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

Temperatura de l'aire sobre la mar

La regió mediterrània s'està escalfant un 20 % més ràpid que la mitjana global, i per a l'any 2040 es preveu un augment de temperatura de 2,2 °C respecte de l'era preindustrial (1850–1900).[1]

Com succeeix amb la temperatura superficial de la mar (vegeu l'indicador «Temperatura de la mar Balear» de l'Informe Mar Balear), 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 augment en les darreres dècades (figura 1). Partint d'aquestes dades, l'escalfament mitjà de l'aire sobre terra a les Illes Balears entre els anys 1979 i 2021 ha estat de 0,25 °C/dècada. Si tenim en compte que l'escalfament global (observatoris terrestres i marins) en el mateix període ha estat de 0,18 °C/dècada, l'escalfament mitjà als tres aeroports de les Balears ha estat gairebé un 40 % superior a l'escalfament global (Agustí Jansà a partir de dades de l'AEMET i de Copernicus).

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 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.[2,3] Per tant, aquest paràmetre també s'utilitza com a indicador de canvi global, ja que pot afectar la biodiversitat i els hàbitats marins, amb conseqüències negatives en l'economia i els mitjans de vida humana.

La cessió 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 significatives entre precipitació intensa i anomalies tèrmiques de l'SST.

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

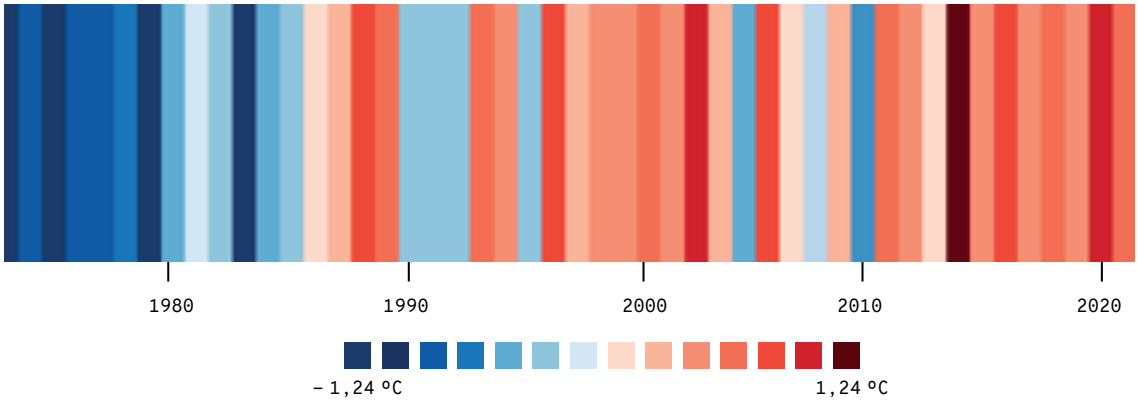


Figura 1. Gràfic de ratlles climàtiques (*climate stripes*) que visibilitza les anomalies anuals de temperatura causades pel canvi global entre els anys 1973–2021. Les anomalies es calculen respecte de 1973–2021, i es basen en la mitjana dels valors de temperatura capturats als aeroports de Menorca, Palma i Eivissa. S'observa una tendència a l'escalfament (colors vermells) amb el pas dels anys. L'escala de color varia entre – 1,24 i 1,24 °C. Font: AEMET, A. Jansà (2022).[2] Imatge: D. Argüeso (UIB).

QUÈ ÉS?

És un indicador climàtic de canvi global en el qual es reflecteix la interacció de temperatures aire-mar, ja que entre aquests dos medis es produeix un intercanvi de calor.

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 de l'aire sobre la mar i entendre millor la seva interacció amb la temperatura superficial de la mar. Això permetrà ampliar el coneixement dels mecanismes que regeixen el canvi global a les Balears.

