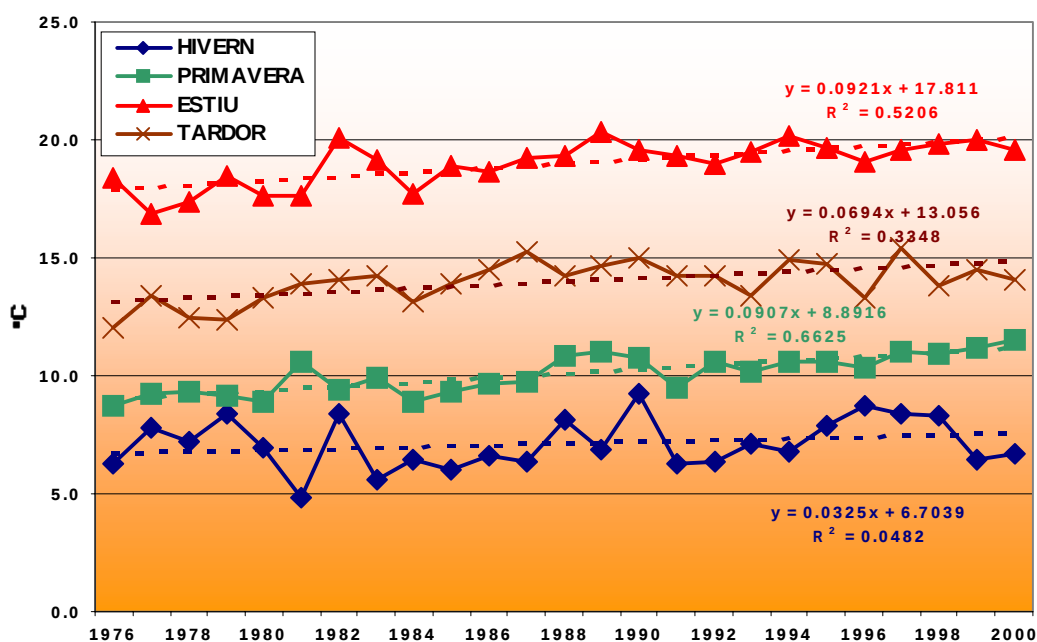


Fig. 25. Evolució de les temperatures mínimes mitjanes estacionals

Un estudi semblant s'ha dut a terme per a les temperatures màximes mitjanes. El resultat es presenta a la figura 26. Es pot veure que les temperatures màximes a l'aeroport de Menorca són inferiors a les dels altres observatoris, però que a tots segueixen una estructura semblant. Per a totes les estacions termomètriques considerades s'observa una tendència positiva. La mitjana de totes elles mostra una tendència positiva que representa un augment de 6 °C en 100 anys. La variabilitat de la sèrie de valors mitjans està ben representada per la recta ajustada (53%).

També s'han considerat les sèries de valors corresponents a les estacions climàtiques i se n'ha estudiat la tendència. El resultat es presenta a la figura 27. Es pot veure com hi ha un augment de les temperatures màximes a totes les estacions. Destaca la primavera (10 °C en 100 anys) i l'estiu (6 °C en 100 anys), mentre que durant la tardor i l'hivern l'augment és inferior.

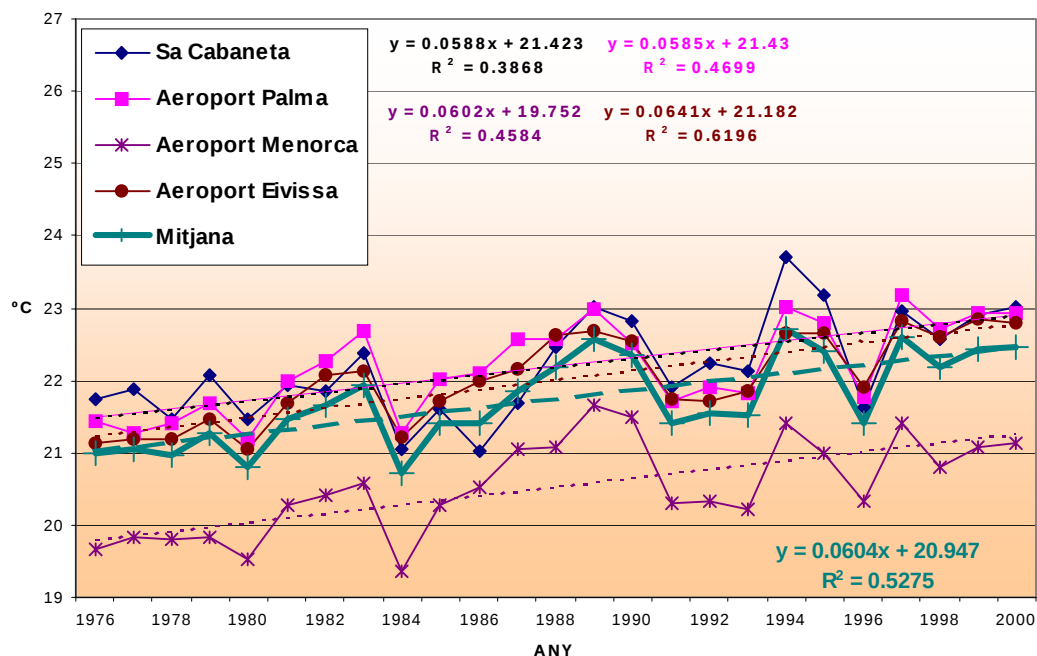


Fig. 26. Tendència de les temperatures màximes mitjanes anuals

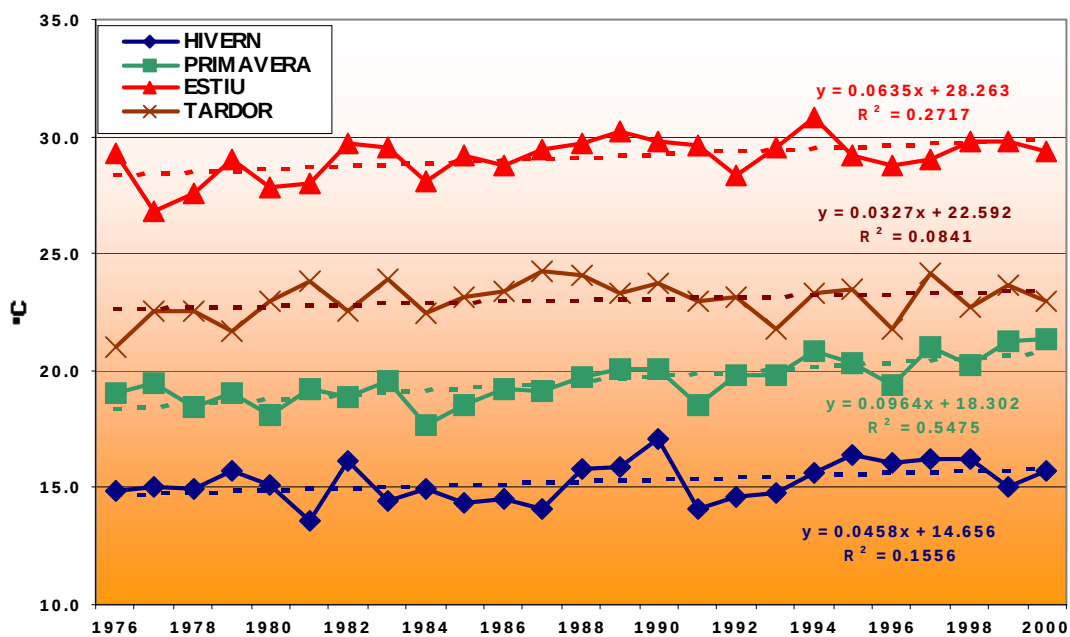


Fig. 27. Evolució de les temperatures màximes mitjanes estacionals

L'aplicació del test *t* de *Student* a les sèries termomètriques dóna els resultats indicats a la taula 7.

Variable	Pendent (°C/100 anys)	Nivell de significància estadística del pendent (%)	Interval del pendent al 95% de significància estadística
Temperatura mínima mitjana anual	7,04	99,99	4,69 - 9,39
Temperatura mínima mitjana hivern	3,25	70,83	---
Temperatura mínima mitjana primavera	9,07	99,99	6,28 – 11,86
Temperatura mínima mitjana estiu	9,21	99,99	5,40 – 13,02
Temperatura mínima mitjana tardor	6,94	99,76	2,72 – 11,16
Temperatura màxima mitjana anual	6,04	99,99	3,57 – 8,51
Temperatura màxima mitjana hivern	4,58	95,00	0,00 – 9,18
Temperatura màxima mitjana primavera	9,64	99,99	5,86 – 13,42
Temperatura màxima mitjana estiu	6,35	99,25	1,87 – 10,83
Temperatura màxima mitjana tardor	3,27	84,03	---

Taula 7. Pendent, nivell de significància i interval del pendent al 95% de significància estadística per a les sèries termomètriques indicades.

1.2.2. Temperatures a la troposfera i baixa estratosfera

L'estació de radiosondes de Palma, que està operant des del maig de 1958, és una font insubstituïble d'informació de l'estructura de la troposfera i de la baixa estratosfera sobre les Illes Balears. Aquesta estació va estar funcionant fins el març de 1988 a l'aeròdrom de Son Bonet i des d'aquesta data fins ara està situada al Centre Meteorològic a Palma.

Des de la seva instal·lació ha estat realitzant dos sondejos diaris, a les 00 UTC i les 12 UTC (l'hora UTC pràcticament coincideix amb l'hora solar mitjana del meridià de Greenwich). L'operativitat durant la primera època del seu funcionament fou discontinua, algunes èpoques funcionà amb molta irregularitat per diferents motius: falta de material, avaries a l'equip i fins i tot per un greu accident produït per l'explosió d'un globus. Durant l'època recent el funcionament ha estat molt regular en molt poques faltes d'observació.

L'observació que fa l'estació és un perfil vertical sobre del punt d'observació de la temperatura, la humitat i el vent. Aquesta observació es fa mitjançant el llançament d'un petit equip anomenat radiosonda, que transportat per un globus inflat amb heli (anteriorment s'utilitzava hidrogen) puja a una velocitat aproximada de 300 metres per minut. Durant el seu ascens, el radiosonda va comunicant per radio a una estació de terra, la temperatura, la humitat i el vent que va trobant. La informació rebuda a terra serveix per confeccionar els perfils verticals indicats, per a fer anàlisis de l'estabilitat atmosfèrica i, també, per obtenir els mapes del temps actuals i com a informació per realitzar previsions a curt i mig termini.

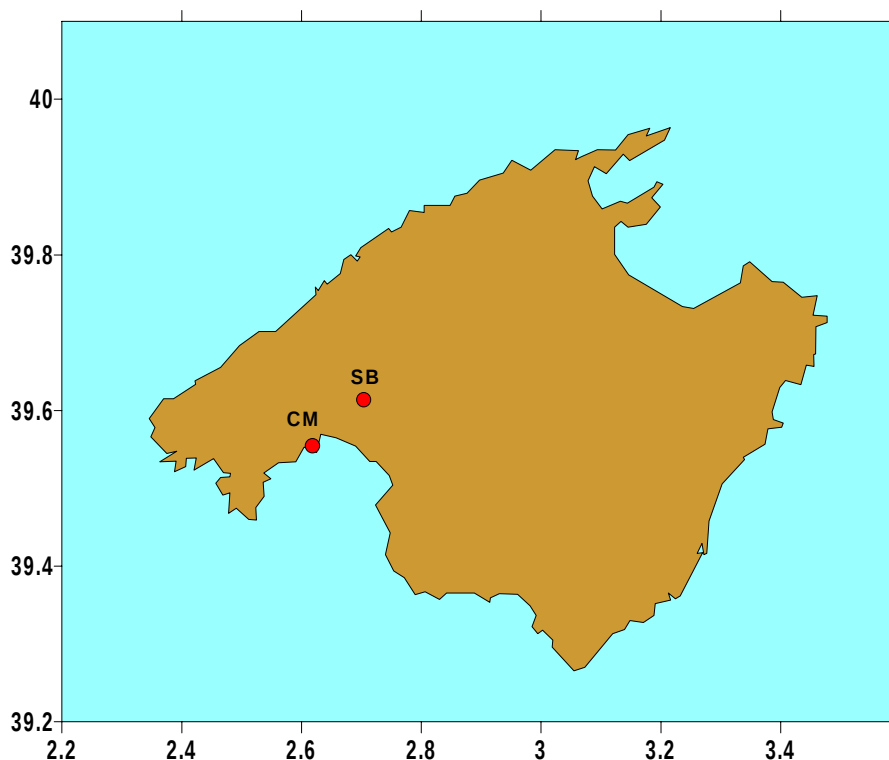


Fig. 28. Situació de la estació de radiosondes. SB = Son Bonet, CM = Centre Meteorològic

Es varen obtenir del Centre Meteorològic en les Illes Balears de l'Institut Nacional de Meteorologia les dades mitjanes mensuals de la temperatura a les 00 UTC per al període més llarg possible, a les altures de 1500 metres i 5500 metres per la troposfera i 14000 metres per a l'estratosfera. No es consideraren les dades de les 12 UTC per evitar la possible influència de la radiació diürna que pot influir de forma notable al menys a 1500 metres. La no disponibilitat de dades informatitzades ha limitat l'estudi als anys 1981 a 2000. Dades per a dates anteriors son pràcticament irrecuperables. El període considerat és pot considerar molt bo perquè pràcticament s'han dut a terme observacions la totalitat dels dies.

Amb els valors mitjans mensuals s'han determinat les mitjanes anuals per a cada una de les altures indicades. El resultat es pot veure al figura 14 (línia blava). S'hi ha ajustat una recta per a determinar la tendència de la qual s'ha calculat el coeficient de determinació (R^2). El primer resultat que s'obté és que hi ha una alta variabilitat de les temperatures mitjanes anuals als tres nivells considerats i que la tendència és positiva a 1500 metres i al 5500 metres. La recta indica que la tendència de la temperatura és a augmentar de l'ordre de 2 °C per centúria. Al mateix temps es demostra que la representativitat de la recta no és massa bona ja que el coeficient de determinació es baix (el valor 1 indica representativitat perfecta i 0 representativitat nul·la). A 14000 metres, el resultat és absolutament diferent malgrat la variabilitat anual sigui encara més gran que per els altres nivells indicats. En aquest cas la tendència és negativa, indicant una disminució de 2 °C cada centúria. La representativitat de la recta ajustada és inferior con a conseqüència de la major variabilitat de les dades.

Per eliminar part de la variabilitat observada i destacar la senyal de fons, s'ha aplicat un filtre passa baixa del tipus mitja mòbil amb una finestra de 5 anys (línia vermella de la figura 14). Es pot observar que les variacions son més suaus però encara resta una forta variabilitat. Les rectes ajustades indiquen també un augment de les temperatures a 1500 i 5500 metres semblant a l'obtingut amb les dades no filtrades però amb una representativitat molt més significativa. A 14000 metres el resultat és més espectacular ja que la tendència indica una disminució de 5 °C per centúria amb una representativitat semblant a la dels nivells inferiors.

Els resultats obtinguts estan d'acord amb el que teòricament ha de succeir amb un canvi climàtic global en el qual la troposfera s'encalenteix. L'excés de radiació que té la troposfera com a conseqüència de l'escalfament ha de ser compensat per una disminució de la radiació de l'estratosfera, i per tant una disminució de la temperatura, per mantenir el balanç tèrmic amb la radiació que arriba del Sol.

S'ha dut a terme un estudi de l'evolució estacional de la temperatura. Mitjançant les mitjanes mensuals s'han determinat les mitjanes estacionals de cada any considerant com a hivern els mesos de desembre, gener i febrer, com a primavera març, abril i maig, com a estiu juny, juliol i agost i com a tardor setembre, octubre i novembre. Els resultats estan a la figura 15. Es pot veure que a 1500 metres les rectes ajustades per a l'hivern i la primavera mostren una tendència positiva mentre que per a la tardor la tendència és negativa. Durant l'estiu quasi be no s'observa tendència. El coeficient de determinació és apreciable per la primavera i la tardor mentre que és molt baix per l'estiu. A 5500 metres el resultat és bastant semblant a l'obtingut per al nivell inferior encara que durant l'estiu la recta de tendència mostra un pendent lleugerament positiu. A 14000 metres la temperatura estacional mostra una variabilitat un poc més gran, sense separar-se clarament les estacions. L'hivern i la primavera presenten una

tendència negativa mentre que per l'estiu i la tardor la tendència és positiva.

