



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY



FACULTAD DE  
**CIENCIAS**  
UDELAR | fcien.edu.uy



**PEDECIBA**  
Geociencias

PEDECIBA-Geociencias  
Facultad de Ciencias, UdelaR  
Departamento de Ciencias  
de la Atmósfera y  
Física de los Océanos

Trabajo presentado en opción al título de Magister en Geociencias

## **OLAS DE FRÍO Y CALOR DURANTE EL SEMESTRE FRÍO EN URUGUAY DE 1982 A 2018**

Autora: YILIAN MONTESINO CARMONA

Orientadora: Dra. Madeleine Renom Molina

Co-orientador: Dr. Gastón Manta Domínguez

Montevideo, Uruguay

Mayo de 2025

## **Integrantes del Tribunal de Defensa de Tesis**

.....  
**Dr. Guillermo Goyenola**

.....  
**Dra. Matilde Rusticucci**

.....  
**Dr. Nicolás Díaz**

## Agradecimientos

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis tutores, Madeleine Renom y Gastón Manta, por su guía, dedicación y valiosos aportes a lo largo de este trabajo. Sin ellos esta tesis nunca habría sido posible.

A Marcelo Barreiro, por su apoyo y confianza.

A Santiago de Mello, por toda su guía, conocimiento y valioso aporte durante esta investigación.

A mis amigos y compañero/as del DCAFO: Cami, Nico, Emilio, Rafa, Ramiro, Romina, y el IF: Felipe y Gonzalo Garay, por compartir conmigo el día a día y por hacer que cada desafío sea más llevadero.

A todos mis amigo/as y colegas: Iago, Mónica, Ovideo, Grethel, Eli, Osniel, Bruna; aún en la distancia.

Y, por supuesto, a toda mi familia, por su apoyo incondicional y por ser mi sostén en cada etapa de este camino.

Por el apoyo financiero y académico, agradezco a la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII), a la Comisión Académica de Posgrado (CAP) y al PEDECIBA Geociencias-Fcien, y el DCAFO cuyo respaldo hizo posible la realización de este trabajo.



Departamento de Ciencias de la Atmósfera  
y Física de los Océanos

# Índice de contenido

<b>Resumen.....</b>	<b>V</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>VI</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>VII</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>XV</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Problema de investigación .....	4
1.3 Pregunta de investigación y objetivos .....	5
<b>2. TEMPERATURA DEL AIRE.....</b>	<b>7</b>
2.1 Datos in situ y distribución geográfica.....	7
2.2 Datos faltantes .....	9
2.3 Control de calidad de Tx y Tn diarias.....	13
2.4 Climatología de Tx y Tn mayo a octubre .....	17
<b>3. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR .....</b>	<b>35</b>
3.1 Datos satelitales y distribución geográfica .....	35
3.2 Climatología de la temperatura superficial del mar.....	37
<b>4. EVENTOS DE CALOR Y FRÍO ATMOSFÉRICOS .....</b>	<b>45</b>
4.1 Definiciones de los eventos extremos de temperatura .....	45
4.2 Episodios cálidos y fríos .....	53
4.3 Olas de calor y frío atmosféricas.....	59
<b>5. OLAS DE CALOR Y FRÍO MARINAS .....</b>	<b>75</b>
5.1 Definiciones de las olas de calor y frío marinas .....	75
<b>6. ANÁLISIS DE COOCURRENCIA DE OLAS ATMOSFÉRICAS Y MARINAS .....</b>	<b>85</b>
6.1 Agrupamiento entre sitios y relación temporal y espacial.....	85
6.2 Patrones sinópticos asociados a la co-ocurrencia de olas.....	96
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>107</b>
<b>8. PERSPECTIVAS .....</b>	<b>109</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>110</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>118</b>

## Resumen

Las olas de frío y calor, tanto atmosféricas como marinas, son eventos extremos con impactos mayoritariamente negativos, por lo que comprender sus forzantes y anticiparlas es fundamental para mitigar sus efectos. Este estudio caracteriza eventos extremos de temperatura en Uruguay durante mayo–octubre entre 1982 y 2018, a partir de datos diarios de temperatura máxima (Tx) y mínima (Tn) en 11 estaciones meteorológicas y de temperatura superficial del mar (TSM) en 3 puntos marinos. Se identifican cuatro tipos de eventos: episodios breves de dos días de duración, olas simples (extremos de Tx), olas extremas (extremos simultáneos de Tx y Tn) y olas marinas (extremos de TSM). Todos los eventos se definen mediante percentiles diarios ( $\geq 90$  para calor y  $\leq 10$  para frío), aplicando una duración mínima de tres días para las olas atmosféricas y de cinco días para las olas marinas. La co-ocurrencia se evalúa a partir de la coincidencia diaria entre olas marinas y olas extremas registradas en las estaciones meteorológicas más cercanas. Luego, se definieron como olas coexistentes aquellas que ocurren simultáneamente en al menos dos de las estaciones meteorológicas y dos de los puntos marinos considerados. Se observa un aumento progresivo de eventos cálidos en la atmósfera y el océano. Aunque, en general, las olas simples son más frecuentes, las olas extremas se destacan por su mayor intensidad e impacto, al combinar tanto Tx como Tn. La mayor duración de las olas marinas en comparación con las atmosféricas es consistente con la mayor inercia térmica del océano. Además, en el estuario las olas de frío marinas tienden a durar más que las de calor, en contraste con lo observado en la costa atlántica. También se observa una sincronización destacada entre olas extremas atmosféricas y olas marinas en la zona costera, con predominio de las olas coexistentes de calor (13) sobre las de frío (5). Esta asimetría se relaciona con una mayor persistencia de anomalías cálidas y la capacidad de la atmósfera para forzar eventos en el océano con leve desfase, indicando un acoplamiento liderado por la atmósfera. En contraste, la co-ocurrencia durante las olas de frío es más inmediata pero menos persistente. Finalmente, los patrones sinópticos en superficie sugieren mecanismos diferenciados, dominados por la advección de aire cálido desde el norte, en olas de calor, o frío desde el sur, en olas de frío, modulada por la Baja del Chaco y el Anticiclón del Atlántico Sur.

**Palabras claves:** Eventos extremos, olas de calor atmosféricas, olas de frío atmosféricas, olas de calor marinas, olas de frío marinas, co-ocurrencia de olas atmosféricas y marinas, circulación sinóptica.

## Abstract

Cold waves and warm spells, both atmospheric and marine, are extreme events with predominantly negative impacts; therefore, understanding their drivers and anticipating them is essential to mitigate their effects. This study characterizes extreme temperature events in Uruguay during May–October from 1982 to 2018, based on daily data of maximum (Tx) and minimum (Tn) air temperature from 11 meteorological stations and sea surface temperature (SST) from 3 marine points. Four types of events are identified: short episodes lasting two days, simple waves (Tx extremes), extreme waves (simultaneous extremes of Tx and Tn), and marine waves (SST extremes). All events are defined using daily percentiles ( $\geq 90$  for heat and  $\leq 10$  for cold), applying a minimum duration of three days for atmospheric waves and five days for marine waves. Co-occurrence are evaluated based on the daily coincidence between marine waves and extreme waves recorded at the nearest meteorological stations. Additionally, coexistence waves are defined as those occurring simultaneously in at least two of the meteorological stations and two of the marine points considered. A progressive increase in warm events in both the atmosphere and ocean was observed. Although simple waves are generally more frequent, extreme waves stand out for their greater intensity and impact, as they combine both Tx and Tn. The longer duration of marine waves compared to atmospheric ones is consistent with the ocean's greater thermal inertia. Furthermore, in the estuary, marine cold waves tend to last longer than warm ones, contrasting with what is observed along the Atlantic coast. A strong synchronization is also suggested between atmospheric extreme waves and marine waves in the coastal zone, with a predominance of warm coexistence waves (13) over cold ones (5). This asymmetry is linked to the greater persistence of warm anomalies and the atmosphere's ability to force ocean events with a slight lag, indicating an atmosphere-led coupling. In contrast, co-occurrence during cold waves is more immediate but less persistent. Finally, surface synoptic patterns suggest differentiated mechanisms, dominated by warm air advection from the north in heatwaves, or cold air from the south in cold spells, modulated by the Chaco Low and the South Atlantic Anticyclone.

**Key words:** Extreme events, warm spells, cold waves, marine warm spells, marine cold waves, co-occurrence of atmospheric and marine waves, synoptic circulation.

## Índice de figuras

- Figura 2.1.** Ubicación geográfica de las 12 estaciones meteorológicas de superficie utilizadas en el estudio, distribuidas en el territorio uruguayo. Se utilizaron observaciones diarias de temperatura máxima (Tx) y mínima (Tn) (°C), registradas entre 1982 y 2018. .... 8
- Figura 2.2.** Porcentaje de datos faltantes (NAs) en (a) temperatura máxima (Tx) y (b) mínima (Tn) diarias, en las 12 estaciones meteorológicas entre 1982 y 2018. Los espacios en blanco representan los NAs, mientras que las celdas en verde indican observaciones diarias disponibles. .... 10
- Figura 2.3.** Distribución mensual (eje y) y anual (eje x) del porcentaje de datos faltantes (NAs) en las observaciones diarias de la temperatura máxima (Tx) en cada estación meteorológica entre 1982 y 2018. Cada celda representa el porcentaje promedio de NAs en un mes determinado. .... 11
- Figura 2.4.** Distribución mensual (eje y) y anual (eje x) del porcentaje de datos faltantes (NAs) en las observaciones diarias de temperatura mínima (Tn) en cada estación meteorológica entre 1982 y 2018. Cada celda representa el porcentaje promedio de NAs en un mes determinado. .... 12
- Figura 2.5.** Porcentaje de datos faltantes de Tx y Tn diarias (°C) en las estación meteorológicas entre 1982 y 2018, (a, B) antes y (c, d) después del control de consistencia, donde Laguna del Sauce no se selecciona (más del 25% de NAs). (a) y (c): Tx; (b) y (d): Tn. .... 16
- Figura 2.6.** Diagramas de caja de (a) temperatura máxima diaria (Tx) y (b) mínima (Tn), en °C, de las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Se muestran mediana, rango intercuartílico y valores atípicos, a partir de datos validados tras el control de calidad. .... 18
- Figura 2.7.** Histogramas de temperatura máxima diaria (Tx, °C) de las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. 20
- Figura 2.8.** Histogramas de temperatura mínima diaria (Tn, °C) de las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. 21
- Figura 2.9.** Correlogramas de (a) Tx y (b) Tn diarias (°C) de las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Las correlaciones se calcularon mediante el coeficiente de Pearson (r), con significancia evaluada mediante prueba t (95% de confianza). Las asociaciones fueron positivas y significativas ( $p < 0.001$ ), indicando alta coherencia espacial. .... 22
- Figura 2.10.** Tendencias de (a.) la temperatura máxima (Tx) y (b.) mínima (Tn) en las estaciones meteorológicas seleccionadas para el estudio, durante el semestre frío austral entre 1982 y 2018. Las pendientes (°C/año), estimadas mediante el *test* de Sen, se representan con círculos rojos (positivas) y azules (negativas), cuyo tamaño es proporcional a la magnitud. La

significancia estadística (Mann–Kendall) se indica por transparencia según los umbrales ( $Z = 1.65, 1.96$  y  $2.58$ ), correspondientes a niveles de confianza del 90 %, 95 % y 99 %. Los puntos sin tendencia significativa se muestran en blanco (c)..... 25

**Figura 2.11.** Tendencias de los valores medios  $T_n$  (izquierda) y  $T_x$  (derecha) de las estaciones de La Estanzuela, Prado y Carrasco durante el semestre frío austral entre 1982 y 2018. Rectas de tendencia obtenidas por regresión lineal (azul) y por el método de Sen (rojo)..... 28

**Figura 2.12.** Tendencias de los valores medios de  $T_n$  (izquierda) y  $T_x$  (derecha) en las estaciones Rocha y Melo durante el semestre frío austral entre 1982 y 2018. Se muestran las rectas de tendencia obtenidas por regresión lineal (azul) y por el método de Sen (rojo). ..... 29

**Figura 2.13.** Tendencias de los valores medios de  $T_n$  (izquierda) y  $T_x$  (derecha) en las estaciones Rivera, Artigas y Salto durante el semestre frío austral entre 1982 y 2018 (excepto Rivera: 1990-2018). Se muestran las rectas de tendencia obtenidas por regresión lineal (azul) y por el método de Sen (rojo)..... 30

**Figura 2.14.** Tendencias de los valores medios de  $T_n$  (izquierda) y  $T_x$  (derecha) en las estaciones Mercedes, Paysandú y Paso de los Toros (PdT) durante el semestre frío austral entre 1982 y 2018. Se muestran las rectas de tendencia obtenidas por regresión lineal (azul) y por el método de Sen (rojo). ..... 31

**Figura 2.15.** Climatología diaria de  $T_x$  y  $T_n$  en las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Las climatologías se calcularon mediante una ventana móvil de 5 días centrada en el día de interés, se eliminan los 29 de febrero. Se indican los valores máximos y mínimos del día del calendario (día-mes). ..... 33

**Figura 3.1.** Ubicación geográfica de las observaciones diarias de temperatura superficial del mar (TSM , °C) utilizados en el estudio, durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Los datos provienen del producto satelital diario OISST v2.1 (resolución:  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ). Los puntos se localizan en el estuario del Río de la Plata (zonas interna y externa: RP4 y Carrasco\_sst) y en el océano Atlántico (Rocha\_sst), próximos a las estaciones meteorológicas de La Estanzuela, Carrasco y Rocha. Se indica la distancia entre cada punto marino y su estación terrestre más cercana..... 36

**Figura 3.2.** Estadísticos descriptivos de la TSM (°C) en los tres puntos marinos utilizados en el estudio, durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018, obtenido a partir del producto satelital OISST v2.1. (a) Diagramas de caja; (b) Histogramas de frecuencia absoluta, con media (línea roja discontinua) y mediana (línea azul discontinua); (c) Correlograma con coeficientes de Pearson entre las series de TSM. Todas las correlaciones son significativas ( $p < 0.001$ ). El valor  $r = 1.00$  corresponde a un redondeo (valor real:  $r = 0.999$ )..... 39

**Figura 3.3.** Tendencias de (a.) la TSM en los puntos marinos del estudio, a partir del producto OISST v2.1, durante el semestre frío (mayo–octubre) de 1982–2018. Las pendientes (°C/año), estimadas mediante el *test* de Sen, se representan con círculos rojos (positivas) y azules (negativas), cuyo tamaño es proporcional a la magnitud. La significancia estadística (Mann–Kendall) se indica por transparencia según los umbrales ( $Z = 1.65, 1.96$  y  $2.58$ ),

correspondientes a niveles de confianza del 90 %, 95 % y 99 %, respectivamente. Los puntos sin tendencia significativa se muestran en blanco (b.).....	41
<b>Figura 3.4.</b> Tendencias de los valores medios de la TSM en los puntos marinos seleccionados durante el semestre frío austral entre 1982 y 2018, a partir del producto OISST v2.1. Rectas de tendencia obtenidas por regresión lineal (azul) y por el método de Sen (rojo). .....	42
<b>Figura 3.5.</b> Climatología diaria de la TSM (°C) en los tres puntos marinos seleccionados a partir del producto satelital OISST v2.1, durante el semestre frío austral entre 1982 y 2018. Las climatologías se calcularon mediante una ventana móvil de 5 días centrada en el día de interés, eliminando los 29 de febrero. Se indican los valores máximos y mínimos del día del calendario (día–mes). .....	43
<b>Figura 4.1.</b> Distribución diaria de Tx diarias (puntos grises) en las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Se indican perc_90x (línea roja) y perc_10x (línea azul) para cada día del año (1 a 365), sin el 29 de febrero, calculados mediante una ventana móvil de 5 días centrada en el día de interés. Estos umbrales se utilizaron para la detección de eventos extremos cálidos y fríos basados en Tx. ....	49
<b>Figura 4.2.</b> Distribución diaria de Tn diarias (puntos grises) en las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Se indican perc_90n (línea roja) y perc_10n (línea azul) para cada día del año (1 a 365), sin el 29 de febrero, calculados mediante una ventana móvil de 5 días centrada en el día de interés. Estos umbrales se utilizaron para la detección de eventos extremos cálidos y fríos basados en Tn. ....	50
<b>Figura 4.3.</b> Observaciones diarias de temperatura máxima (Tx, puntos grises) en las que se detectaron episodios cálidos (EC, puntos rojos) y fríos (EF, puntos azules) en las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Los EC y EF se definen como eventos de dos días consecutivos con temperatura máxima diaria (Tx, puntos grises) $\geq$ perc_90x (línea roja oscura) o $\leq$ perc_10x (línea azul oscura), respectivamente. Se indica el número total de eventos por categoría y estación. ....	54
<b>Figura 4.4.</b> Total de eventos cálidos (EC, rojo) y fríos (EF, azul) de 2 días de duración, detectados a partir de la temperatura máxima diaria (Tx, °C) en estaciones meteorológicas seleccionadas, durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. ....	55
<b>Figura 4.5.</b> Cantidad anual de episodios cálidos (EC, rojo) y fríos (EF, azul), definidos a partir de la temperatura máxima diaria (Tx, °C), en las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018.....	57
<b>Figura 4.6.</b> Cantidad mensual de EC (rojo) y EF (azul), definidos a partir de Tx diaria (°C), en las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. ....	58

**Figura 4.7.** Observaciones diarias en las que se detectaron olas de calor (puntos rojos) y olas de frío (puntos azules) en La Estanzuela, Carrasco y Prado, durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. (izq.) Días con olas simples (OCS y OFS), definidas como eventos de al menos tres días consecutivos con temperatura máxima ( $T_x$ , puntos grises claros)  $\geq$  perc\_90x (línea roja oscura) o  $\leq$  perc\_10x (línea azul oscura), respectivamente. (der.) Días con olas extremas (OC y OF), definidas por la superación simultánea de umbrales en  $T_x$  y temperatura mínima ( $T_n$ ): para OC,  $T_x \geq$  perc\_90x y  $T_n \geq$  perc\_90n (líneas roja oscura y roja clara); para OF,  $T_x \leq$  perc\_10x y  $T_n \leq$  perc\_10n (líneas azul oscura y azul clara). Se indica el número total de eventos por categoría y estación. F:Frío, C: Calor. .... 61

**Figura 4.8.** Observaciones diarias en las que se detectaron olas de calor (puntos rojos) y olas de frío (puntos azules) en Rocha y Melo, durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. (izq.) Días con olas simples (OCS y OFS), definidas como eventos de al menos tres días consecutivos con temperatura máxima ( $T_x$ , puntos grises claros)  $\geq$  perc\_90x (línea roja oscura) o  $\leq$  perc\_10x (línea azul oscura), respectivamente. (der.) Días con olas extremas (OC y OF), definidas por la superación simultánea de umbrales en  $T_x$  y temperatura mínima ( $T_n$ ): para OC,  $T_x \geq$  perc\_90x y  $T_n \geq$  perc\_90n (líneas roja oscura y roja clara); para OF,  $T_x \leq$  perc\_10x y  $T_n \leq$  perc\_10n (líneas azul oscura y azul clara). Se indica el número total de eventos por categoría y estación. F:Frío, C: Calor. .... 62

**Figura 4.9.** Observaciones diarias en las que se detectaron olas de calor (puntos rojos) y olas de frío (puntos azules) en Rivera, Artigas y Salto, durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. (izq.) Días con olas simples (OCS y OFS), definidas como eventos de al menos tres días consecutivos con temperatura máxima ( $T_x$ , puntos grises claros)  $\geq$  perc\_90x (línea roja oscura) o  $\leq$  perc\_10x (línea azul oscura), respectivamente. (der.) Días con olas extremas (OC y OF), definidas por la superación simultánea de umbrales en  $T_x$  y temperatura mínima ( $T_n$ ): para OC,  $T_x \geq$  perc\_90x y  $T_n \geq$  perc\_90n (líneas roja oscura y roja clara); para OF,  $T_x \leq$  perc\_10x y  $T_n \leq$  perc\_10n (líneas azul oscura y azul clara). Se indica el número total de eventos por categoría y estación. F:Frío, C: Calor. .... 63

**Figura 4.10.** Observaciones diarias en las que se detectaron olas de calor (puntos rojos) y olas de frío (puntos azules) en Paysandú, Mercedes y Paso de los Toros (PdT) durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. (izq.) Días con olas simples (OCS y OFS), definidas como eventos de al menos tres días consecutivos con temperatura máxima ( $T_x$ , puntos grises claros)  $\geq$  perc\_90x (línea roja oscura) o  $\leq$  perc\_10x (línea azul oscura), respectivamente. (der.) Días con olas extremas (OC y OF), definidas por la superación simultánea de umbrales en  $T_x$  y temperatura mínima ( $T_n$ ): para OC,  $T_x \geq$  perc\_90x y  $T_n \geq$  perc\_90n (líneas roja oscura y roja clara); para OF,  $T_x \leq$  perc\_10x y  $T_n \leq$  perc\_10n (líneas azul oscura y azul clara). Se indica el número total de eventos por categoría y estación. F:Frío, C: Calor. .... 64

**Figura 4.11.** Cantidad de olas de calor y frío según su duración (días), detectadas en las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Se distingue olas simples (OCS, rojo, y OFS, azul) y olas extremas (OC, rojo oscuro y OF, azul oscuro). F: Frío y C: Calor. .... 66