METODOLOGIA

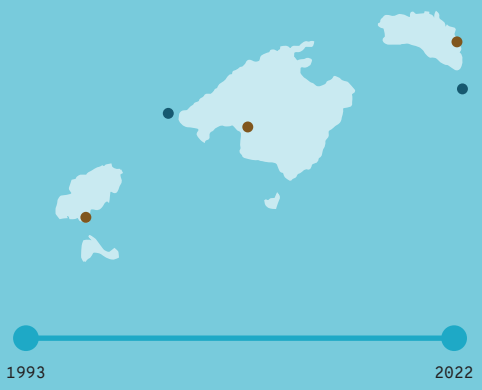
Les mesures de temperatura de l'aire es realitzen a través de sensors instal·lats en boies oceanogràfiques que floten en estacions fixes, a 3 m de la superfície de l'aigua. La precisió de les temperatures recollides pels sensors és de 0,01 °C. Les dades han estat facilitades per Ports de l'Estat a partir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

→ 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.

Addicionalment 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 terra dels tres aeroports internacionals de les Balears (Palma, Maó i Eivissa) procedents de l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMET) entre els anys 2006 i 2020.

LOCALITZACIÓ



RESULTATS

Les temperatures mitjanes mensuals de l'aire sobre la mar varien entre 7,7-28,03 °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 han estat extraordinàries tant a 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.

Entre els anys 2006-2020, a la boia de sa Dragonera la temperatura superficial de la mar és ~ 1 °C més càlida que la temperatura de l'aire del mateix punt durant la major part de l'any (excepte per primavera, quan s'igualen temperatures); per tant, la mar es troba en general en condicions de cedir calor a l'aire. El juliol i l'agost del 2022, la temperatura mitjana de l'aire sobre la mar assoleix els valors de l'SST (29 °C), un fet que no succeïa els estius anteriors.

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.

METODOLOGIA

Les dades de la temperatura de l'aire sobre el nivell de 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 (http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx):

→ (i) Boia de Maó (latitud 39,71° N, longitud 4,42° E): dades des de l'any 1993, ancorada a 300 m de profunditat.

→ (ii) 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 deu minuts. La col·lecta de dades es complementa amb un control de qualitat de tots els equips de mesura, el qual 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.

Addicionalment 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 terra de les estacions terrestres als aeroports de les Balears procedents de l'AEMET, recollides entre 2009 i 2022. 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 extraordinàries de l'estiu del 2022 i es comparen amb les temperatures mensuals mitjanes entre els anys 2006-2020 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 2006-2020 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 2006-2022) i entre 7,7-28,03 °C a Maó (anys 1993-2022).

L'agost del 2022 s'han enregistrat els màxims de temperatura des que hi ha registre a ambdues boies: 33,26 °C a sa Dragonera i 32,25 °C a Maó. Per tant, les elevades temperatures de l'estiu del 2022 es consideren extraordinàries a la mar Balear, només igualables a les de l'estiu de l'any 2003 (Jansà, 2022)[5] —se'n detalla més informació en la darrera part dels resultats.

No s'obtenen valors mitjans inferiors a 10 °C en la boia de sa Dragonera; en canvi, en la 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 més elevades que la de Maó (~ 1 °C). Això pot ser causat pel fet que Menorca queda dins l'àmbit geogràfic del vent de component nord (tramuntana), essent el màxim responsable de refredar la mar a la Mediterrània occidental.[2, 6, 7] 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.

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 terra als aeroports de les Illes Balears és inferior a les temperatures de l'aigua a la boia de sa Dragonera. La diferència entre la temperatura de l'aire sobre 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 de l'aire sobre terra entre els mesos de maig a agost.

El refredament nocturn de les Illes és la causa principal que les temperatures mitjanes sobre terra siguin més baixes que les de l'aire sobre la mar la major 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 canvi de signe. Vist d'una altra manera: l'oscil·lació mitjana diària de les temperatures de l'aire sobre l'aigua 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).[7]

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.