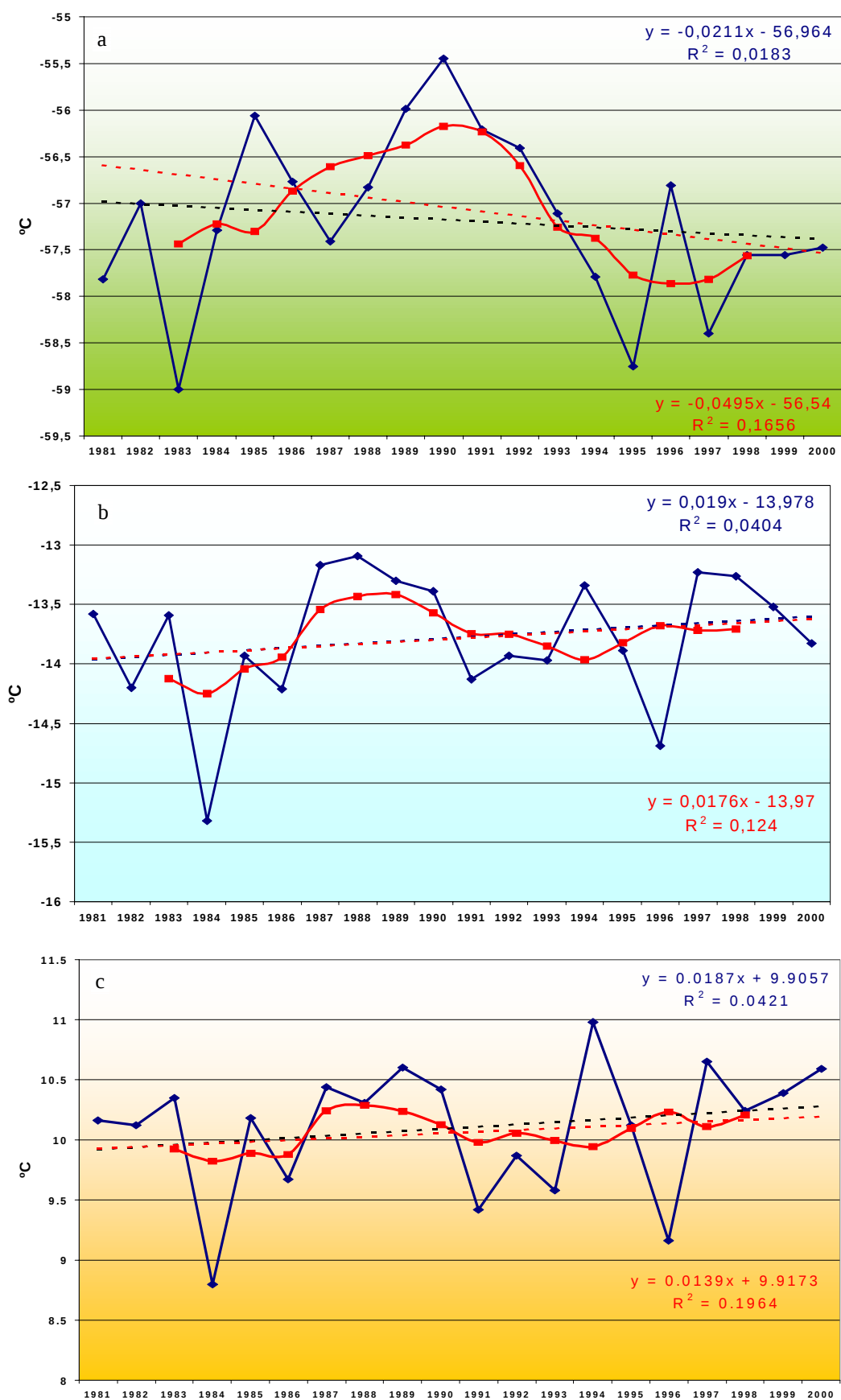


Fig. 29. Tendències de les temperatures mitjanes anuals durant el període 1981-2000 sobre les Illes Balears. Panells a) a 14000 m, b) a 5500 m i c) a 1500 m

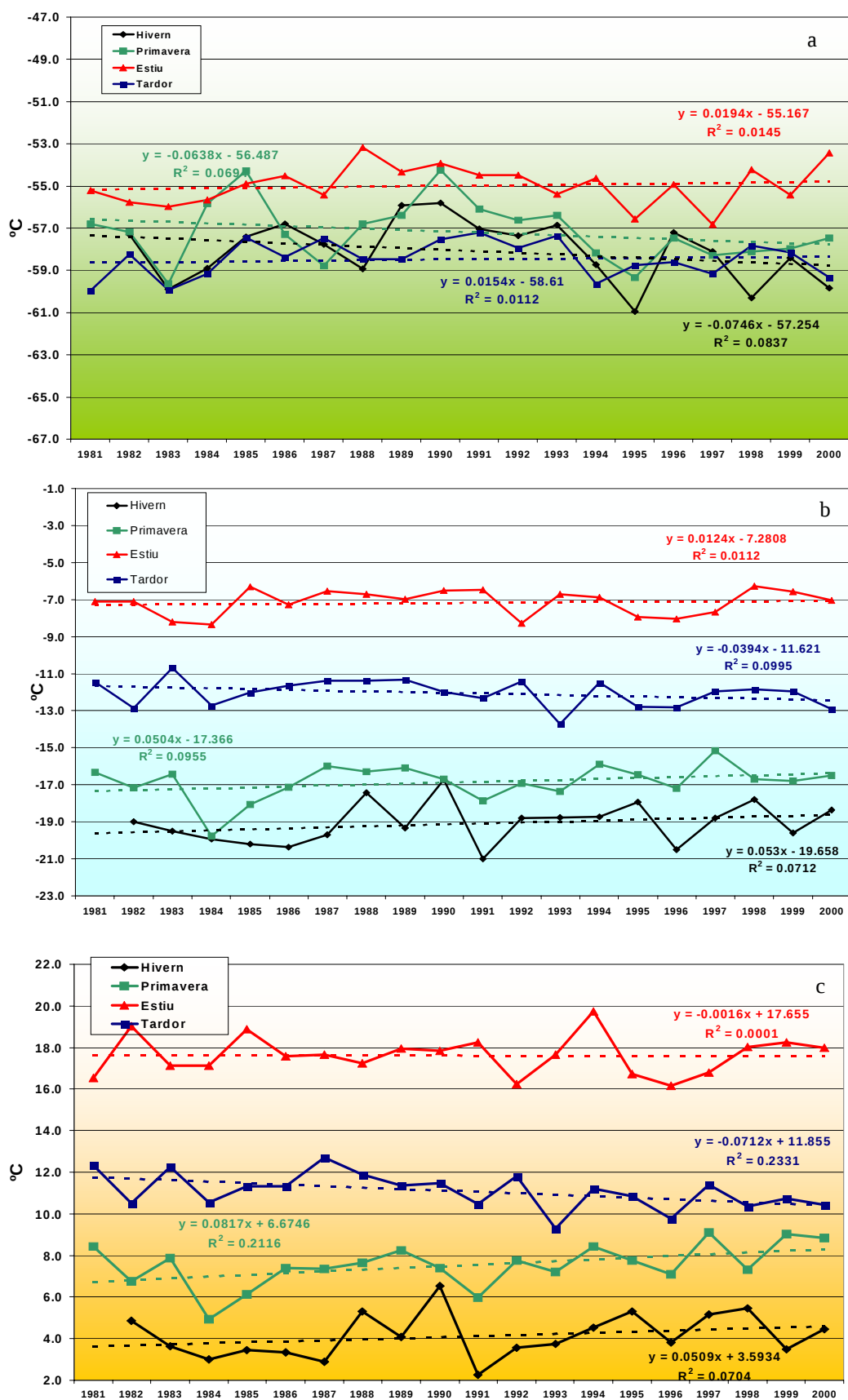


Fig. 30. Tendència de les temperatures mitjanes estacionals durant el període 1981-2000 sobre les Illes Balears. Panells a) a 14.000 m, b) a 5.500 m i c) a 1.500 m

El test *t* de *Student* mostra la baixa significància estadística dels pendents obtinguts (taula 8), que en bona part es deu a que les series temporals són curtes i presenten una gran variabilitat temporal.

Variable	Pendent (°C/100 anys)	Nivell de significància estadística del pendent (%)	Interval del pendent al 95% de significància estadística
Temperatura mitjana anual a 14000 m	-2,11	43,04	---
Temperatura mitjana anual a 14000 m, mitja mòbil de 5 anys	-4,95	88,23	---
Temperatura mitjana anual a 5500 m	1,90	60,45	---
Temperatura mitjana anual a 5500 m, mitja mòbil de 5 anys	1,76	81,90	---
Temperatura mitjana anual a 1500 m	1,87	61,45	---
Temperatura mitjana anual a 1500 m, mitja mòbil de 5 anys	1,39	91,44	---
Temperatura mitjana hivern a 14000 m	-7,46	78,40	---
Temperatura mitjana primavera a 14000 m	6,38	73,68	---
Temperatura mitjana estiu a 14000 m	1,94	38,69	---
Temperatura mitjana tardor a 14000 m	1,54	34,30	---
Temperatura mitjana hivern a 5500 m	5,30	74,46	---
Temperatura mitjana primavera a 5500 m	5,04	81,51	---
Temperatura mitjana estiu a 5500 m	1,24	34,30	---
Temperatura mitjana tardor a 5500 m	3,94	82,45	---
Temperatura mitjana hivern a 1500 m	5,09	74,18	---
Temperatura mitjana primavera a 1500 m	8,17	95,87	0,36 – 15,98
Temperatura mitjana estiu a 1500 m	-0,16	3,34	---
Temperatura mitjana tardor a 1500 m	-7,12	96,89	-13,52 - -0,70

Taula 8. Pendent, nivell de significància i interval del pendent al 95% de significància estadística per a les sèries termomètriques indicades.

2. Anàlisi de les tendències climàtiques a les Illes Balears per als propers cent anys a partir de models climàtics globals i regionals

2.1. Models globals

S'han obtingut del centre Hadley (<http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>) les dades de les mitjanes mensuals de les temperatures màxima i mínima i de la precipitació mensual des de 1990 al 2099 per a l'experiment HadCM2-HCGSa1. La descripció de l'escenari es farà més endavant.

El model HadCM2 és un model acoblat atmosfera-oceà que té una resolució espacial de 2,5 graus x 3,75 graus (latitud per longitud) tant sobre l'oceà com sobre terra, la qual cosa produeix una xarxa global de 96 x 73 punts de xarxa. Això és equivalent a una resolució espacial de 278 km x 417 km a l'equador que es redueix a 278 km x 295 km a 45 graus de latitud. El model té 19 nivells a l'atmosfera i 20 nivells a l'oceà. Es consideren 4 tipus de sòl, que inclou gel, i la part hidrològica permet escorrentia superficial i penetració d'aigua al sòl. Es considera tant precipitació de tipus convectiu com de gran escala. L'esquema de radiació té en compte l'absorció de radiació pels gasos traça.

A causa de la baixa resolució del model, els continents i l'orografia estan representats de forma poc precisa com es pot veure a la figura 31. En particular es pot veure que les Illes Balears no hi estan representades.

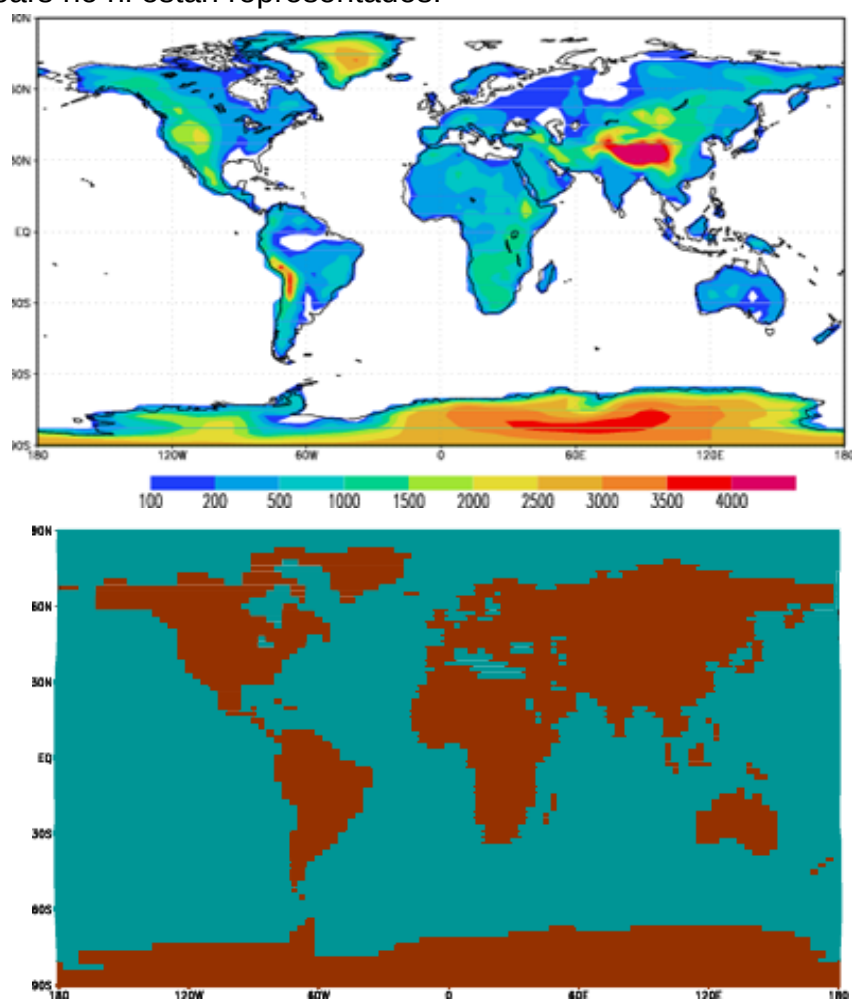


Fig. 31. Topografia i màscara terra-oceà per al model HadCM2

Per obtenir valors de les variables meteorològiques a les Illes Balears es podrien considerar els valors al punt de xarxa més pròxim a les Illes. No és convenient considerar un sol punt de xarxa perquè pot tenir particularitats, per la qual cosa s'han considerat nou punts de xarxa, que envolten la zona de les Illes Balears. Aquests punts de xarxa es poden veure a la figura 32. Els valors de temperatura i precipitació que es mostraran corresponen als valors mitjans de les variables a aquests nou punts.

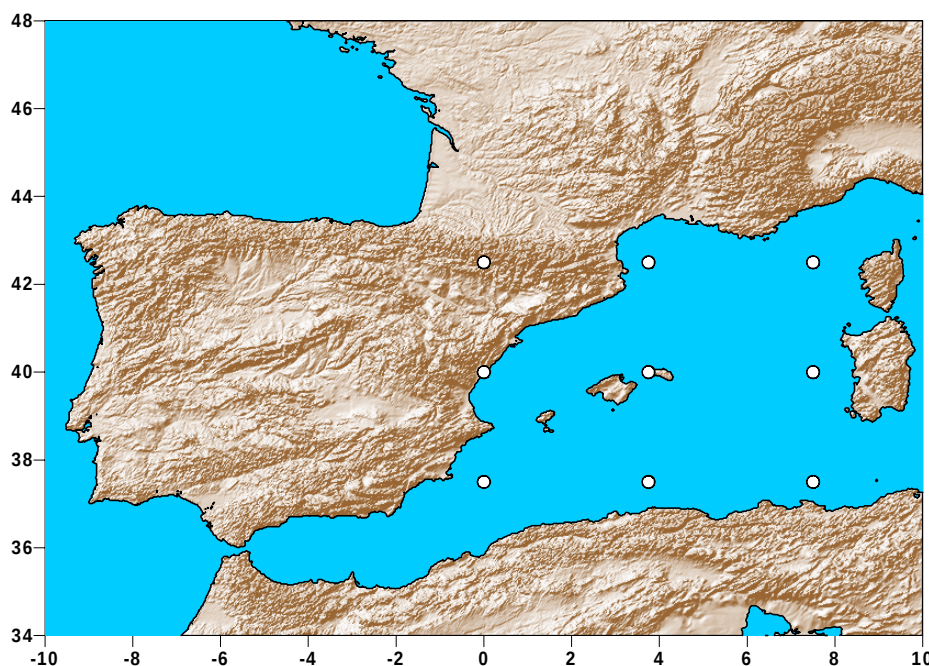


Fig. 32. Punts de xarxa del models climàtics HadCM2 emprats per a l'estudi de tendències futures

A la simulació HadCM2-HCGSa1 es considera el següent:

- El CO₂ canvia amb les dades històriques des de 1860 a 1989. Des del 1990 al 2099 se suposa un augment anual de l'1%.
- El SO₄ (que actua en contra de l'efecte hivernacle) canvia amb les dades històriques des de 1860 a 1989. La concentració des de 1990 a 2100 és calculada de les emissions de sulfurs de l'escenari socioeconòmic.
- L'escenari socioeconòmic és el conegut com a IS92d de l'IPCC. Les hipòtesis més importants son:
 - a) Població: el cas mig-baix de les Nacions Unides, la qual cosa representa 6.400 milions d'habitants el 2100.
 - b) Creixement econòmic: 2,7 % mitjà des del 1990 al 2025 i 2,0% mitjà des del 2026 al 2100.
 - c) Fonts d'energia: 8.000 EJ de petroli, 7300 EJ de gas natural i disminució dels costos de l'energia nuclear del 0,4% anual ($1\text{EJ}=10^{18}$ Joules)
 - d) Clor-fluor-carbonis (CFCs): aturada de la producció el 1997 als països industrialitzats.
 - e) Altres: control d'emissions a tot el món de CO, NO_x, VOCs diferents del metà i SO_x. Aturada de la desforestació. Captura i utilització de les emissions derivades de la mineria i la producció i ús del gas.

