

En la elaboración de este capítulo han participado:
Natalia Barrientos, Raquel Vaquer-Sunyer y Agustí Jansà.

Temperatura del aire

1. Sobre el mar

2. Sobre la tierra

La región mediterránea, y concretamente el mar Balear, se está calentando más rápidamente que la media global, pero más lentamente que el conjunto del continente europeo. Como sucede con la temperatura superficial del mar, las series históricas de temperatura del aire medidas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) en los tres aeropuertos internacionales de las Illes Balears (Palma, Maó e Ibiza) están mostrando un importante aumento en las últimas décadas (Figura 1).

Partiendo de estos datos, el calentamiento medio del aire sobre la tierra en las Illes Balears entre los años 1979 y 2023 ha sido de 0,28 °C/década. El calentamiento planetario global, en el mismo período 1979-2023, ha sido de 0,18 °C/década, según datos basados en el reanálisis ERA5, obtenidos de Copernicus C3S/ECMWF¹ elaborados por Agustí Jansà. Así que el calentamiento medio en los tres aeropuertos de las Balears (temperatura del aire sobre la tierra) ha sido un 55 % superior al calentamiento global.² Como contraste, el calentamiento conjunto del continente europeo ha sido de 0,42 °C/década, un 50 % mayor que el calentamiento del aire sobre la tierra en las Illes Balears.

La temperatura del aire sobre el mar se aproxima más a la temperatura superficial del agua del mar (a partir de ahora SST, siglas en inglés de Sea Surface

Temperature) que a la temperatura del aire sobre la tierra, pero las advecciones vivas de aire frío o de aire cálido pueden permitir diferencias muy importantes entre la SST y la temperatura del aire a 3 m sobre la superficie del agua marina.

La diferencia de temperatura entre el aire y el mar es un factor importante del intercambio de calor entre los dos medios; pero no es el único, ya que el viento es el gran mecanismo enfriador del mar —por evaporación—, hasta convertirse en un factor clave de la formación de agua profunda en el norte de las Balears.¹

Las variaciones en los flujos de calor aire-mar —asociados a diferencias de temperatura aire-agua, pero también a la evaporación por viento— pueden tener impactos de escala global a través de cambios en la circulación atmosférica y oceánica.^{3,4}

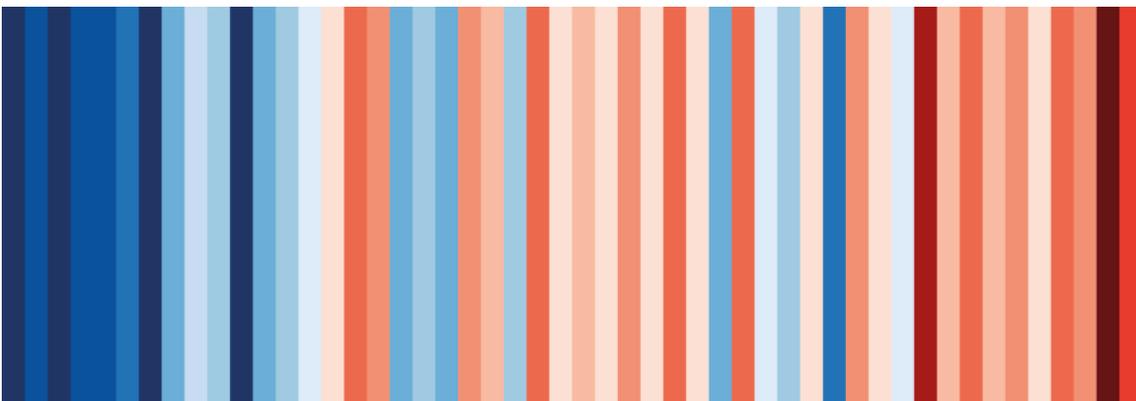


Figura 1. Gráfico de rayas climáticas (*climate stripes*) que visibiliza las anomalías anuales de temperatura causadas por el cambio global entre los años 1974-2023. Las anomalías se calculan respecto a 1974-2023, y se basan en la media de los valores de temperatura capturados en los aeropuertos de Maó, Palma e Ibiza. Se observa una tendencia al calentamiento (colores rojos) con el paso de los años. Los extremos de la anomalía son -1,24 y 1,46 °C. FUENTE DE DATOS: AEMET. ELABORACIÓN: A. Jansà y D. Argüeso (UIB).

