

En l'elaboració d'aquest capítol han participat:
Natalia Barrientos, Raquel Vaquer-Sunyer i Agustí Jansà.

Temperatura de l'aire

1. Sobre la mar

2. Sobre la terra

La regió mediterrània, i concretament la mar Balear, s'està escalfant més ràpidament que la mitjana global, però més lentament que el conjunt del continent europeu. Com succeeix amb la temperatura superficial de la mar, les sèries històriques de temperatura de l'aire mesurades per l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMET) als tres aeroports internacionals de les Illes (Palma, Maó i Eivissa) estan mostrant un important augment en les darreres dècades (figura 1).

Partint d'aquestes dades, l'escalfament mitjà de l'aire sobre la terra a les Illes Balears entre els anys 1979 i 2023 ha estat de 0,28 °C/dècada. L'escalfament planetari global, en el mateix període 1979-2023, ha estat de 0,18 °C/dècada, segons dades basades en la reanàlisi ERA5, obtingudes de Copernicus C3S/ECMWF¹ elaborades per Agustí Jansà. Així que l'escalfament mitjà als tres aeroports de les Balears (temperatura de l'aire sobre la terra) ha estat un 55 % superior a l'escalfament global.² Com a contrast, l'escalfament al conjunt del continent europeu ha estat de 0,42 °C/dècada, un 50 % més gran que l'escalfament de l'aire sobre la terra a les Illes Balears.

La temperatura de l'aire sobre la mar s'aproxima més a la temperatura superficial de l'aigua de la mar (a partir d'ara SST, sigles en anglès de Sea Surface

Temperature) que a la temperatura de l'aire sobre la terra, però les adveccions vives d'aire fred o d'aire càlid poden permetre diferències molt importants entre l'SST i la temperatura de l'aire a 3 m sobre la superfície de l'aigua marina.

La diferència de temperatura entre l'aire i la mar és un factor important de l'intercanvi de calor entre els dos medis; però no és l'únic, ja que el vent és el gran mecanisme refredador de la mar —per evaporació—, fins a convertir-se en un factor clau de la formació d'aigua profunda en el nord de les Balears.²

Les variacions en els fluxos de calor aire-mar —associats a diferències de temperatura aire-aigua, però també a l'evaporació per vent— poden tenir impactes d'escala global mitjançant canvis en la circulació atmosfèrica i oceànica.^{3,4}

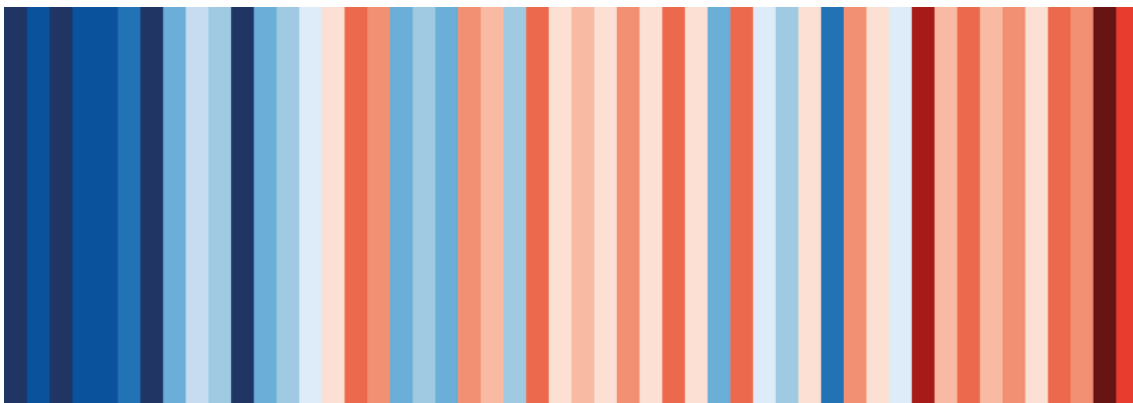


Figura 1. Gràfic de ratlles climàtiques (*climate stripes*) que visualitza les anomalies anuals de temperatura causades pel canvi global entre els anys 1974-2023. Les anomalies es calculen respecte de 1974-2023, i es basen en la mitjana dels valors de temperatura capturats als aeroports de Maó, Palma i Eivissa. S'observa una tendència a l'escalfament (colors vermells) amb el pas dels anys. Els extrems de l'anomalia són -1,24 i 1,46 °C. FONT DE DADES: AEMET. ELABORACIÓ: A. Jansà i D. Argüeso (UIB).

QUÈ ÉS?

És un indicador climàtic de canvi global en el que es reflecteix la interacció de temperatures aire-mar, ja que entre aquests dos medis es produeix un intercanvi de calor. També s'inclou la temperatura terrestre de les Illes Balears per tenir una comparativa dels canvis de temperatura entre mar, aire i terra.