La figura 33 mostra les tendències de les mitjanes anuals de les temperatures màximes, mitjanes i mínimes deduïdes del model. A les sèries temporals s'hi ha aplicat un filtre passa-baixa de la mitjana mòbil de 5 anys per eliminar les fortes oscil·lacions i a les sèries filtrades s'ha ajustat una recta. Es pot veure que, en els tres casos, la tendència mostra un augment de les temperatures a un ritme de 3 °C cada 100 anys. En el tres casos la recta ajustada presenta una molt bona representativitat de les dades perquè explica entre el 89 i el 90% de la variabilitat observada. Tal volta el que crida més l'atenció de la gràfica és la poca diferència que hi ha entre les màximes i les mínimes, que es manté sobre els 3 graus. Aquesta poca diferència és explicable en termes de la posició dels punts utilitzats de la xarxa, la major part dels quals estan situats al model sobre la mar i per això les temperatures no sofreixen grans canvis durant un cicle diürn. Per ajustar aquesta resposta a una forma més propera a la realitat, s'han de comparar les dades de temperatura del model amb dades instrumentals durant una època per la qual es disposi dels dos tipus de dades i obtenir-ne així una relació. Es un procés de *downscaling* del qual es mostren els resultats més endavant.

S'ha estudiat la tendència de les temperatures màximes, mitjanes i mínimes considerant la seva distribució estacional. Els resultats es presenten a la figura 34. Les temperatures màximes tenen tendència a augmentar durant les quatre estacions, però és durant l'hivern quan s'observa una tendència més gran amb 3,5 °C cada 100 anys. Les rectes ajustades expliquen entre el 56 i el 61% de la variabilitat de les dades. Quant a les temperatures mitjanes, el que el model indica és que també aniran augmentant progressivament, principalment durant l'hivern amb 3,6 °C cada 100 anys. El mateix es pot dir per a les temperatures mínimes però, en aquest cas, la tendència indica un augment de 3,7 °C cada 100 anys durant l'hivern amb augments menors a les altres estacions.

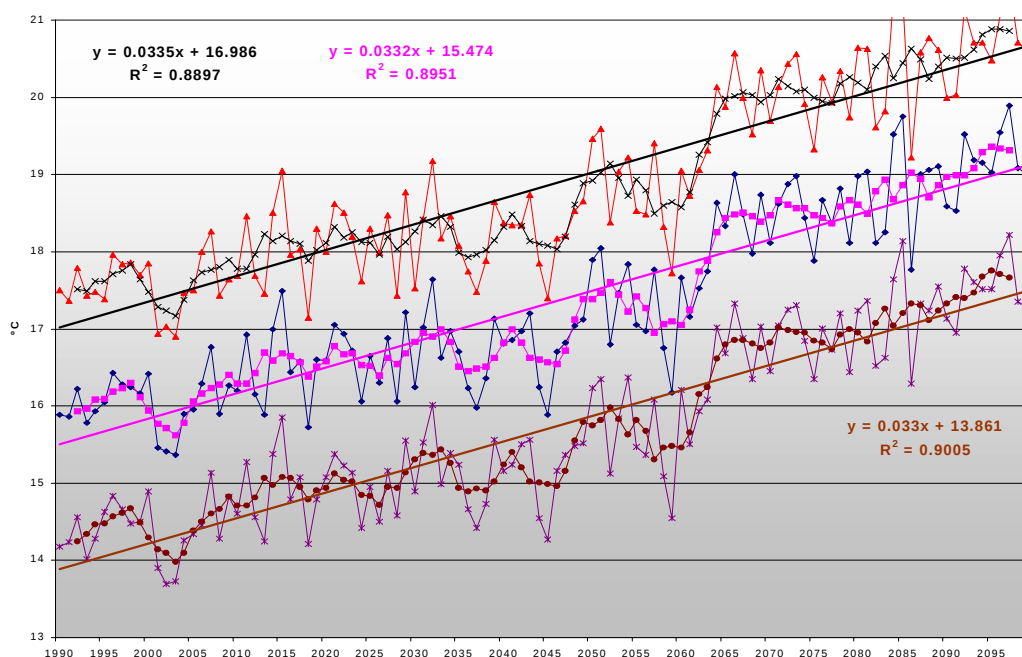


Fig. 33. Tendència de la mitjana anual mòbil de 5 anys de les temperatures màxima, mitjana i mínima (simulació HadCM2-HCGSa1) durant el període 1990-2099 a les Illes Balears

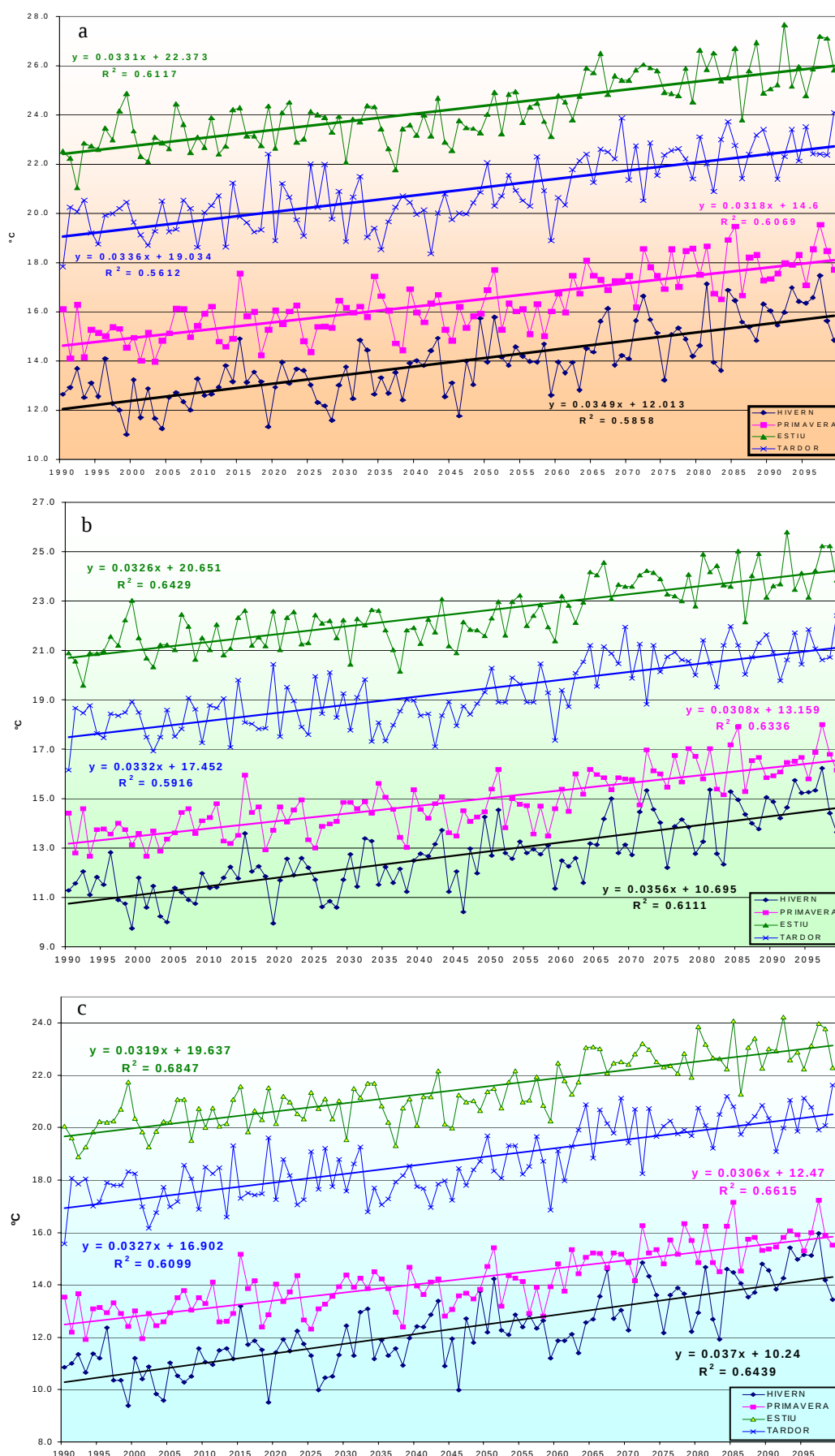


Fig. 34. Tendència de les temperatures mitjanes estacionals (simulació HadCM2-HCGSa1) durant el període 1990-2099 a les Illes Balears. Panell a) màximes, b) mitjanes, c) mínimes

El resultat d'aplicar el test *t* de Student a les sèries temporals de temperatura del model HadCM2-HCGSa1 es mostra a la taula 9.

Variable	Pendent (°C/100 anys)	Nivell de significància estadística del pendent (%)	Interval del pendent al 95% de significància estadística
Temperatura mínima mitjana anual, mitjana mòbil de 5 anys	3,30	99,99	3,09 – 3,51
Temperatura mitjana anual, mitjana mòbil de 5 anys	3,32	99,99	3,10 – 3,54
Temperatura màxima mitjana anual, mitjana mòbil de 5 anys	3,35	99,99	3,12 – 3,58
Temperatura màxima mitjana hivern	3,49	99,99	2,93 – 4,05
Temperatura màxima mitjana primavera	3,18	99,99	2,69 – 3,67
Temperatura màxima mitjana estiu	3,31	99,99	2,81 – 3,81
Temperatura màxima mitjana tardor	3,36	99,99	2,79 – 3,93
Temperatura mitjana hivern	3,56	99,99	3,02 – 4,10
Temperatura mitjana primavera	3,08	99,99	2,63 – 3,53
Temperatura mitjana estiu	3,26	99,99	2,80 – 3,72
Temperatura mitjana tardor	3,32	99,99	2,80 – 3,85
Temperatura mínima mitjana hivern	3,70	99,99	3,18 – 4,22
Temperatura mínima mitjana primavera	3,06	99,99	2,64 – 3,48
Temperatura mínima mitjana estiu	3,19	99,99	2,78 – 3,60
Temperatura mínima mitjana tardor	3,27	99,99	2,77 – 3,77

Taula 9. Pendent, nivell de significància i interval del pendent al 95% de significància estadística per a les sèries termomètriques indicades.

Quant a la precipitació, s'han analitzat els resultats que el model ofereix per al segle XXI. La figura 35 mostra la precipitació anual i la seva evolució des de 1990 fins al 2099 (línia vermella). El primer que ressalta és una gran variabilitat interanual, anys amb quantitats importants de pluja van seguits per altres de poca precipitació. Per eliminar aquesta variabilitat interanual i ressaltar-ne les tendències s'ha aplicat a la sèrie temporal un filtre de mitjanes mòbils amb una finestra de 5 anys. Es pot veure que la línia ajustada a cada una de les sèries indica una variació molt petita de la precipitació anual però al mateix temps aquesta línia dóna molt poc compte de la variabilitat de la sèrie.

També s'han analitzat les tendències de la mitjana mòbil de 5 anys de les precipitacions estacionals, que es poden veure a la figura 36. Les sèries estacionals presenten una variabilitat interanual molt gran. Cal destacar que les majors quantitats de precipitació es continuaran produint durant la tardor. Al mateix temps, les precipitacions estivals continuaran molt baixes. També es pot ressenyar que la precipitació durant l'hivern té tendència a augmentar (uns 28 mm en 100 anys), mentre que la precipitació a les altres estacions té tendència a disminuir lleugerament. En

qualsevol cas la variabilitat és molt gran i per això l'explicació de la variabilitat per la recta ajustada és petita.

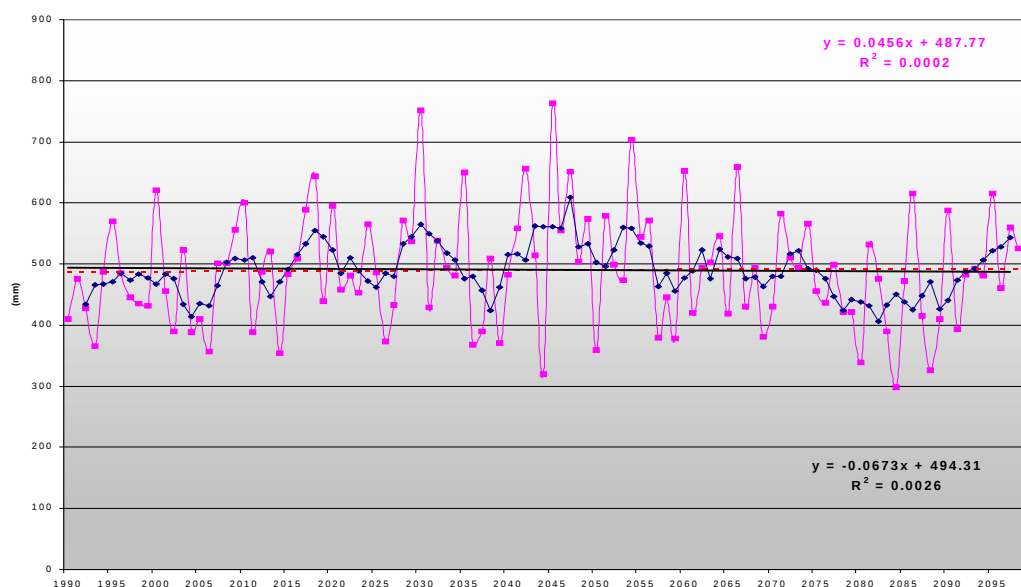


Fig. 35. Tendències de la precipitació anual (simulació HadCM2-HCGSa1) i de la mitjana mòbil de 5 anys durant el període 1990-2099 a les Illes Balears

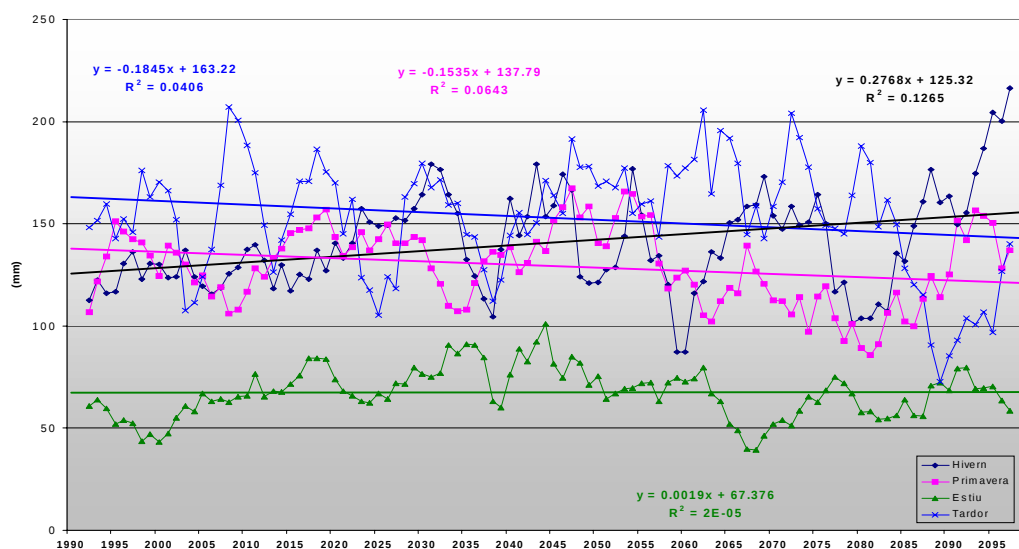


Fig. 36. Tendència de la mitjana mòbil de 5 anys de la precipitació estacional (simulació HadCM2-HCGSa1) durant el període 1990-2099 a les Illes Balears

Per a les sèries pluviomètriques del HadCM2-HCGSa1 el test *t* de Student dona els valors indicats a la taula 10.

Variable	Pendent (mm/100 anys)	Nivell de significància estadística del pendent (%)	Interval del pendent al 95% de significància estadística
Precipitació mitjana anual	4,56	11,66	---
Precipitació mitjana anual, mitjana mòbil 5 anys	-6,73	39,63	---
Precipitació mitjana hivern, mitjana mòbil 5 anys	27,68	99,98	13,54 - 41,82
Precipitació mitjana primavera, mitjana mòbil 5 anys	-15,35	99,13	-26,74 - -4,00
Precipitació mitjana estiu, mitjana mòbil 5 anys	0,19	36,29	---
Precipitació mitjana tardor, mitjana mòbil 5 anys	-18,45	96,17	-35,89 - -1,00

Taula 10. Pendent, nivell de significància i interval del pendent al 95% de significància estadística per a les sèries pluviomètriques indicades.

Per ajustar els resultats del model a les Illes Balears, cal dur a terme un procés d'adaptació dels valors donats pel model a la regió. Aquest procés es coneix com a *downscaling*. En aquest estudi hem dut a terme aquesta adaptació per a les temperatures màximes i mínimes mitjançant un mètode simple que es descriu a continuació. S'han considerat separatament les màximes i les mínimes però, per a cada una de les variables, s'ha seguit el mateix procediment.