¿QUÉ ES?

Es un indicador climático de cambio global en el que se refleja la interacción de temperaturas aire-mar, ya que entre estos dos medios se produce un intercambio de calor. También se incluye la temperatura terrestre de las Illes Balears para tener una comparativa de los cambios de temperatura entre mar, aire y tierra.

METODOLOGÍA

Las mediciones de temperatura del aire se realizan a través de sensores instalados en boyas oceanográficas que flotan en estaciones fijas, a 3 m de la superficie del agua (ver imagen). La precisión de las temperaturas recogidas por los sensores es de 0,01 °C. Los datos han sido facilitados por Puertos del Estado a partir de las dos boyas siguientes:

- Boya de Maó (latitud 39,71° N, longitud 4,42° E): fondeada a 300 metros de profundidad.
- Boya de Sa Dragonera (latitud 39,56° N, longitud 2,10° E): fondeada a 141 m de profundidad.

Adicionalmente se comparan temperaturas de la boya de Sa Dragonera —tanto del aire como superficial del agua (datos cedidos por Puertos del Estado)— con temperaturas medias del aire sobre la tierra de los tres aeropuertos internacionales de las Baleares (Palma, Maó e Ibiza) procedentes de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

RESULTADOS

Las temperaturas medias mensuales del aire sobre el mar varían entre 7,7-28 °C en Maó y 10,5-29,2 °C en Sa Dragonera. La boya de Sa Dragonera recoge temperaturas más cálidas que la de Maó, posiblemente a causa de una interacción menor con los vientos fríos de componente norte (tramontana), responsables de enfriar el mar.

Las temperaturas del verano de 2022 fueron extraordinarias tanto en la tierra como en el aire sobre el mar, alcanzando máximos en agosto de hasta 41 °C en el aeropuerto de Ibiza, de 33,3 °C en la boya de Sa Dragonera y de 32,3 °C en la boya de Maó.

El verano del año 2023 ha sido casi tan largo y cálido como lo fue el extraordinario verano del 2022. El máximo valor alcanzado de temperatura del aire sobre el mar fue de 32,9 °C en la boya de Sa Dragonera.

En julio de 2023 la anomalía media mensual de la temperatura del aire sobre el mar superó todas las anomalías del año 2022.

Durante los meses de julio y agosto de 2022 y de 2023 se han alcanzado valores muy elevados de anomalía media mensual de temperatura del aire sobre el mar, que han superado los 3 °C; las anomalías de la temperatura del mar se han situado cerca de los 2 °C (año 2022) y de 1,5 °C (año 2023).

¿POR QUÉ?

Series históricas de temperatura del aire medidas en estaciones terrestres de las Illes Balears están mostrando un aumento en las últimas décadas. Es necesario disponer de un seguimiento temporal de las variables climáticas de temperatura y entender mejor la interacción entre mar, aire y tierra. Ello permitirá ampliar el conocimiento de los mecanismos que rigen el cambio global en las Baleares.

LOCALIZACIÓN



Imagen de una boya WaveScan de Puertos del Estado utilizada para medir variables oceanográficas y de temperatura del aire sobre el mar a 3 m sobre el agua. FUENTE: Puertos del Estado.

Por tanto, este parámetro también se utiliza como indicador de cambio global, ya que puede afectar a la biodiversidad y a los hábitats marinos y, por tanto, derivar en consecuencias socioeconómicas negativas.

La cesión de calor y humedad del mar al aire es un factor que, a su vez, puede favorecer precipitaciones intensas en el Mediterráneo, aunque no es el único y no se encuentran correlaciones demasiado significativas entre precipitación intensa y anomalías térmicas de la SST.

Por tanto, existe una necesidad de entender mejor los mecanismos de cambio de temperatura del aire sobre el mar y de disponer de un seguimiento sobre la temperatura del aire y la SST que contribuya a mejorar el conocimiento sobre el cambio global en las Balears.