L'extraordinari estiu de l'any 2022

L'estiu del 2022, llarg i molt càlid —sols igualable a l'estiu de l'any 2003—[5] té un interès particular, ja que si atenem el clima passat conegut, podria

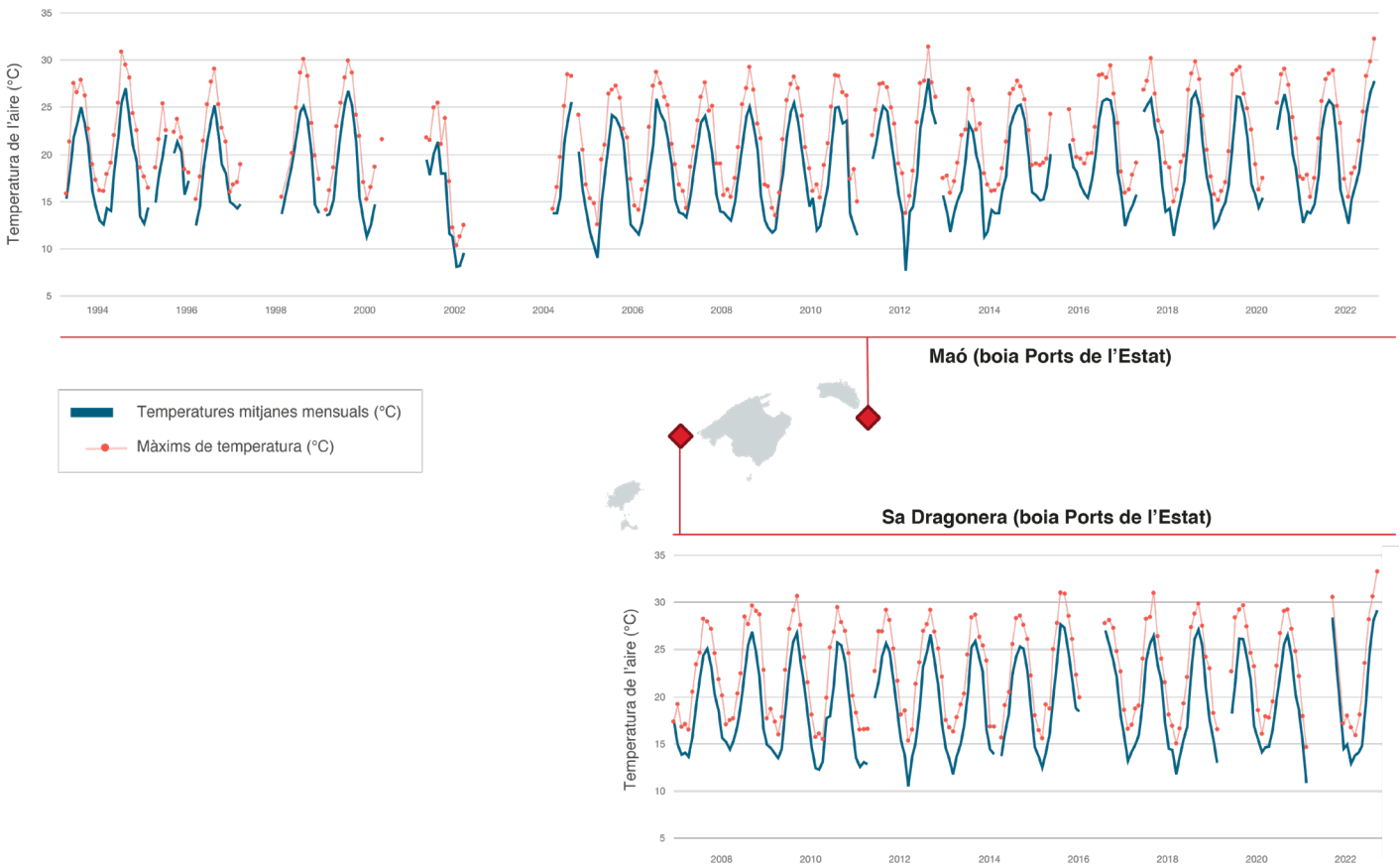


Figura 2. Seguiment històric de la temperatura de l'aire a 3 m sobre l'aigua registrat per les boies de Ports de l'Estat de Maó (superior) i de sa Dragonera (inferior). FONT: Ports de l'Estat.

ser cada vegada més normal a mesura que el canvi climàtic escalfa les temperatures (figura 4).