<b>Figura 4.12.</b> Cantidad anual de olas de calor y frío detectadas en las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Se distingue olas simples (OCS, rojo, y OFS, azul) y olas extremas (OC, rojo oscuro y OF, azul oscuro). F: Frío y C: Calor. ....	68
<b>Figura 4.13.</b> Cantidad mensual de olas de calor y de frío identificadas detectadas en las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Se distingue olas simples (OCS, rojo, y OFS, azul) y olas extremas (OC, rojo oscuro y OF, azul oscuro). F: Frío y C: Calor. ....	73
<b>Figura 4.14.</b> Distribución temporal y eventos extremos de temperatura registrados en la estación La Estanzuela durante 1987. Se muestran las series diarias de temperatura máxima (Tx) y mínima (Tn), junto con sus climatologías (climatolx y climatoln) y los umbrales extremos (perc_10x/n y perc_90x/n). (Izq.) Olas simples (OCS, superior, y OFS, inferior), definidas por Tx. (Sup. der.) Olas extremas (OC y OF), identificadas por la concurrencia de extremos en Tx y Tn. La intensidad máxima se representa con tonos más oscuros (OC_max, OF_max). (Inf. der.) Fechas de inicio y fin de cada evento y días coincidentes entre categorías. F: Frío, C: Calor.....	74
<b>Figura 5.1.</b> Observaciones diarias de temperatura superficial del mar (TSM, puntos grises) en las que se detectaron olas de calor marinas (OCM, puntos rojos) y frío (OFM, puntos azules) en (a) Rocha_sst, (b) Carrasco_sst y (c) RP4, durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Los datos pertenecen al producto satelital OISST v2.1. Las OCM y OFM son definidas como eventos de $\geq 5$ días consecutivos con $TSM \geq \text{perc}_{90sst}$ (línea roja oscura) o $\leq \text{perc}_{10sst}$ (línea azul oscuras), respectivamente. Se muestra el total de eventos registrados por sitio.....	76
<b>Figura 5.2.</b> Cantidad de olas de calor marinas (OCM, rojo) y frío (OFM, azul) según su duración (en días), identificadas a partir de TSM en los puntos costeros Rocha_sst, Carrasco_sst y RP4 durante el semestre frío (mayo–octubre) del período 1982–2018.....	77
<b>Figura 5.3.</b> Cantidad anual de olas de calor marinas (OCM, rojo) y frío (OFM, azul), identificadas a partir de TSM en los puntos costeros Rocha_sst, Carrasco_sst y RP4 durante el semestre frío (mayo–octubre)entre 1982 y 2018.....	79
<b>Figura 5.4.</b> Cantidad mensual de olas de calor marinas (OCM, rojo) y frío (OFM, azul), identificadas a partir de TSM en los puntos costeros Rocha_sst, Carrasco_sst y RP4 durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. ....	80
<b>Figura 5.5.</b> Distribución temporal e intensidad máxima de las olas marinas en los años con mayor duración total de eventos en cada punto costero: a) Rocha_ssten 2017, b) Carrasco_sst y c) RP4 en 2015. Los datos provienen del producto satelital diario OISST v2.1 (0.25° x 0.25°). (Izq.) Olas de frío (azul) y (der.) olas de calor (rojo). Se muestran las series diarias de temperatura superficial del mar (TSM, °C), junto con su climatología y los umbrales extremos (percentil 10 para frío y 90 para calor). Los eventos detectados se indican con polígonos, donde	

los tonos más oscuros reflejan las olas más intensas registradas durante el año correspondiente..... 82

**Figura 6.1.** Dendrogramas de agrupamiento jerárquico entre sitios según la coincidencia diaria de olas de calor (izquierda) y frío (derecha) durante el semestre frío (mayo–octubre) de 1982–2018. Se consideran olas extremas atmosféricas (OC y OF) y olas marinas (OCM y OFM). El análisis se basa en la correlación de Pearson aplicada a una variable dicotómica (presencia/ausencia diaria de eventos) y un agrupamiento jerárquico con el método de Ward. Se incluyen las estaciones meteorológicas del interior (\_xn), costeras (cost\_xn) y puntos marinos (\_sst). F: Frío, C: Calor. .... 86

**Figura 6.2.** Variación en la coincidencia de olas de calor entre sitios marinos (Sitio 1: Carr\_sst, Roc\_sst, RP4\_sst) y costeros (Sitio 2: Car\_cost\_xn, Roc\_cost\_xn, Est\_cost\_xn) en función del desfase temporal (lag). La primera fila de cada bloque muestra la coincidencia de eventos con desfase cero (lag = 0), y las filas siguientes indican la variación relativa ( $\Delta C$ , en %) para desfases negativos (– 1 a – 4 días), calculada con respecto a lag = 0. Valores positivos (rojo) indican un aumento en la coincidencia; valores negativos (azul), una disminución..... 90

**Figura 6.3.** Variación en la coincidencia de olas de frío entre sitios oceánicos (Sitio 1: Carr\_sst, Roc\_sst, RP4\_sst) y costeros (Sitio 2: Car\_cost\_xn, Roc\_cost\_xn, Est\_cost\_xn) en función del desfase temporal (lag). La primera fila de cada bloque muestra la coincidencia de eventos con desfase cero (lag = 0), y las filas siguientes indican la variación relativa ( $\Delta C$ , en %) para desfases negativos (–1 a –4 días), calculada respecto a lag = 0. Valores positivos (rojo) indican un aumento en la coincidencia; valores negativos (azul), una disminución..... 92

**Figura 6.4.** Promedios de los días con olas de frío generalizadas ( $\geq 50\%$  de los sitios) en Uruguay durante semestre frío austral (1982–2018) para la región de Sudamérica. (a–d): anomalías de temperatura a 2 m (sombreado), presión a nivel del mar (contornos; continuos para valores positivos y discontinuos para negativos) y viento a 10 m (flechas), para eventos atmosféricos (OFA\_50), marinos (OFM\_50), coexistentes (OFC\_50) y totales (OFT\_50). (e–h): mismos eventos, con anomalías de TSM (sombreado) en lugar de t2m..... 98

**Figura 6.5.** Promedios de los días con olas de calor generalizadas ( $\geq 50\%$  de los sitios) en Uruguay durante el semestre frío austral (1982–2018) para la región de Sudamérica. (a–d): anomalías de temperatura a 2 m (sombreado), presión a nivel del mar (contornos; continuos para valores positivos y discontinuos para negativos) y viento a 10 m (flechas), para eventos atmosféricos (OCA\_50), marinos (OCM\_50), coexistentes (OCC\_50) y totales (OCT\_50). (e–h): mismos eventos, con anomalías de TSM (sombreado) en lugar de t2m..... 100

**Figura 6.6.** Composites de días con olas totales en Uruguay durante el semestre frío austral (1982–2018). Arriba: anomalías de TSM; abajo: t2m (sombreado), MSL (contornos; continuos: positivos, discontinuos: negativos) y viento a 10 m (flechas). Izquierda: OCT\_50; derecha: OFT\_50. Puntos indican significancia al 99% (prueba t de Student). F: Frío; C: Calor. Compuestos calculados como días con olas menos igual número de días neutros. .... 102

**Figura 6.7.** Composites de días con olas coexistentes en Uruguay durante el semestre frío austral (1982–2018). Arriba: anomalías de TSM; abajo:  $t_2m$  (sombreado), MSL (contornos; continuos: positivos, discontinuos: negativos) y viento a 10 m (flechas). Izquierda: OCT\_50; derecha: OFT\_50. Puntos indican significancia al 99 % (prueba t de Student). F: Frío; C: Calor. Compuestos calculados como días con olas menos igual número de días neutros. .... 103

**Figura 6.8.** Composites de días con olas atmosféricas generalizadas en Uruguay durante el semestre frío austral (1982–2018). Arriba: anomalías de TSM; abajo:  $t_2m$  (sombreado), MSL (contornos; continuos: positivos, discontinuos: negativos) y viento a 10 m (flechas). Izquierda: OCT\_50; derecha: OFT\_50. Puntos indican significancia al 99 % (prueba t de Student). F: Frío; C: Calor. Compuestos calculados como días con olas menos igual número de días neutros. .... 104

**Figura 6.9.** Composites de días con olas marinas generalizadas en Uruguay durante el semestre frío austral (1982–2018). Arriba: anomalías de TSM; abajo:  $t_2m$  (sombreado), MSL (contornos; continuos: positivos, discontinuos: negativos) y viento a 10 m (flechas). Izquierda: OCT\_50; derecha: OFT\_50. Puntos indican significancia al 99 % (prueba t de Student). F: Frío; C: Calor. Compuestos calculados como días con olas menos igual número de días neutros. .... 105

**Figura A.1.** Disponibilidad de datos de las series diarias de temperatura máxima ( $T_x$ , izquierda) y mínima ( $T_n$ , derecha) de las estaciones meteorológicas durante el período 1982-2018: sin control de calidad (a y b con control de calidad (c y d). Los espacios en blanco representan los períodos o días de datos faltantes (NAs) en las series y también en la escala de colores se visualizan los valores diarios de temperatura..... 118

**Figura E.1.** Tendencias de (a, c)  $T_x$  y (b, d)  $T_n$  diarias de las estaciones meteorológicas durante los trimestres (a, b) MJJ y (c, d) ASO entre 1982 y 2018 (excepto Rivera: 1990–2018). Las pendientes ( $^{\circ}C/año$ ), estimadas mediante el test de Sen, se representan con círculos rojos (positivas) y azules (negativas), cuyo tamaño es proporcional a la magnitud. La significancia estadística (Mann–Kendall) se indica por transparencia según los umbrales ( $Z = 1.65, 1.96$  y  $2.58$ ), correspondientes a niveles de confianza del 90 %, 95 % y 99 %. Las estaciones sin tendencia significativa se muestran en blanco..... 153

**Figura E.2.** Tendencias de (a, c)  $T_x$  y (b, d)  $T_n$  diarias de las estaciones meteorológicas durante (a, b) mayo y (c, d) junio entre 1982 y 2018 (excepto Rivera: 1990–2018). Las pendientes ( $^{\circ}C/año$ ), estimadas mediante el test de Sen, se representan con círculos rojos (positivas) y azules (negativas), cuyo tamaño es proporcional a la magnitud. La significancia estadística (Mann–Kendall) se indica por transparencia según los umbrales ( $Z = 1.65, 1.96$  y  $2.58$ ), correspondientes a niveles de confianza del 90 %, 95 % y 99 %. Las estaciones sin tendencia significativa se muestran en blanco (e.)..... 154

**Figura E.3.** Tendencias de (a, c)  $T_x$  y (b, d)  $T_n$  diarias de las estaciones meteorológicas durante (a, b) julio y (c, d) agosto entre 1982 y 2018 (excepto Rivera: 1990–2018). Las pendientes ( $^{\circ}C/año$ ), estimadas mediante el test de Sen, se representan con círculos rojos

(positivas) y azules (negativas), cuyo tamaño es proporcional a la magnitud. La significancia estadística (Mann–Kendall) se indica por transparencia según los umbrales ( $Z = 1.65, 1.96$  y  $2.58$ ), correspondientes a niveles de confianza del 90 %, 95 % y 99 %. Las estaciones sin tendencia significativa se muestran en blanco (e.)..... 155

**Figura E.4.** Tendencias de (a, c)  $T_x$  y (b, d)  $T_n$  diarias de las estaciones meteorológicas seleccionadas durante (a, b) septiembre y (c, d) octubre entre 1982 y 2018 (excepto Rivera: 1990–2018). Las pendientes ( $^{\circ}\text{C}/\text{año}$ ), estimadas mediante el test de Sen, se representan con círculos rojos (positivas) y azules (negativas), cuyo tamaño es proporcional a la magnitud. La significancia estadística (Mann–Kendall) se indica por transparencia según los umbrales ( $Z = 1.65, 1.96$  y  $2.58$ ), correspondientes a niveles de confianza del 90 %, 95 % y 99 %. Las estaciones sin tendencia significativa se muestran en blanco (e.) ..... 156

**Figura F.1.** Tendencias de la TSM diaria de los puntos marinos, seleccionados a partir del producto OISST v2.1, durante el en el trimestre (A) MJJ y (B) ASO entre 1982 y 2018. Las pendientes de las tendencias, estimadas mediante el test de Sen, se expresan en  $^{\circ}\text{C}/\text{año}$  y se representan con el tamaño de los círculos: rojo para tendencias positivas y azul para negativas. La significancia estadística, evaluada mediante la prueba de Mann–Kendall (MK), se indica con distintos niveles de transparencia según tres umbrales ( $Z = 1.65, 1.96$  y  $2.58$ ), correspondientes a niveles de confianza del 90 %, 95 % y 99 %, respectivamente. Los puntos sin tendencia significativa se muestran en blanco (C)..... 157

**Figura F.2.** Tendencias de la temperatura superficial del mar (TSM) de los puntos marinos, seleccionados a partir del producto OISST v2.1, en cada mes del semestre frío entre 1982 y 2018. Las pendientes de las tendencias, estimadas mediante el test de Sen, se expresan en  $^{\circ}\text{C}/\text{año}$  y se representan con el tamaño de los círculos: rojo para tendencias positivas y azul para negativas. La significancia estadística, evaluada mediante la prueba de Mann–Kendall (MK), se indica con distintos niveles de transparencia según tres umbrales ( $Z = 1.65, 1.96$  y  $2.58$ ), correspondientes a niveles de confianza del 90 %, 95 % y 99 %, respectivamente. Los puntos sin tendencia significativa se muestran en blanco (G)..... 158

## Índice de tablas

Tabla 2.1. Ubicación y características de las 12 estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio comprendido entre 1982 y 2018. ....	8
Tabla 2.2. Errores detectados en el control de consistencia de las series diarias de temperatura máxima (Tx) y mínima (Tn) (°C) registradas entre 1982 y 2018 en las 11 estaciones con más del 75% de observaciones disponibles. ....	15
Tabla 2.3. Asimetría y curtosis de la temperatura máxima diaria (Tx) y mínima (Tn), en °C, en las estaciones seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. ....	19
Tabla 3.1. Ubicación geográfica y características principales de los puntos marítimos utilizados para el análisis de temperatura superficial del mar (TSM) durante el período 1982–2018, obtenidos del producto OISST v2.1. ....	36
Tabla 3.2. Estadísticos descriptivos de las series diarias de TSM (°C) en los tres puntos marinos utilizados en el estudio, durante el semestre frío austral entre 1982 y 2018, obtenidos a partir del producto satelital OISST v2.1. ....	38
Tabla 3.3. Asimetría y curtosis de la temperatura de la superficie del mar (TSM, °C) en los tres puntos marinos seleccionados durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Los valores fueron obtenidos a partir del producto satelital OISST v2.1 (resolución espacial 0.25° × 0.25°). ....	38
Tabla 4.1. Valores mínimos y máximos de perc_90x y perc_90n por mes, calculados para el período base 1982–2018 en cada estación meteorológica seleccionada. En cada celda se presenta el rango del percentil 90 de Tx (perc_90x) y Tn (perc_90n) como “Tx mín–máx / Tn mín–máx”, expresados en °C. ....	47
Tabla 4.2. Valores mínimos y máximos de perc_10x y perc_10n por mes, calculados para el período base 1982–2018 en cada estación meteorológica. En cada celda se presenta el rango del percentil 10 de Tx (perc_10x) y Tn (perc_10n) como “Tx mín–máx / Tn mín–máx”, expresados en °C. ....	48
Tabla 4.3. Métricas utilizadas para definir las olas atmosféricas y marinas. ....	52
Tabla 4.4. Cantidad anual de olas de calor y frío detectadas en cada estación meteorológica durante el semestre frío austral entre 1982 y 1999. Se distingue olas simples (OCS, rojo, y OFS, azul) y olas extremas (OC, rojo oscuro y OF, azul oscuro). F: Frío y C: Calor. ....	69
Tabla 4.5. Cantidad anual de olas de calor y frío detectadas en cada estación meteorológica durante el semestre frío austral entre 2000 y 2018. Se distingue olas simples (OCS y OFS) y olas extremas (OC y OF). F: Frío y C: Calor. ....	70
Tabla 6.1. Definición de lags y su interpretación. ....	88
Tabla 6.2. Clasificación de las olas generalizadas. ....	94
Tabla A.1 Resumen exploratorio de las series diarias de temperatura máxima (Tx) y mínima (Tn) de las estaciones de estudio que cubren todo el período 1982-2018 sin control de calidad. ....	

Tabla B.1. Total de errores por outliers sospechosos (fuera del rango permitido) por estación y variable. ....	120
Tabla B.2. Datos faltantes y tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica Rivera. ....	120
Tabla B.3. Datos faltantes y tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica Rivera.....	121
Tabla B.4. Datos faltantes y tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica Melo. ....	122
Tabla B.5. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica Melo.....	122
Tabla B.6. Datos faltantes y tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica Paso de los Toros. ....	123
Tabla B.7. Datos faltantes y tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica Paso de los Toros .....	124
Tabla B.8. Datos faltantes y tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica Artigas. ....	126
Tabla B.9. Datos faltantes y tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica Artigas.....	127
Tabla B.10. Datos faltantes y tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica La Estanzuela.....	129
Tabla B.11. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica La Estanzuela .....	129
Tabla B.12. Datos faltantes y tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica Salto .....	130
Tabla B.13. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica Salto .....	131
Tabla B.14. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica Paysandú .....	132
Tabla B.15. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica Paysandú.....	135
Tabla B.16. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica Mercedes.....	138
Tabla B.17. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica Mercedes.....	138
Tabla B.18. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica Rocha.....	139
Tabla B.19. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica Rocha.....	140
Tabla B.20. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica Carrasco.....	140
Tabla B.21. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica Carrasco. ....	142

Tabla B.22. Datos faltantes y tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica Prado. ....	144
Tabla B.23. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica Prado.....	145
Tabla B.24. Datos faltantes de temperatura máxima (Tx) y mínima (Tn) de las estaciones de estudio que cubren el período 1982-2018 sin control de calidad y con control de calidad.	146
Tabla C.1. Estadísticos básicos de las series de Tx y Tn de las 11 estaciones meteorológicas seleccionadas después del control de calidad. ....	147
Tabla C.2. Resumen de los estadísticos de los datos previamente consistidos del total de datos por variable para el período de estudio. ....	147
Tabla C.3 Resumen exploratorio de temperatura máxima (Tx) y mínima (Tn) de las estaciones de estudio que cubren el período 1982-2018 con control de calidad.....	148
Tabla D.1. Correlaciones con el Método de Pearson de temperatura mínima (Tn). ....	149
Tabla D.2. Correlaciones con el Método de Pearson de temperatura máxima (Tx). ....	150



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

Los extremos de temperatura, como las olas de calor y de frío, pueden ocurrir en cualquier época del año, tanto en la atmósfera como en el océano. Estos se caracterizan por varios días consecutivos con anomalías extremas positivas (calor) o negativas (frío) en la temperatura del aire o del mar. En las últimas décadas, la frecuencia, duración e intensidad de las olas de calor han aumentado, mientras que las de frío han tendido a disminuir (Vavrus et al., 2006; Perkins & Alexander, 2013; Reboita et al., 2015; Rusticucci et al., 2016; Hobday et al., 2016; Manta et al., 2018; Reyes-Mendoza et al., 2022).

Por un lado, las olas atmosféricas que se dan en tierra afectan directamente la salud humana y animal, y generan consecuencias socioeconómicas severas, especialmente en sectores sensibles como la agricultura y la energía (Perkins & Alexander, 2013; Reboita et al., 2015; Rusticucci et al., 2016).

En paralelo, en el entorno marino, estos fenómenos pueden alterar profundamente estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, con impactos mayormente negativos sobre la biodiversidad, la productividad y los servicios ecosistémicos (Hobday et al., 2016; Manta et al., 2018; Reyes-Mendoza et al., 2022; Schlegel & Smit, 2018).

No obstante, más allá de sus impactos negativos inmediatos, estos eventos deben analizarse también como parte del régimen de perturbaciones que moldea la estructura y dinámica de los ecosistemas, ya que la diversidad biológica depende tanto de las condiciones promedio como de la ocurrencia de disturbios recurrentes (Connell, 1978; Fox, 1979; Sousa, 1984; White & Pickett, 1985).

Existen algunos enfoques y métricas ampliamente utilizados para definir las olas de calor y de frío en la atmósfera, dependiendo del contexto regional y del tipo de variable utilizada (Vavrus et al., 2006; Perkins & Alexander, 2013; Reboita et al., 2015; Rusticucci et al., 2016; Hobday et al., 2016).

En el caso de las olas de frío, algunos estudios las han caracterizado como secuencias de al menos dos días consecutivos con temperaturas inusualmente bajas. Por ejemplo, Vavrus et al. (2006) las definió como “brotes de frío”, en los cuales la temperatura mínima diaria descendía al menos dos desviaciones estándar por debajo de la climatología invernal, durante dos o más días.

Otra aproximación común ha consistido en emplear umbrales basados en percentiles (Nairn & Fawcett, 2015; Nairn, 2013), donde se ha definido la ola de calor y frío como eventos en los

que la temperatura máxima o mínima excede el percentil 95 o se sitúa por debajo del percentil 5, respectivamente, durante tres o más días. Basándose en este enfoque, Reboita et al. (2015) adaptaron el umbral temporal a dos días para representar con mayor precisión los eventos observados en el estado de Minas Gerais, Brasil.