METODOLOGÍA

Los datos de la temperatura del aire sobre el mar se miden directamente mediante sensores fijados en boyas que flotan en estaciones fijas. Las mediciones se realizan a 3 m sobre la superficie del agua. Las boyas se fondean lejos de la línea de costa para evitar posibles efectos locales.

Los datos de la temperatura del aire sobre el mar provienen de dos boyas WaveScan gestionadas por Puertos del Estado y se han descargado de su página web de oceanografía:⁵

→ Boya de Maó (latitud 39,71° N, longitud 4,42° E): datos desde 1993, fondeada a 300 m de profundidad.

→ Boya de Sa Dragonera (latitud 39,56° N, longitud 2,10° E): datos desde 2006, fondeada a 141 m de profundidad.

Cada boya genera internamente valores promedio que son transmitidos en tiempo real vía satélite. Cada dato se calcula como medida instantánea en periodos de 10 minutos. La colecta de datos se complementa con un control de calidad de todos los equipos de medida, que indica valores anómalos o de variabilidad. Los datos utilizados en las gráficas son únicamente los valores aceptables —i. e. los que cumplen un control de calidad = 1, 2 y 3—. El sensor utilizado es Seabird 37-SIP y la precisión de temperatura es de 0,01 °C.

Adicionalmente se comparan datos de la boya de Sa Dragonera —tanto de temperatura del aire como de SST— con datos de temperatura media del aire sobre la tierra, en las estaciones terrestres de los aeropuertos de las Balears procedentes de la AEMET, recogidos entre 2009 y 2023. Estos datos han sido procesados para convertirlos en medias mensuales de temperatura, facilitando así la interpretación de las tendencias.

Finalmente, se muestran en detalle las temperaturas de los últimos años (diciembre de 2021-marzo de 2024). Se comparan con las temperaturas mensuales medias entre los años 2009-2020 de la boya de Sa

Dragonera (aire y mar) y las temperaturas de los aeropuertos de las Illes Balears (terrestres). Por tanto, las temperaturas del rango de años 2009-2020 son las empleadas como referencia climática.

RESULTADOS

La temperatura del aire sobre el mar Balear, obtenida mediante boyas, muestra ciclos de variación anuales (Figura 2). Las medias mensuales oscilan entre 10,5-29,2 °C en Sa Dragonera (años 2006-2023) y entre 7,7-28,03 °C en Maó (años 1993-2023).

En agosto de 2022 se registraron los máximos de temperatura desde que hay registro en ambas boyas: 33,26 °C en Sa Dragonera y 32,24 °C en Maó. Las elevadas temperaturas del verano de 2022 se consideraron extraordinarias en el mar Balear, solo igualables, hasta entonces, a las del verano del año 2003 (Jansà, 2022)⁶. Cabe decir que en el verano de 2023 las temperaturas del aire sobre el agua han vuelto a ser muy altas, con un máximo de 32,9 °C registrado en Sa Dragonera. En cuanto a los mínimos, no se obtienen valores medios inferiores a 10,5 °C en Sa Dragonera; en cambio, en la boya de Maó se registran en dos ocasiones: 8,12 °C en enero de 2002 y 7,68 °C en febrero de 2012.

En general, la boya de Sa Dragonera alcanza temperaturas medias mensuales de 1,1 °C más elevadas que la de Maó. Ello puede ser causado por el hecho de que Menorca queda dentro del ámbito geográfico del viento de componente norte (tramontana), que es el máximo responsable de enfriar el mar en el Mediterráneo occidental.^{4,7,8} El enfriamiento del mar puede contribuir a enfriar el aire, aunque en el caso de la tramontana la propia advección fría supone un enfriamiento directo del aire y Sa Dragonera queda habitualmente fuera de este ámbito.

Considerando todo el período 2006-2020, en la boya de Sa Dragonera durante casi todo el año se observa que la temperatura media del aire sobre el mar es más baja que la temperatura del agua, excepto en los meses de abril y mayo, cuando ambas temperaturas se igualan (Figura 3). Por tanto, la mayor parte del año el mar se encuentra en condiciones de ceder calor al aire. Mucho más difícil es que el aire caliente el agua.