METODOLOGIA

Les mesures de temperatura de l'aire es realitzen a través de sensors instal·lats en boies oceanogràfiques que floten en estacions fixes, a 3 m de la superfície de l'aigua (vegeu la imatge). La precisió de les temperatures recollides pels sensors és de 0,01 °C. Les dades han estat facilitades per Ports de l'Estat a partir de les dues boies següents:

- Boia de Maó (latitud 39,71°N, longitud 4,42°E): ancorada a 300 m de profunditat.
- Boia de sa Dragonera (latitud 39,56°N, longitud 2,10°E): ancorada a 141 m de profunditat.

Adicionalment es comparen temperatures de la boia de sa Dragonera —tant de l'aire com superficial de l'aigua (dades cedides per Ports de l'Estat)— amb temperatures mitjanes de l'aire sobre la terra dels tres aeroports internacionals de les Balears (Palma, Maó i Eivissa) procedents de l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMET).

RESULTATS

Les temperatures mitjanes mensuals de l'aire sobre la mar varien entre 7,7-28 °C a Maó i 10,5-29,2 °C a sa Dragonera. La boia de sa Dragonera recull temperatures més càlides que la de Maó, possiblement a causa d'una interacció més petita amb els vents freds de component nord (tramuntana), responsables de refredar la mar.

Les temperatures de l'estiu del 2022 varen ser extraordinàries tant a la terra com a l'aire sobre la mar, assolint màxims a l'agost de fins a 41 °C a l'aeroport d'Eivissa, de 33,3 °C a la boia de sa Dragonera i de 32,3 °C a la boia de Maó.

L'estiu del 2023 ha estat gairebé tan llarg i càlid com ho va ser l'extraordinari estiu del 2022. El màxim valor assolit de temperatura de l'aire sobre la mar va ser de 32,9 °C a la boia de sa Dragonera.

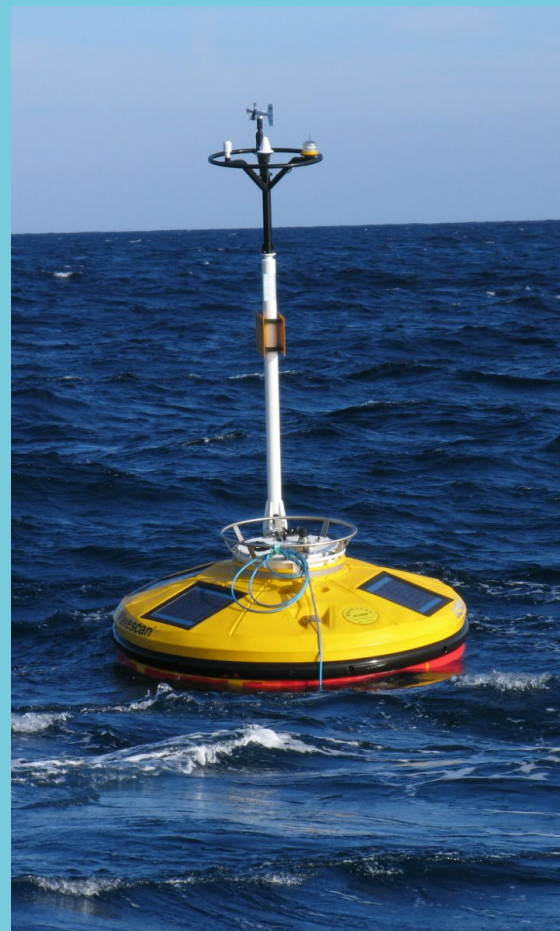
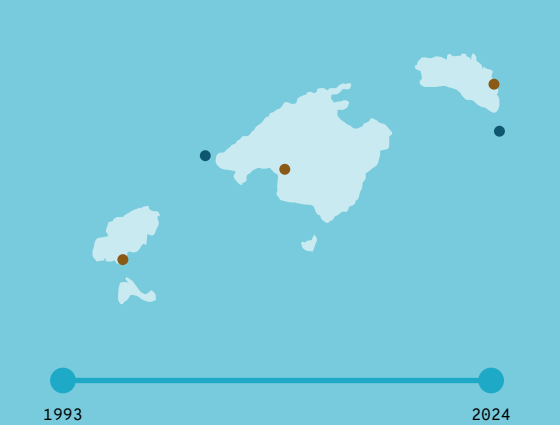
Al juliol del 2023 l'anomalia mitjana mensual de la temperatura de l'aire sobre la mar va superar totes les anomalies de l'any 2022.

Durant els mesos de juliol i agost dels anys 2022 i 2023 s'han assolit uns valors molt elevats d'anomalia mitjana mensual de temperatura de l'aire sobre la mar, que han superat els 3 °C; les anomalies de la temperatura de la mar s'han situat a prop dels 2 °C (any 2022) i d'1,5 °C (any 2023).

PER QUÈ?