S'han considerat els valors mensuals mitjans durant el període 1990-2000, que són els anys en que coincideixen els valors instrumentals amb els valors del model. S'han separat les estacions climàtiques i s'han comparat per a cada una els valors corresponents, i s'ha determinat la recta que s'ajusta més a cada un dels quatre grups de valors. El resultat per a les temperatures mínimes es pot veure a la figura 37 i per a les màximes a la figura 39. A ambdues figures es pot veure com la relació entre els valors observats i els valors del model no segueixen la mateixa llei durant tot l'any, hi ha un diferent comportament que depèn de l'estació climàtica. En particular, es pot veure que un mateix valor donat pel model no es transforma amb el mateix valor observat durant la tardor o durant l'estiu, per exemple. És interessant que la relació durant l'hivern és menys forta que durant les altres tres estacions.

Una vegada obtinguda la relació entre les temperatures observades i les donades pel model, els valors mensuals del model es poden transformar segons la llei que correspon al mes, tenint en compte la definició d'estació climàtica. Feta aquesta transformació, es poden determinar les mitjanes anuals i atribuir-les a la regió corresponent.

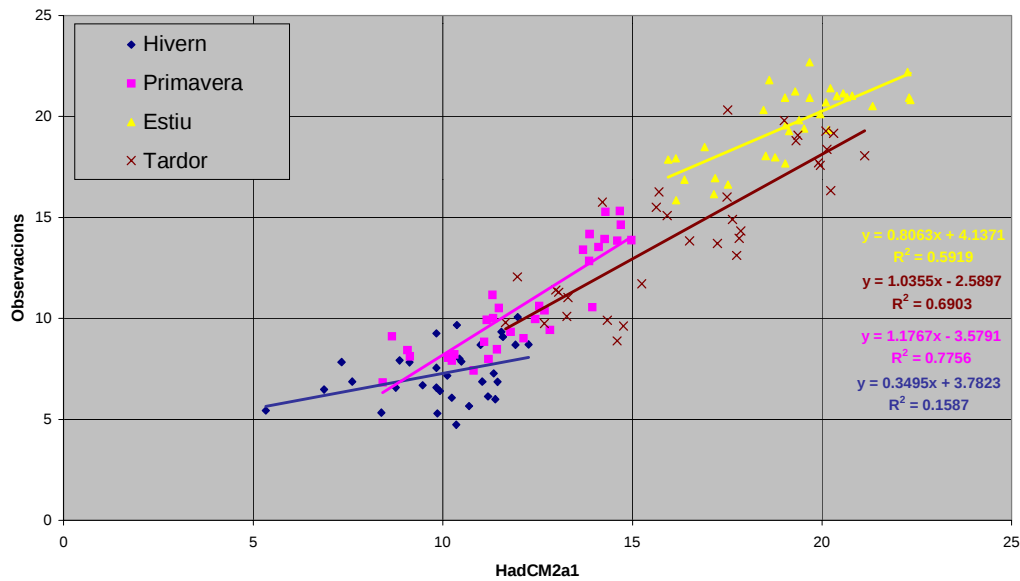


Fig. 37. Calibració de les temperatures mínimes

La figura 38 mostra el resultat d'aplicar la transformació a les temperatures mínimes. Es pot veure com les temperatures corregides són inferiors a les donades pel model (recordem que la majoria dels punts de malla considerats estan sobre la mar). La sèrie de valors corregida presenta una estructura semblant però no idèntica a la dels valors originals del model. També s'observa que la tendència d'aquesta sèrie corregida és positiva i mostra un augment de les temperatures mínimes mitjanes anuals de 2,7°C cada 100 anys, inferior a la donada pels valors originals del model (3,3 °C cada 100 anys).

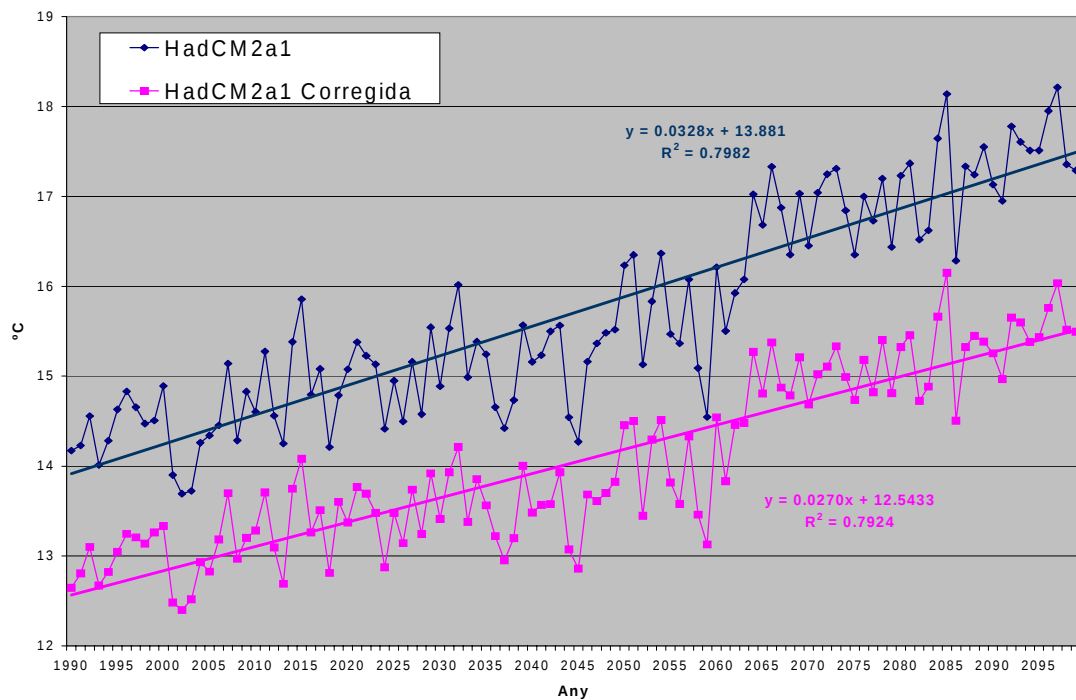


Fig. 38. Temperatures mínimes mitjanes anuals corregides

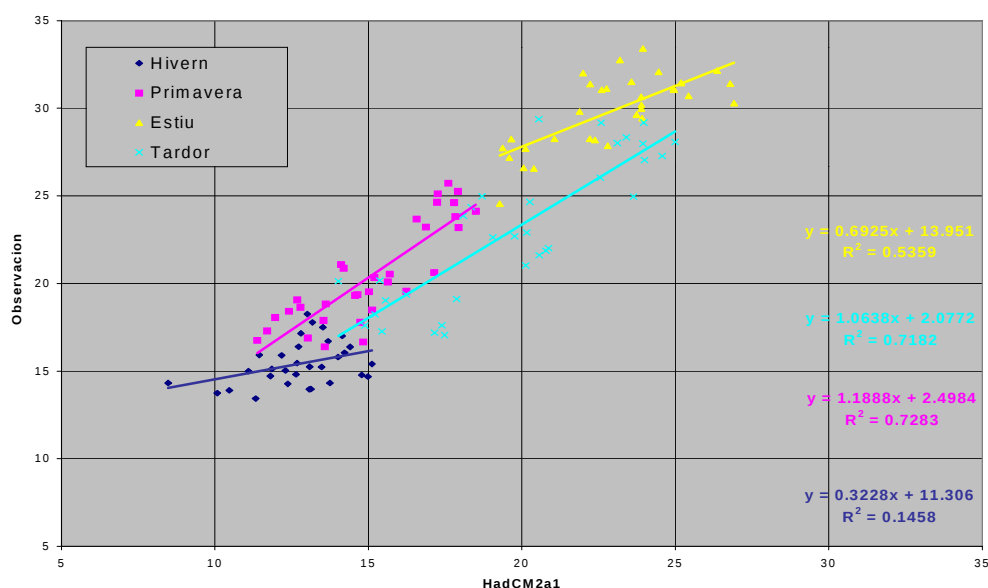


Fig. 39. Calibració de les temperatures màximes

La figura 40 mostra el resultat d'aplicar la transformació a les temperatures màximes. La sèrie de valors corregits té tots els valors superiors a la sèrie original, de l'ordre de 5 °C. El resultat és també compatible amb el fet que els punt de malla del model estan situats sobre la mar. La sèrie corregida mostra igualment una tendència positiva amb un augment de les temperatures màximes mitjanes anuals de 2,7 °C cada 100 anys, valor inferior a l'indicat per la sèrie original (3,3 °C cada 100 anys).

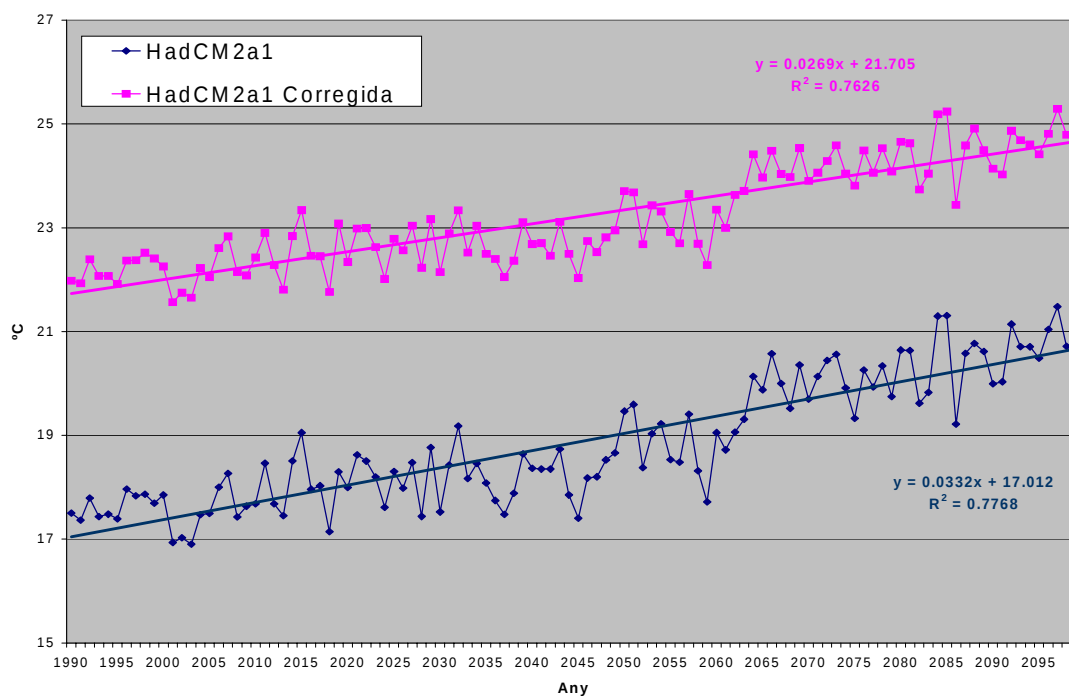


Fig. 40. Temperatures màximes mitjanes anuals corregides

Per a les calibracions i sèries termomètriques del HadCM2-HCGSa1, el test *t* de *Student* dona els valors indicats a les taules 11 i 12.

Variable	Pendent	Nivell de significància estadística del pendent (%)	Interval del pendent al 95% de significància estadística
Calibració Hivern, temperatures mínimes	0,35	97,36	0,04 - 0,66
Calibració Primavera, temperatures mínimes	1,18	99,99	0,94 - 1,41
Calibració Estiu, temperatures mínimes	0,81	99,99	0,56 - 1,05
Calibració Tardor, temperatures mínimes	1,04	99,99	0,78 - 1,29
Calibració Hivern, temperatures màximes	0,32	96,90	0,03 – 0,61
Calibració Primavera, temperatures màximes	1,19	99,99	0,92 - 1,45
Calibració Estiu, temperatures màximes	0,69	99,99	0,46 - 0,93
Calibració Tardor, temperatures màximes	1,06	99,99	0,82 – 1,31

Taula 11. Pendent, nivell de significància i interval del pendent al 95% de significància estadística per a la calibració de temperatures.

Variable	Pendent (°C/100 anys)	Nivell de significància estadística del pendent (%)	Interval del pendent al 95% de significància estadística
Temperatura mínima mitjana anual, HadCM2-HCGSa1	3,28	99,99	2,96 – 3,59
Temperatura mínima mitjana anual, corregida	2,70	99,99	2,44 - 2,96
Temperatura màxima mitjana anual, HadCM2-HCGSa1	3,32	99,99	2,98 - 3,66
Temperatura màxima mitjana anual, corregida	2,69	99,99	2,40 – 2,98

Taula 12. Pendent, nivell de significància i interval del pendent al 95% de significància estadística per a les sèries termomètriques indicades.

La simulació HadCM2-HCGSd1

En aquesta simulació es suposa el següent:

El CO₂ canvia amb les dades històriques des de 1860 a 1989. Des del 1990 al 2099 es suposa un augment anual del 0,5 %.

Els SO₄ canvia com a l'experiment HadCM2-HCGSa1.

L'escenari socio-econòmic és el mateix IS92d de l'IPCC descrit anteriorment.

La figura 41 mostra les tendències de les mitjanes anuals de les temperatures màximes, mitjanes i mínimes. A les sèries temporals s'hi ha aplicat un filtre passa baixa de la mitjana mòbil de 5 anys per a eliminar les fortes oscil·lacions i a les sèries filtrades s'hi han ajustat una recta a cada una. Es pot veure que en els tres casos la tendència mostra un augment de les temperatures a un ritme de 2 graus cada 100 anys. En el tres casos la recta ajustada presenta una molt bona representativitat de les dades doncs explica entre el 87 i el 89% de la variabilitat observada. Altra volta la diferència que hi ha entre les màximes i les mínimes es manté sobre els 3 °C. L'explicació és la donada anteriorment.

S'ha estudiat la tendència de les temperatures màximes, mitjanes i mínimes considerant la seva distribució estacional. Els resultats es presenten a la figura 42. Les temperatures màximes tenen tendència a augmentar durant les quatre estacions encara que és durant l'estiu i la tardor quan s'observa una tendència més gran amb 2,3 °C cada 100 anys. La representativitat de les rectes ajustades és petita, entre el 28 i el 42%.

Quant a les temperatures mitjanes, el que el model indica és que també aniran augmentant progressivament, principalment durant l'estiu i la tardor amb 2,3 °C cada 100 anys.

El mateix es pot dir per a les temperatures mínimes a l'estiu i la tardor, però en aquest cas la tendència mostra un augment de 2,2 °C cada 100 anys amb augments menors a les altres estacions.