Durante todo el año, la temperatura media del aire sobre la tierra en los aeropuertos de las Illes Balears es inferior a las SST y a la temperatura del aire sobre el mar en la boya de Sa Dragonera. La diferencia entre la temperatura del aire sobre la tierra y la SST alcanza los 4 °C en los meses de invierno. Al contrario, la temperatura del aire sobre el mar llega a igualar la temperatura sobre la tierra entre los meses de mayo a agosto.

El enfriamiento nocturno de las Illes Balears es la causa principal de que las temperaturas sobre la tierra sean más bajas que las temperaturas del aire sobre el mar durante la mayor parte del año. El calentamiento diurno llega a compensar el en-

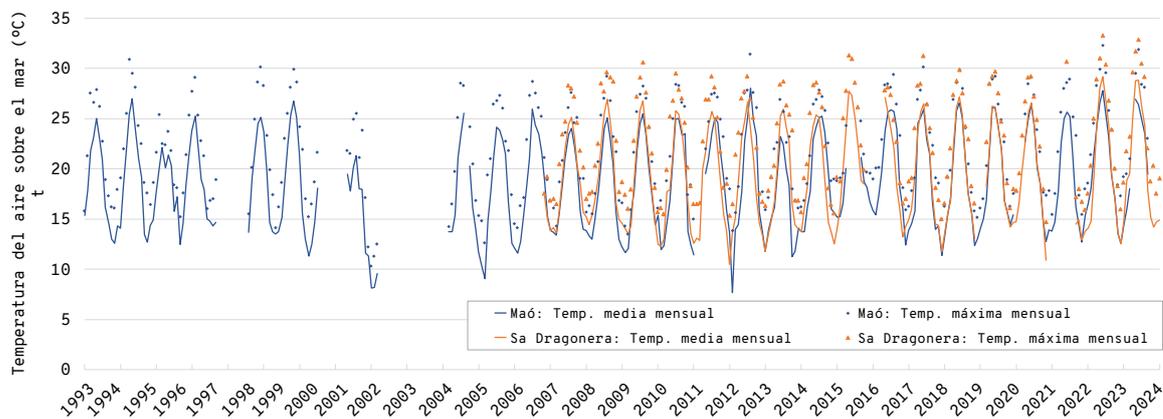


Figura 2. Seguimiento histórico de la temperatura del aire a 3 m sobre el agua registrada por las boyas de Puertos del Estado de Maó y de sa Dragonera. FUENTE: Puertos del Estado.