Además, en el caso de las olas de calor, el uso de umbrales basados en percentiles superiores ha sido ampliamente adoptados. Perkins y Alexander (2013) propusieron una metodología que ha sido extensamente utilizada, incluso en la definición de olas marinas. Este enfoque se basa en identificar eventos a partir del percentil 90 de la temperatura máxima ( $T_x$ ) y mínima ( $T_n$ ) diaria, calculados mediante una ventana móvil de 15 días centrada en el día de interés, y con una duración mínima de tres días.

En la región, Rusticucci et al. (2016), en un estudio sobre Argentina, utilizaron un criterio adicional: la ocurrencia conjunta de  $T_n$  y  $T_x$  por encima de sus respectivos percentiles 90, lo que permite identificar eventos particularmente intensos, denominados olas de calor extremas (*EHW*, por sus siglas en inglés). Estas distintas definiciones ponen de manifiesto la importancia de adaptar los criterios a las características térmicas locales y a los objetivos específicos de cada investigación.

De manera análoga, las olas de calor y frío marinas se definen según criterios estadísticos que consideran la variabilidad climática local. Las olas de calor marinas se caracterizan por temperaturas anormalmente altas de la superficie del mar (TSM) que superan el percentil 90 durante al menos cinco días, mientras que las olas de frío marinas corresponden a períodos de cinco días o más con temperaturas por debajo del percentil 10 (Hobday et al., 2016; Schlegel et al., 2017). Esta duración mínima se justifica por las escalas de variabilidad más lentas del océano en comparación con la atmósfera (Oliver et al., 2017, 2018a, 2018b).

A nivel regional, diversas investigaciones han caracterizado las olas de frío atmosféricas en Sudamérica. Estas ocurren con mayor frecuencia entre mayo y septiembre, especialmente en julio y agosto, con una duración típica de cuatro a cinco días (Alves et al., 2017; Castro et al., 2003). Pezza y Ambrizzi (2005) señalaron que eventos intensos, como la ola de frío registrada en julio de 2000 en el sur de Brasil, no fueron aislados, sino parte de una recurrencia climática durante el período 1988–2003. Desde el punto de vista de la dinámica atmosférica, estas olas se han asociado a incursiones de aire polar desde latitudes medias o altas. Vera y Vigliarolo (2000) vincularon estos eventos con un patrón de onda larga caracterizado por una perturbación ciclónica sobre Sudamérica y una anticiclónica posterior sobre el Pacífico Sur. También se ha señalado el papel del Anticiclón Subtropical del Atlántico Sur, en posición estacionaria sobre el sureste de Brasil, lo que favorece el enfriamiento radiativo (Escobar, 2007).

Sprenger et al. (2013) identificaron en el nivel de 500 hPa un patrón de circulación caracterizado por una dorsal de bloqueo en el Pacífico Suroriental y una vaguada continental al este, extendiéndose sobre Sudamérica. Esta configuración favoreció la ruptura de ondas de Rossby y el establecimiento de una estructura alargada de vorticidad potencial (*PV streamer*,

término en inglés), que facilitó la advección de aire subantártico hacia el norte, generando irrupción de frío intenso en el sureste del continente.

Por otro lado, las olas de calor atmosféricas han sido más estudiadas que las de frío, especialmente en verano, debido a su incremento global bajo el cambio climático en cuanto a frecuencia, duración e intensidad (IPCC, 2021; Perkins & Alexander, 2013). En Sudamérica se ha destacado la influencia de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS) en fase activa durante las semanas previas a los eventos (Cerne & Vera, 2011; Rusticucci, 1995). Esta configuración promueve el aumento de temperaturas mediante subsidencia y el desarrollo de una circulación anticiclónica en 300 hPa, además de procesos diabáticos sobre el sureste de Sudamérica (Álvarez et al., 2019; Cerne et al., 2007).

En Uruguay, se ha observado una alta incidencia de bloqueos atmosféricos con efectos diferenciados: los bloqueos en la región del Pacífico-Atlántico Sur (PAS) favorecen advecciones cálidas desde el norte durante el invierno, mientras que los bloqueos en el Atlántico Sur (ATS) se han vinculado a anomalías térmicas negativas, especialmente en otoño (Giacosa, 2018; Giacosa et al., 2020). Durante el semestre frío, estos factores podrían influir en la ocurrencia de eventos cálidos y fríos extremos, aunque la literatura regional aún es escasa en este sentido.

El estudio de las olas marinas ha cobrado relevancia en los últimos años (Hobday et al., 2016; Manta et al., 2018; Oliver et al., 2017; Reyes-Mendoza et al., 2022; Schlegel et al., 2017). Aunque existe una creciente evidencia sobre el impacto ecológico de las olas de calor marinas, los eventos de frío extremo en el océano han recibido menos atención. Los mecanismos físicos que acompañan estos eventos incluyen el flujo de calor aire-mar, la advección horizontal de temperatura y procesos de afloramiento. Además, pueden ser modulados por la variabilidad climática de gran escala, como las teleconexiones (Oliver et al., 2021; Holbrook et al., 2019).

En el Atlántico suroeste, estudios nacionales han mostrado que las condiciones atmosféricas fueron responsables del desarrollo y mantenimiento de la ola de calor marina récord de 2017, y que la frecuencia de estos eventos ha aumentado significativamente desde 2014 (Manta et al., 2018). En cuanto a las olas de frío marinas, aunque menos frecuentes, pueden generar importantes efectos ecológicos, como mortalidades masivas, cambios de rango, pérdida de hábitat y alteraciones fenológicas (Schlegel et al., 2021). Además, la reducción en su ocurrencia podría parecer beneficiosa, pero podría también modificar el régimen térmico natural de los ecosistemas marinos y tener consecuencias ecológicas negativas.

A pesar del creciente interés científico por las olas de calor y frío, tanto atmosféricas como marinas, existen muy pocos trabajos que aborden explícitamente la conexión entre ambos fenómenos. Esta brecha es especialmente notoria en regiones como el atlántico suroeste y, en particular, en Uruguay, donde casi no se han desarrollado estudios que analicen de forma conjunta las condiciones atmosféricas y oceánicas capaces de originar, intensificar o mantener estos eventos extremos. Dada la constante interacción entre el océano y la atmósfera, resulta fundamental avanzar en investigaciones que determinen posibles conexiones. Tal enfoque permitiría comprender mejor los mecanismos físicos involucrados y

anticipar los impactos en sectores sensibles como la pesca, la biodiversidad marina y los sistemas productivos costeros.

## 1.2 Problema de investigación

A pesar de los efectos adversos que pueden generar las olas de calor y frío, los estudios sobre estos eventos en Uruguay durante el semestre frío (mayo a octubre) son escasos. Si bien a nivel internacional, la mayoría de las investigaciones se han enfocado en las olas de calor estivales, en respuesta a su aumento en frecuencia, intensidad y duración bajo el cambio climático, diversos estudios señalan que se pueden ocurrir en cualquier época del año (Perkins & Alexander, 2013; Rusticucci et al., 2016; Hobday et al., 2016). En el ámbito nacional, se tiene el estudio de Saravia et al. (2011) sobre el impacto del estrés térmico en vacas lecheras en el norte del país (Salto) también en verano.

El único estudio nacional que aborda de forma sistemática y con representatividad geográfica la ocurrencia de olas de calor a lo largo de todo el año —incluyendo el semestre frío— es el de De Mello (2024), quien identifica un 36 % más de olas de calor en invierno respecto al resto del año. Además, este autor vinculó dichos eventos con la presencia de bloqueos barotrópicos en niveles medios de la atmósfera, lo que sugiere una influencia relevante de la circulación de gran escala en su desarrollo. Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de ampliar el enfoque estacional y de profundizar en el estudio de extremos térmicos durante los meses fríos, tanto cálidos como fríos. En contraste, no se han encontrado investigaciones nacionales que analicen específicamente las olas de frío atmosféricas.

En cuanto al océano, las olas marinas de calor han sido exploradas en un número limitado en Uruguay, como el de Manta et al. (2018). No se han identificado hasta el momento investigaciones sobre olas marinas de frío. Esta escasa atención a los extremos térmicos fuera de la estación cálida contrasta con su potencial impacto sobre ecosistemas terrestres y marinos, así como sobre sectores sensibles como la agricultura, la ganadería, la salud y la energía (Reboita et al., 2015; Rusticucci et al., 2016; Hobday et al., 2016; De Mello, 2024).

Por otra parte, la co-ocurrencia entre olas atmosféricas y marinas durante el semestre frío aún no ha sido objeto de estudio en Uruguay. Explorar este fenómeno resulta clave para comprender los mecanismos físicos que los vinculan, así como sus impactos combinados sobre sistemas ecológicos y productivos. Incorporar esta dimensión integrada puede mejorar significativamente la predicción climática y fortalecer las estrategias de adaptación frente a eventos extremos en un contexto de cambio global.

En este sentido, el problema de investigación que se plantea es el siguiente: ¿Cómo podemos identificar y caracterizar los eventos de olas de calor y frío tanto en áreas terrestres como marinas durante el semestre frío en Uruguay? Hasta la fecha, los estudios climatológicos a nivel nacional han prestado poca atención a las olas atmosféricas y marinas (de Melo, 2024;

Manta) durante la época fría (mayo a octubre), y no se han identificado investigaciones que analicen explícitamente su co-ocurrencia. Como se ha señalado, las olas de calor no se restringen únicamente al verano, y su adecuada caracterización resulta esencial para aplicaciones en sectores como la biología y la agricultura, que requieren información climática precisa durante todo el año.

Este trabajo busca aportar a este vacío, mediante la detección y caracterización de olas de calor y frío en zonas terrestres y marinas durante el semestre frío en Uruguay. En particular, se aborda por primera vez la co-ocurrencia de estos eventos, una dimensión aún inexplorada a nivel nacional. Comprender su dinámica contribuirá al monitoreo y gestión de riesgos climáticos, con beneficios concretos para sectores sensibles como la agricultura, la ganadería y los ecosistemas costeros.

### 1.3 Pregunta de investigación y objetivos

En línea con la problemática planteada, el presente estudio parte de la siguiente **pregunta de investigación**:

¿Qué configuraciones atmosféricas específicas en superficie favorecen la ocurrencia de olas de calor y frío en el continente y en el medio marino adyacente durante el semestre frío en Uruguay?

A partir de lo anterior, se plantea como **objetivo general** caracterizar las olas de frío y calor atmosféricas y marinas durante el semestre frío en Uruguay.

#### **Objetivos específicos:**

- I. Determinar las olas de frío y calor atmosféricas y marinas en la época fría en Uruguay.
- II. Estudiar los casos de co-ocurrencia de las olas atmosféricas y marinas.
- III. Analizar los patrones de circulación atmosférica asociados a los eventos de olas de frío y calor.

En este contexto, esta tesis se organiza en ocho capítulos, en los cuales se exponen los resultados y discusiones correspondientes. A continuación, se describen los contenidos abordados en cada capítulo:

1. **Introducción**, donde se contextualiza el problema de estudio, se presentan los antecedentes y la relevancia de la investigación, se expone la pregunta de investigación junto con los objetivos, y se ofrece una guía sobre la estructura general de la tesis.
2. **Temperatura del aire**, que incluye el análisis de datos in situ y su distribución geográfica, la identificación y tratamiento de datos faltantes, el control de calidad de

las series diarias de temperatura máxima y mínima, así como las tendencias y climatologías de dichas variables.

3. **Temperatura superficial del mar**, en el que se examinan los datos satelitales disponibles y su distribución geográfica, la temperatura superficial del mar y su climatología.
4. **Eventos extremos de temperatura atmosférica**, donde se establecen las definiciones de eventos cálidos y fríos, se analizan los episodios extremos y se caracterizan las olas de calor y frío atmosféricas.
5. **Olas de calor y frío marinas**, dedicado a la definición y caracterización de estos eventos extremos en el océano.
6. **Análisis de la co-ocurrencia de eventos atmosféricos y marinos**, en el cual se examina el agrupamiento espacial y la relación temporal de los eventos, así como la circulación atmosférica asociada a su co-ocurrencia.
7. **Conclusiones**, donde se presentan los hallazgos más relevantes del estudio.
8. **Perspectivas**, en el que se proponen futuras líneas de investigación en el contexto del análisis de extremos de temperatura y su interacción.

## **2. TEMPERATURA DEL AIRE**

### **2.1 Datos in situ y distribución geográfica**

En esta sección se describen las series de observaciones diarias de temperatura máxima ( $T_x$ ) y mínima ( $T_n$ ) utilizados en el estudio, las cuales pertenecen a doce estaciones meteorológicas de superficie distribuidas en el territorio nacional. El período de estos datos comprende desde el 1 de enero de 1982 hasta el 31 de diciembre de 2018. De las estaciones consideradas, once pertenecen al Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET) y una al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), correspondiente a la estación de La Estanzuela (Figura 2.1).

Cabe destacar que la escala diaria utilizada fue fundamental para el análisis de eventos extremos, ya que permitió detectar estos fenómenos con mayor precisión. Asimismo, se resumieron las principales características de las estaciones meteorológicas (Tabla 2.1). El conjunto de datos, con una extensión de 37 años, cumplió con el período mínimo de 30 años recomendado internacionalmente para estudios climatológicos, lo que garantizó su idoneidad para el análisis climático (OMM, 2018).

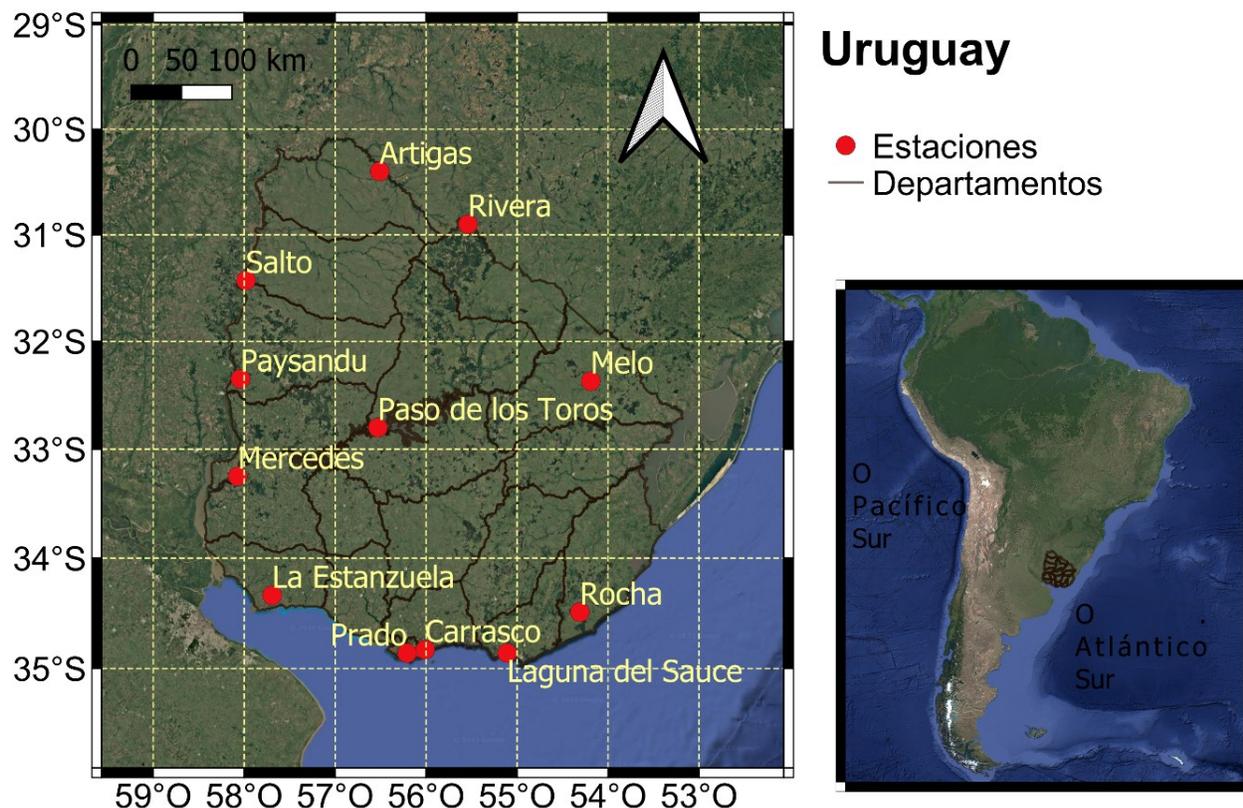


Figura 2.1. Ubicación geográfica de las 12 estaciones meteorológicas de superficie utilizadas en el estudio, distribuidas en el territorio uruguayo. Se utilizaron observaciones diarias de temperatura máxima (Tx) y mínima (Tn) (°C), registradas entre 1982 y 2018.

Tabla 2.1. Ubicación y características de las 12 estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio comprendido entre 1982 y 2018.

Lon.	Lat.	Altitud (m)	Código OMM**	Estación	Departamento
-57,69	-34,34	72,00	INIA	La Estanzuela	Colonia
-56,21	-34,86	16,27	86585	Prado	Montevideo
-56,01	-34,83	32,88	86580	Carrasco	Montevideo
-55,11	-34,86	28,33	-	Laguna del Sauce	Maldonado
-54,31	-34,49	18,16	86565	Rocha	Rocha
-54,19	-32,37	100,36	86440	Melo	Cerro Largo
-55,54	-30,9	241,94	83953	Rivera	Rivera
-56,51	-30,4	120,88	86330	Artigas	Artigas
-57,98	-31,43	41,00	86360	Salto	Salto
-58,04	-32,35	61,12	86430	Paysandú	Paysandú
-58,07	-33,25	17,01	86490	Mercedes	Río Negro
-56,52	-32,8	75,48	86460	Paso de los Toros	Tacuarembó

\*\*OMM: Organización Meteorológica Mundial

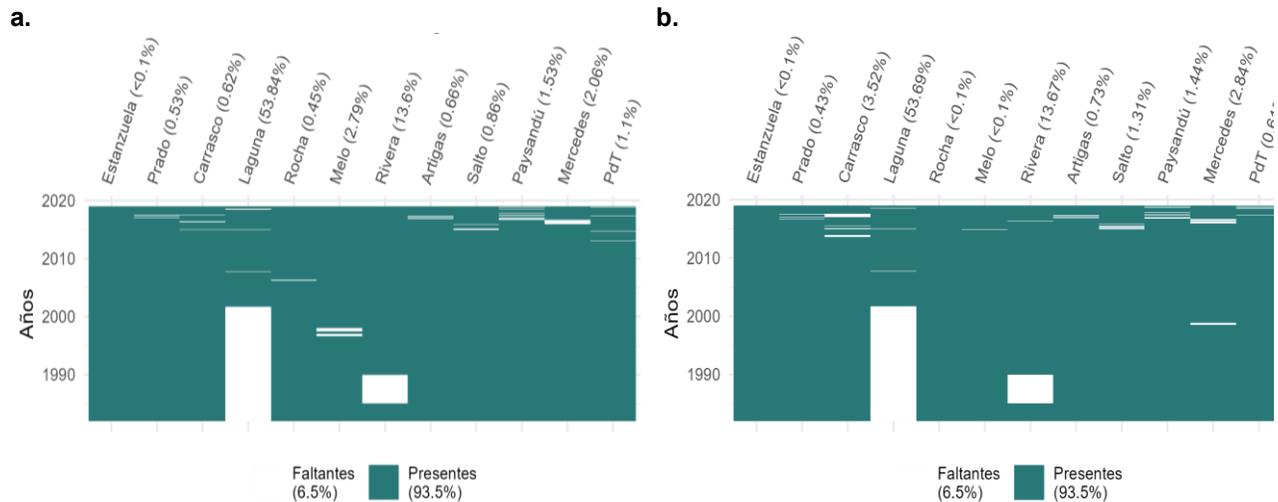
## 2.2 Datos faltantes

Como primer paso, se realiza una visualización exploratoria de las series de Tx y Tn, donde se cuantifican detalladamente los datos faltantes (NAs) en cada estación meteorológica.

Al evaluar la disponibilidad de datos de Tx y Tn, se constata que todas las estaciones presentan cierto grado de incompletitud (Anexo A, Figura A.1 a y b). En total se analizan 13 514 observaciones diarias por estación (12 estaciones) y variable (2 variables). Sin embargo, debido a la presencia de estos NAs, la cantidad efectiva de observaciones válidas es ligeramente inferior, pues se identifican en total 10 550 NAs en las series de Tx y 10 593 en las de Tn.

En términos porcentuales, se observa un 93,5 % de disponibilidad en el total de las observaciones diarias de Tx, mientras que los NAs representan el 6,5 %. Laguna del Sauce presentó el mayor porcentaje de NAs (53.84 %), pues comenzó a operar en el año 2000; y le siguió Rivera con un 3.6 %, debido a una interrupción en la serie entre 1985 y 1989, documentada en estudios previos (Renom, 2009). Otras estaciones con porcentajes relativamente elevados de NAs fueron Melo (2.79 %), Mercedes (2.06 %) y Paso de los Toros (1.1 %). En el resto de las estaciones, los NAs representaron menos del 1 %, destacándose La Estanzuela con una cantidad mínima (< 0,1 %) (Figura 2.2a).