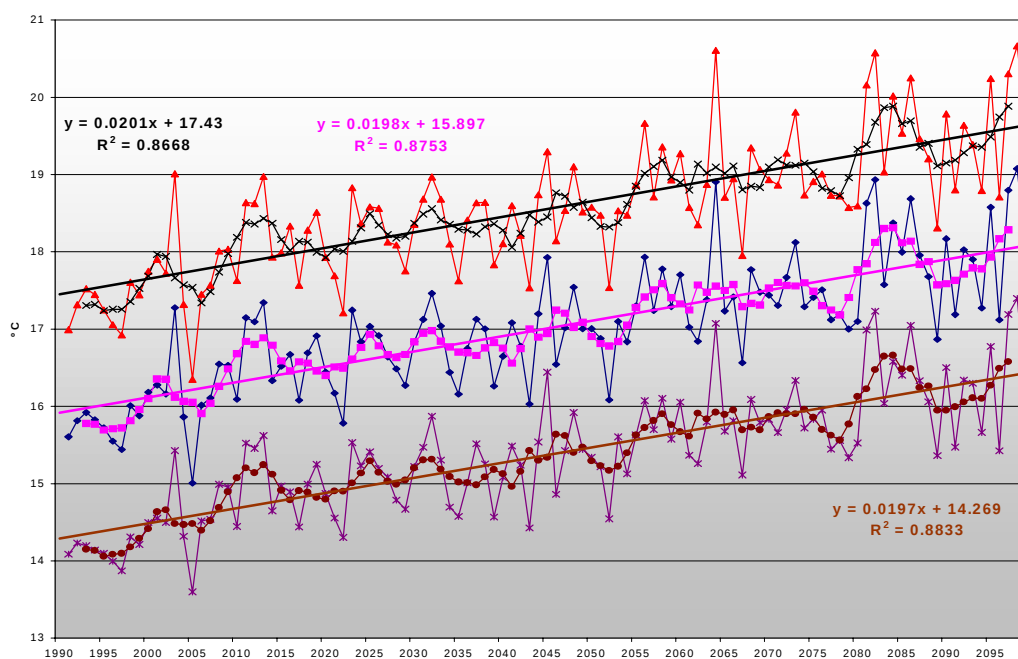


Fig. 41. Tendència de la mitjana anual de les temperatures màximes, mitjanes i mínimes (simulació HadCM2-HCGSd1) durant el període 1990-2099 a les Illes Balears

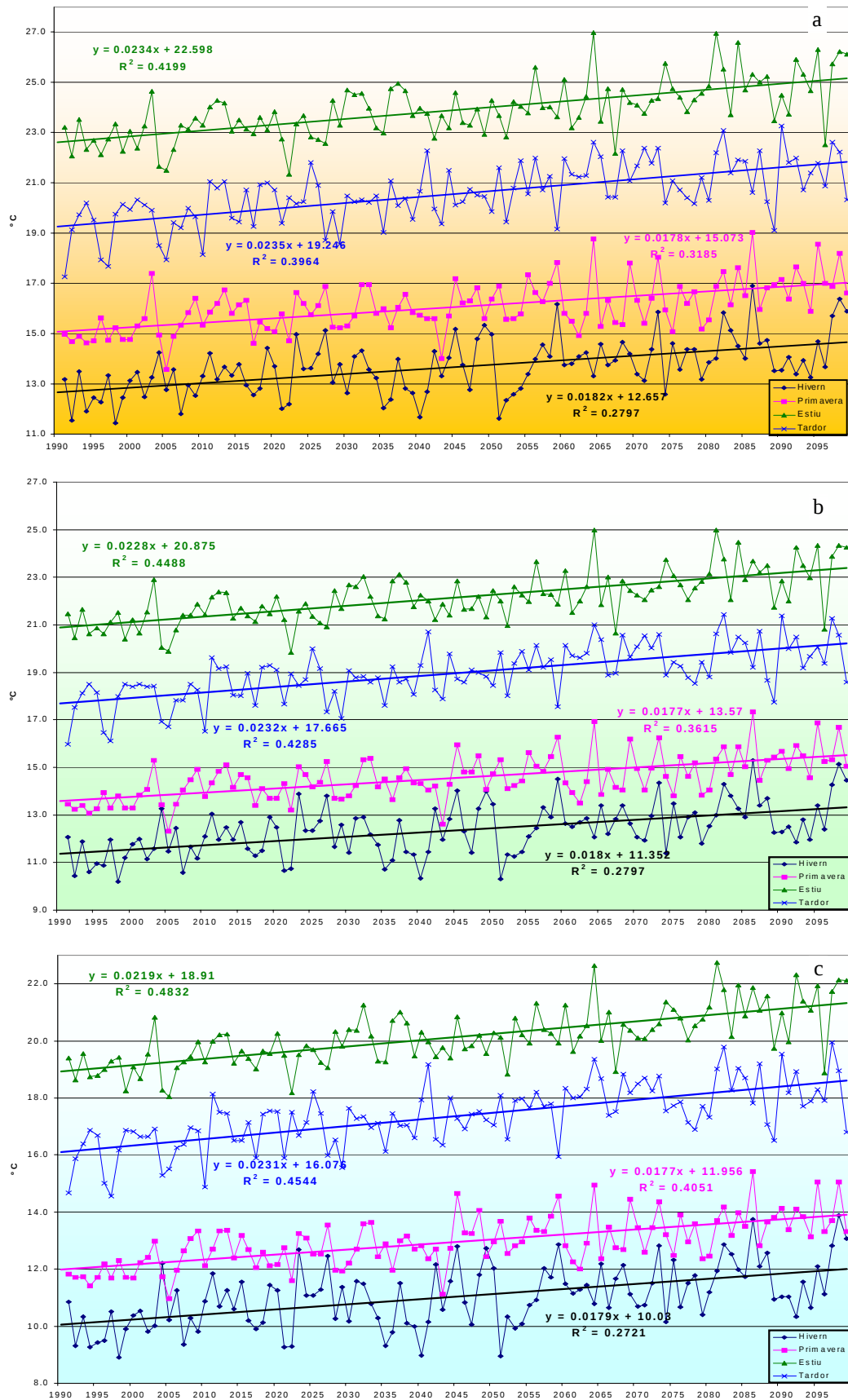


Fig. 42. Tendència de les temperatures mitjanes estacionals (simulació HadCM2-HCGSd1) durant el període 1990-2099 a les Illes Balears. Panell a) màximes, b) mitjana, c) mínimes

Per a la precipitació, s'han analitzat els resultats que el model ofereix per el segle XXI. La figura 43 mostra la precipitació anual i la seva evolució fins el 2099 (línia vermella). En aquest cas també ressalta una gran variabilitat interanual on anys amb quantitats importants de pluja van seguits per altres de poca precipitació. Per eliminar aquesta variabilitat interanual i ressaltar les tendències s'ha aplicat a la sèrie temporal un filtre de mitjanes mòbils amb una finestra de 5 anys. Es pot veure que la línia ajustada a cada una de las sèries indica una variació molt petita de la precipitació anual però al mateix temps aquesta línia dona molt poc compte de la variabilitat de la sèrie i les tendències indicades no son significatives..

També s'han analitzat les tendències de les precipitacions estacionals, que es poden veure a la figura 44. Segons aquest model i escenari les majors quantitats de precipitació es continuaran donant durant la tardor al mateix temps que les precipitacions estivals continuaran molt baixes. També cal destacar que la precipitació durant l'hivern té tendència a augmentar (uns 29 mm en 100 anys), mentre que la precipitació a les altres estacions té tendència a disminuir lleugerament. En qualsevol cas la variabilitat és molt gran i la tendència indicada és poc significativa.

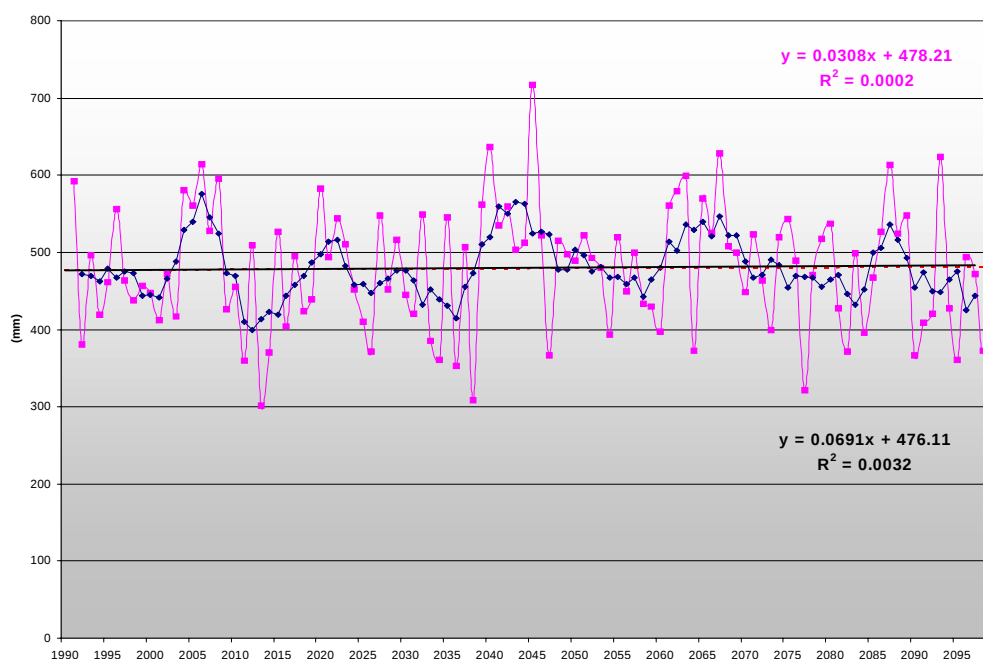


Fig. 43. Tendència de la precipitació anual (simulació HadCM2-HCGSd1) durant el període 1990-2099 a les Illes Balears

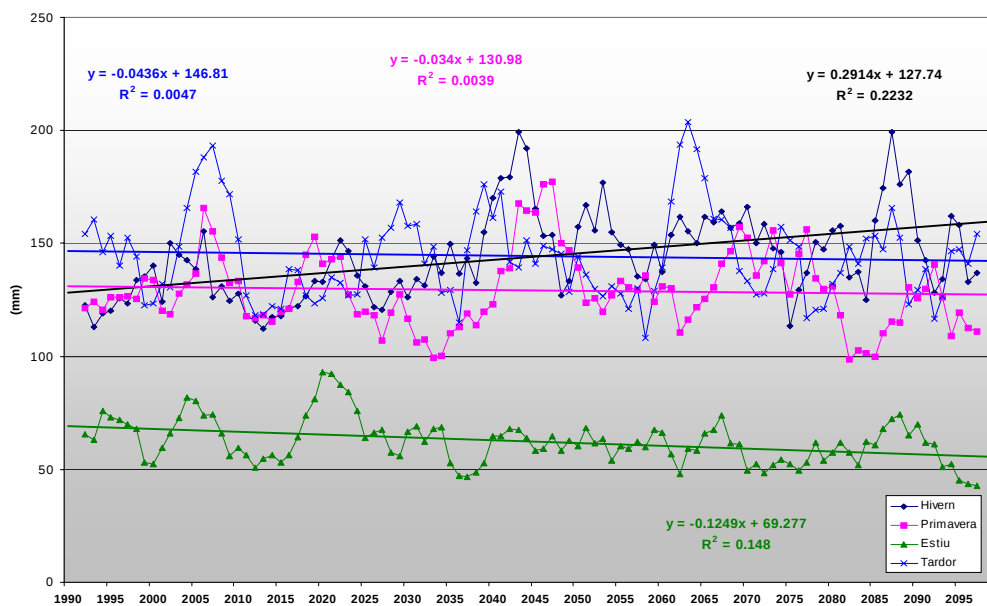


Fig. 44. Tendència de la precipitació estacional (simulació HadCM2-HCGSd1) durant el període 1990-2099 a les Illes Balears

2.2. Models regionals

S'han obtingut del Centre Hadley els resultats de les simulacions del model regional HadRM3. Aquest model cobreix una regió limitada de la Terra a diferència dels models globals que simulen el clima a tot el planeta. La resolució és de 50 km, la qual cosa permet obtenir resultats més fins que amb els models globals. El desavantatge que tenen els models regionals és que han d'ésser alimentats per camps obtinguts dels models globals (procés conegut com niament) i per tant els resultats que se n'obtenen no són independents dels obtinguts amb el model global que s'empra, però sí se n'obté una resolució espacial i temporal major. El model HadRM3 s'ha niat dins el model global HadCM3, per a l'escenari A2 del SRES (Special Report on Emission Scenarios) de l'IPCC. Aquest escenari descriu una evolució molt heterogènia del món. Parteix de la presumpció de autosuficiència i manteniment de les identitats regionals en el futur, i com a conseqüència, assumeix un desenvolupament econòmic molt desigual entre diferents zones del planeta. A més, en aquest escenari l'evolució tecnològica és més lenta i fragmentada geogràficament que en d'altres de publicats per l'IPCC. La figura 45 mostra les emissions suposades dels principals gasos d'efecte hivernacle per a diversos escenaris del SRES. Les corresponents a l'escenari A2 són mitges-altes.

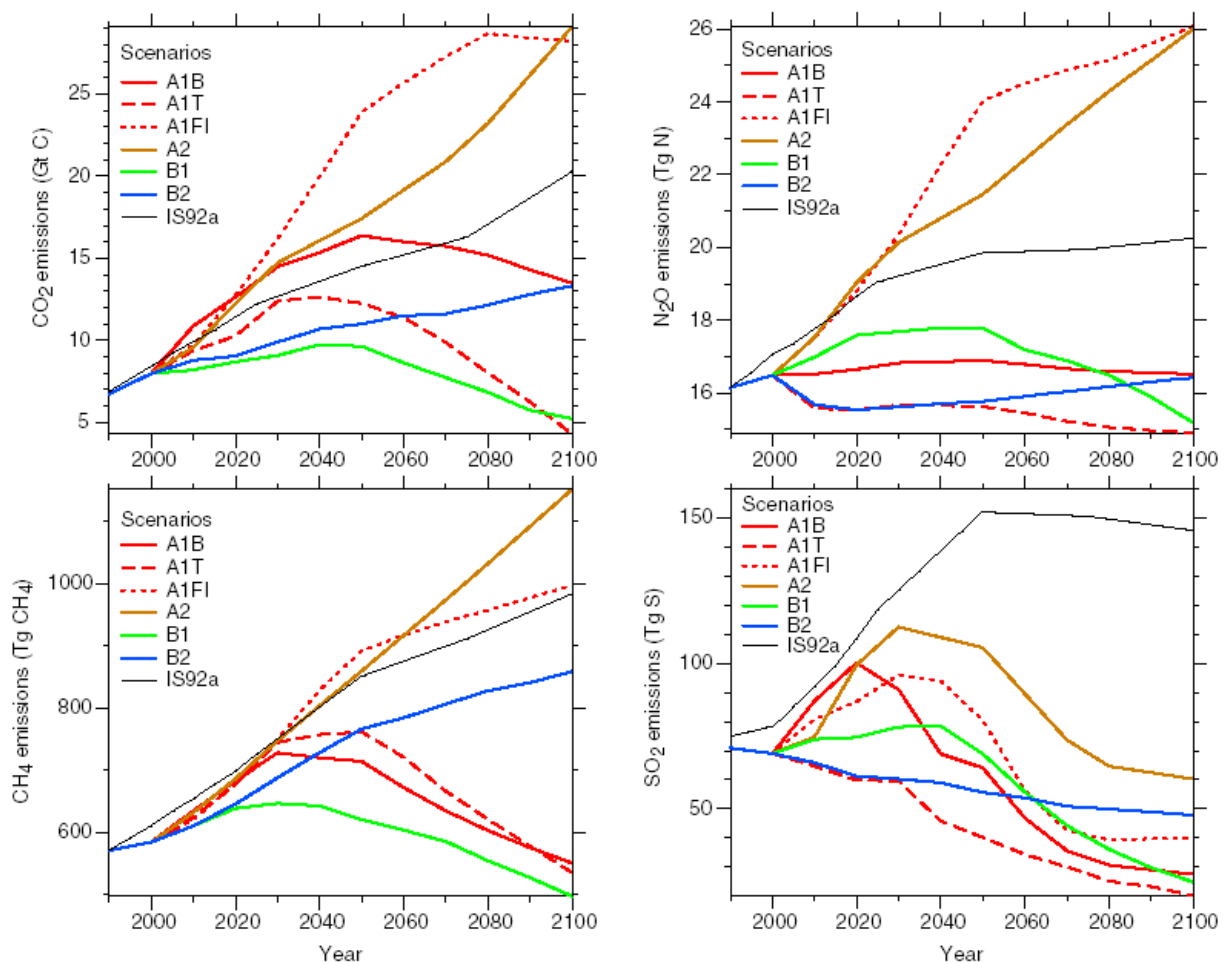


Fig. 45. Emissions antropogèniques de CO₂, CH₄, N₂O i SO₂ per als sis escenaris del SRES. L'escenari utilitzat per a les simulacions del model HadRM3 és l'A2 (linies grogues)

El domini del model HadRM3 cobreix una àrea que inclou Europa, com es pot veure a les figures 46 i 47, i ha estat provat durant dos períodes de 30 anys: 1961-1990 i 2070-2099. Durant aquest dos períodes s'han obtingut els valors normals de les variables meteorològiques i després s'han comparat per a obtenir el canvi que es pot esperar pel futur, segons l'escenari socioeconòmic considerat.

A la figura 46 es mostra la variació percentual de la precipitació anual que dona el model HadRM3 entre els dos intervals de temps indicats. Posant atenció a la zona mediterrània occidental es pot veure com la meitat sud de la península Ibèrica sofrirà una disminució de l'ordre del 20% anual, i que la zona de forta disminució de la precipitació s'estén cap al nord-est. A la zona de les Illes Balears també s'observa una disminució de la precipitació anual d'entre el 6 i el 15 %. Considerant una precipitació mitjana de l'ordre de 600 mm anuals a les Illes Balears, el HadRM3 estima doncs una disminució màxima de l'ordre de 90 mm anuals per a finals d'aquest segle. Malgrat la millor resolució, no és possible encara amb aquest model regional arribar a una descripció fina del que passarà a les diferents parts de les Illes.

A la figura 47 es pot observar el canvi previst de temperatura mitjana anual entre els dos períodes considerats (final del segle XX i final del segle XXI). A la major part d'Europa meridional, incloent-hi la península Ibèrica, l'augment de temperatura és superior als 4,5 °C. A la part més septentrional d'Europa l'augment de temperatura és inferior, entre els 3 i els 4 °C. Sobre la mar l'increment de la temperatura és inferior, per això a la zona de les Illes Balears l'augment està entre els 3 i 3,5 °C. Cal notar però, que és possible observar que a l'illa de Mallorca, que sí està representada al model (per un sol punt), se li atribueix un augment de la temperatura de més de 4 °C.