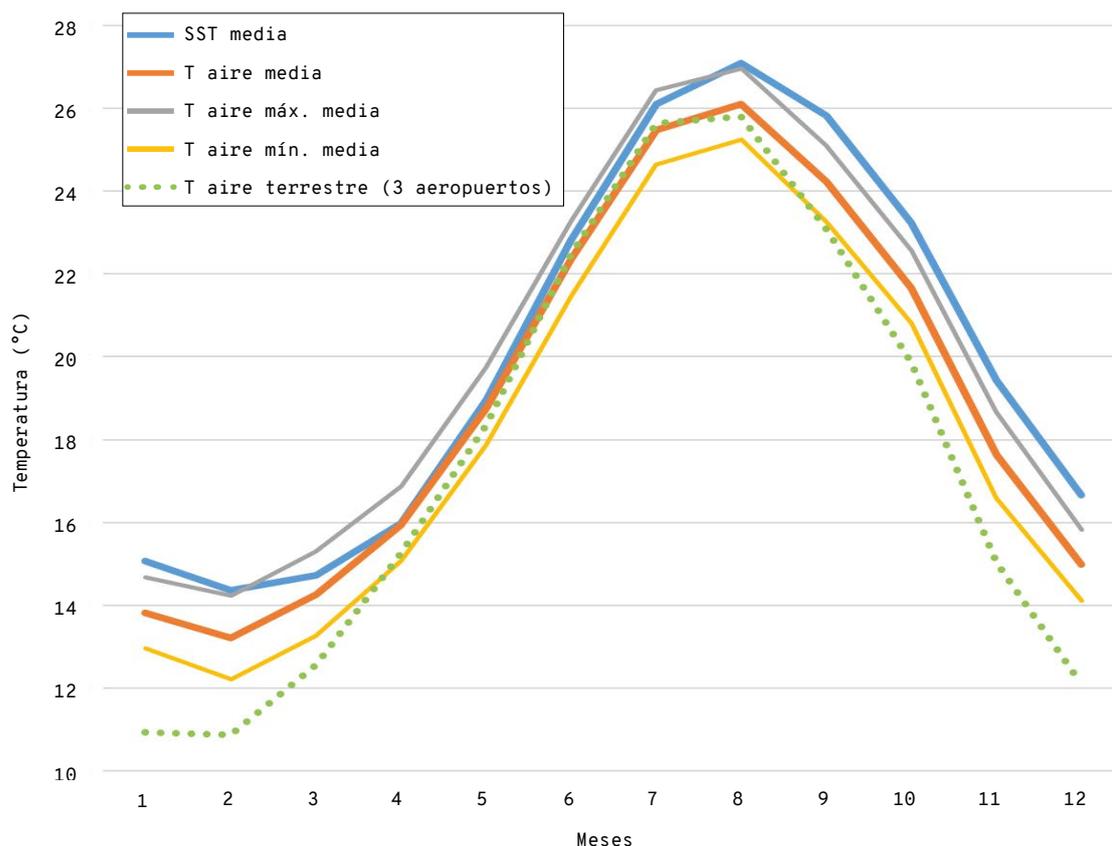


Figura 3. Temperatura mensual media del agua (SST, línea azul) y del aire (T aire, línea naranja) con valores máximos (máx., línea gris) y mínimos (mín., línea amarilla) de la boya de Sa Dragonera entre los años 2006–2020. La línea de puntos hace referencia a la media de la temperatura del aire en los tres aeropuertos de las Balears para el mismo período. FUENTE DE DATOS: Puertos del Estado, AEMET. ELABORACIÓN: Agustí Jansà.

friamiento nocturno durante los meses de mayor radiación solar y noches más cortas, pero no llega a producirse un cambio de signo. Visto de otro modo: la oscilación media diaria de las temperaturas del aire sobre el mar es de solo 1,9 °C. La oscilación media diaria en el conjunto de los tres aeropuertos es de casi 9 °C (un valor que no es demasiado alto comparado con las fuertes oscilaciones del interior del continente).⁸

La escasa longitud de las series de temperatura del aire sobre el mar en las boyas no permite inducir directamente las tendencias asociadas al cambio climático, pero no es muy aventurado suponer que esas tendencias no estarán muy apartadas de las que se pueden calcular con los datos de los aeropuertos.

Análisis detallado de los últimos años combinando datos de temperatura de la boya de Sa Dragonera y de los tres aeropuertos de las Illes Balears (2021–2024)

Los veranos de los últimos dos años han sido largos y muy cálidos, sobre todo el de 2022 (Figura 4), solo igualable al verano del año 2003.⁶ Las anomalías de SST, de temperatura del aire sobre el mar y de temperatura sobre la tierra son todas positivas (es decir, más altas que la referencia) la mayoría de los meses, excepto en diciembre de 2021, enero, marzo y abril de 2022, y enero y febrero de 2023 (Figura