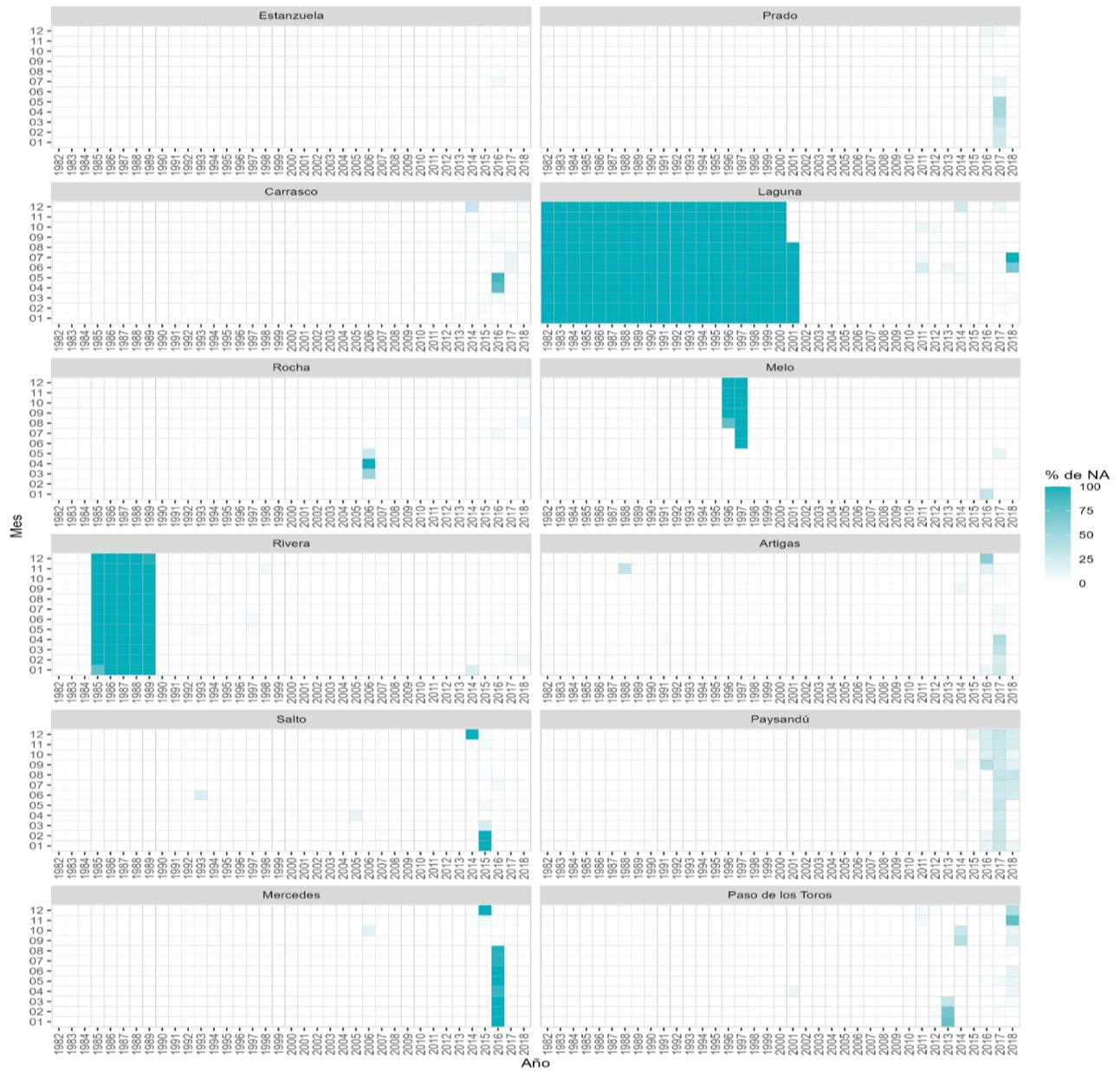
Para las observaciones diarias Tn, el porcentaje de datos disponibles es equivalente al registrado en Tx. En la mayoría de las estaciones, el porcentaje de NAs es bajo, aunque se identificaron algunas excepciones. En particular, la estación Carrasco presenta un porcentaje relativamente alto (3,52 % de NAs), mientras que en Rocha y Melo es prácticamente nula (NAs < 0,1 %) (Figura 2.2b).



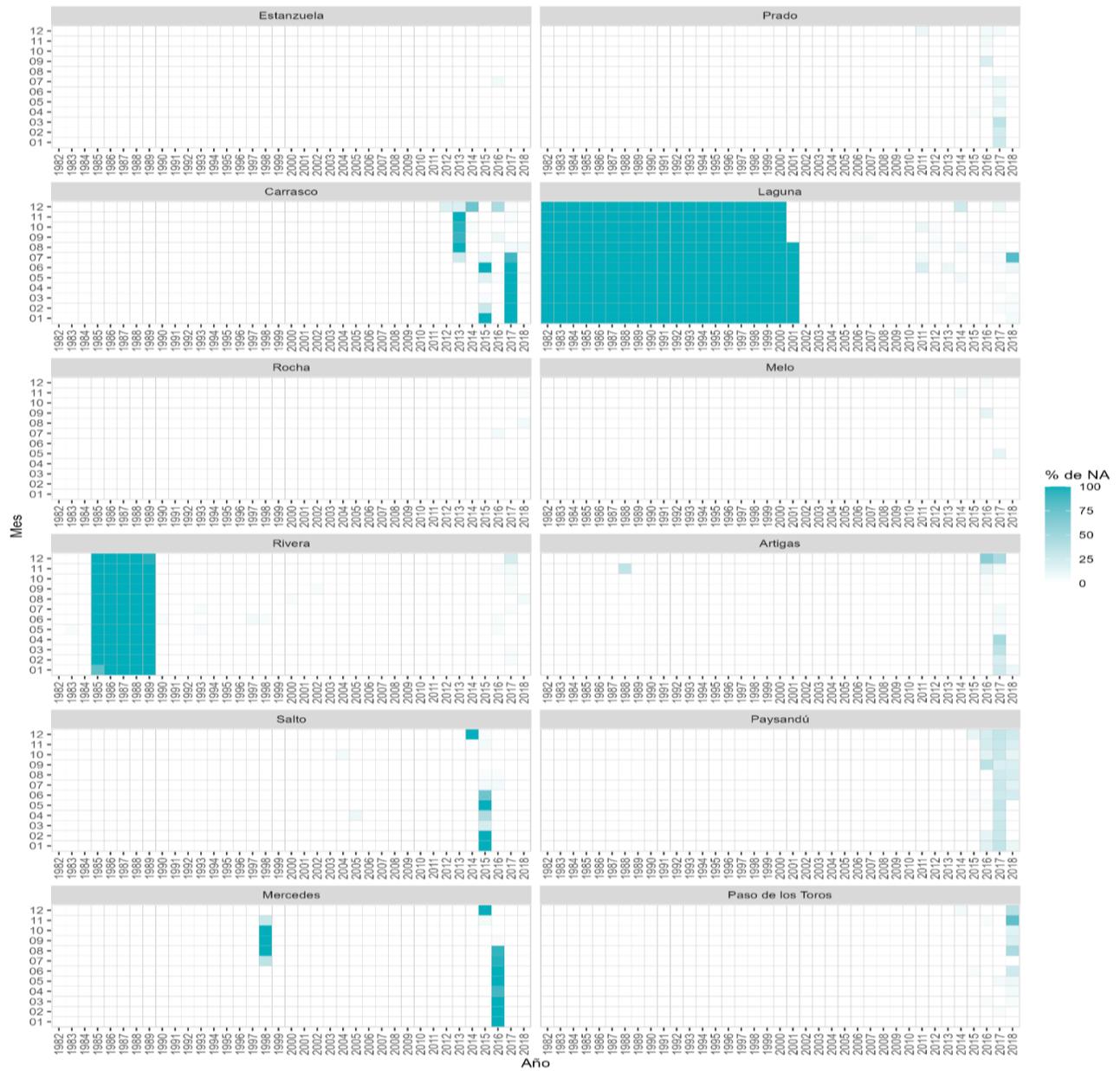
**Figura 2.2.** Porcentaje de datos faltantes (NAs) en (a) temperatura máxima (Tx) y (b) mínima (Tn) diarias, en las 12 estaciones meteorológicas entre 1982 y 2018. Los espacios en blanco representan los NAs, mientras que las celdas en verde indican observaciones diarias disponibles.

Además, se muestra una cobertura de datos superior al 90 %, con excepción de Laguna del Sauce y Rivera. Esta última registra una cobertura del 87 %, que, si bien es inferior a la del resto de las estaciones, supera el umbral mínimo del 75 % establecido para su inclusión en el análisis (Renom, 2009). En cambio, la estación de Laguna del Sauce es excluida de las etapas posteriores debido a que presenta más del 50 % de datos faltantes (NAs) tanto en las series de Tx como en las de Tn. No obstante, se prevé su incorporación en análisis futuros, dado su interés estratégico.

Con esto se seleccionan 11 estaciones para el análisis, donde la cantidad total de NAs en las estaciones se reduce a 3 274 en Tx y 3 337 en Tn. A partir de esto, los promedios mensuales y anuales del porcentaje de NAs no evidencian períodos prolongados de ausencia de datos durante los meses de estudio (mayo a octubre), lo que respalda la representatividad y continuidad de las series durante el semestre frío (Figuras 2.3 y 2.4).



**Figura 2.3.** Distribución mensual (eje y) y anual (eje x) del porcentaje de datos faltantes (NAs) en las observaciones diarias de la temperatura máxima (Tx) en cada estación meteorológica entre 1982 y 2018. Cada celda representa el porcentaje promedio de NAs en un mes determinado.



**Figura 2.4.** Distribución mensual (eje y) y anual (eje x) del porcentaje de datos faltantes (NAs) en las observaciones diarias de temperatura mínima ( $T_n$ ) en cada estación meteorológica entre 1982 y 2018. Cada celda representa el porcentaje promedio de NAs en un mes determinado.

## 2.3 Control de calidad de Tx y Tn diarias

Si bien las series de Tx y Tn, mencionadas anteriormente, han sido sometidas a previos controles de calidad (Renom, 2009; de Mello, 2013), en este estudio se realiza un nuevo análisis de consistencia, debido a la incorporación de nuevas observaciones diarias, correspondientes al período 2014-2018. Por lo tanto, se requiere la aplicación de controles adicionales para asegurar la homogeneidad y precisión de la base de datos para los análisis posteriores.

El control de calidad se realiza a partir de la metodología de Rusticucci y Barrucand (2001), lo cual permite una estricta validación de los datos diarios, especialmente en la distinción entre un evento extremo real y un outlier. Asimismo, se siguen las pautas establecidas en la Guía de prácticas climatológicas (OMM, 2018) y en las Directrices para el control de la calidad y el aseguramiento de la calidad de los datos de estaciones de observación en superficie para aplicaciones climáticas (OMM, 2021). Ambas publicaciones proporcionan los lineamientos técnicos y metodológicos para el aseguramiento de la calidad de los datos meteorológicos, incluyendo pruebas de control, criterios de consistencia y procedimientos para el tratamiento de datos observacionales con fines climáticos.

El análisis de consistencia se divide en las siguientes dos etapas: 1. Control del formato de los datos, detección y eliminación de valores no razonables de temperatura como casos en que la Tx < Tn, secuencia de temperatura de 0°C y outliers (valores extremos) y 2. Controles sobre diferencias de temperaturas interdiurna, o sea, outliers sospechosos.

En la primera etapa se emplea el software RCLimDex (Zhang & Yang, 2004), desarrollado por el Equipo de Expertos sobre los Índices y la Detección del Cambio Climático (ETCCDI) (<http://www.wcrp-climate.org/unifyingthemes/unifying-themes-observations/data-etccdi>). En el procesamiento de los datos mediante este software, los valores faltantes son identificados como NA. Las fechas duplicadas son eliminadas, y aquellas ausentes en la secuencia temporal se incorporan con el marcador NA, a fin de preservar la estructura cronológica de las series.

A su vez, con el mismo software, se definen los outliers (valores atípicos o extremos) de temperatura diaria como aquellos localizados a más de  $\pm 4$  desviaciones estándar respecto de la media mensual correspondiente (Zhang & Yang, 2004).

En la etapa 2, se identifican outliers sospechosos, valores también atípicos pero asociados a variaciones interdiurnas anómalas. Para ello, se calcula la variación de temperatura diaria definida como:

$$\Delta T(n, j, y) = |T(n, j, y) - T(n - 1, j, y)| \quad (\text{Ec. 2.1}),$$

donde  $n$  es el día actual dentro de las observaciones diarias agrupadas por mes ( $j$ ) y año ( $y$ ).

Posteriormente, se clasifican como *outliers* sospechosos aquellos casos en los que la variación interdiurna supera cuatro veces la desviación estándar  $\sigma(j)$ , calculada a partir del

vector de  $\Delta T$  correspondiente al mes ( $j$ ) y la estación analizada, según el criterio propuesto por Rusticucci y Barrucand (2001).

Para reducir la posibilidad de falsos positivos, se aplica un segundo filtro basado en la coherencia espacial de los eventos detectados. Cuando una variación extrema se registra únicamente en una estación y no en las demás, se considera como un error de medición y no como una transición térmica real, por lo que el dato se descarta. Finalmente, los valores identificados como errores se revisan manualmente para determinar si corresponden a cambios abruptos vinculados con el ingreso de frentes. En tales casos, no se consideran como anomalías.

Como resultado, en la etapa 1 se identifican errores relacionados con registros inexistentes (fechas ausentes) y registros duplicados. Por ejemplo, en las series de  $T_x$  y  $T_n$  correspondientes a las estaciones de La Estanzuela, Salto, Mercedes y Rocha, se observan fechas repetidas en dos ocasiones: el 31 de mayo de 2015 y el 10 de junio de 2015, las cuales se eliminaron.

Durante el proceso de control de calidad de los datos, se identificaron fechas ausentes en las estaciones de La Estanzuela, Salto, Mercedes y Rocha dentro del intervalo del 8 al 11 de julio de 2016. Para asegurar la coherencia temporal de las series, se completan los valores correspondientes a los días 9 y 10 de julio con NA en ambas variables ( $T_x$  y  $T_n$ ), permitiendo así mantener la estructura de los registros sin introducir sesgos en los análisis posteriores.

Adicionalmente, se detectan valores no razonables, clasificados como “errores indiscutibles”, que incluyen casos donde la  $T_x$  resulta inferior a la  $T_n$ , lo cual no es físicamente posible. Estos errores se identifican en Artigas con 1 caso, Salto y Paysandú con 2 y Carrasco con 7.

Asimismo, se observan valores atípicos (outliers), en la serie de  $T_x$  en Paso de los Toros y Prado, y en la serie de  $T_n$  en La Estanzuela (1 caso). Estos valores se consideraron erróneos y se sustituyen por NA, siguiendo los criterios propuestos por Rusticucci y Barrucand (2001), quienes recomiendan la eliminación de datos aislados e inconsistentes, con el fin de preservar la calidad y confiabilidad de las series analizadas.

En la etapa 2, además de la identificación de valores sospechosos fuera de rango, se detectan varias fechas en las que estas anomalías aparecen simultáneamente en más de una estación. En tales casos, los registros se consideran válidos, ya que las diferencias de temperatura se atribuyen a fenómenos de escala sinóptica (Renom, 2009). Por lo tanto, dichos valores se aceptan como observaciones reales.

En resumen, se identifican 218 casos de errores de outliers sospechosos (outliers reales), de los cuales 101 (46%) corresponden a las series de  $T_n$ ; y 117 (54%) a las de  $T_x$ . Este número representa un porcentaje reducido en comparación con el total de datos analizados durante el período correspondiente para las 11 estaciones meteorológicas (Anexo B, Tabla B.1).

Todos los errores anteriores se corroboran con el Inumet, y aquellos que no se verifican se reemplazan con NA. Asimismo, la información sobre los datos faltantes y los tipos de errores de las series de  $T_x$  y  $T_n$  de cada estación se encuentran en el Anexo B, de la Tabla B.2 a la

B.24), así como la cantidad de tipos de errores por estación y variable de temperatura (Tabla 2.2).

**Tabla 2.2. Errores detectados en el control de consistencia de las series diarias de temperatura máxima (Tx) y mínima (Tn) (°C) registradas entre 1982 y 2018 en las 11 estaciones con más del 75% de observaciones disponibles.**

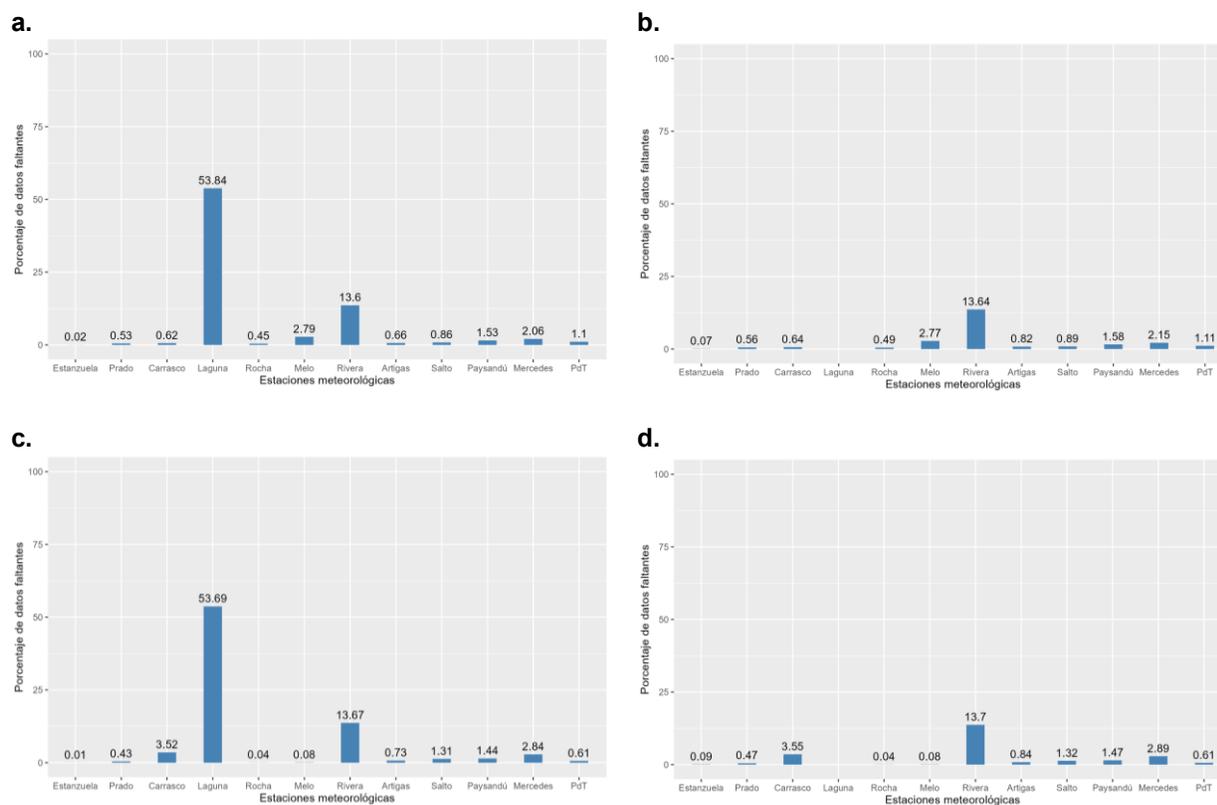
<b>Estación/ Variable</b>	<b>Outliers</b>	<b>Tx&lt; Tn</b>	<b>Outliers sospechosos</b>	<b>Fechas repetidas</b>	<b>Fechas ausentes</b>	<b>Errores Totales</b>
Estanzuela/Tx	0	0	6	0	2	8
Estanzuela/Tn	1	0	9	0	2	12
Prado/Tx	1	0	13	0	0	14
Prado/Tn	0	0	10	0	0	10
Carrasco/Tx	0	7	11	0	0	18
Carrasco/Tn	0	7	15	0	0	22
Rocha/Tx	0	0	10	0	2	12
Rocha/Tn	0	0	9	0	2	11
Melo/Tx	0	0	7	0	0	7
Melo/Tn	0	0	7	0	0	7
Rivera/Tx	0	0	6	0	0	6
Rivera/Tn	0	0	6	0	0	6
Artigas/Tx	0	1	25	0	0	26
Artigas/Tn	0	1	15	0	0	16
Salto/Tx	0	2	9	2	2	15
Salto/Tn	0	2	9	2	2	15
Paysandú/Tx	0	2	10	0	0	12
Paysandú/Tn	0	2	8	0	0	10
Mercedes/Tx	0	0	16	0	2	18
Mercedes/Tn	0	0	9	0	2	11
Paso de los Toros/Tx	1	0	4	0	0	5
Paso de los Toros/Tn	0	0	4	0	0	4

Después del análisis de consistencia se observa un incremento en de las observaciones diarias marcadas como NA. Sin embargo, en el caso de Melo, las series de Tx y Tn mantienen la cantidad inicial de NAs, ya que con las verificaciones realizadas con el Inumet se conservan los valores originales de las observaciones. Un resultado similar se tiene en Paso de los Toros, específicamente en la serie de Tn (Anexo B, Tabla B.25).