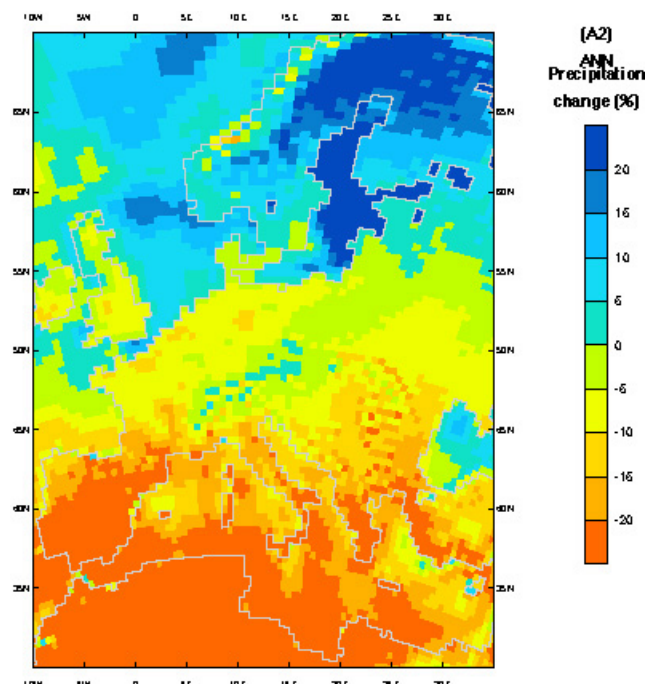


Fig. 46. Distribució espacial de la variació percentual de la precipitació a Europa entre els períodes 1961-1990 i 2070-2099 simulat pel model HadRM3

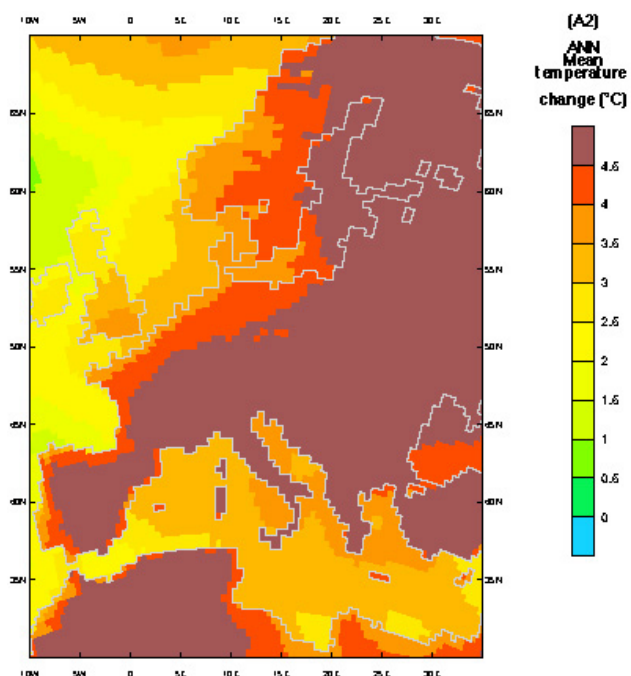


Fig. 47. Distribució espacial de la variació de la temperatura a Europa entre els períodes 1961-1990 i 2070-2099 simulat pel model HadRM3

3. Anàlisi de l'evolució de les emissions d'efecte hivernacle a les Illes Balears

El primer pas per a estimar les emissions de gasos d'efecte hivernacle consisteix en identificar les diferents activitats a les Illes que poden ser font o avenc d'acord amb les recomanacions indicades per les directrius de l'IPCC (IPCC, 1996). El volum I de l'IPCC (2001) presenta una àmplia descripció de les fonts i avencs de gasos d'efecte hivernacle així com els valors actualment acceptats de les contribucions de les diferents activitats de font i/o avenc en els balanços atmosfèrics mundials de diòxid de carboni (CO₂), metà (CH₄) i òxid de nitrogen (N₂O).

Per a la planificació d'un inventari d'emissions s'haurien de considerar les prioritats generals, en ordre de major a menor importància, mencionades al volum I de les directrius de l'IPCC:

- CO₂ procedent de les fonts d'energia
- CO₂ procedent de l'ús de la terra
- CH₄ de les principals categories de fonts: producció d'arròs, mineria del carbó, petroli i gas natural, fermentació entèrica i maneig de fems, abocadors, altres residus i crema de biomassa
- NO₂ procedent de l'agricultura
- Altres gasos d'efecte hivernacle

i identificar les activitats potencialment emissores de gasos d'efecte hivernacle. Fet això, solament es pogueren aconseguir dades dels anuaris de estadístiques energètiques del Govern de les Illes Balears per el període 1990-2000. En concret, les dades finalment utilitzades son:

- a) Producció: Productes pesants derivats del petroli.
- b) Importació: Coc de petroli, hulla, gas liquat de petroli, productes lleugers i pesants derivats del petroli.

El llibre de treball de l'IPCC consta de sis mòduls per a estimar les emissions:

- Energia
- Processos industrials
- Utilització de dissolvents i altres productes
- Agricultura
- Canvi d'ús de la terra i silvicultura
- Deixalles

Els resultats que es presenten a continuació per a l'inventari de emissions a les Illes Balears, corresponen únicament a la categoria del diòxid de carboni (CO₂) procedent de les fonts d'energia, segons les directrius de l'IPCC per el mòdul d'Energia del llibre de treball, doncs no s'ha disposat de més informació que aquesta, com ja s'ha dit.

La taula 13 mostra la relació dels consums de productes, en tones equivalents de petroli (tep) a les Illes Balears des de 1990 a 2000, que es tenen en compte per determinar les emissions de CO₂ energètic. La taula 14 indica els valors estimats des de 1990 a 2000 per a les emissions de carboni (C) i de diòxid de carboni (CO₂) procedent de fonts d'energia a les Illes Balears.

Canvi climàtic a les Illes Balears

FUEL TYPES		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Liquid Fossil	Primary Fuels	287,595	258,589	260,973	269,618	303,299	333,561	333,645	324,664	186,333	208,890	246,123
	Orimulsion	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Secondary Fuels	Natural Gas Liquids	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gasoline	821,468	790,247	799,725	827,061	943,979	991,409	1032,464	1098,576	1,136,079	1,235,911	1,324,624
	Jet Kerosene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Other Kerosene	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Shale Oil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gas / Diesel Oil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Residual Fuel Oil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	LPG	87,251	90,299	91,032	90,381	91,783	93,635	98,687	101,927	110,827	119,062	119,629
	Ethane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Naphtha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bitumen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Lubricants	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Petroleum Coke	0	0	23,664	24,590	43,068	55,835	54,966	61,734	64,253	62,358	57,948
	Refinery Feedstocks	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Other Oil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Liquid Fossil Totals		1,196,314	1,139,135	1,175,394	1,211,650	1,382,129	1,474,440	1,519,762	1,586,901	1,497,492	1,626,221	1,748,324
Solid Fossil	Primary Fuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Anthracite ^(a)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Coking Coal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Other Bit. Coal	394,486	455,595	412,505	416,165	409,040	396,072	419,284	419,284	697,970	758,326	723,013
	Sub-bit. Coal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Lignite	23,488	4,744	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oil Shale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Peat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	BKB & Patent Fuel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Coke Oven/Gas Coke	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Secondary Fuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solid Fuel Totals		417,974	460,339	412,505	416,165	409,040	396,072	419,284	419,284	697,970	758,326	723,013
Gaseous Fossil		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		1,614,288	1,599,474	1,587,899	1,627,815	1,791,169	1,870,512	1,939,046	2,006,185	2,195,462	2,384,547	2,471,337

Taula 13. Consums de productes, en tones equivalents de petroli (tep) a les Illes Balears des de 1990 a 2000, que es tenen en compte per determinar les emissions de CO₂ energètic

	Emissions de Carboni (Gg C)	Emissions de CO ₂ (Gg CO ₂)		Emissions de Carboni (Gg C)	Emissions de CO ₂ (Gg CO ₂)
1990			1996		
Combustible líquid	944.46	3,463.02	Combustible líquid	1,218.78	4,468.85
Combustible sòlid	444.20	1,628.73	Combustible sòlid	443.85	1,627.45
Total	1,388.66	5,091.75	Total	1,662.63	6,096.30
1991			1997		
Combustible líquid	898.14	3,293.19	Combustible líquid	1,273.16	4,668.25
Combustible sòlid	487.66	1,788.09	Combustible sòlid	443.85	1,627.45
Total	1,385.80	5,081.28	Total	1,717.01	6,295.70
1992			1998		
Combustible líquid	935.05	3,428.48	Combustible líquid	1,197.12	4,389.41
Combustible sòlid	436.67	1,601.14	Combustible sòlid	738.86	2,709.17
Total	1,371.72	5,029.62	Total	1,935.98	7,098.58
1993			1999		
Combustible líquid	964.21	3,535.45	Combustible líquid	1,297.76	4,758.46
Combustible sòlid	440.55	1,615.34	Combustible sòlid	802.76	2,943.44
Total	1,404.76	5,150.79	Total	2,100.52	7,701.90
1994			2000		
Combustible líquid	1,105.79	4,054.57	Combustible líquid	1,393.51	5,109.51
Combustible sòlid	433.01	1,587.69	Combustible sòlid	765.37	2,806.37
Total	1,538.80	5,642.26	Total	2,158.88	7,915.88
1995					
Combustible líquid	1,183.91	4,341.03			
Combustible sòlid	419.28	1,537.35			
Total	1,603.19	5,878.38			

Taula 14. Estimació anual de les emissions de carboni (C) i de diòxid de carboni (CO₂) procedent de les fonts d'energia a les Illes Balears, segons les directrius de l'IPCC

Com ja s'ha indicat, només s'ha disposat de les estadístiques energètiques. Però, s'ha dissenyat un procediment per poder avaluar les altres contribucions. Aquest procediment consisteix en comparar per el conjunt de l'Estat espanyol les emissions estimades dels diferents gasos d'efecte hivernacle amb el CO₂ procedent de les fonts d'energia. A la taula 15, es mostren les relacions que hi ha entre els valors estimats; en concret, per les emissions brutes (sense tenir en compte els avenços) de CO₂, emissions netes de CO₂, metà, òxid de nitrogen, HFCs, PFCs, SF₆, i el total brut i net del conjunt de tots els gasos a l'Estat des de 1990 a 1999 (publicats a la Tercera Comunicació d'Espanya a la Secretaria del Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic. Veure a <http://unfccc.int/resource/docs/natc/spanc3.pdf>)

ANY	CO ₂ BRUT	CO ₂ NET	CH ₄ (*)	N ₂ O(*)	HFC(*)	PFC(*)	SF ₆ (*)	TOTAL BRUT(*)	TOTAL NET(*)
1990	1.0910	0.9498	0.1677	0.1990	0.0140	0.0040	0.0004	1.4760	1.3348
1991	1.0854	0.9493	0.1642	0.1885	0.0120	0.0037	0.0004	1.4542	1.3181
1992	1.0752	0.9454	0.1606	0.1758	0.0127	0.0035	0.0004	1.4282	1.2984
1993	1.0763	0.9391	0.1722	0.1743	0.0106	0.0037	0.0004	1.4375	1.3003
1994	1.0818	0.9512	0.1684	0.1759	0.0173	0.0035	0.0004	1.4474	1.3168
1995	1.0802	0.9553	0.1653	0.1647	0.0239	0.0034	0.0005	1.4380	1.3131
1996	1.0841	0.9524	0.1832	0.1946	0.0289	0.0034	0.0006	1.4947	1.3631
1997	1.0827	0.9598	0.1789	0.1718	0.0291	0.0033	0.0006	1.4663	1.3434
1998	1.0849	0.9667	0.1642	0.1669	0.0283	0.0030	0.0007	1.4482	1.3300
1999	1.0868	0.9737	0.1742	0.1702	0.0354	0.0027	0.0009	1.4701	1.3570
MITJANA	1.0828	0.9543	0.1699	0.1782	0.0212	0.0034	0.0005	1.4561	1.3275
D.TÍPICA	0.0045	0.0096	0.0068	0.0112	0.0085	0.0003	0.0002	0.0194	0.0211

Taula 15. Proporcions que guarden els valors estimats a l'inventari nacional per a Espanya de les emissions dels gasos d'efecte hivernacle en relació amb les emissions de diòxid de carboni procedent de fonts d'energia. Amb (*) s'indica que les corresponents emissions estan expressades en equivalent de CO₂, d'acord amb els potencials d'escalfament de l'IPCC.

Com es pot veure, els valors són bastant semblants al llarg dels anys, especialment els corresponents a les majors contribucions. Per altra banda, el CO₂ energètic representa la major part de les emissions, com es manifesta en les columnes dels totals. Es pot observar que, per terme mig, el CO₂ energètic representa del l'ordre del 68% del total brut i del 75% del total net (és a dir, tenint en compte el paper estimat dels avencs).

A partir de les taules 14 i 15, s'obtenen els valors estimats mitjà, mínim i màxim des de 1990 a 2000 (en kilotonelades i kilotonelades equivalents de CO₂, coincidents numèricament amb Gg) de les emissions dels gasos d'efecte hivernacle (CO₂ brut, CO₂ net, CH₄, N₂O, HFC, PFC, SF₆, totals brut i net a les Illes Balears. Veure taula 16. Per obtenir els valors s'ha utilitzat la distribució t de Student al nivell del 95%, amb dues cues i 10 graus de llibertat.

Canvi climàtic a les Illes Balears

ANY	CO ₂ BRUT	MIN MAX	CO ₂ NET	MIN MAX	CH ₄ *	MIN MAX	NO ₂ *	MIN MAX	HFC*	MIN MAX	PFC*	MIN MAX	SF ₆ *	MIN MAX	TOTAL BRUT*	MIN MAX	TOTAL NET*	MIN MAX
1990	5513.51	5495.24 5531.78	4858.87	4819.82 4897.92	865.02	837.54 892.51	907.25	862.03 952.46	108.03	73.78 142.28	17.40	15.99 18.80	2.69	2.06 3.33	7413.90	7286.64 7541.16	6759.26	6611.21 6907.30
1991	5502.17	5483.94 5520.40	4848.88	4809.91 4887.85	863.24	835.81 890.67	905.38	860.26 950.51	107.81	73.63 141.99	17.36	15.96 18.76	2.69	2.06 3.32	7398.65	7271.66 7525.65	6745.36	6597.62 6893.09
1992	5446.24	5428.19 5464.28	4799.58	4761.01 4838.16	854.47	827.32 881.62	896.18	851.51 940.84	106.71	72.88 140.55	17.18	15.80 18.57	2.66	2.03 3.29	7323.43	7197.73 7449.14	6676.78	6530.54 6823.01
1993	5577.44	5558.96 5595.92	4915.21	4875.70 4954.71	875.05	847.25 902.86	917.77	872.02 963.51	109.28	74.63 143.93	17.60	16.18 19.01	2.72	2.08 3.37	7499.86	7371.13 7628.60	6837.63	6687.87 6987.39
1994	6109.62	6089.38 6129.86	5384.20	5340.93 5427.47	958.55	928.09 989.00	1005.34	955.23 1055.44	119.71	81.75 157.67	19.28	17.72 20.83	2.98	2.28 3.69	8215.47	8074.46 8356.49	7490.05	7326.01 7654.10
1995	6365.30	6344.21 6386.39	5609.52	5564.44 5654.61	998.66	966.93 1030.39	1047.41	995.20 1099.61	124.72	85.18 164.26	20.08	18.47 21.70	3.11	2.38 3.84	8559.28	8412.36 8706.20	7803.50	7632.59 7974.41
1996	6601.27	6579.40 6623.14	5817.47	5770.72 5864.23	1035.68	1002.77 1068.59	1086.24	1032.10 1140.38	129.34	88.33 170.35	20.83	19.15 22.50	3.23	2.47 3.98	8876.58	8724.22 9028.95	8092.79	7915.54 8270.04
1997	6817.19	6794.60 6839.77	6007.75	5959.47 6056.04	1069.56	1035.57 1103.54	1121.77	1065.86 1177.68	133.57	91.22 175.93	21.51	19.78 23.24	3.33	2.55 4.11	9166.92	9009.57 9324.27	8357.49	8174.44 8540.54
1998	7686.57	7661.10 7712.04	6773.91	6719.47 6828.36	1205.96	1167.64 1244.27	1264.82	1201.78 1327.86	150.61	102.86 198.36	24.25	22.30 26.20	3.76	2.87 4.64	10335.97	10158.55 10513.38	9423.31	9216.92 9629.70
1999	8339.87	8312.23 8367.50	7349.64	7290.57 7408.71	1308.45	1266.88 1350.03	1372.32	1303.92 1440.72	163.41	111.60 215.22	26.31	24.19 28.43	4.07	3.12 5.03	11214.44	11021.94 11406.93	10224.21	10000.28 10448.14
2000	8571.57	8543.17 8599.97	7553.83	7493.12 7614.54	1344.80	1302.07 1387.53	1410.45	1340.15 1480.75	167.95	114.70 221.20	27.04	24.87 29.22	4.19	3.20 5.17	11526.00	11328.16 11723.85	10508.27	10278.11 10738.42

Taula 16. Valors estimats mitjà, mínim i màxim (en kilotonelades i kilotonelades equivalents de CO₂) de les emissions de gasos d'efecte hivernacle a partir de l'estimació anual de les emissions de diòxid de carboni (CO₂) procedent de fonts d'energia a les Illes Balears, segons la funció de distribució t de Student amb un 95% de probabilitat i 10 graus de llibertat. Amb * s'indiquen les emissions calculades en CO₂ equivalent

A la figura 48, es presenta l'evolució temporal de les emissions de diòxid de carboni (CO₂) energètic i l'estima del CO₂ equivalent total net per al període 1990 a 2000 a les Illes Balears.