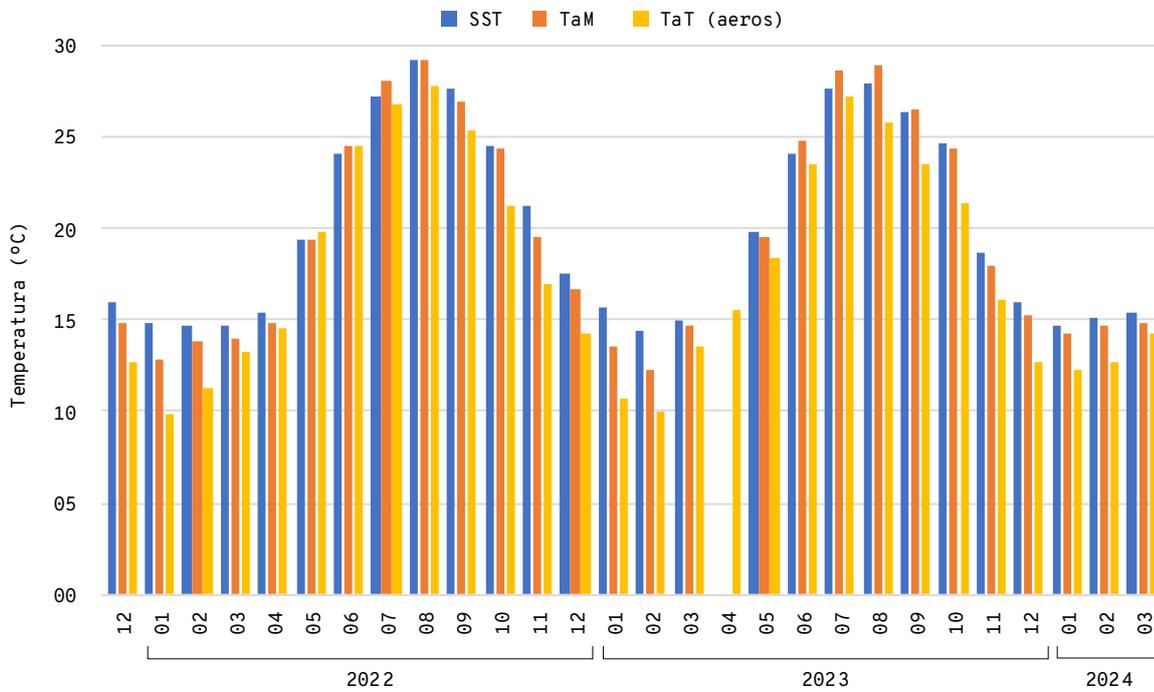


Figura 4. Medias mensuales de la temperatura superficial del mar (SST), de la temperatura del aire sobre el mar (TaM) y de la temperatura del aire sobre la tierra (TaT) en los tres aeropuertos de las Illes Balears (aeros) de diciembre de 2021 a marzo de 2024. FUENTE DE DATOS: SST y TaM, Puertos del Estado (boya de Sa Dragonera); TaT, AEMET.