L'hivern del 2022 va ser relativament normal, amb temperatures habituals: temperatures de l'aire sobre terra molt més baixes que les de l'aire sobre la mar, que, per la seva part, són més baixes que la temperatura de la mar. No hi ha grans diferències entre les temperatures mitjanes entre 2006-2020 i les corresponents del 2022.

Per la primavera i fins al mes de maig, les temperatures mitjanes entre 2006-2020 i les del 2022 tenen valors similars. El maig comença la separació de les temperatures mitjanes entre 2006-2020 i les del 2022, i les d'aquest darrer any augmenten el mes de juny. El maig i el juny, les SST i la temperatura de l'aire de la boia de sa Dragonera i les temperatures dels tres aeroports van molt juntes. El juliol i, sobretot, l'agost, augmenta el creixement de l'SST i de la temperatura de l'aire sobre la mar, que segueixen juntes (~ 29 °C), mentre que la temperatura de l'aire sobre terra (aeroports) modera el creixement i es separa de les altres dues (~ 27,7 °C). Pel que fa a les temperatures mitjanes, les temperatures de la mar i de l'aire sobre la mar van juntes i han estat més càlides que les de l'aire sobre terra. La principal diferència amb els estius anteriors radica en què la temperatura mitjana de l'aire sobre la mar no assolia els valors de l'SST, un fet que sí succeeix el juliol i l'agost del 2022 (figures 3 i 4).

Finalment, pel que fa a les temperatures dels aeroports, el d'Eivissa ha assolit el rècord absolut anual l'agost del 2022 amb 41 °C, seguit del de Palma amb 39,4 °C (no és rècord, tot i que també és molt alta comparada amb els màxims de temperatura de l'aire sobre la mar) i el de Menorca amb 39 °C (la més alta registrada per agost).[8]

CONCLUSIONS

→ Les tendències observades d'augment de temperatura de l'aire sobre terra entre els anys setanta i l'actualitat per a les Illes Balears són d'entre 0,2-0,3 °C/dècada.[1]

→ Les temperatures mitjanes mensuals de l'aire sobre la mar a Maó (anys 1993-2022) oscil·len entre 7,7-28,03 °C, i a sa Dragonera (anys 2006-2022) entre 10,5-29,2 °C.

→ L'agost del 2022 mostra temperatures extremes, ja que s'han assolit 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 32,25 °C a Maó i de 33,26 °C a sa Dragonera, uns valors que queden enfora dels màxims absoluts de temperatura de l'aire sobre terra mesurats als aeroports (~ 40 °C).