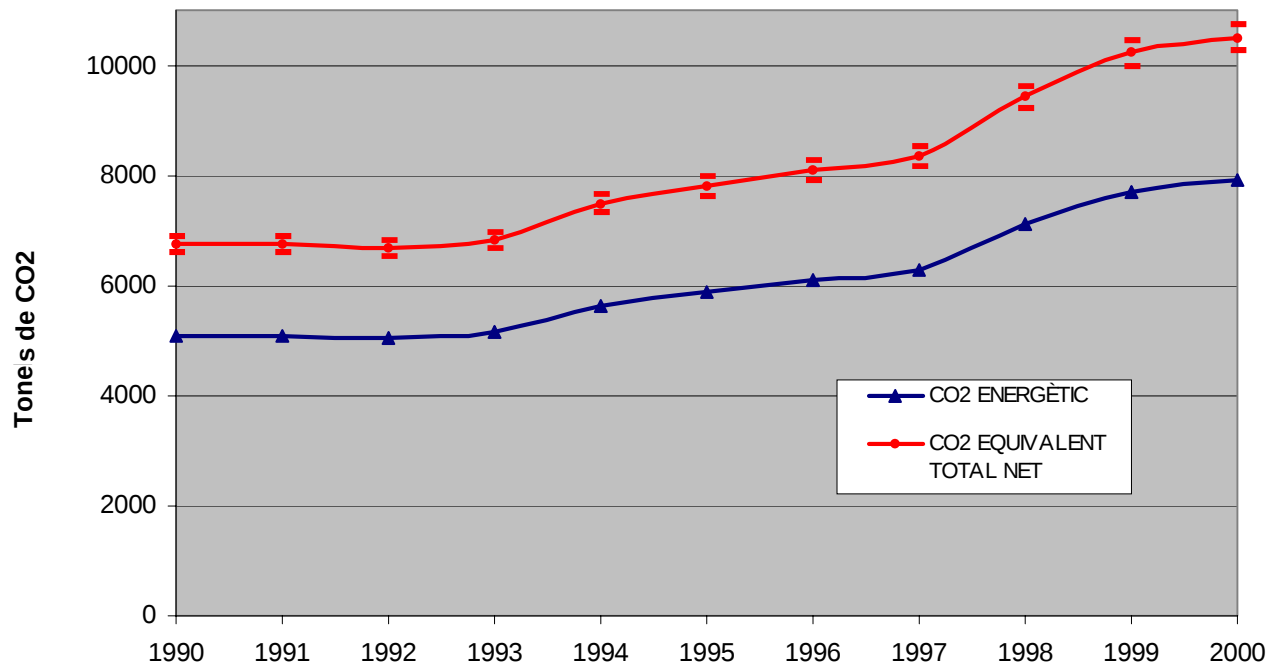


Fig. 48.- Evolució temporal de les emissions de diòxid de carboni (CO₂) energètic i estima del CO₂ equivalent total net per al període 1990-2000 a les Illes Balears.

Com a valoració final del resultat obtingut per a les emissions de gasos d'efecte hivernacle, hi ha que destacar que seria necessari disposar de les estadístiques completes de les activitats que potencialment poden ser fonts o avencs dels esmentats gasos. Però, tenint en compte que la contribució del CO₂ energètic és de l'ordre del 75% del total net (és a dir, descomptant la fixació pels avencs), no es probable que hi hagi massa diferències amb els valors aquí obtinguts. En qualsevol cas, el que sí es cert és que, si bé el CO₂ energètic no va variar pràcticament des de 1990 a 1993, va registrar un augment del 23,6% el 1997 i del 55,5% el 2000, agafant com valor de referència el corresponent a l'any 1990.

4. Anàlisi de la contaminació tèrmica a les Illes Balears

Un altre dels resultats que es poden deduir de la metodologia de l'IPCC per a avaluar les emissions de gasos d'efecte hivernacle, és el valor calòric dels combustibles consumits. Això no és més que una indicació de la seva utilitat per a aplicacions a la calefacció. En tot el què segueix assimilarem el valor calòric amb la contaminació tèrmica, ambdós a les Illes Balears.

Per el càlcul del valor calòric hi ha que multiplicar el consum de cadascun dels combustibles per el seu valor calòric net (VCN) què, evidentment, és diferent per a cadascun dels combustibles. Aquest valor, a més a més, és depenent de la procedència del combustible.

Tenint en compte que, en el nostre cas, els consums aparents que figuren a les estadístiques consultades son expressats en tones equivalents de petroli (tep), el càlcul es realitza simplement multiplicant els consums pel factor de conversió corresponent: $41.868 \text{ TJ}/10^3 \text{ tep}$. Hem de suposar, en conseqüència, què per a l'avaluació dels diferents consums en tep, ja es va tenir present el tipus de combustible i la seva procedència. El resultat obtingut es troba a la taula 16.

Els diferents tipus de productes indicats a la taula 16 no es corresponen exactament amb aquells que s'empren per determinar les emissions (taula 134). La raó és que alguns dels productes consumits no es tenen en compte per determinar les emissions (p.e. biomassa o residus orgànics) però sí com a font de calor.

Canvi climàtic a les Illes Balears

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Carbons i coc de petroli	444411	460339	431055	440755	452108	451907	474250	535491	762223	820684	780960
Residus sòlids urbans	5402	8988	2493	0	0	0	13182	41898	53282	58140	57205
Biomassa	-	8369	11220	7279	12685	6287	8881	11741	22254	22909	19390
Gasos líquids de petroli	87251	90299	91032	90381	91783	93635	98687	101927	110827	119062	119629
Prod. petroliers lleugers	821468	790247	799725	827061	943979	991409	1032464	1098579	1136079	1235911	1324624
Prod. petroliers pesants	287595	258589	260973	269618	303299	333561	333645	324664	186333	208890	246123
Gas Manufacturat									16	11	0
Consum brut sense energies renovables	1646127	1616831	1596498	1635094	1803854	1876799	1961109	2114300	2271014	2465607	2547931
Valor calòric (TJ)	68920	67693	66842	68458	75524	78578	82108	88522	95083	103230	106677

Taula 16. Estimació anual del valor calòric total (TJ) dels combustibles consumits a les Illes Balears. Les quantitats indicades de productes consumits estan en tones equivalents de petroli (tep)

A la figura 49 s'hi representa l'evolució temporal del valor calòric net deduït del consum de tots els combustibles.

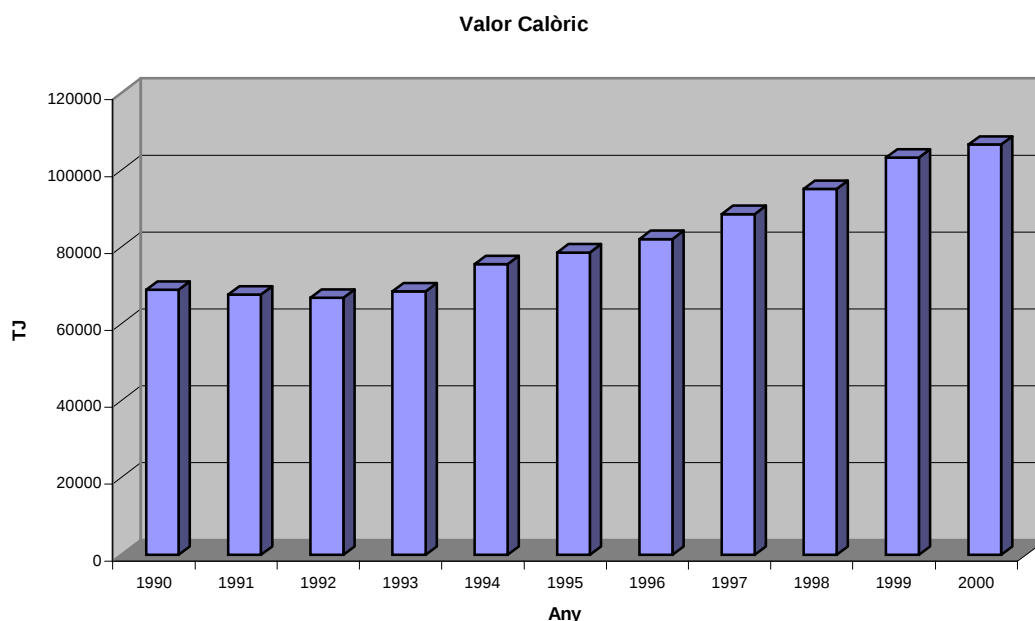


Fig. 49.-. Evolució temporal del valor calòric total (TJ) per al període 1990 a 2000 a les Illes Balears.

L'aspecte general de l'evolució del valor calòric total és semblant a la deduïda per al CO₂ energètic i a l'estima de l'emissió de tots els gasos d'efecte hivernacle de l'apartat anterior. Novament s'observa una petita variació des de 1990 a 1993, un augment d'un 28,4% aproximadament el 1997 i del 54,8% el 2000, ambdós referits al valor de 1990.

5. Anàlisi de l'illa tèrmica urbana a Palma

L'illa tèrmica urbana, també coneguda com illa de calor urbana (ICU), és un fenomen ambiental que consisteix en l'existència de temperatures més altes a l'interior de la ciutat que a la zona rural que l'envolta, especialment durant la nit. Aquest fenomen és causat per l'emissió calorífica que es produeix a les ciutats com a conseqüència de la presència de focus lluminosos, del trànsit, de les emissions de les calefaccions o dels aires condicionats i també a causa de la dificultat que té la radiació, acumulada durant el dia, d'escapar del canons que formen els carrers. És un exemple de contaminació calorífica.

La intensitat de l'illa de calor urbana (IICU) es defineix com la diferència de temperatures entre el centre de la ciutat i la zona rural, agafant la major temperatura observada a la ciutat i la menor en la zona rural. Aquesta intensitat depèn de moltes variables, tal com la situació geogràfica de la ciutat i les seves característiques (tamany, estructura, nivell de vida....). També hi influeixen de forma important les condicions meteorològiques, com per exemple la presència de núvols i de vent. S'ha demostrat que la temperatura rural i la urbana comencen a disminuir a diferent ritme des d'unes dos hores abans de la posta del Sol i que la IICU va augmentant per assolir el seu màxim al voltant de mitjanit, unes 3 a 5 hores després de la posta del Sol. Després les velocitats de refredament en les zones rural i urbana són similars i quasi constant fins a la sortida del Sol. Una explicació atribueix aquest comportament a l'entrada d'aire fred a la zona urbana des de la zona rural degut a les circulacions de petita escala induïdes per les diferències de temperatura; són circulacions semblants a les brises marines. Aquestes "brises rurals" apareixen unes 4 a 6 hores després de la posta del sol.

Els factors més importants que donen lloc a la ICU són l'activitat humana, les diferents característiques entre el sòl urbà i el rural i la estructura de la ciutat. El sòl rural permet emmagatzemar una quantitat d'aigua a la superfície, la qual cosa provoca que part de la energia radiant absorbida durant el dia pel sòl s'empri en evaporar aquesta aigua i no en encalenteix el sol. En canvi, el sòl urbà pràcticament no permet la permanència d'aigua a la superfície i tota la radiació absorbida s'empra en encalenteix el sol i els edificis, i ells encalenteixen l'aire que està en contacte. A més a més, a les zones rurals hi ha vegetació que absorbeix part de la radiació solar per la funció de fotosíntesi. Malgrat a les zones urbanes la vegetació és escassa, aquest efecte es manifesta de forma clara als parcs i zones verdes.

A les zones rurals, la radiació infraroja emesa pel sol pot escapar lliurement a l'espai ja que no troba obstacles absorbents o reflectors al seu camí. Així, durant el capvespre i la nit el refredament és notable i se comunica a l'aire que està en contacte amb ell. A la zona urbana, la radiació emesa pel sol i edificis troba dificultats per escapar. Els edificis, especialment els alts, i el propi sòl produeixen reflexions i absorcions de la radiació emesa per altres edificis o pel propi sol amb la qual cosa la velocitat de refredament durant el capvespre i la nit és menor dins de la ciutat que a la zona rural que l'envolta. S'ha de tenir en compte, també, la contaminació tèrmica que representa la massiva presència de focus calorífics que disminueixen el refredament de l'aire.

A nivell teòric i a una ciutat ideal (cases baixes als suburbis i edificis alts en el centre) amb vent dèbil i sense núvols, la ICU presenta unes característiques que podríem resumir de la següent forma: la temperatura augmenta a la zona límit entre el camp i

les primeres cases de la ciutat, amb un perfil de temperatura en forma de “penya-segat” i on el gradient de temperatura pot arribar als 4°C/km. La major part de la ciutat apareix com una planura amb un gradient de temperatura petit a mesura que ens acostem al centre de la ciutat. A la zona cèntrica es registren les temperatures més altes; és on hi ha una major concentració d'edificis alts, carrers estrets, pocs espais verds i oberts i on se concentra la major part de l'activitat comercial de la ciutat (la qual cosa implica una major presència de focus calorífics). Aquesta estructura d'uniformitat es perd per la presència d'elements com parcs, zones verdes i obertes on la temperatura és més baixa degut a l'absència d'elements productors i acumuladors de calor.

Les condicions meteorològiques modifiquen aquest senzill model de forma significant, destacant el paper dels núvols, la humitat i el vent. La presència de núvols baixos (Stratocumulus, Sc i/o Stratus, St) elimina la possibilitat de que la radiació emesa per la superfície escapi totalment cap a l'exterior. Les gotes d'aigua líquida retenen la radiació infraroja de la superfície de la Terra i la reemetten cap amunt i cap a baix. Els núvols alts (Cirrus, Ci i Cirrostratus, Cs) no son quasi efectius. A la zona rural, on la radiació de la superfície pot escapar més fàcilment que a la zona urbana, la presència de núvols baixos elimina aquesta possibilitat, disminuint la diferència entre la zona rural i la urbana. El vapor d'aigua és menys eficient en l'absorció de radiació infraroja que l'aigua líquida.

S'ha relacionat la IICU màxima ($\Delta T_{u-r(max)}$) amb la geometria dels carrers mitjançant la relació H/W on H es l'altura dels edificis i W l'amplària del carrer de la forma

$$\Delta T_{u-r(max)} = 7.54 + 3.97 \ln(H / W)$$

La intensitat de l'illa de calor s'ha relacionada amb la velocitat del vent i amb la població. Sense núvols, s'ha observat que la IICU es inversament proporcional a la rel quadrada de la velocitat del vent. Es degut a la turbulència que mescla l'aire, homogeneïtzant les temperatures. Per altra banda, quan major és el nombre d'habitants, major consum energètic i major és la IICU. La relació és

$$\Delta T_{u-r} = \frac{P^{0.25}}{4 u^{0.5}}$$

on u és la velocitat (m/s) del vent rural a 10 m d'altura i P és la població. Lògicament no és aplicable quan el vent està en calma.

S'han obtingut mesures de la temperatura a 56 punts de Ciutat durant una sèrie de dies repartits durant diferents mesos. Aquestes temperatures s'han reduït a la mateixa hora (les 00 UTC) per fer-les comparables. Totes aquestes dades estan en procés de revisió.

A la figura 49 es mostra un plànol de la ciutat. L'estructura de l'illa de calor a Ciutat se mostra a la figura 50 i següents per diferents mesos de l'any. S'hi han afegit els principals carrers per facilitar la interpretació.

Es pot veure que les majors temperatures es troben al centre històric, i que aquestes van disminuint radialment amb el centre en el centre del ventall que conforma la ciutat. També es pot veure que hi ha modificacions com a conseqüència de la presència de zones obertes com el Parc de Llevant o el bosc de Bellver. Així mateix es dibuixa una entrada d'aire fred per Sa Riera, que d'alguna manera s'estén cap a la mar.