Sèries històriques de temperatura de l'aire mesurades en estacions terrestres de les Illes Balears estan mostrant un augment en les darreres dècades. És necessari disposar d'un seguiment temporal de les variables climàtiques de temperatura i entendre millor la interacció entre mar, aire i terra. Això permetrà ampliar el coneixement dels mecanismes que regeixen el canvi global a les Balears.

LOCALITZACIÓ



Imatge d'una boia WaveScan de Ports de l'Estat utilitzada per al mesurament de variables oceanogràfiques i de temperatura de l'aire sobre la mar a 3 m sobre l'aigua. FONT: Ports de l'Estat.

Per tant, aquest paràmetre també s'utilitza com a indicador de canvi global, ja que pot afectar la biodiversitat i els hàbitats marins i, per tant, derivar en conseqüències socioeconòmiques negatives.

La cèssió de calor i humitat de la mar a l'aire és un factor que, al temps, pot afavorir precipitacions intenses a la Mediterrània, tot i que no és l'únic i no es troben correlacions massa significatives entre precipitació intensa i anomalies tèrmiques de l'SST.

Per tant, hi ha una necessitat d'entendre millor els mecanismes de canvi de temperatura de l'aire sobre la mar i de disposar d'un seguiment de la temperatura de l'aire i l'SST que contribueixi a millorar el coneixement sobre el canvi global a les Balears.

METODOLOGIA

Les dades de la temperatura de l'aire sobre la mar es mesuren directament mitjançant sensors fixats a boies que floten en estacions fixes. Les mesures es fan a 3 m sobre la superfície de l'aigua. Les boies es fondegen lluny de la línia de costa per evitar possibles efectes locals.

Les dades de la temperatura de l'aire sobre la mar provenen de dues boies WaveScan gestionades per Ports de l'Estat i s'han descarregat de la seva pàgina web d'oceanografia:⁵

- Boia de Maó (latitud 39,71° N, longitud 4,42° E): dades des de l'any 1993, ancorada a 300 m de profunditat.
- Boia de sa Dragonera (latitud 39,56° N, longitud 2,10° E): dades des de l'any 2006, ancorada a 141 m de profunditat.

Cada boia genera internament valors mitjans que són transmesos en temps real via satèl·lit. Cada dada es calcula com a mesura instantània en períodes de 10 minuts. La col·lecta de dades es complementa amb un control de qualitat de tots els equips de mesura, que indica valors anòmals o de variabilitat. Les dades utilitzades a les gràfiques són únicament els valors acceptables, —i. e. els que compleixen un control de qualitat = 1, 2 i 3—. El sensor utilitzat és Seabird 37-SIP i la precisió de temperatura és de 0,01 °C.

Adicionalment es comparen dades de la boia de sa Dragonera —tant de temperatura de l'aire com de l'SST— amb dades de temperatura mitjana de l'aire sobre la terra, a les estacions terrestres dels aeroports de les Balears procedents de l'AEMET, recollides entre els anys 2009 i 2023. Aquestes dades han estat processades per convertir-les en mitjanes mensuals de temperatura, facilitant la interpretació de les tendències.

Finalment, es mostren en detall les temperatures dels darrers anys (desembre de 2021-març de 2024). Es comparen amb les temperatures mensuals mitjanes entre els anys 2009-2020 de la boia de sa

Dragonera (aire i mar) i les temperatures dels aeroports de les Illes (terrestres). Per tant, les temperatures del rang d'anys 2009-2020 són les emprades com a referència climàtica.

RESULTATS

La temperatura de l'aire sobre la mar Balear, obtinguda mitjançant boies, mostra cicles de variació anuals (figura 2). Les mitjanes mensuals oscil·len entre 10,5-29,2 °C a sa Dragonera (anys 2006-2023) i entre 7,7-28,03 °C a Maó (anys 1993-2023).

L'agost del 2022 es varen enregistrar els màxims de temperatura des que hi ha registre a ambdues boies: 33,26 °C a sa Dragonera i 32,24 °C a Maó. Les elevades temperatures de l'estiu del 2022 es varen considerar extraordinàries a la mar Balear, només igualables, fins aleshores, a les de l'estiu de l'any 2003 (Jansà, 2022).⁶ Val a dir que l'estiu de 2023 les temperatures de l'aire sobre l'aigua han tornat a ser molt altes, amb un màxim de 32,9 °C registrat a sa Dragonera. Quant als mínims, no s'obtenen valors mitjans mensuals inferiors a 10,5 °C a sa Dragonera; en canvi, a la boia de Maó s'enregistren en dues ocasions: 8,12 °C el gener del 2002 i 7,68 °C el febrer del 2012.