En total, se contabilizan 3340 NAs en las series de Tx y 3386 en las de Tn. El total de datos faltantes es levemente mayor que el inicialmente reportado, lo cual es consistente con la aplicación de los controles de calidad recomendados en la literatura (Rusticucci & Barrucand,

2001; Renom, 2009). En la disponibilidad de datos antes y después del control de calidad no se observan diferencias marcadas (Anexo A, Figura A.1 c y d).

En consonancia, se observa un leve aumento en los porcentajes de NAs para Tx y Tn tras el análisis de consistencia en la mayoría de las estaciones (Figura 2.5). No obstante, la disponibilidad de datos se mantiene elevada, con más del 97 % de observaciones válidas en el conjunto total y menos del 2,3 % de datos faltantes.



**Figura 2.5.** Porcentaje de datos faltantes de Tx y Tn diarias (°C) en las estación meteorológicas entre 1982 y 2018, (a, B) antes y (c, d) después del control de consistencia, donde Laguna del Sauce no se selecciona (más del 25% de NAs). (a) y (c): Tx; (b) y (d): Tn.

El proceso de control de calidad permitió contar con una base de datos debidamente consistida y actualizada hasta 2018, lo que garantizó la validez continua de las series de Tx y Tn utilizadas en este estudio. Si bien las bases de datos habían sido sometidas previamente a rigurosos controles de calidad (Renom, 2009; de Mello, 2013), la incorporación de observaciones recientes justificó la aplicación de nuevas verificaciones, permitiendo detectar errores indiscutibles, outliers y registros inconsistentes que podrían haber afectado el análisis.

En este sentido, los resultados coinciden con lo señalado por Rusticucci y Barrucand (2001), quienes destacan que un análisis exhaustivo de consistencia sigue siendo necesario incluso

en bases de datos previamente controladas, ya que pueden persistir errores que comprometan la interpretación de los eventos extremos.

## 2.4 Climatología de Tx y Tn mayo a octubre

Una vez que las series quedan lo suficientemente consistidas, se procede a la obtención de estadísticos descriptivos básicos. Cabe destacar que a partir de esta sección sólo se utilizan las observaciones correspondientes al semestre frío austral, definido de mayo a octubre.

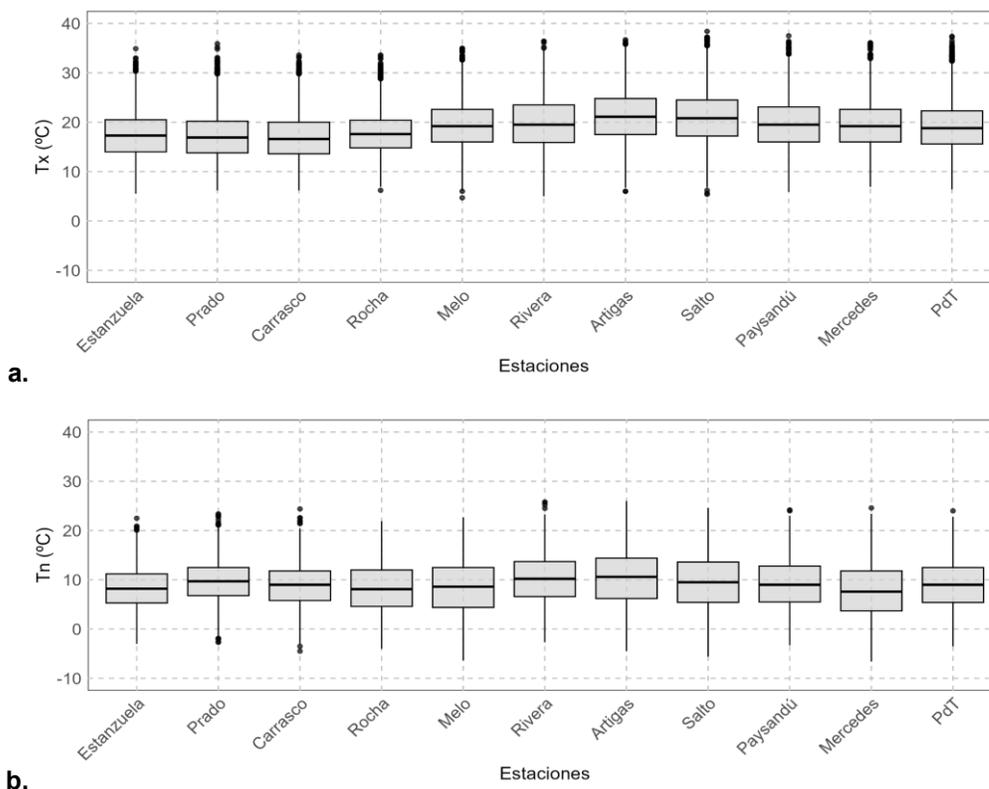
En general, las estaciones del norte del país, como Artigas y Salto, presentan temperaturas más elevadas, mientras que las estaciones del sur y este, como Carrasco, Rocha y Melo, muestran temperaturas más moderadas y una menor amplitud térmica.

Esta distribución térmica responde, por un lado, a la latitud y a la ausencia de accidentes topográficos significativos, lo que permite que las isotermas sigan trayectorias casi paralelas a los círculos de latitud, con temperaturas que aumentan hacia el norte. Por otro lado, la influencia del estuario del Río de la Plata y del océano Atlántico modera el clima en las regiones costeras, atenuando las variaciones térmicas diarias y estacionales mediante un aumento de la humedad atmosférica. Asimismo, aunque con un efecto más tenue en estas latitudes, la corriente cálida de Brasil puede extender ligeramente la influencia tropical hacia el sur (Barreiro et al., 2021).

Como resultado, la amplitud del ciclo térmico es mayor en el norte del país, donde, al estar más alejado de la influencia marítima, se presentan fluctuaciones térmicas más extremas, propias de climas continentales. En cambio, las diferencias térmicas regionales tienden a reducirse en otoño (Barreiro et al., 2021; Anexo A, Tabla A.1).

Por otra parte, en los diagramas de cajas de Tx (Figura 2.6 a) se muestran medianas similares entre la mayoría de las estaciones, especialmente en La Estanzuela, Prado y Carrasco, lo cual sugiere condiciones comparables de temperaturas máximas durante el semestre frío. Además, se detectan outliers en todas las estaciones, entendidos aquí en el sentido estadístico de los diagramas de caja (valores que exceden 1,5 veces el rango intercuartílico). En este análisis tales valores se aceptan, ya que reflejan la presencia de eventos extremos, es decir, días con temperaturas inusualmente altas o bajas. También, algunas estaciones del norte del país, como Rivera, Artigas y Salto, presentan una mayor dispersión en los datos, lo cual puede atribuirse a las características geográficas y climáticas locales.

En los diagramas de cajas de Tn (Figura 2.6b) también se observan medianas relativamente similares entre las estaciones, aunque se nota una mayor variabilidad en los rangos intercuartiles y en los valores extremos de algunas localidades como Artigas, Salto y Melo. Si bien se identifican outliers en algunas de las estaciones, son menos frecuentes que en Tx, lo que sugiere una menor ocurrencia de eventos extremos en Tn o una menor variabilidad en las mínimas.



**Figura 2.6.** Diagramas de caja de (a) temperatura máxima diaria (Tx) y (b) mínima (Tn), en °C, de las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Se muestran mediana, rango intercuartílico y valores atípicos, a partir de datos validados tras el control de calidad.

Los histogramas de Tx y Tn muestran la distribución de frecuencias absolutas de las temperaturas (Figuras 2.7 y 2.8). Complementariamente, los coeficientes de asimetría y curtosis (Tabla 2.4) proporcionan una caracterización estadística adicional de la distribución de los datos.

En general, se observa una asimetría positiva en las series de Tx de todas las estaciones meteorológicas. Este patrón es consistente con los histogramas de frecuencias absolutas (Figuras 2.7), que muestran un aumento en la cola positiva de la distribución. Esto indica una tendencia a registros de temperaturas máximas más elevadas.

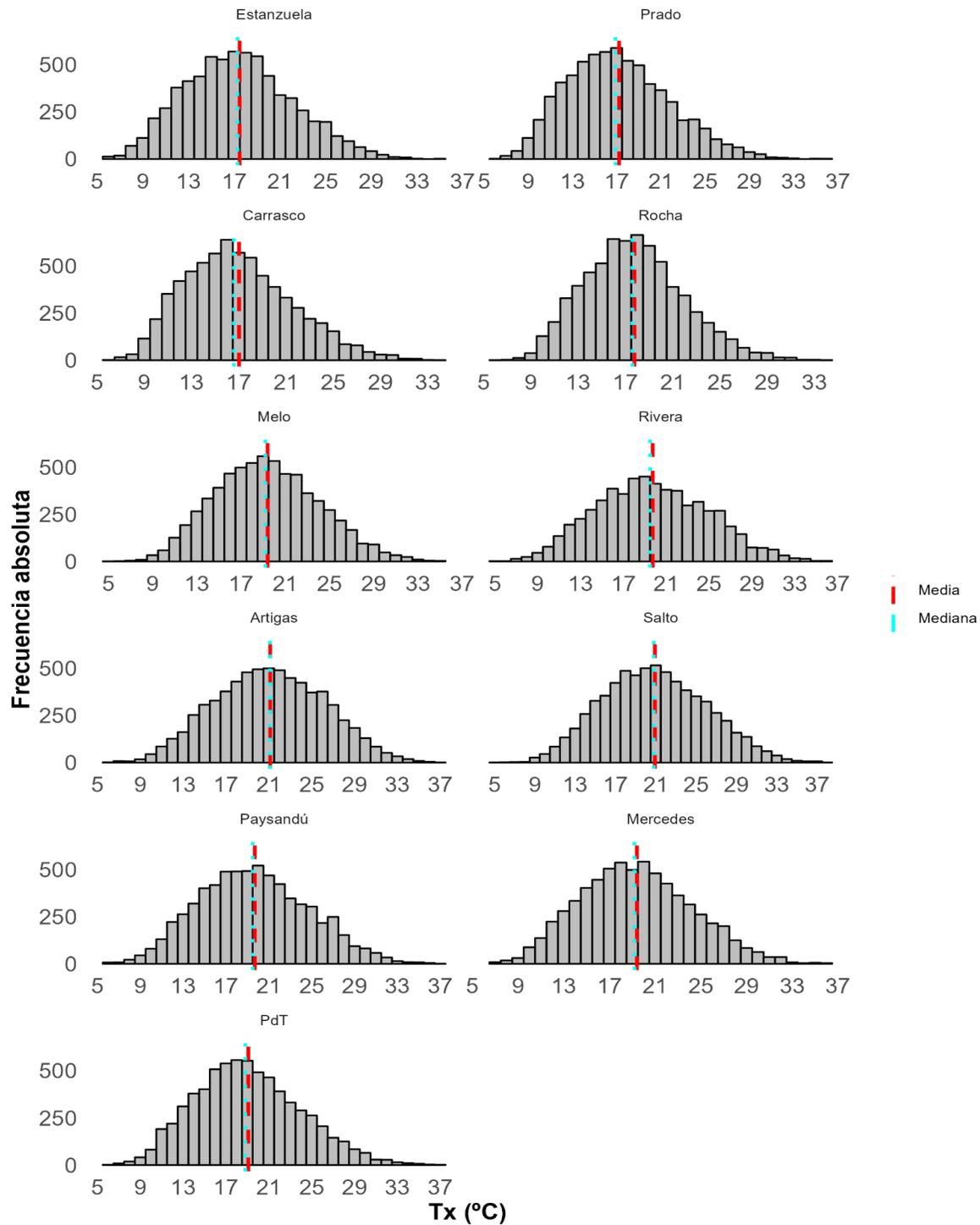
En cuanto a las series de Tn, se observan asimetrías levemente negativas en la mayoría de las estaciones a excepción de Artigas y Melo, pero todas son muy cercanas a 0. En Artigas, Mercedes y Melo se detectan asimetrías ligeramente positivas, lo que muestra la presencia de algunas Tn inusualmente altas. En Prado, Carrasco, Melo, Rivera y Artigas, las asimetrías son ligeramente negativas, lo que sugiere la ocurrencia de Tn inusualmente bajas. En las

demás estaciones, la asimetría es cercana a cero, lo que indicó distribuciones relativamente simétricas y Tn consistentemente regulares (Figura 2.8).

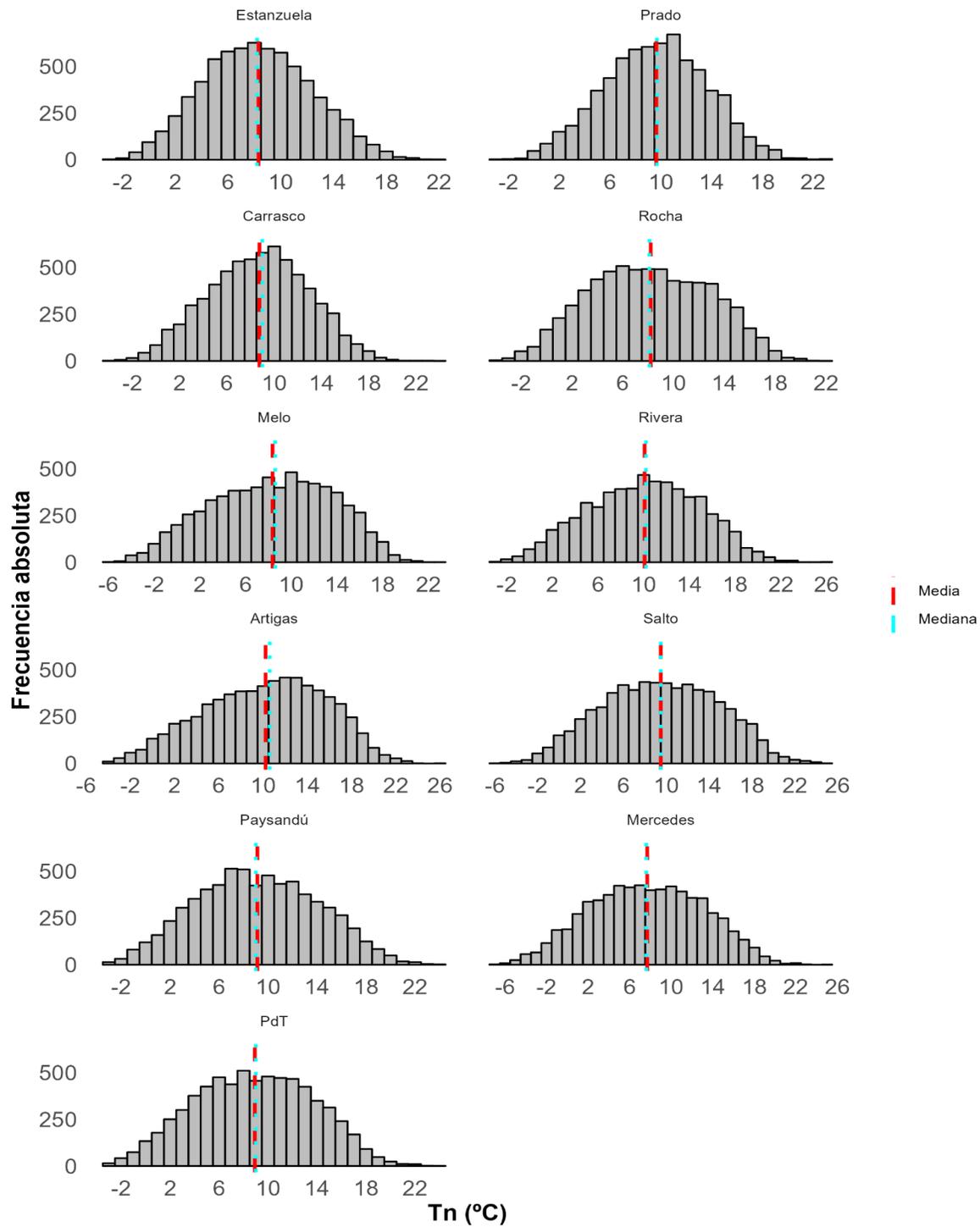
En lo que se refiere al análisis de los coeficientes de curtosis de Tx y Tn, estos son predominantemente negativos, lo cual indica distribuciones platicúrticas, caracterizadas por ser más planas y tener colas más ligeras que la distribución normal. Esto implica que las temperaturas extremas, tanto muy bajas como muy altas, son menos frecuentes y están menos concentradas en el centro de las distribuciones (Tabla 2.3).

**Tabla 2.3. Asimetría y curtosis de la temperatura máxima diaria (Tx) y mínima (Tn), en °C, en las estaciones seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018.**

<b>Estaciones</b>	<b>Art.</b>	<b>Car.</b>	<b>Est.</b>	<b>Mer.</b>	<b>Pay.</b>	<b>Para.</b>	<b>Roc.</b>	<b>Sal.</b>	<b>Mel.</b>	<b>PdT</b>	<b>Riv.</b>
<b>Tx</b>											
<b>Curtosis</b>	-0.27	-0.13	-0.12	-0.03	-0.26	-0.41	-0.44	-0.35	-0.33	-0.27	-0.14
<b>Asimetría</b>	0.29	0.43	0.46	0.36	0.22	0.16	0.04	0.17	0.22	0.24	0.34
<b>Tn</b>											
<b>Curtosis</b>	-0.42	-0.33	-0.40	-0.72	-0.75	-0.57	-0.65	-0.64	-0.59	-0.63	-0.61
<b>Asimetría</b>	0.13	-0.02	-0.04	0.04	-0.14	-0.05	-0.19	-0.02	0.07	-0.01	-0.01



**Figura 2.7.** Histogramas de temperatura máxima diaria (Tx, °C) de las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018.

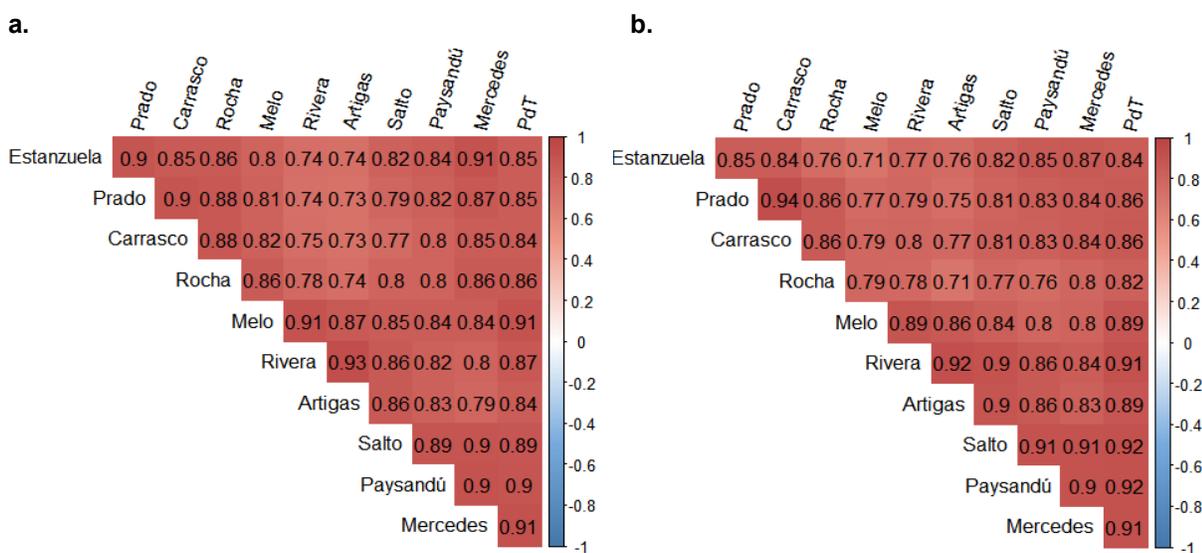


**Figura 2.8.** Histogramas de temperatura mínima diaria ( $T_n$ , °C) de las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018.

Por otro lado, se incluyeron las estadísticas básicas de la distribución de las series de cada estación y variable (Anexo C, Tablas C.1 y C.2), las cuales comprendieron el valor mínimo (Min.), el primer cuartil (1st Qu., o percentil 25), la mediana, la media, el tercer cuartil (3rd Qu.), el valor máximo (Max.), la desviación estándar (std) y los NAs.

También el valor mínimo de  $T_n$  se registra en Mercedes con  $-6.60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el 12 de julio de 1988 y el 12 de julio de 2007, mientras que el valor máximo se obtuvo en Artigas con  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el 14 de octubre de 1991. En cuanto a  $T_x$ , el mínimo se observa en Melo con  $4.70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el 18 de julio de 1992, y el máximo en Salto con  $38.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el 13 de septiembre de 2013 (Anexo C, Tabla C.3).

Además, con el fin de determinar regiones homogéneas, se realiza un análisis de correlación lineal entre las estaciones y por variable. Para ello, se utiliza la correlación de Pearson ( $r$ ), a la cual se le aplica la prueba  $t$  de *Student* con un nivel de confianza del 95% (Figura 2.9 y Anexo D, Tablas D.1 y D.2). Los resultados muestran correlaciones positivas y altas, superiores a 0.70, lo que indica una fuerte relación entre las estaciones. Además, todos los valores de  $p$  son  $< 0.001$ .



**Figura 2.9.** Correlogramas de (a)  $T_x$  y (b)  $T_n$  diarias ( $^{\circ}\text{C}$ ) de las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Las correlaciones se calcularon mediante el coeficiente de Pearson ( $r$ ), con significancia evaluada mediante prueba  $t$  (95% de confianza). Las asociaciones fueron positivas y significativas ( $p < 0.001$ ), indicando alta coherencia espacial.