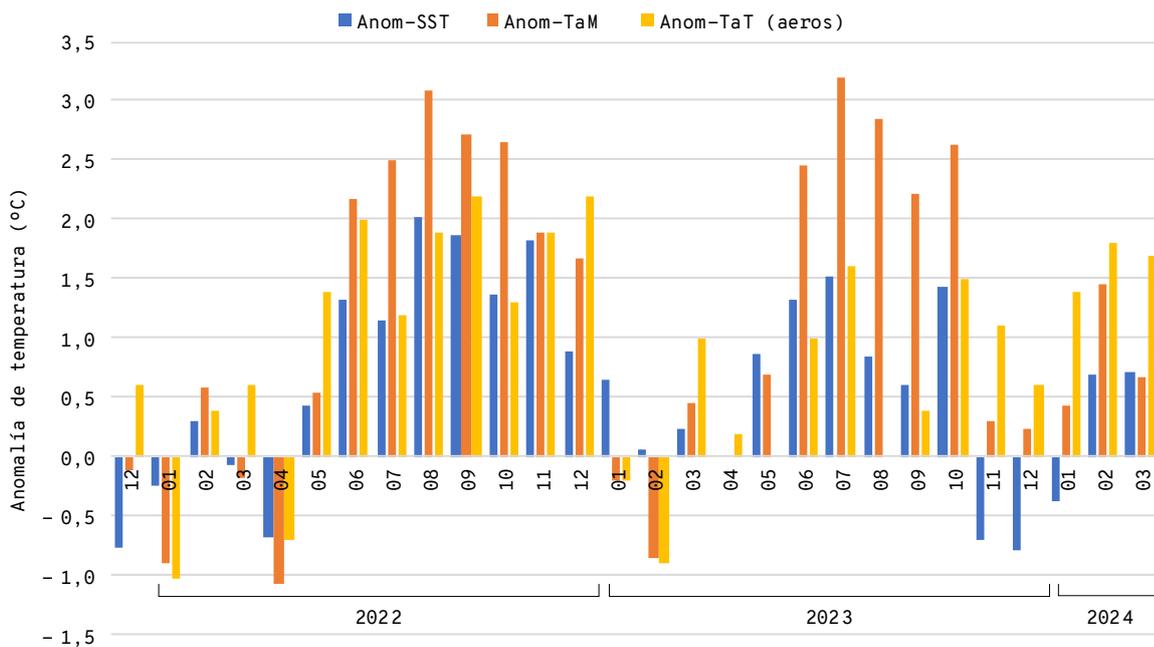


Figura 5. Anomalías de la temperatura superficial del mar (SST) y de la temperatura del aire sobre el mar (TaM) en la boya de Sa Dragonera y de la temperatura del aire sobre la tierra (TaT) en los tres aeropuertos de las Illes Balears (aeros), desde diciembre de 2021 a marzo de 2024, calculadas respecto a 2009-2020. FUENTE DE DATOS: SST y TaM, Puertos del Estado (boya de Sa Dragonera); TaT, AEMET.

5). Los meses de noviembre y diciembre de 2023 y enero de 2024, la anomalía de SST es ligeramente negativa, mientras que las anomalías de temperatura del aire sobre el mar y sobre la tierra son positivas. En conjunto, las temperaturas y las anomalías del verano ampliado (mayo a octubre) son todas positivas y notablemente altas. El verano de 2023 ha sido largo y cálido, casi tanto como lo fue el extraordinario verano de 2022. La anomalía de la temperatura del aire sobre el mar de julio de 2023 ha sido ligeramente más alta incluso que todas las anomalías de 2022. Las mayores anomalías positivas son, en general, las

de la temperatura del aire sobre el mar. Los meses de julio y agosto de 2022 y de 2023 han superado los 3 °C, un valor que se considera muy elevado para una anomalía media mensual.

La Figura 6 muestra los valores medios diarios de la evolución de las anomalías (respecto a 2009-2020) de la SST y la temperatura del aire sobre el mar en la boya de Sa Dragonera. Parece que hay un claro paralelismo entre unas y otras anomalías: el mar (SST) se calienta por encima de lo que es normal cuando lo hace el aire sobre el mar, y se enfría por encima de lo que es normal