En general, la boia de sa Dragonera assoleix temperatures mitjanes mensuals d'1,1 °C més elevades que la de Maó. Això pot ser causat pel fet que Menorca queda dins l'àmbit geogràfic del vent de component nord (tramuntana), que és el màxim responsable de refredar la mar a la Mediterrània occidental.^{4,7,8} El refredament de la mar pot contribuir a refredar l'aire, tot i que, en el cas de la tramuntana, la pròpia advecció freda suposa un refredament directe de l'aire i sa Dragonera queda habitualment fora d'aquest àmbit.

Considerant tot el període 2006-2020, a la boia de sa Dragonera durant gairebé tot l'any s'observa que la temperatura mitjana de l'aire sobre la mar és més baixa que la temperatura de l'aigua, excepte els mesos d'abril i maig, quan ambdues temperatures s'igualen (figura 3). Per tant, la gran part de l'any la mar es troba en condicions de cedir calor a l'aire. Molt més difícil és que l'aire escalfi l'aigua.

Durant tot l'any, la temperatura mitjana de l'aire sobre la terra als aeroports de les Illes Balears és inferior a les SST i a la temperatura de l'aire sobre la mar a la boia de sa Dragonera. La diferència entre la temperatura de l'aire sobre la terra i l'SST assoleix els 4 °C els mesos d'hivern. Al contrari, la temperatura de l'aire sobre la mar arriba a igualar la temperatura sobre la terra entre els mesos de maig a agost.

El refredament nocturn de les Illes és la causa principal que les temperatures sobre la terra siguin més baixes que les temperatures de l'aire sobre la mar la gran part de l'any. L'escalfament diürn arriba a compensar el refredament nocturn durant els mesos de més radiació solar i nits més curtes, però no arriba a produir-se un canvi de signe. Vist d'una altra manera:

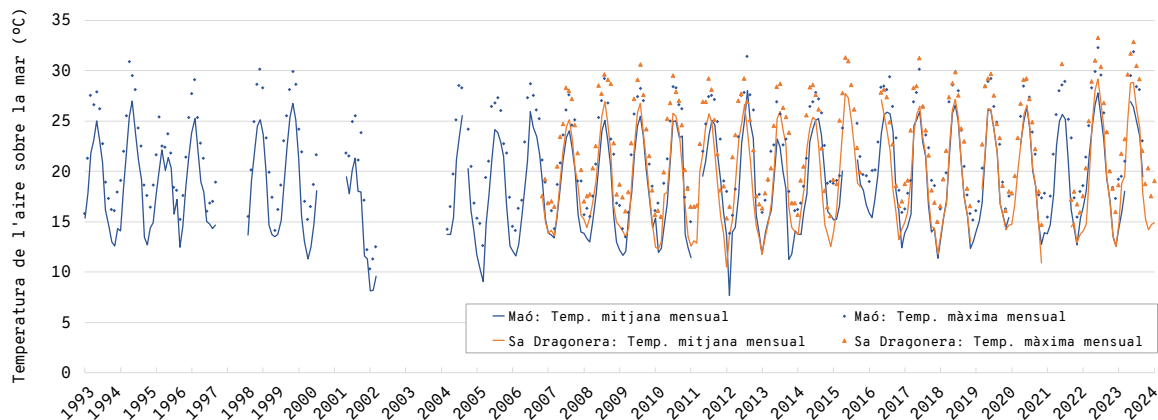


Figura 2. Seguiment històric de la temperatura de l'aire a 3 m sobre l'aigua registrada per les boies de Ports de l'Estat de Maó i de sa Dragonera. FONT: Ports de l'Estat.