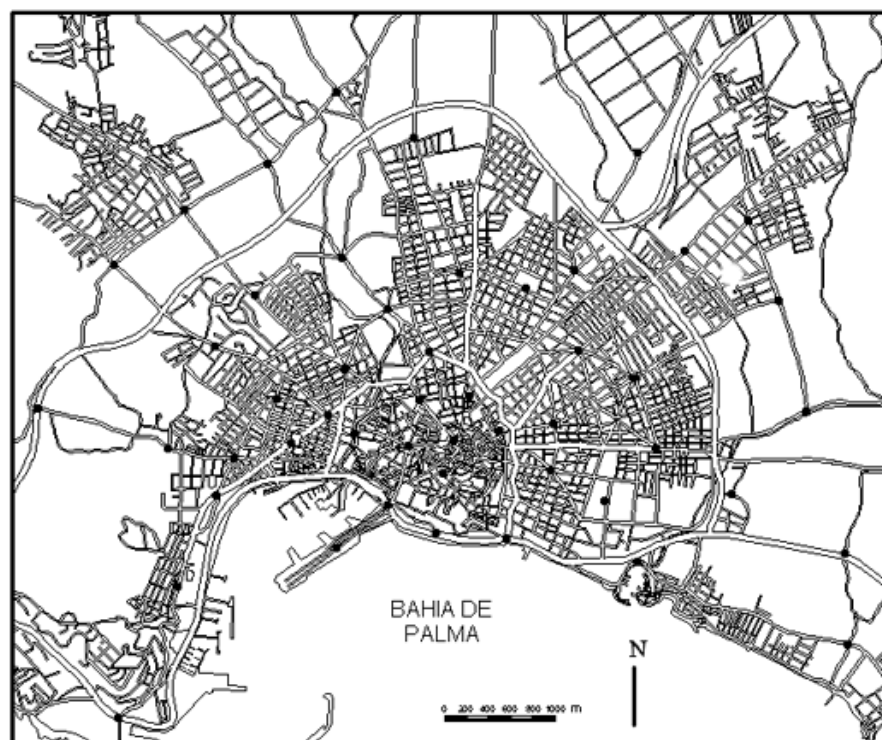


Fig. 50. Plànol de Ciutat. Els punts indiquen on s'han realitzat les mesures de temperatura

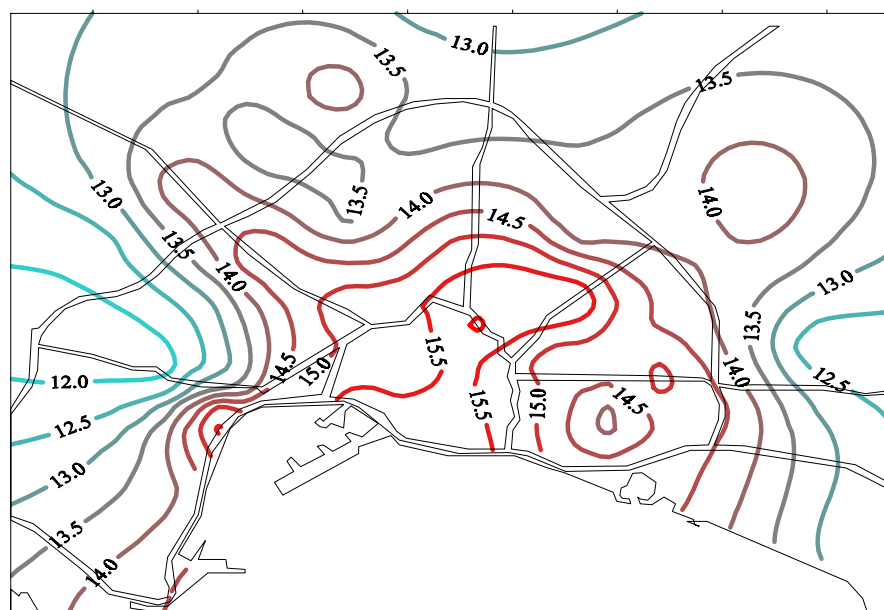
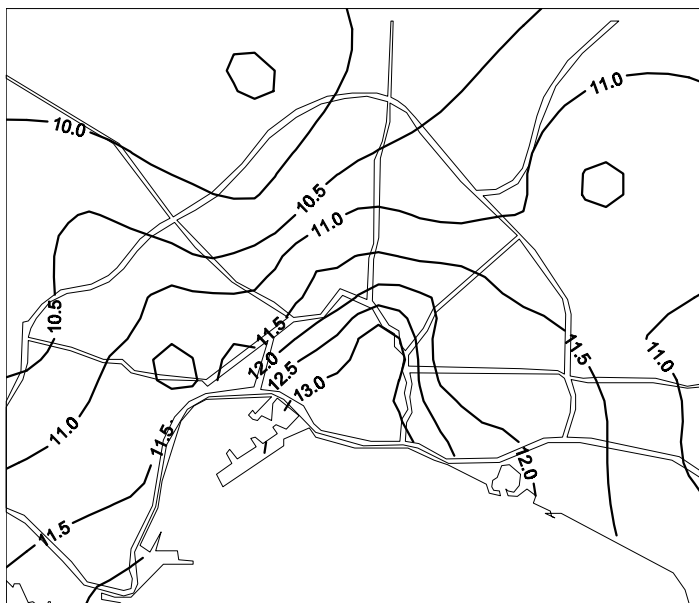
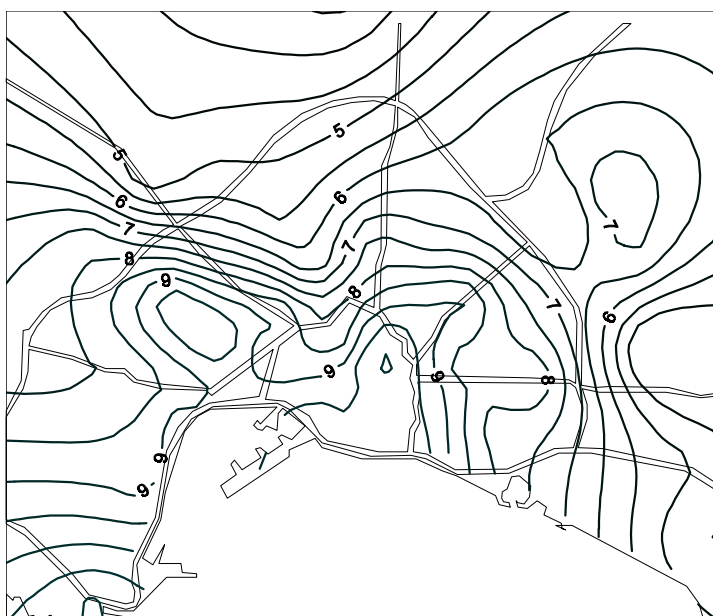


Fig. 51. Isothermes a Ciutat el 13 de novembre de 1998 a les 00 UTC



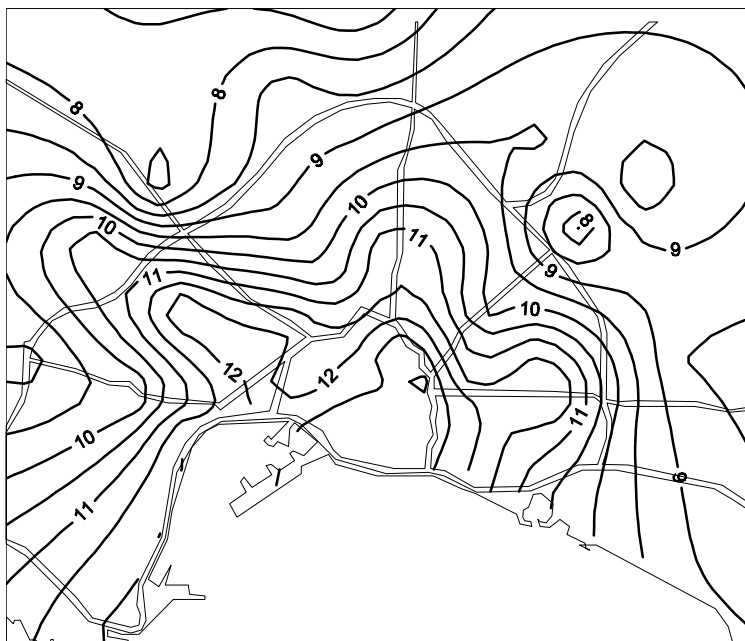
18 Decembre 1998 a les 00 UTC

Fig. 52. Isotermes a Ciutat el 18 de desembre de 1998 a les 00 UTC



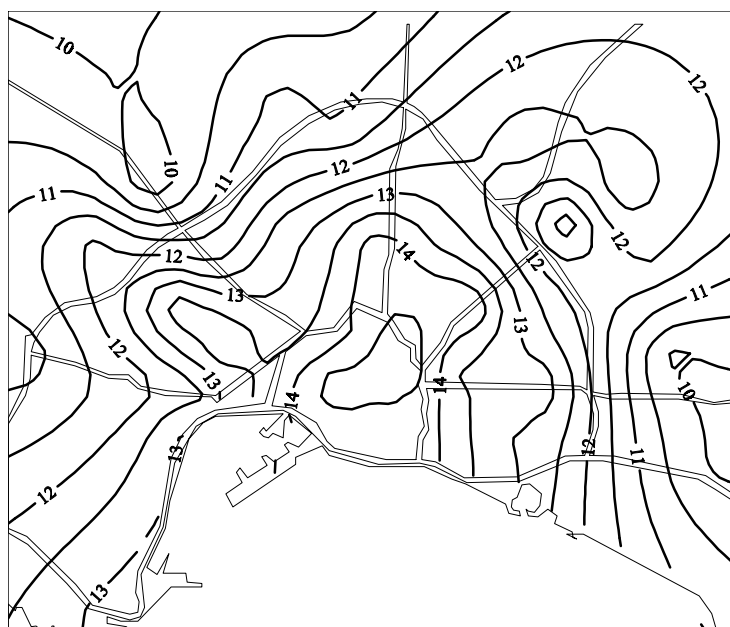
19 Febrer 1999 a les 00 UTC

Fig. 53. Isotermes a Ciutat el 19 de febrer de 1999 a les 00 UTC



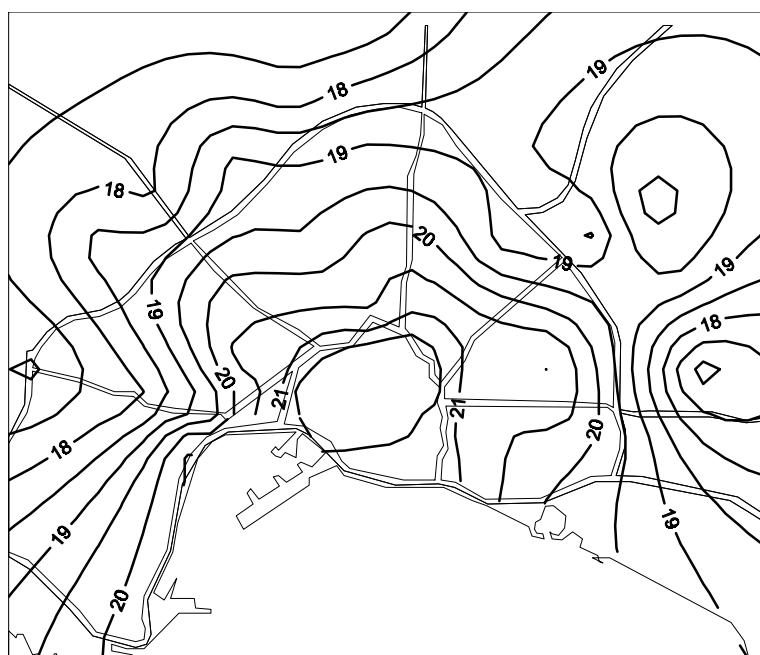
19 Març 1999 a las 00 UTC

Fig. 54. Isotermes a Ciutat el 19 de març de 1999 a les 00 UTC



30 Abril 1999 a las 00 UTC

Fig. 55. Isotermes a Ciutat el 30 d'abril de 1999 a les 00 UTC



25 Juny 1999 a las 00 UTC

Fig. 56. Isotermes a Ciutat el 25 de juny de 1999 a les 00 UTC

Cal ressaltar alguns detalls importants: les condicions meteorològiques els dies d'observació foren molt favorables per a la formació de l'illa de calor, és a dir, cel estirat i vent quasi en calma, excepte el mes de desembre en el qual les condicions meteorològiques eren poc favorables, especialment perquè el cel estava pràcticament cobert de núvols baixos.

És per això que l'estructura de l'illa de calor és molt diferent el mes de desembre, el gradient de temperatura és molt inferior al dels altres mesos.

L'estructura corresponent al mes d'abril també presenta particularitats. L'entrada d'aire fred per Sa Riera, molt clara els mesos de febrer i març, durant l'abril queda aturada i en certa manera substituïda per una zona d'aire calent. És molt probable que aquesta pertorbació sobre l'estructura, que podríem anomenar clàssica de l'illa de calor a Ciutat, és deguda a la presència de la Feria de Abril i per lo tant una presència d'abundants focus calorífics així com un trànsit intens a la zona.

Una secció transversal de temperatura al llarg de la ciutat, mostra també l'estructura de l'illa de calor. A les figures 57 i 58 es mostren dues seccions transversals. A la feta en direcció Oest-Est, passant pel centre històric, corresponent al mes de febrer queda ben reflectit l'augment de temperatura quan es passa de la zona rural a la urbana així com l'entrada d'aire fred per Sa Riera al centre de la ciutat. També es veu el comportament tèrmic del centre històric en el tall transversal en direcció Nord-Sud, on la temperatura es manté pràcticament constant.

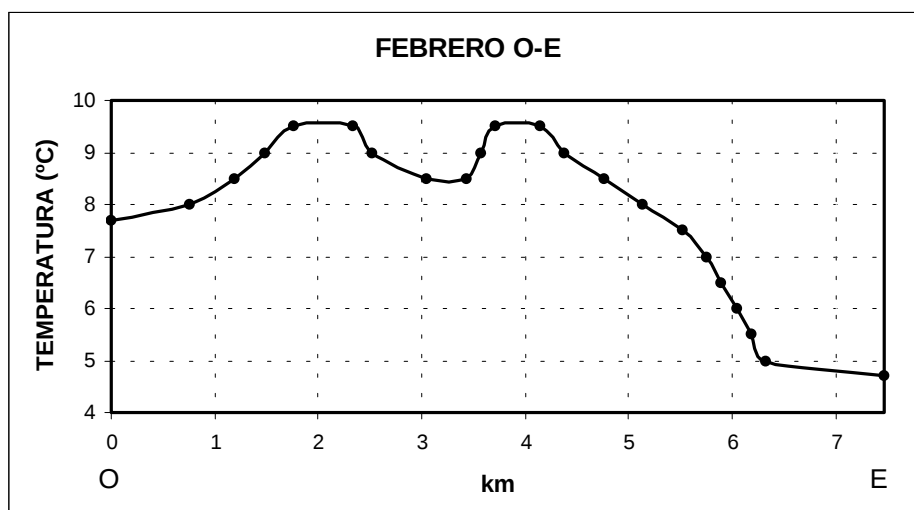


Fig. 57. Tall transversal Oest-Est de temperatura que passa pel centre històric el 19 de febrer de 1999

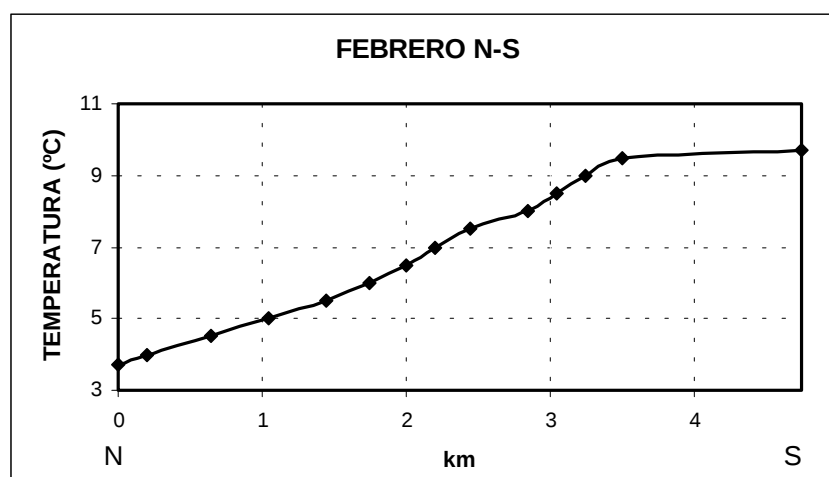


Fig. 58. Tall transversal Nord-Sud de temperatura que passa pel centre històric el 19 de febrer de 1999

Referències

Gual, M., J. Perelló y C. Ramis (2002): La isla de calor urbana en Palma de Mallorca. *Rev. Española de Física*, 16(1), 39-43

Guijarro, J. A. (1986): *Bioclimatología de las Islas Baleares*. Tesi doctoral. Universitat de les Illes Balears.

Govern de les Illes Balears (1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000): *Estadístiques energètiques de les Illes Balears*.

Harnett, D. L. and A. K. Soni (1991): *Statistical Methods for business and economics*. Addison-Wesley P. C.

<http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/> per a informació sobre models climàtics i obtenir dades de diferents models.

<http://unfccc.int/resource/docs/natc/spanc3.pdf/> per a obtenir la Tercera Comunicació d'Espanya a la Secretaria del Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic

IPCC (2001): *Third assesment report. Climate change 2001*. Cambridge Univ. Press (3 volumens)

IPCC (1996): *Inventario de gases de efecto invernadero. Libro de trabajo*. IPCC.

Sumner, G.N., V. Homar and C. Ramis (2001): Precipitation seasonality in eastern and southern coastal Spain. *Inter. J. Climatol.*, 21, 219-247.

Walsh P. D. and D. M. Lawler (1981): Rainfall seasonality: description, spatial patterns and change through time. *Weather*, 36, 201-208.