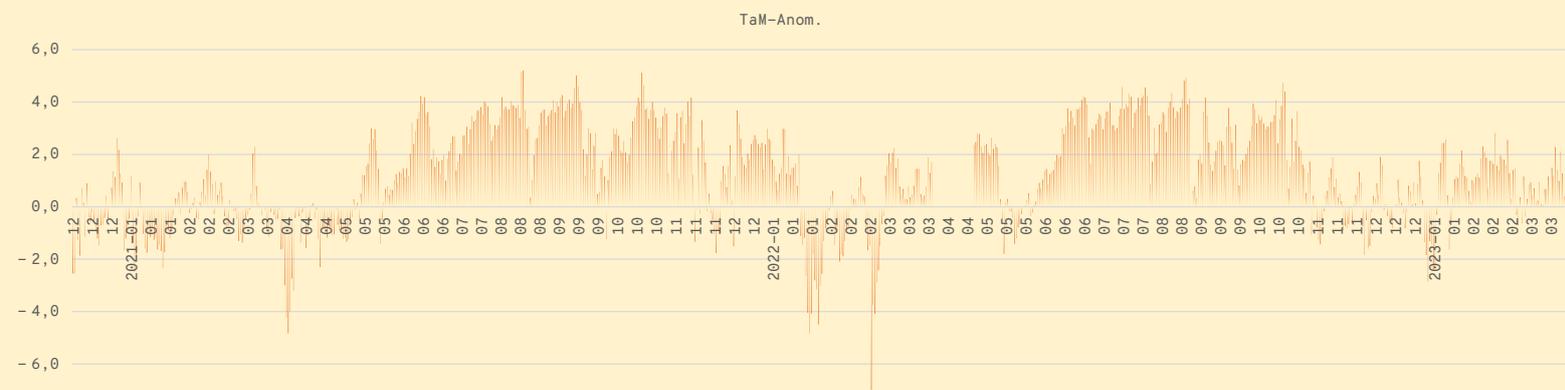


Figura 6. Anomalías diarias, respecto a 2009-2020, de la temperatura del agua (SST) y de la temperatura del aire sobre el agua (TaM) en la boya de Sa Dragonera, entre diciembre de 2021 y marzo de 2024. FUENTE DE DATOS: Puertos del Estado.

cuando lo hace el aire. La amplitud de las anomalías es, no obstante, bastante más acentuada en el aire que en el agua. Durante los dos últimos largos y cálidos veranos (de los años 2022 y 2023), las anomalías diarias de SST son del orden de los 2 °C, mientras que las del aire se encuentran entre los 3 y 4 °C. Cuando hay una irrupción fría, la diferencia es mayor: el agua se enfría poco o nada, mientras que el aire se puede enfriar mucho. Un momento ejemplar, en este sentido, es la irrupción fría del 27 de febrero de 2023: el agua casi no la notó, mientras que el aire presentaba una anomalía de 7 °C.

CONCLUSIONES

- Las tendencias observadas de aumento de temperatura del aire sobre la tierra entre 1979 y la actualidad, calculadas en los aeropuertos de las Illes Balears, son de 0,28 °C, mucho más que la media global sobre la tierra, pero mucho menos que en el continente europeo.
- Las temperaturas medias mensuales del aire sobre el mar en Maó (años 1993-2023) oscilan entre los 7,7-28,03 °C, y en Sa Dragonera (años 2006-2023) entre los 10,5-29,2 °C.
- No se alcanzan temperaturas medias mensuales inferiores a 10,5 °C en la boya de Sa Dragonera, que en general registra temperaturas mensuales medias más cálidas que la boya de Maó (~ 1 °C), posiblemente por tener menos influencia del viento de tramontana, de componente norte.

El mínimo de temperatura del aire sobre el mar es de 7,7 °C, que se alcanzó en la boya de Maó en febrero de 2012.

- El mes de agosto de 2022 mostró temperaturas extremas, ya que se alcanzaron los máximos absolutos de temperatura del aire sobre el mar en las boyas de Maó y Sa Dragonera desde que hay registros (1993 y 2006, respectivamente). Los máximos son de 32,24 °C en Maó y de 33,26 °C en Sa Dragonera, unos valores que, no obstante, quedan lejos de los máximos absolutos de temperatura del aire sobre la tierra medidos en los aeropuertos (~ 40 °C). Cabe decir que en el verano de 2023 se han registrado máximos no demasiado alejados del récord de 2022: el máximo de temperatura del aire sobre el mar alcanzó los 32,9 °C en Sa Dragonera.
- En julio de 2023 se superaron todas las anomalías medias mensuales de la temperatura del aire sobre el mar del año 2022.
- Durante los veranos de 2022 y 2023 se han superado los 3 °C de anomalías medias mensuales de temperatura del aire sobre el mar. Las anomalías medias de la temperatura del mar han sido de entre 2 °C (año 2022) y 1,5 °C (año 2023).

REFERENCIAS

- ¹ <https://climate.copernicus.eu>
- ² JANSÀ, A. (2022, 2023). «Estat del clima a les Illes Balears». [en línea].<<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 línea]. <<https://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>>.
- ⁶ JANSÀ, A. (2022). «Estat del clima a les Illes Balears. Estiu 2022». [en línea].<<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 COMO

BARRIENTOS, N.; VAQUER-SUNYER, R.; JANSÀ, A. (2024). «Temperatura del aire». En: VAQUER-SUNYER, R.; BARRIENTOS, N.; GOURAGUINE, A. (eds.). *Informe Mar Balear 2024* <https://www.informemarbalear.org/es/cambio-global/imb-temperatura-aire-esp_2024.pdf>. <https://doi.org/10.62135/VYOW9550>.