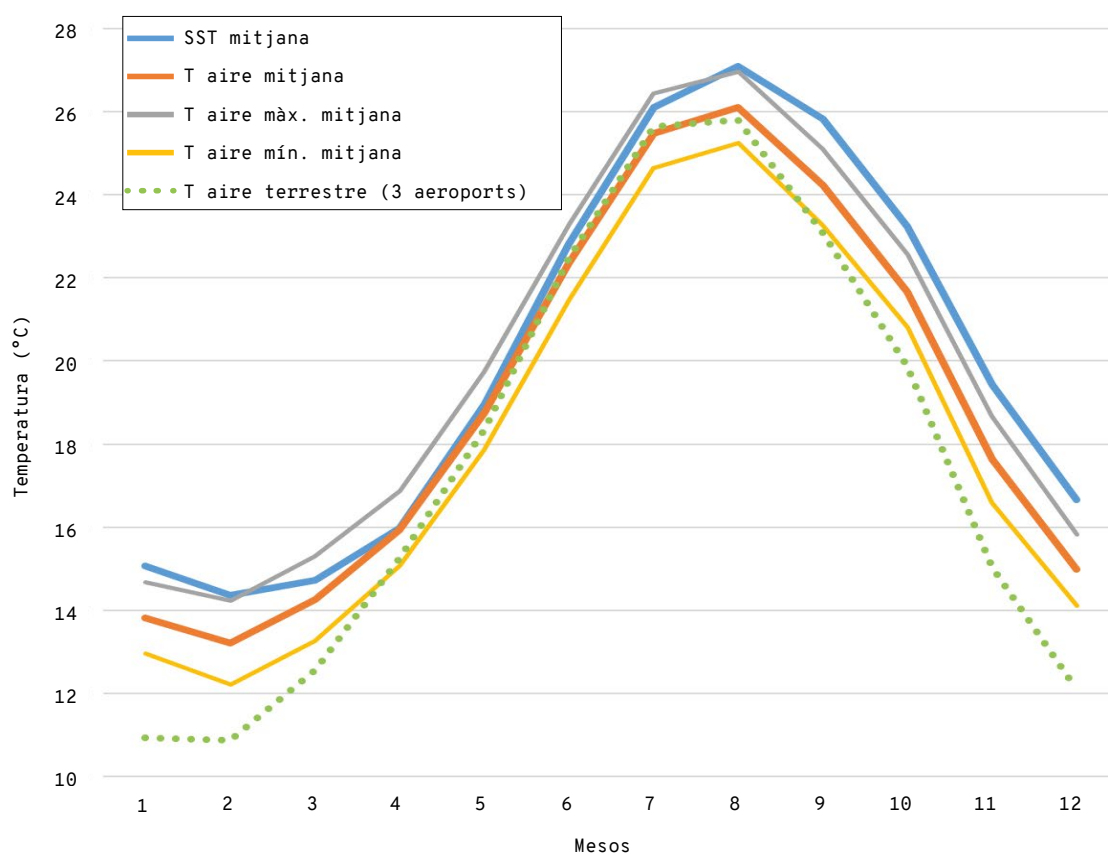


Figura 3. Temperatura mensual mitjana de l'aigua (SST, línia blava) i de l'aire (T aire, línia taronja) amb valors màxims (màx., línia gris) i mínims (mín., línia groga) de la boia de sa Dragonera entre els anys 2006-2020. La línia de punts fa referència a la mitjana de la temperatura de l'aire als tres aeroports de les Balears per al mateix període. FONT DE DADES: Ports de l'Estat, AEMET. ELABORACIÓ: Agustí Jansà.

l'oscil·lació mitjana diària de les temperatures de l'aire sobre la mar és de només 1,9 °C. L'oscil·lació mitjana diària al conjunt dels tres aeroports és de gairebé 9 °C (un valor que no és massa alt comparat amb les fortes oscil·lacions de l'interior del continent).⁸

L'escassa longitud de les sèries de temperatura de l'aire sobre la mar a les boies no permet induir directament les tendències associades al canvi climàtic, però no és molt aventurat suposar que aquestes tendències no estaran massa allunyades de les que es poden calcular amb les dades dels aeroports.

Anàlisi detallada dels darrers anys combinant dades de temperatura de la boia de sa Dragonera i dels tres aeroports de les Illes (2021-2024)

Els estius dels darrers dos anys han estat llargs i molt càlids, sobretot el del 2022 (figura 4), sols igualable a l'estiu de l'any 2003.⁶ Les anomalies d'SST, de temperatura de l'aire sobre la mar i de temperatura sobre la terra són totes positives (és a dir, més altes que la referència) la majoria de mesos, excepte desembre del 2021, gener, març i abril del 2022, i gener