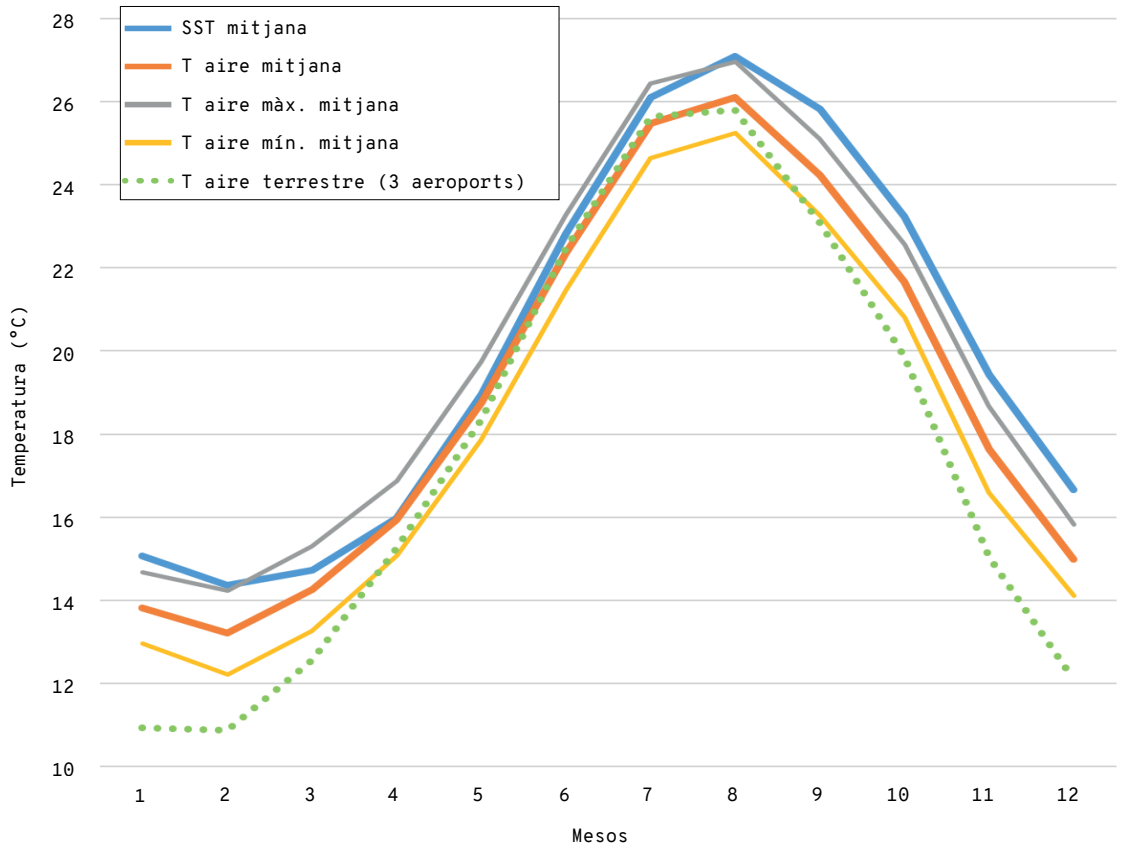


Figura 3. Temperatura mensual mitjana de l'aigua (SST, línia blava) i de l'aire (T aire, línia taronja) amb valors màxims (màx., línia gris) i mínims (mín., línia groga) de la boia de sa Dragonera entre els anys 2006-2020. La línia de punts fa referència a la mitjana de la temperatura de l'aire als tres aeroports de les Balears per al mateix període. FONT: Ports de l'Estat, AEMET. FIGURA: Agustí Jansà (2020, comunicació personal no publicada).