Los resultados analizados hasta este punto sugieren una coherencia general entre las características térmicas de las estaciones meteorológicas y su ubicación geográfica. Las estaciones del norte presentan  $T_x$  y  $T_n$  más elevadas, junto con una mayor dispersión, mientras que las del sur y este estuvieron influenciadas por un efecto moderador asociado a

la cercanía del océano. Las distribuciones de  $T_x$  se caracteriza por una asimetría positiva, lo que indica la posible presencia de días con temperaturas máximas excepcionalmente altas.

En el caso de  $T_n$ , las asimetrías son generalmente cercanas a cero o levemente negativas, lo que sugiere una menor frecuencia de eventos extremos en las temperaturas mínimas. Además, la predominancia de curtosis negativa en ambas variables indica distribuciones más planas, con menor concentración de valores extremos. Por último, las altas correlaciones de Pearson observadas entre estaciones, todas estadísticamente significativas, respaldaron la existencia de una estructura térmica coherente a escala regional.

Además de la caracterización estadística, se consideró necesario analizar la evolución temporal de las variables, dado el aumento de la temperatura media global asociado al cambio climático (IPCC, 2021), fenómeno que también ha afectado a Uruguay. Diversos estudios nacionales han documentado incrementos tanto en la temperatura media como en sus extremos en varias estaciones del país (Renom, 2009; Barreiro et al., 2021; de Mello, 2024).

En este contexto, se determina si las series de  $T_x$  y  $T_n$  presentan cambios sistemáticos a lo largo del tiempo durante el semestre frío. Para ello, se aplica un análisis de tendencias mediante la prueba de Mann-Kendall (MK) (Mann, 1945; Kendall, 1975) junto con el estimador de pendiente de Sen (Theil, 1950; Sen, 1968).

Estos métodos no paramétricos se emplean por su amplia aceptación en estudios hidrometeorológicos, ya que permiten detectar tendencias (ya sean lineales o no) y estimar la magnitud del cambio en series temporales sin requerir supuestos estrictos sobre la distribución de los datos (Yue et al., 2002b; Elners et al., 2010; Singh et al., 2015; Bazrafshan, 2017; Právālie et al., 2017; Ajaaj et al., 2018; Yan et al., 2019; Llano, 2020; Montibeller et al., 2021).

La hipótesis nula ( $H_0$ ) de la prueba de Mann-Kendall (MK) establece que una muestra de datos ordenados cronológicamente es independiente y está idénticamente distribuida (Yue et al., 2002). Esta prueba se basa en el estadístico  $S$ , calculado a partir de todos los pares posibles de valores observados  $x_i, x_j$  (con  $i < j$ ).

Para cada par, se evalúa si  $x_j > x_i, x_j = x_i$  o  $x_j < x_i$ . Si el número de pares positivos es  $P$  y el de negativos es  $M$ , entonces  $S = P - M$ . La forma general del estadístico  $S$  se expresó como:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{signo}(x_j - x_i) \quad (\text{Ec. 2.2})$$

donde  $n$  es el número total de observaciones, y  $\text{signo}$  es una función definida como:

$$\text{signo}(x_j - x_i) = \{1 \text{ si } (x_j - x_i) > 0; 0 \text{ si } (x_j - x_i) = 0; -1 \text{ si } (x_j - x_i) < 0\}.$$

Según Kendall (1975), bajo  $H_0$ , el estadístico  $S$  se aproxima a una distribución normal cuando  $n$  es suficientemente grande, con media y varianza dadas por:

$$E[S] = 0 \quad (\text{Ec. 2.3})$$

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

donde  $m$  es el número de grupos ligados (valores repetidos) y  $t_i$  el tamaño del  $i$ -ésimo grupo. El estadístico estandarizado,  $Z$ , se calcula para evaluar la significancia de  $S$ , según:

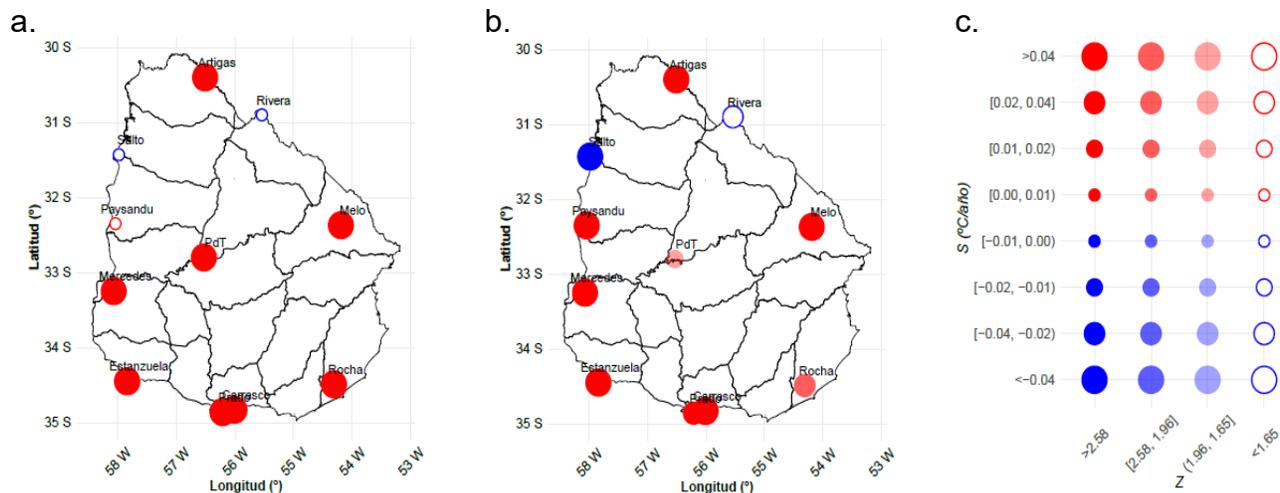
$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{si } S < 0 \end{cases} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

$Z$  sigue una distribución normal estándar con media 0 y varianza 1. Si  $Z$  es positivo, se infiere una tendencia creciente; si es negativo, una tendencia decreciente. Para una prueba bilateral, se rechaza  $H_0$  si  $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$ , donde  $Z_{1-\alpha/2}$  es el valor crítico correspondiente al nivel de significancia  $\alpha$ . Para niveles de confianza del 90%, 95% y 99%, los valores críticos de  $Z$  son 1.65, 1.96 y 2.58, respectivamente.

La magnitud de la tendencia se estima mediante el estimador de Theil-Sen (Theil, 1950; Sen, 1968), una técnica robusta frente a valores atípicos. Este método calcula la mediana de todas las pendientes posibles entre pares de datos en la serie temporal, definida como:

$$\beta = \text{mediana} \left( \frac{x_j - x_i}{j - i} \right) \text{ para } i < j \quad (\text{Ec. 2.6})$$

El método requiere que los datos estén igualmente espaciados en el tiempo, aunque puede manejar datos faltantes. Una pendiente positiva indica una tendencia creciente, mientras que una negativa representa una tendencia decreciente. En este estudio, se aplica la prueba MK a dos colas junto con el estimador de Theil-Sen utilizando el paquete estadístico *trend* en R (Pohlert, 2018). Se consideran niveles de confianza del 90%, 95% y 99% para evaluar la significancia de las tendencias detectadas (Figura 2.10).



**Figura 2.10.** Tendencias de (a.) la temperatura máxima (Tx) y (b.) mínima (Tn) en las estaciones meteorológicas seleccionadas para el estudio, durante el semestre frío austral entre 1982 y 2018. Las pendientes ( $^{\circ}\text{C}/\text{año}$ ), estimadas mediante el *test* de Sen, se representan con círculos rojos (positivas) y azules (negativas), cuyo tamaño es proporcional a la magnitud. La significancia estadística (Mann–Kendall) se indica por transparencia según los umbrales ( $Z = 1.65, 1.96$  y  $2.58$ ), correspondientes a niveles de confianza del 90 %, 95 % y 99 %. Los puntos sin tendencia significativa se muestran en blanco (c).

En las series de Tx se presentan tendencias positivas estadísticamente significativas al 99% de nivel de confianza, o sea, una muy fuerte significancia, con pendientes mayores de  $0.04$   $^{\circ}\text{C}/\text{año}$  en 8 (72 %) estaciones meteorológicas. Mientras que en Paysandú se destaca una tendencia positiva pero no significativa; Salto y Rivera, por el contrario, su tendencia es negativa, aunque no significativa. Estos resultados indican que, en la mayor parte del territorio uruguayo, se experimenta un aumento en las Tx en el semestre en los últimos 37 años.

En cuanto a las Tn se obtienen tendencias positivas significativas al 99%, con pendientes superiores a  $0.04$   $^{\circ}\text{C}/\text{año}$ . Al igual que en Tx, tanto Salto como Rivera muestran una tendencia negativa, siendo en Salto significativa al 99%. Además, en Rocha se identifica una tendencia positiva significativa al 95 %, con una pendiente de  $0.02$   $^{\circ}\text{C}/\text{año}$ , mientras que en Paso de los Toros la tendencia es significativa entre el 90 % y el 94 %, con una pendiente superior a  $0.01$   $^{\circ}\text{C}/\text{año}$ .

El análisis de las tendencias en todo el semestre frío muestra, en general, tendencias positivas tanto de la Tx como de la Tn. Para la identificación de diferencias dentro del semestre se analizan las tendencias por trimestre: mayo-junio-julio (MJJ) y agosto-setiembre-octubre (ASO) (Anexo E, Figura E.1).

En general, durante el trimestre MJJ se observa un aumento de la Tx en el 81% de las estaciones. En contraste, Salto y Rivera presentan tendencias negativas, pero no significativas.

En este sentido, el 55% de las estaciones analizadas (6 de 11) muestran tendencias positivas y estadísticamente significativas en Tx, con un nivel de confianza del 99%. En Melo y Rocha,

si bien las tendencias también son ascendentes, los niveles de significancia están entre el 95% y el 98%. En Paysandú, la tendencia creciente es significativa a un nivel de confianza entre el 90% y el 94%. En todos los casos mencionados, las pendientes superan el umbral de 0,04 °C/año.

En contraste, en las series de Tn del mismo trimestre, el 55 % de las estaciones (6 de 11) no presenta tendencias significativas. Sólo se identifican tendencias positivas estadísticamente significativas en tres estaciones: Paysandú al 99 % de nivel de confianza, y La Estanzuela y Melo con niveles superiores al 95 %. Todas estas estaciones muestran pendientes mayores a 0.04 °C/año. También se detectan tendencias negativas estadísticamente significativas en Salto (al 99 %) y en Rivera (con niveles de confianza entre el 95 % y el 99 %); ambas con pendientes menores a -0.04 °C/año.

Durante el trimestre ASO, tanto en Tx como en Tn, se observa un predominio de estaciones (8 de 11, equivalente al 73 %) con tendencias positivas y estadísticamente significativas al 99 % del nivel de confianza, con pendientes superiores a 0,04 °C/año. En Rivera, en cambio, se observan tendencias negativas no significativas y cercanas a cero. Otras estaciones presentan comportamientos distintos: en Paysandú, la Tx muestra una tendencia negativa no significativa cercana a cero, mientras que en Salto la tendencia fue positiva, aunque también no significativa. En cuanto a Tn, se identifica una tendencia positiva significativa al 95 % en Rocha, y una tendencia negativa significativa al 99 % en Salto.

El análisis de las tendencias por mes de Tx y Tn revela diferencias espaciales y temporales en los patrones de variabilidad (Figuras E.2 a E.4, Anexo E). En general, las tendencias de Tx son mayoritariamente positivas en todos los meses, excepto en las estaciones del norte (Rivera y Salto), donde en mayo y junio predominan las tendencias negativas.

Para Tn, las tendencias descendentes se concentran en Salto y Rivera, extendiéndose también a Artigas en la última parte del período analizado. No obstante, en junio, todas las estaciones muestran tendencias negativas, lo que sugiere un enfriamiento generalizado en este mes.

Como complemento del análisis anterior, se analizan las tendencias a partir de las series anuales del semestre frío, utilizando la pendiente de Sen (S) y la recta de tendencia lineal (Figuras 2.11 - 2.14). Además, se ajusta un modelo de regresión lineal simple y se comparan ambas rectas.

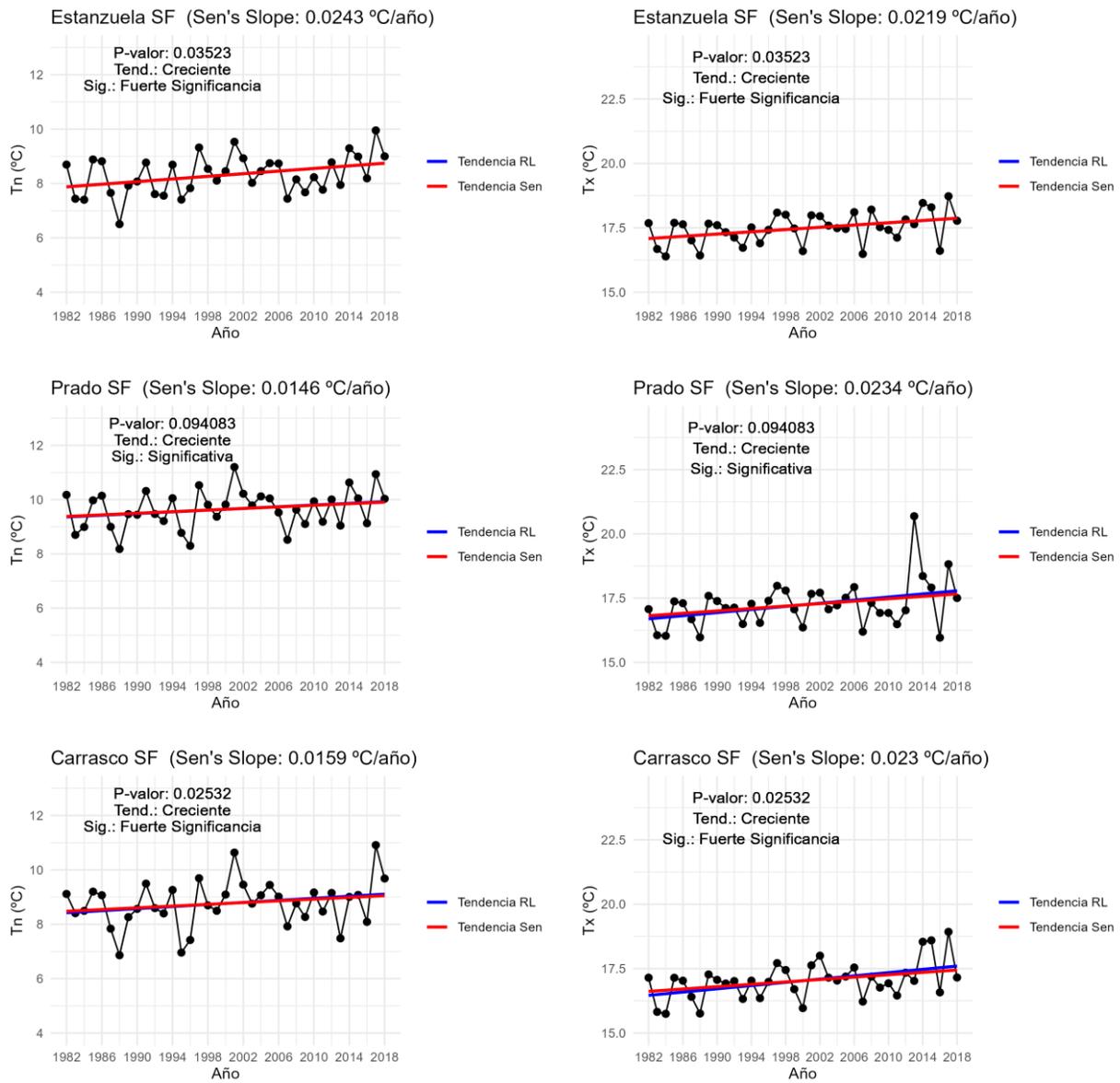
El empleo de ambos métodos proporciona un análisis más completo y robusto de las tendencias en Tx y Tn, permitiendo evaluar si los valores atípicos afectan significativamente la tendencia. Si bien el método de Sen es robusto y menos influenciado por la dispersión, la regresión lineal aporta un modelo más detallado con métricas adicionales, por lo que resulta útil para complementar los análisis.

En general, se observa una consistencia con las tendencias previamente analizadas, ya que, aunque varían los valores de la pendiente y el nivel de confianza, los signos de las tendencias

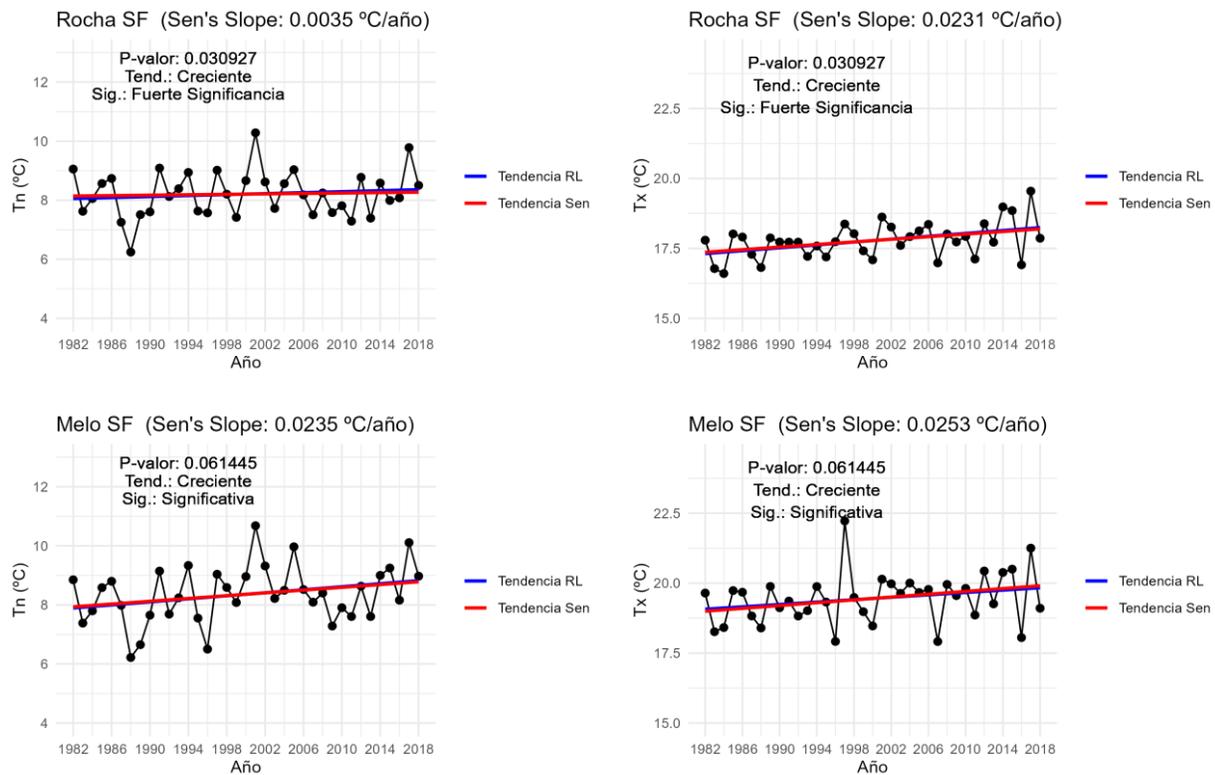
son similares (Figura 2.10). Una vez más, se obtiene una tendencia al aumento de las  $T_x$  y  $T_n$  en todas las estaciones durante el semestre frío, excepto en Rivera y Salto.

Al comparar las rectas de tendencia lineal, se observa que ambos métodos generan pendientes muy similares. En algunos casos, las rectas presentan una superposición prácticamente total, es decir, resultan casi idénticas en pendiente y ordenada al origen. En otros casos, aunque las pendientes siguen siendo muy próximas, pueden apreciarse ligeras diferencias en la ordenada al origen o en determinados tramos de la serie.