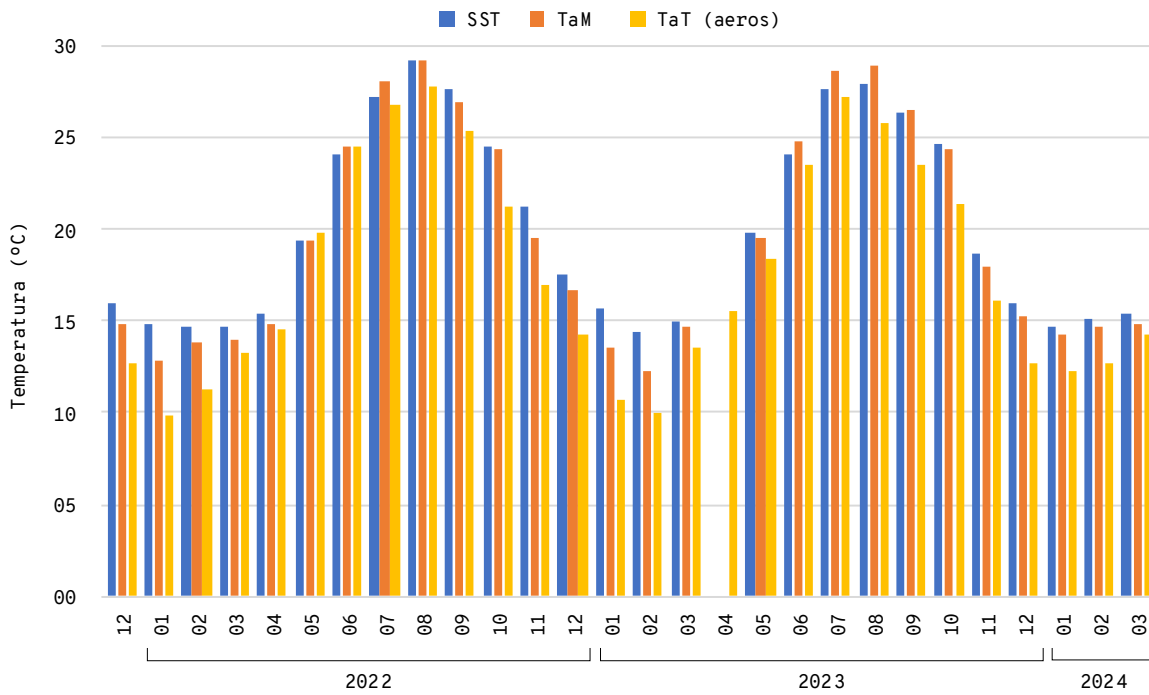


Figura 4. Mitjanes mensuals de la temperatura superficial de la mar (SST), la temperatura de l'aire sobre la mar (TaM) i la temperatura de l'aire sobre la terra (TaT) als tres aeroports de les Illes Balears (aeros) de desembre del 2021 a març del 2024. FONT DE DADES: SST i TaM, Ports de l'Estat (boia de sa Dragonera); TaT, AEMET.

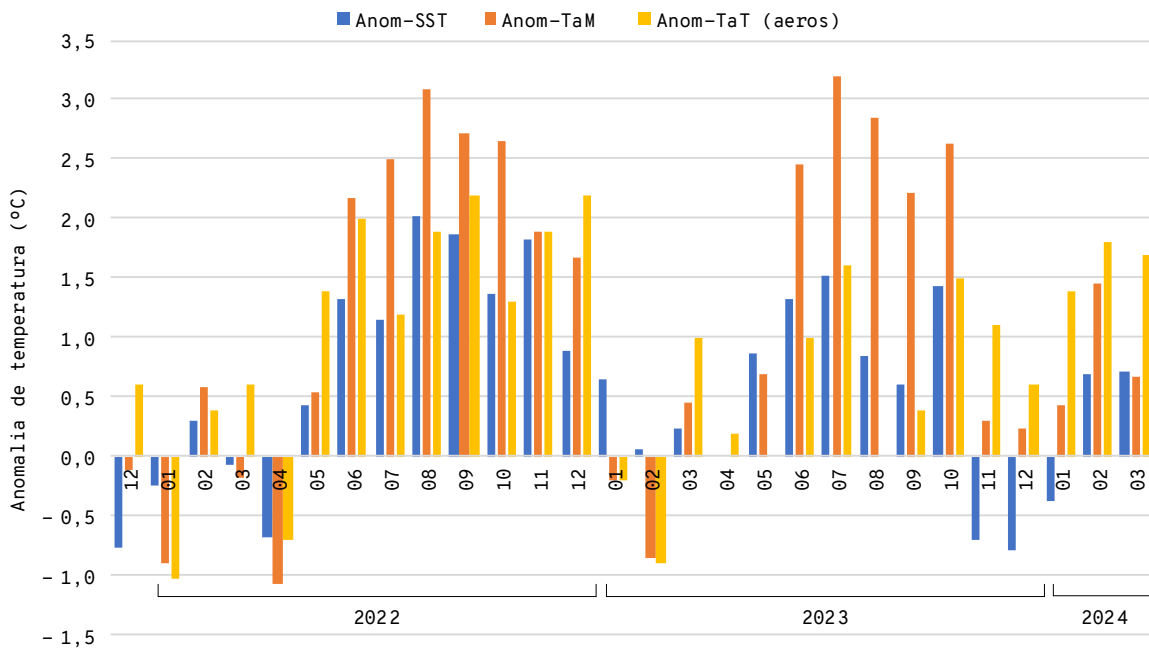


Figura 5. Anomalies de la temperatura superficial de la mar (SST) i de la temperatura de l'aire sobre la mar (TaM) a la boia de sa Dragonera i de la temperatura de l'aire sobre la terra (TaT) als tres aeroports de les Illes Balears (aeros), des de desembre del 2021 fins a març del 2024, calculades respecte de 2009-2020. FONT DE DADES: SST i TaM, Ports de l'Estat (boia de sa Dragonera); TaT, AEMET.

i febrer del 2023 (figura 5). El mesos de novembre i desembre del 2023 i el gener del 2024, l'anomalia d'SST és lleugerament negativa, mentre que les anomalies de temperatura de l'aire sobre la mar i sobre la terra són positives. En conjunt, les temperatures i les anomalies de l'estiu ampliat (maig a octubre) són totes positives i notablement altes. L'estiu del 2023 ha estat llarg i càlid, gairebé tant com ho havia estat l'extraordinari estiu del 2022. L'anomalia de la temperatura de l'aire sobre la mar de juliol del 2023 ha estat lleugerament més alta fins i tot que totes

les anomalies del 2022. Les anomalies positives més grans són, en general, les de la temperatura de l'aire sobre la mar. El juliol i l'agost del 2022 i del 2023 han superat els 3 °C, un valor que es considera molt elevat per a una anomalia mitjana mensual.