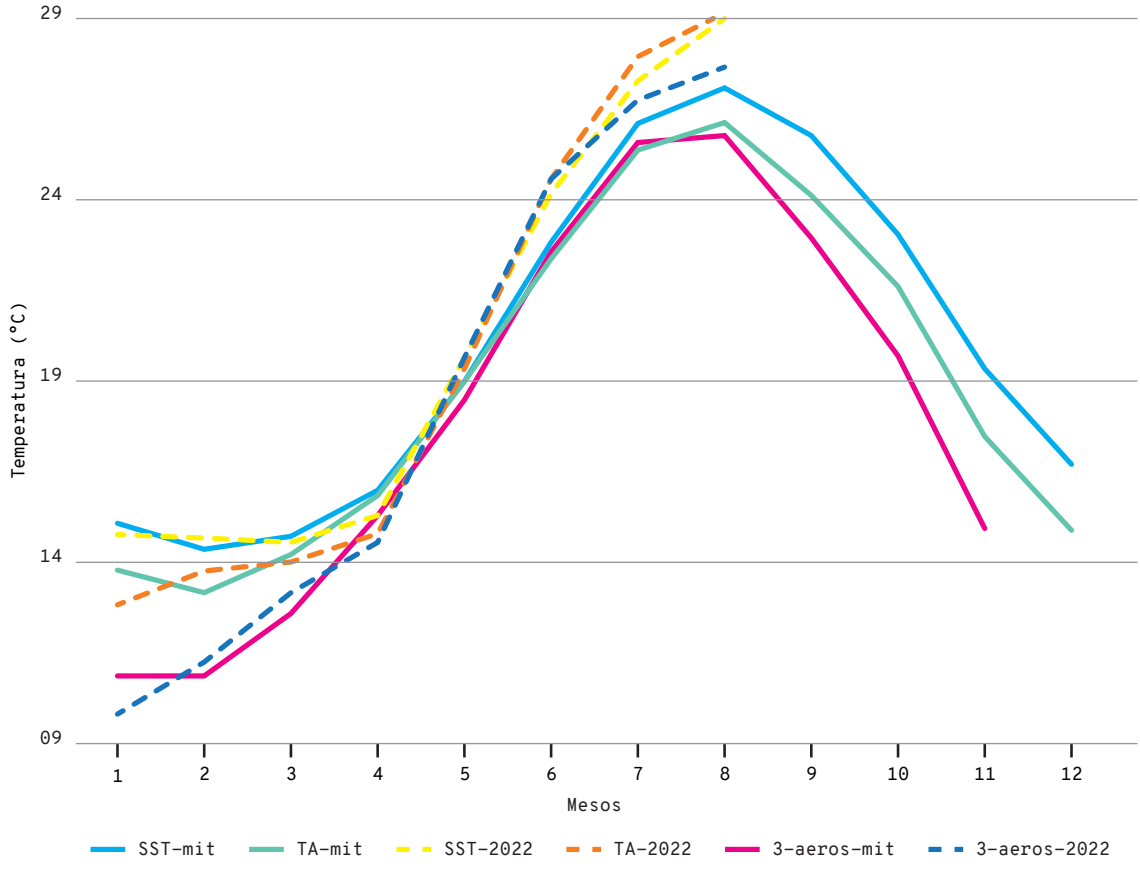


Figura 4. Temperatures mensuals mitjanes entre els anys 2006-2020 (rang d'anys emprats com a referència climàtica) de temperatura de la mar a la boia de sa Dragonera (SST), de l'aire sobre la mar a la boia de sa Dragonera (TA) i de l'aire sobre terra als tres aeroports (3-aeros), i marxa de les mateixes variables l'any 2022, de gener a agost. FONT: Agustí Jansà (2022, comunicació personal no publicada).

→ A la boia de sa Dragonera:

- No s'assoleixen temperatures mitjanes mensuals ≤ 10 °C i en general registra temperatures mitjanes de l'aire 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 i es va assolir a la boia de Maó al febrer de l'any 2012.

- Entre 2006-2020, la comparació de l'SST amb la temperatura de l'aire sobre la mar mostra que aquesta és més baixa (~ 1 °C) durant gairebé tot l'any, excepte per abril i maig, quan s'igualen els valors. La temperatura de l'aire sobre terra és menor a l'SST durant tot l'any, assolint fins a 4 °C de diferència a l'hivern. La temperatura de l'aire sobre la mar és superior a la terrestre (al voltant d'1-3 °C) excepte els mesos de maig a agost, quan s'igualen.

- L'estiu del 2022, la temperatura mitjana mensual de l'aire sobre la mar assoleix i supera els valors de l'SST —un fet que no es registra entre 2006-2020—, arribant ambdues temperatures fins als 29 °C de mitjana.

REFERÈNCIES

[1] MEDECC (2020). «Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report». Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP-MAP.

[2] JANSÀ, A. (2022). «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] 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.

[4] XOPLAKI, E. *et al.* (2003). «Mediterranean summer air temperature variability and its connection to the large-scale atmospheric circulation and SSTs». *Climate Dynamics*, 20(7-8), 723-39.

[5] JANSÀ, A. (2022). «Estat del clima a les Illes Balears. Estiu 2022» [en línia]. <http://lincc.uib.eu/estat-del-clima-a-les-illes-balears-estiu-2022/>.

[6] JANSÀ, A. (1987). «Distribution of the Mistral: A satellite observation». *Meteorology and Atmospheric Physics*, 36(1), 201-14. https://doi.org/10.1007/BF01045149.

[7] JANSÀ, A. (2014). *El clima de les Illes Balears.* Palma: Lleonard Muntaner Editor.

[8] AEMET (2022). «Valores extremos. Illes Balears» [en línia]. <https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/efemerides_extremos?w=0&k=bal&datos=img>.

CITAR COM

BARRIENTOS, N.; VAQUER-SUNYER, R.; JANSÀ, A. (2022). «Temperatura de l'aire sobre la mar». A: Vaquer-Sunyer, R.; Barrientos, N. (ed.). *Informe Mar Balear 2022* <https://informemarbalear.org/ca/canvi-global/imb-temperatura-aire-cat.pdf>.