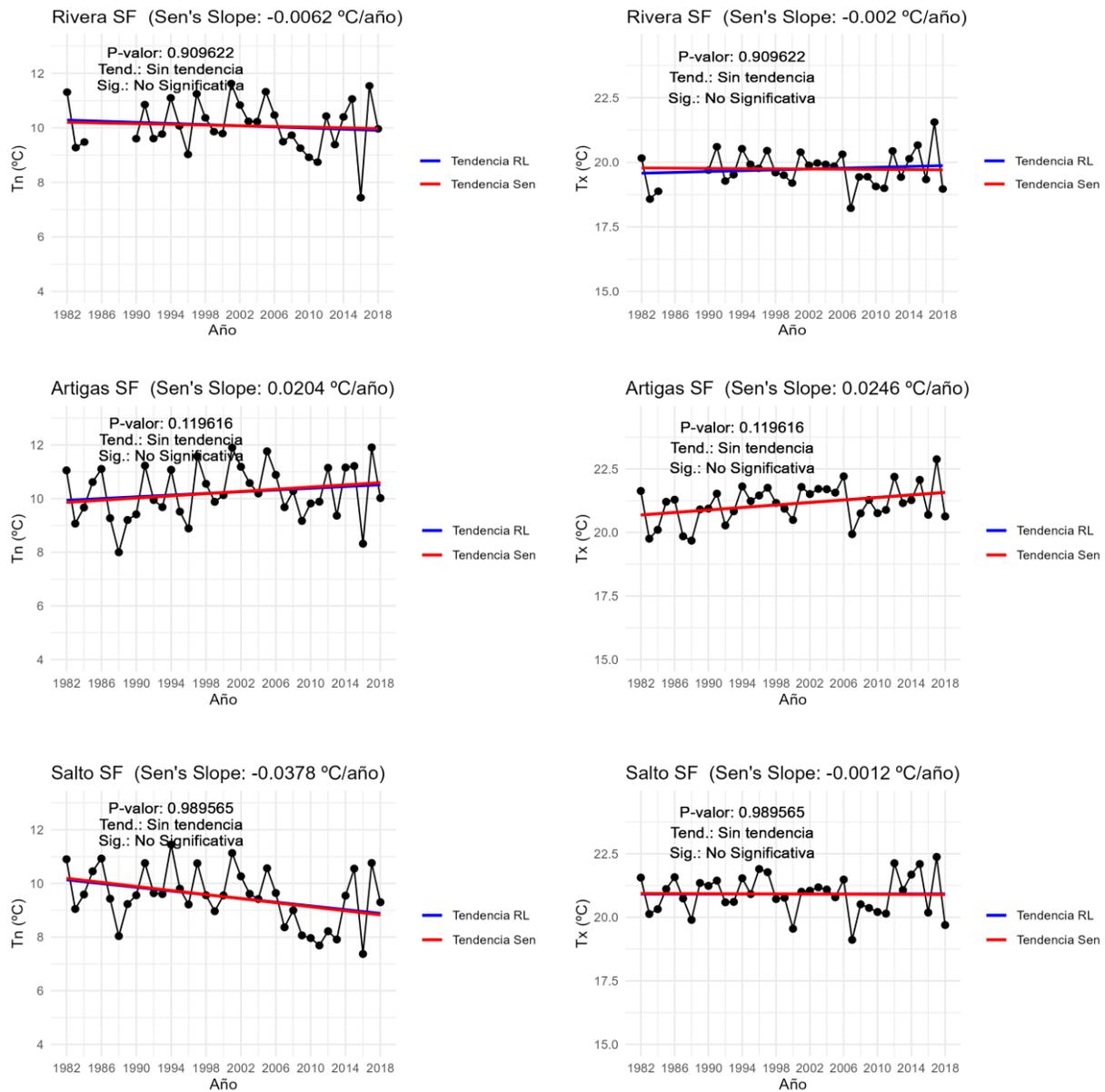
En este sentido, en Estanzuela se presenta una superposición completa tanto en  $T_x$  como en  $T_n$ , esta es la estación con menos datos faltantes. Después se presentan Rocha, Melo, Artigas, Salto, Mercedes y Paysandú con superposiciones de completa a alta. Sin embargo, en Rivera la tendencia de la  $T_n$  cambia de signo a positivo con la regresión lineal simple, lo cual representa un cambio de signo respecto al estimador de Sen (Figura 2.13), esto muestra cómo los valores extremos o NAs influyen en los métodos de regresión lineal.



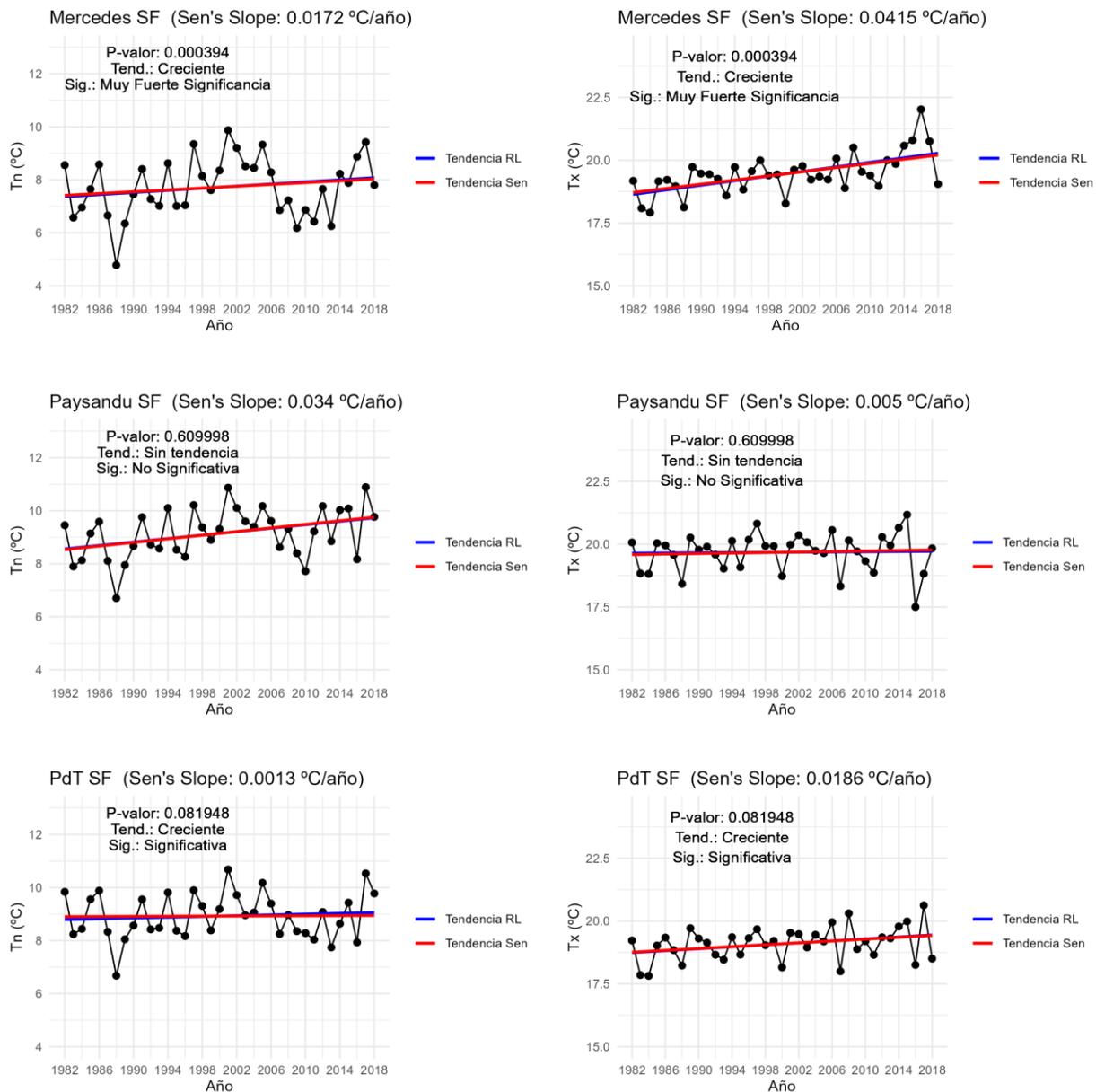
**Figura 2.11.** Tendencias de los valores medios Tn (izquierda) y Tx (derecha) de las estaciones de La Estanzuela, Prado y Carrasco durante el semestre frío austral entre 1982 y 2018. Rectas de tendencia obtenidas por regresión lineal (azul) y por el método de Sen (rojo).



**Figura 2.12.** Tendencias de los valores medios de Tn (izquierda) y Tx (derecha) en las estaciones Rocha y Melo durante el semestre frío austral entre 1982 y 2018. Se muestran las rectas de tendencia obtenidas por regresión lineal (azul) y por el método de Sen (rojo).



**Figura 2.13.** Tendencias de los valores medios de Tn (izquierda) y Tx (derecha) en las estaciones Rivera, Artigas y Salto durante el semestre frío austral entre 1982 y 2018 (excepto Rivera: 1990-2018). Se muestran las rectas de tendencia obtenidas por regresión lineal (azul) y por el método de Sen (rojo).



**Figura 2.14.** Tendencias de los valores medios de Tn (izquierda) y Tx (derecha) en las estaciones Mercedes, Paysandú y Paso de los Toros (PdT) durante el semestre frío austral entre 1982 y 2018. Se muestran las rectas de tendencia obtenidas por regresión lineal (azul) y por el método de Sen (rojo).

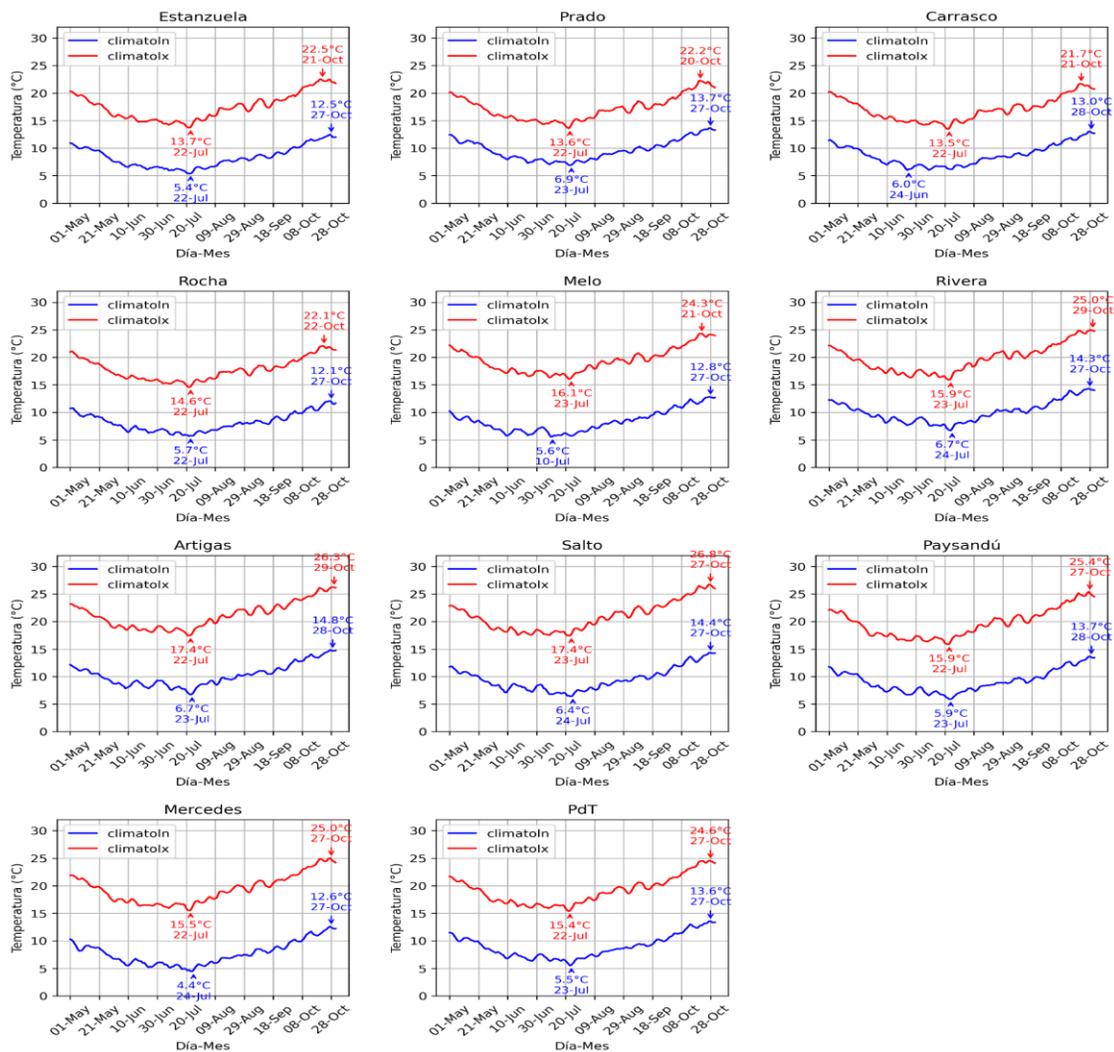
Adicionalmente, se obtienen las climatologías diarias de Tx y Tn para cada estación meteorológica (Figura 2.15), con 365 valores, o sea, uno por cada día del año calendario, obtenidos como el promedio de los valores observados en torno a cada fecha (del 1 al 365) a lo largo del período 1982–2018. Se utiliza una ventana móvil centrada de 5 días y se excluye el 29 de febrero en los años bisiestos (Tabla 4.3, Ec. 4.1). Este método ha sido ampliamente empleado en estudios de extremos térmicos (Zhang et al., 2005; Zhang & Yang, 2004;

Renom, 2009; Hobday et al., 2016), pues permite suavizar la variabilidad diaria sin perder la estacionalidad. Luego se seleccionaron los meses del semestre frío (mayo a octubre) para el análisis.

En cada gráfico se observan los valores medios climatológicos de temperatura diaria y se indican los valores mínimo y máximo registrados, donde la mayor amplitud de temperatura diaria se presenta en las estaciones del norte del país, mientras que las estaciones cercanas a la costa muestran una menor amplitud, debido probablemente a la influencia del océano y el estuario del Río de la Plata.

En todas las estaciones meteorológicas, las temperaturas más bajas ocurren entre junio y julio. La  $T_x$  alcanza su mínimo entre el 22 y 24 de julio, mientras que  $T_n$  tiene su punto más bajo en fechas similares en casi todas, con valores cercanos a los  $5^{\circ}\text{C}$  en algunas estaciones meteorológicas.

Por otro lado, se observa un incremento gradual hacia octubre, marcando la transición hacia la primavera. El máximo de  $T_x$  y  $T_n$  medias se alcanzan a finales de octubre en todas las estaciones, con valores superiores a  $22^{\circ}\text{C}$  y  $12^{\circ}\text{C}$ , respectivamente.



**Figura 2.15.** Climatología diaria de Tx y Tn en las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Las climatologías se calcularon mediante una ventana móvil de 5 días centrada en el día de interés, se eliminan los 29 de febrero. Se indican los valores máximos y mínimos del día del calendario (día-mes).

Con esto se observa una marcada diferencia de temperatura entre las regiones de estudio, donde las estaciones del norte registran las temperaturas más elevadas y una mayor amplitud térmica diaria, mientras que las del sur y este presentan valores más moderados, influenciadas por la cercanía al océano y al estuario del Río de la Plata.

En la climatología diaria se identifica un patrón estacional típico del semestre frío, con mínimos de temperatura entre junio y julio y un ascenso gradual hacia octubre, lo que sugiere un comportamiento térmico coherente con el aumento progresivo de las temperaturas mínimas y máximas registrado en las últimas décadas en Uruguay (Renom, 2009; Barreiro et al., 2021; De Mello, 2024).

Las estadísticas descriptivas muestran un posible contraste térmico, incluyendo la presencia de valores extremos previamente identificados en las series de Tx y Tn, así como diferencias en los coeficientes de asimetría y curtosis entre estaciones, lo que podría estar asociado una mayor frecuencia de eventos de temperatura extremos en las regiones más continentales.

Las tendencias de temperatura indican un aumento significativo en la mayoría de las estaciones, con pendientes superiores a  $0.04\text{ }^{\circ}\text{C/año}$ , especialmente en Tx, mientras que, en algunas estaciones del norte, como Salto y Rivera, se registran tendencias negativas o no significativas. La alta correlación entre estaciones sugiere una fuerte coherencia espacial, y la comparación entre métodos de estimación de tendencia indica resultados en su mayoría consistentes, salvo algunas diferencias puntuales asociadas a la presencia de valores extremos o datos faltantes.

Estos resultados se alinean con hallazgos previos en la región, donde se ha destacado la relevancia de caracterizar estadísticamente las series térmicas como base para comprender la variabilidad climática (Rusticucci y Barrucand, 2001). Además, se ha documentado un calentamiento progresivo durante la época fría del año, reflejado en el comportamiento de las temperaturas mínimas, particularmente en el trimestre ASO (Renom, 2009), lo cual es coherente con las tendencias positivas observadas en Tn en este estudio.

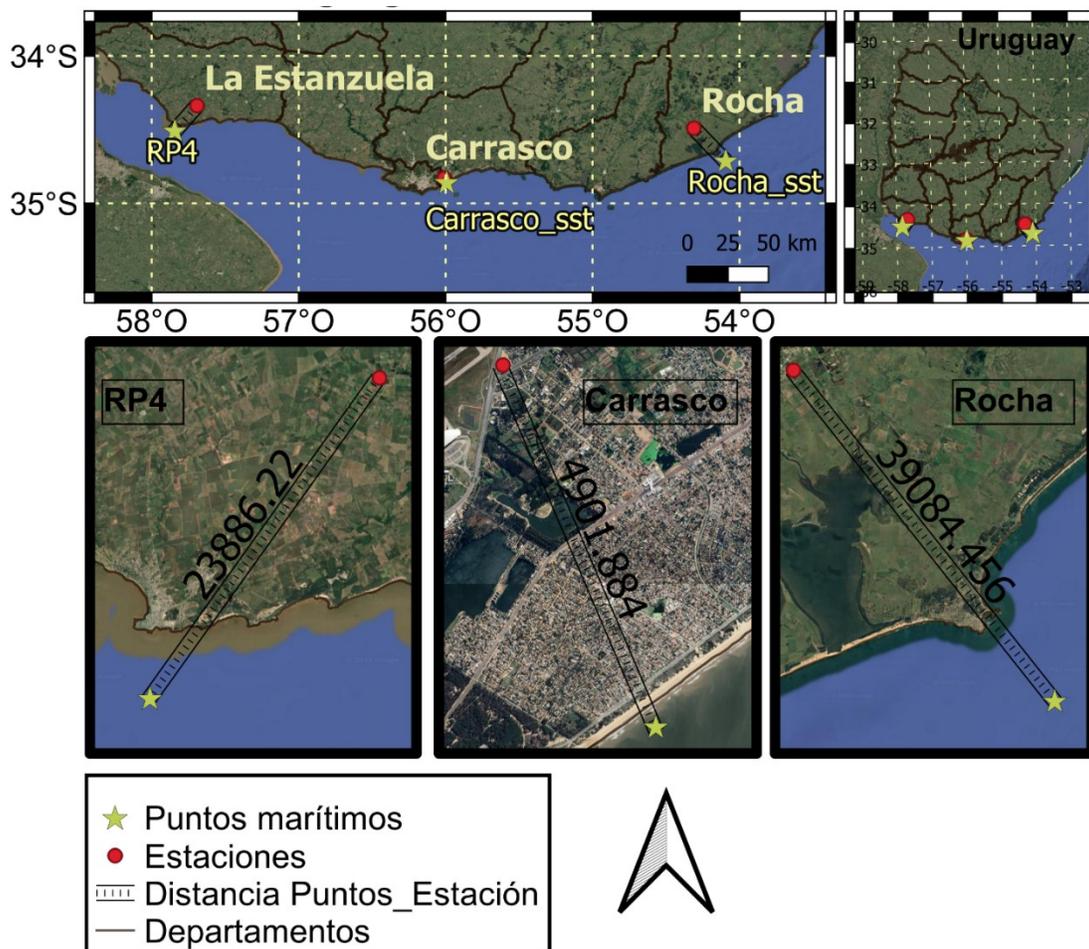
### 3. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR

#### 3.1 Datos satelitales y distribución geográfica

Para el análisis de las condiciones marinas, se utilizan datos diarios de temperatura superficial del mar (TSM) provenientes del producto satelital OISST v2.1 (Optimum Interpolation Sea Surface Temperature), desarrollado por la NOAA. Este conjunto integra observaciones satelitales del sensor AVHRR con mediciones in situ (boyas y barcos), y aplica una interpolación óptima sobre una grilla de  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ , con resolución temporal diaria (Reynolds et al., 2008; Banzon et al., 2016). La serie abarca el período 1982–2021, pero solo se utiliza hasta el 2018 acorde al período de estudio. Estos datos se encuentran disponible públicamente en el siguiente enlace: <https://www.ncei.noaa.gov/access/metadata/landing-page/bin/iso?id=gov.noaa.ncdc:C00844>.

La selección de los puntos de análisis se realiza de forma manual dentro de una región que abarcó el Río de la Plata y la plataforma oceánica uruguaya, procurando su proximidad a estaciones meteorológicas más costeras. Se definen tres puntos marítimos representativos: dos en el estuario del Río de la Plata (uno interno y otro externo), y un tercero en el océano Atlántico (Figura 3.1, Tabla 3.1). Esta disposición permite capturar adecuadamente las variaciones térmicas de la región y establecer comparaciones consistentes con las estaciones terrestres adyacentes en el presente estudio.

Aunque el producto OISST v2.1 no fue validado específicamente en este estudio, en Trinchin et al. (2021) reportaron una alta correlación ( $R^2 = 0,98$ ) entre datos satelitales de TSM (GHRSSST-MUR) y mediciones in situ en la costa uruguaya, especialmente en Isla de Flores. Esto respaldó la utilidad de productos multifuente como OISST para el monitoreo térmico costero. Además, su uso ha sido documentado en estudios nacionales como Manta et al. (2018), que analizaron olas de calor marinas en el Atlántico Sudoccidental, así como en investigaciones internacionales sobre eventos extremos marinos (Hobday et al., 2016; Oliver et al., 2018; Schlegel et al., 2021).