La figura 6 mostra els valors mitjans diaris de l'evolució de les anomalies (respecte de 2009-2020) de l'SST i la temperatura de l'aire sobre la mar a la boia de sa Dragonera. Es veu que hi ha un clar paral·lelisme entre unes i altres anomalies: la mar

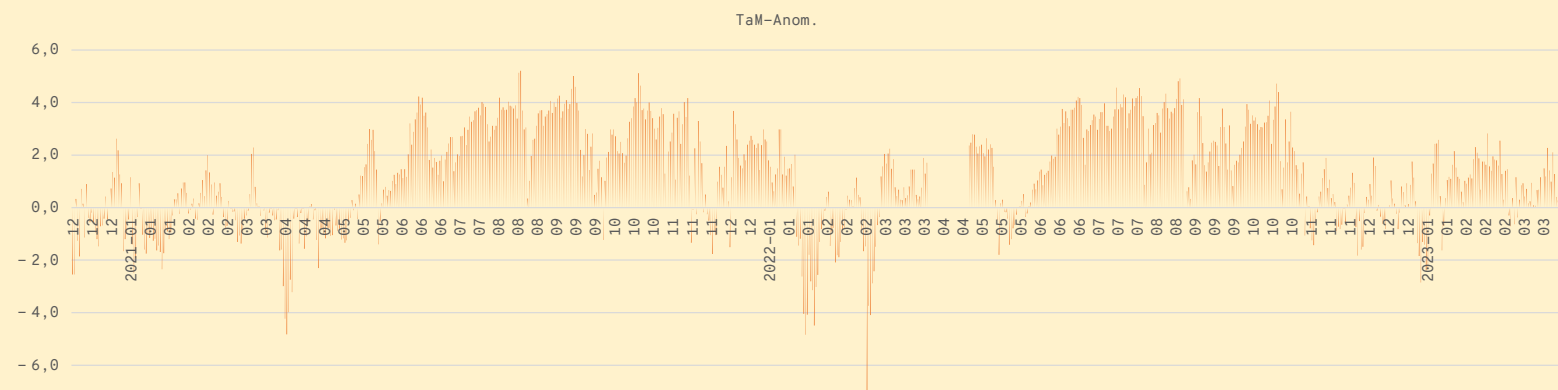
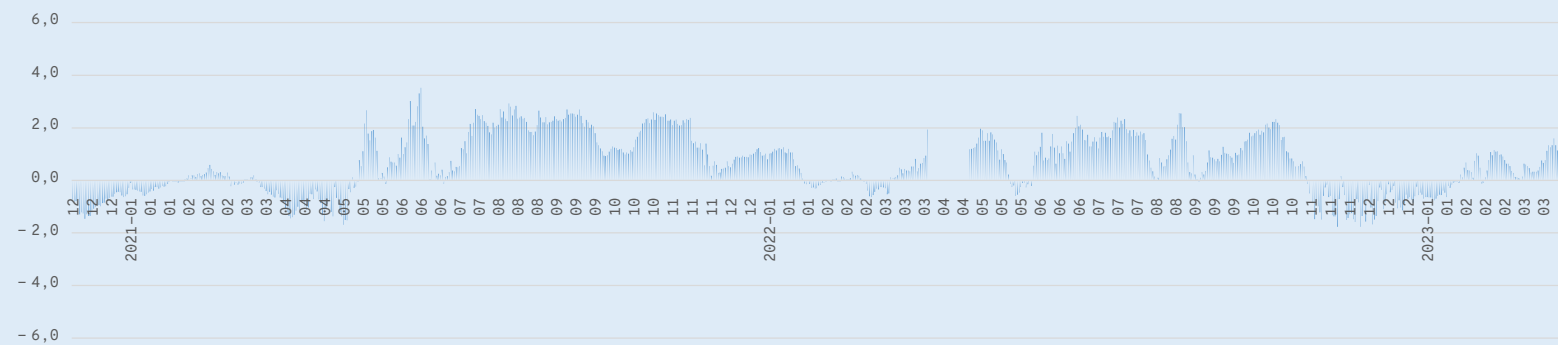


Figura 6. Anomalies diàries, respecte de 2009-2020, de la temperatura de l'aigua (SST) i la temperatura de l'aire sobre l'aigua (TaM) a la boia de sa Dragonera, entre desembre del 2021 i març del 2024. FONT DE DADES: Ports de l'Estat.

(SST) s'escalfa per sobre del que és normal quan ho fa l'aire sobre la mar, i es refreda per sobre del que és normal quan ho fa l'aire. L'amplitud de les anomalies és, no obstant, bastant més forta a l'aire que a l'aigua. Durant els dos darrers llargs i càlids estius (dels anys 2022 i 2023), les anomalies diàries d'SST són de l'ordre dels 2 °C, mentre que les de l'aire es troben entre els 3 i 4 °C. Quan hi ha una irrupció freda, la diferència és més gran: l'aigua es refreda poc o gens, mentre que l'aire es pot refredar molt. Un moment exemplar, en aquest sentit, és la irrupció freda del 27 de febrer del 2023: l'aigua gairebé no la va notar, mentre que l'aire presentava una anomalia de 7 °C.

CONCLUSIONS

- Les tendències observades d'augment de temperatura de l'aire sobre la terra entre 1979 i l'actualitat, calculades als aeroports de les Illes, són de 0,28 °C, molt més que la mitjana global sobre la terra, però molt menys que al continent europeu.
- Les temperatures mitjanes mensuals de l'aire sobre la mar a Maó (anys 1993-2023) oscil·len entre els 7,7-28,0 °C, i a sa Dragonera (anys 2006-2023) entre els 10,5-29,2 °C.
- No s'assoleixen temperatures mitjanes mensuals inferiors a 10,5 °C a la boia de sa Dragonera, que en general registra temperatures mensuals mitjanes més càlides que la boia de Maó (~ 1 °C), possiblement per tenir menys influència del vent de tramuntana, de component nord. El mínim de temperatura de l'aire sobre la mar és de 7,7 °C, que es va assolir a la boia de Maó el febrer de l'any 2012.
- L'agost del 2022 va mostrar temperatures extremes, ja que es van assolir els màxims absoluts de temperatura de l'aire sobre la mar a les boies de Maó i sa Dragonera des que hi ha registres (1993 i 2006, respectivament). Els màxims són de 32,24 °C a Maó i de 33,26 °C a sa Dragonera, uns valors que, no obstant, queden enfora dels màxims absoluts de temperatura de l'aire sobre la terra mesurats als aeroports (~ 40 °C). S'ha de dir que l'estiu del 2023 s'han registrat màxims no massa allunyats del rècord del 2022: el màxim de temperatura de l'aire sobre la mar va assolir els 32,9 °C a sa Dragonera.
- Al juliol de l'any 2023 es varen superar totes les anomalies mitjanes mensuals de la temperatura de l'aire sobre la mar del 2022.
- Els estius del 2022 i del 2023 s'han superat els 3 °C d'anomalies mitjanes mensuals de temperatura de l'aire sobre la mar. Les anomalies mitjanes de la temperatura de la mar han estat d'entre 2 °C (any 2022) i 1,5 °C (any 2023).

REFERÈNCIES

- ¹ <https://climate.copernicus.eu>
- ² JANSÀ, A. (2022, 2023). «Estat del clima a les Illes Balears». [en línia]. <<http://lincc.uib.eu/inici-2/publicacions-recursos/publicacions-del-laboratori-interdisciplinari-sobre-canvi-climatic-2/estat-del-clima-a-les-illes-balears/>>.
- ³ XOPLAKI, E.; GONZÁLEZ-ROUCO, J. F.; LUTERBACHER, J.; WANNER, H. (2003). «Mediterranean summer air temperature variability and its connection to the large-scale atmospheric circulation and SSTs». *Climate Dynamics*, 20(7-8), 723-39.
- ⁴ LÓPEZ-JURADO, J. L.; TINTORÉ, J.; SALAT, J.; MIRALLES, L.; JANSÀ, A. (1982). «A simple model of a water column applied to the deep water formation in Northern Catalan Sea». *Annales Geophysicae*, 5B(2), 55-60.
- ⁵ PORTS DE L'ESTAT. [en línia]. <<https://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>>.
- ⁶ JANSÀ, A. (2022). «Estat del clima a les Illes Balears. Estiu 2022». [en línia]. <<http://lincc.uib.eu/inici-2/publicacions-recursos/publicacions-del-laboratori-interdisciplinari-sobre-canvi-climatic-2/estat-del-clima-a-les-illes-balears/>>.
- ⁷ JANSÀ, A. (1987). «Distribution of the Mistral: A satellite observation». *Meteorology and Atmospheric Physics*, 36(1), 201-14.
- ⁸ JANSÀ, A. (2014). *El clima de les Illes Balears*. Palma: Lleonard Muntaner Editor.

CITAR COM

BARRIENTOS, N.; VAQUER-SUNYER, R.; JANSÀ, A. (2024). «Temperatura de l'aire». A: VAQUER-SUNYER, R.; BARRIENTOS, N.; GOURAGUINE, A. (eds.). *Informe Mar Balear 2024* <https://www.informemarbalear.org/ca/canvi-global/imb-temperatura-aire-cat_2024.pdf>.