**Figura 3.1.** Ubicación geográfica de las observaciones diarias de temperatura superficial del mar (TSM , °C) utilizados en el estudio, durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Los datos provienen del producto satelital diario OISST v2.1 (resolución:  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ). Los puntos se localizan en el estuario del Río de la Plata (zonas interna y externa: RP4 y Carrasco\_sst) y en el océano Atlántico (Rocha\_sst), próximos a las estaciones meteorológicas de La Estanzuela, Carrasco y Rocha. Se indica la distancia entre cada punto marino y su estación terrestre más cercana.

**Tabla 3.1. Ubicación geográfica y características principales de los puntos marítimos utilizados para el análisis de temperatura superficial del mar (TSM) durante el período 1982–2018, obtenidos del producto OISST v2.1.**

Lon.	Lat.	Puntos costeros	marino-	Departamento	Distancia estación-pto. marítimo (km)
-54.093	-34.716	Rocha_sst		Rocha	39,1
-55.993	-34.863	Carrasco_sst		Montevideo	4,9
-57.844	-34.512	RP4		Colonia	23,9

### 3.2 Climatología de la temperatura superficial del mar

En este capítulo se describe el comportamiento general de la TSM correspondientes al semestre frío austral entre 1982 y 2018 en los tres puntos marinos seleccionados en la costa uruguaya: Carrasco\_sst, RP4 y Rocha\_sst.

En Carrasco\_sst y RP4 se observan temperaturas similares, con valores mínimos de 7.74°C y 7.92°C registrados el 14 de julio de 1988, y máximos de 22.6°C y 22.9°C ocurridos el 27 de octubre de 2014, lo que sugiere una alta variabilidad térmica del estuario. En contraste, en Rocha\_sst, al estar en el Atlántico, se exhibe una menor amplitud térmica (8.44°C - 21.1°C), con su mínima temperatura el 29 de julio de 2000 y su máxima el 1 de mayo de 2018, indicando una mayor estabilidad oceánica.

A su vez, la std es ligeramente mayor en los puntos del Río de la Plata que en Rocha, con valores de 2,52 °C y 2,23 °C, respectivamente, lo que sugiere un aumento en variabilidad térmica en el estuario. Además, los cuartiles muestran que, aunque la media fue de 13.8 °C tanto en RP4 como en Rocha\_sst, la dispersión térmica es más elevada en el primero (Tabla 3.2). Sin embargo, como no se aplican pruebas estadísticas formales sobre la diferencia de varianzas, estas comparaciones se consideran sólo exploratorias.

Cabe destacar que las series extraídas del producto OISST v2.1 no presentan valores faltantes visibles, ya que en este conjunto de datos aplica una interpolación espacial y temporal para generar una cobertura continua. Aunque esta característica permite un análisis sin interrupciones, es importante considerar que los valores representan estimaciones suavizadas, no mediciones directas, por lo que pueden presentar limitaciones inherentes al proceso de interpolación (Reynolds et al., 2008).

En concordancia con los resultados anteriores, los diagramas de cajas de TSM muestran distribuciones similares en los tres puntos, con medianas cercanas a 13 – 14 °C y rangos intercuartílicos (IQR) estrechos, lo que indica una concentración de datos un rango térmico reducido. Carrasco\_sst y RP4 exhiben una mayor variabilidad térmica en comparación con Rocha\_sst, que presenta menos valores atípicos, lo que podría estar asociado a una mayor estabilidad oceánica. Se observan outliers, especialmente en los valores máximos, lo que sugiere una posible ocurrencia de eventos extremos de calor o anomalías térmicas (Figura 3.2a).

**Tabla 3.2. Estadísticos descriptivos de las series diarias de TSM (°C) en los tres puntos marinos utilizados en el estudio, durante el semestre frío austral entre 1982 y 2018, obtenidos a partir del producto satelital OISST v2.1.**

Puntos	Min.	Día_ Min.	Q1	Me- diana	Media	Q3	Max	Día_ Max	std	NAs
Carrasco _sst	7.74	1988-07-14	11.6	13.3	13.6	15.5	22.6	2014-10-27	2.52	0
RP4	7.92	1988-07-14	11.8	13.5	13.8	15.6	22.9	2014-10-27	2.52	0
Rocha_ sst	8.44	2000-07-29	12.1	13.4	13.8	15.3	21.1	2018-05-01	2.23	0

Por otro lado, se observa que los valores de negativos de curtosis en todos los sitios, lo que indica una distribución más achatada en comparación con una distribución normal (Tabla 3.3). En particular, en Rocha\_sst se presenta la menor curtosis, con un valor de - 0.284, lo que sugiere una distribución más uniforme, mientras que en Carrasco\_sst se presenta la mayor curtosis negativa, con un valor de - 0.486, indicando una menor concentración de valores extremos.

Respecto a la asimetría, los tres puntos presentan valores positivos, o sea las distribuciones se encuentran sesgadas hacia valores de TSM más altos, con mayor frecuencia relativa (Tabla 3.3). Este comportamiento es consistente con los histogramas de frecuencia absoluta, donde se muestran distribuciones asimétricas con una tendencia a valores más altos de TSM. Además, la diferencia entre la media (línea roja) y la mediana (línea azul) muestra nuevamente este sesgo positivo en los tres sitios, siendo más pronunciado en Rocha\_sst en comparación con Carrasco\_sst y RP4 (Figura 3.2b).

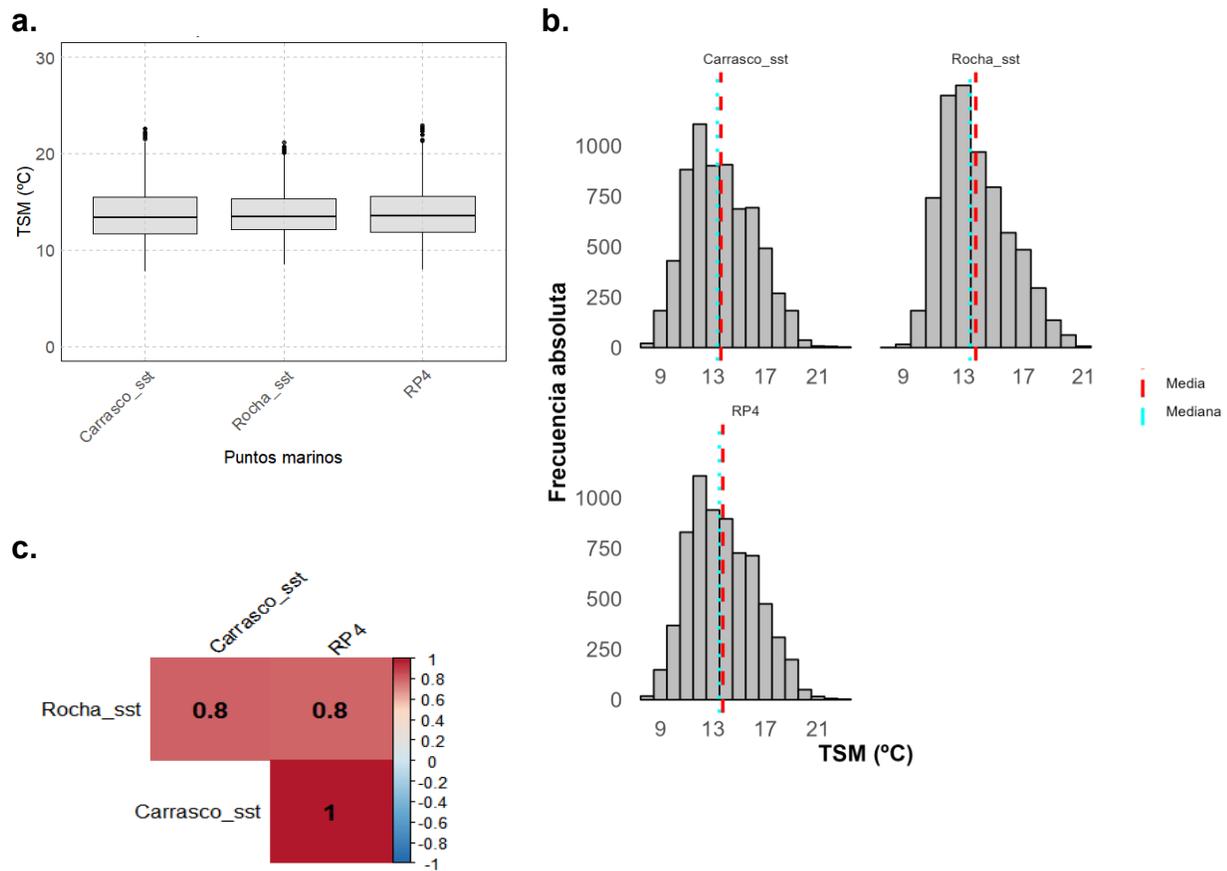
**Tabla 3.3. Asimetría y curtosis de la temperatura de la superficie del mar (TSM, °C) en los tres puntos marinos seleccionados durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Los valores fueron obtenidos a partir del producto satelital OISST v2.1 (resolución espacial 0.25° × 0.25°).**

Puntos	Carrasco_sst	Rocha_sst	RP4
<b>Coefficientes</b>	<b>TSM</b>		
<b>Curt.</b>	-0.486	-0.284	-0.443
<b>Asi.</b>	0.358	0.567	0.371

Estos resultados sugieren que, durante el semestre frío, las distribuciones de TSM en estos puntos muestran una mayor ocurrencia relativa de valores altos y una cola más extendida hacia temperaturas superiores, lo que podría estar asociado a factores oceanográficos y climáticos locales, como la advección de aguas cálidas por corrientes marinas o las interacciones atmósfera–océano.

Además, en los tres puntos marinos seleccionados se observa una alta correlación entre sí ( $r \approx 0.80$ ,  $p < 0.001$ ), tanto en la comparación Carrasco\_sst – Rocha\_sst como Rocha\_sst – RP4.

Se obtiene una alta correlación entre Carrasco\_sst y RP4 ( $r = 0.999$ ), lo que indica que ambas series registran variaciones muy similares en la temperatura superficial del mar (TSM). Aunque no corresponden al mismo píxel dentro del producto OISST v2.1, la proximidad geográfica y la coherencia térmica de la región podrían explicar dicho comportamiento, en concordancia con la resolución espacial del conjunto de datos ( $0.25^\circ$ ) y la homogeneidad oceánica del área.



**Figura 3.2.** Estadísticos descriptivos de la TSM (°C) en los tres puntos marinos utilizados en el estudio, durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018, obtenido a partir del producto satelital OISST v2.1. (a) Diagramas de caja; (b) Histogramas de frecuencia absoluta, con media (línea roja discontinua) y mediana (línea azul discontinua); (c) Correlograma con coeficientes de Pearson entre las series de TSM. Todas las correlaciones son significativas ( $p < 0.001$ ). El valor  $r = 1.00$  corresponde a un redondeo (valor real:  $r = 0.999$ ).

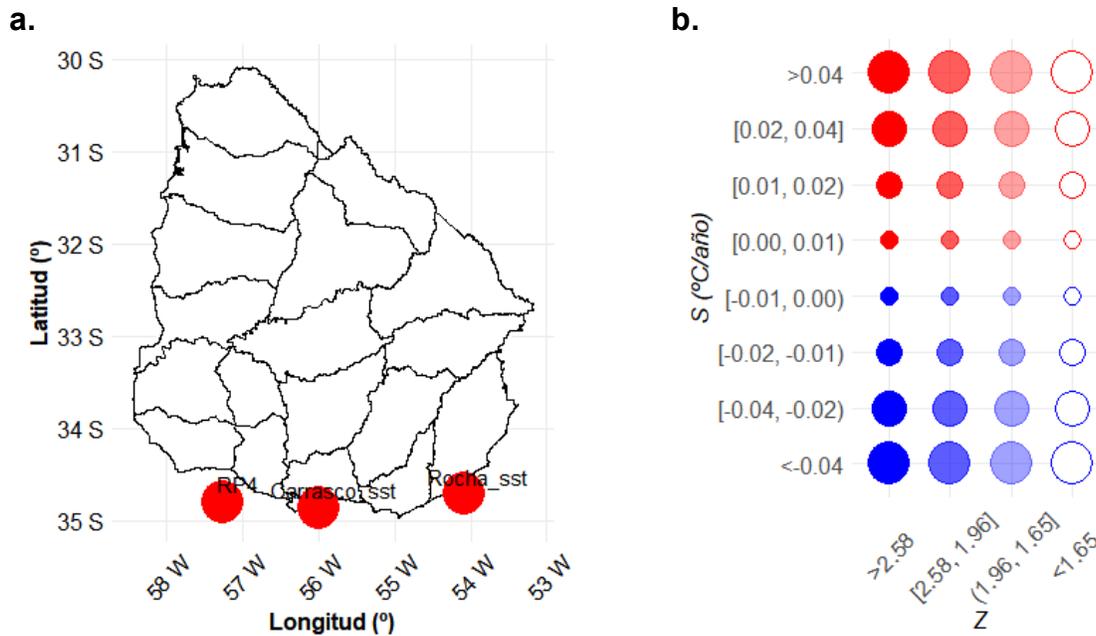
Por otro lado, se determinan las tendencias mediante la prueba de Mann-Kendall (Figura 3.3), obteniendo el estadístico Z y el estimador de Theil-Sen (S), de manera similar a la sección 2.4 (Figura 2.13). La de una prueba de dos colas en cada punto, así como el estimador de Theil-Sen (S), de manera similar a lo presentado en la sección 2.4 (Figura 2.13). La significancia de las tendencias se evalúa mediante una prueba bilateral, considerando tres niveles de confianza ( $1 - \alpha$ ) del 90%, 95% y 99%.

En este sentido, en las series de TSM se presentan tendencias positivas estadísticamente significativas al 99 % del nivel de confianza (muy fuerte significancia), con pendientes mayores a  $0.04 \text{ }^\circ\text{C/año}$  en todos los sitios, lo cual indica que durante el semestre frío la región marino-costera experimenta condiciones más cálidas de forma sostenida a lo largo de los últimos 37 años, al igual que en la mayoría de las estaciones meteorológicas analizadas (Figura 2.7).

También se determinan las tendencias por trimestre (mayo, junio y julio, MJJ, y agosto, septiembre y octubre, ASO) y por mes (Anexo F, Figura F.1, Tendencias trimestrales de TSM, y Figura A6.2, Tendencias mensuales de TSM). En los trimestres, se obtienen tendencias positivas en todos los sitios, con una alta significancia estadística (nivel de confianza del 99 %) y pendientes cercanas o superiores a  $0,04 \text{ }^\circ\text{C/año}$ .

En el caso de RP4, la pendiente en el trimestre MJJ es de  $0,039 \text{ }^\circ\text{C/año}$ , estadísticamente significativa, aunque ligeramente inferior a los demás valores.

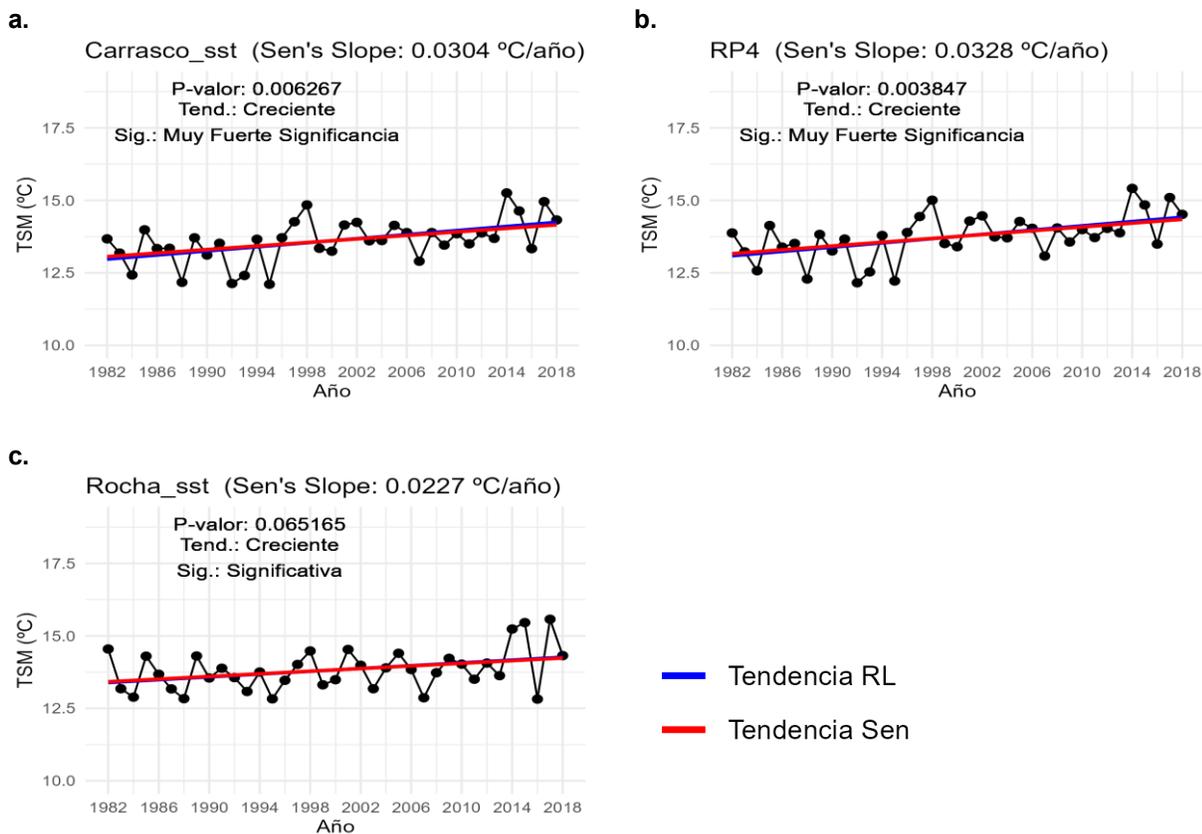
A su vez, se observan tendencias mensuales crecientes mensuales, con pendientes mayores a  $0,04 \text{ }^\circ\text{C/año}$  y alta significancia, salvo en mayo en RP4, donde la tendencia es significativa al 95 %.



**Figura 3.3.** Tendencias de (a.) la TSM en los puntos marinos del estudio, a partir del producto OISST v2.1, durante el semestre frío (mayo–octubre) de 1982–2018. Las pendientes (°C/año), estimadas mediante el *test* de Sen, se representan con círculos rojos (positivas) y azules (negativas), cuyo tamaño es proporcional a la magnitud. La significancia estadística (Mann–Kendall) se indica por transparencia según los umbrales ( $Z = 1.65, 1.96$  y  $2.58$ ), correspondientes a niveles de confianza del 90 %, 95 % y 99 %, respectivamente. Los puntos sin tendencia significativa se muestran en blanco (b.)

En concordancia con el análisis previo, en las tendencias de los promedios semestrales por año (Figura 3.4) se observan similitudes entre la recta de tendencia obtenida mediante la pendiente  $S$  y la regresión lineal. En Carrasco\_sst y RP4, la pendiente estimada por regresión lineal es ligeramente mayor, mientras que en Rocha\_sst ambas rectas son prácticamente idénticas. Se identifican tendencias crecientes en todas las estaciones. En Carrasco\_sst y RP4, la pendiente supera los  $0.03$  °C/año con un nivel de confianza del 99%, mientras que en Rocha\_sst la pendiente es menor ( $0.02$  °C/año) y el nivel de confianza alcanza el 90%.

Se destaca la consistencia con los patrones observados previamente (Figura 3.3), ya que, aunque cambia la pendiente en los tres sitios y el nivel de confianza en Rocha\_sst, los signos de las tendencias se mantienen. Estos resultados muestran una vez más un aumento progresivo de la TSM.

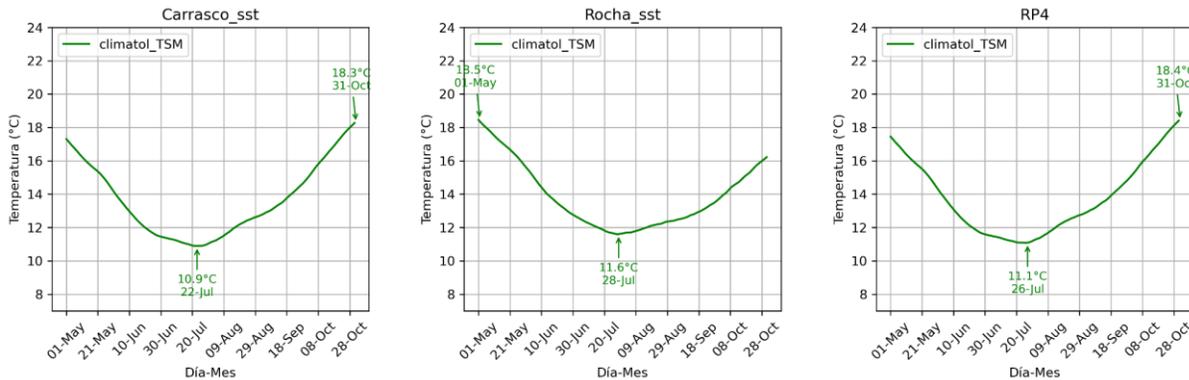


**Figura 3.4.** Tendencias de los valores medios de la TSM en los puntos marinos seleccionados durante el semestre frío austral entre 1982 y 2018, a partir del producto OISST v2.1. Rectas de tendencia obtenidas por regresión lineal (azul) y por el método de Sen (rojo).

De forma análoga a la sección 2.4, se calculan las climatologías diarias de TSM para cada punto durante el semestre frío (Figura 3.5), o sea, se obtienen 365 valores, uno por cada día del año calendario, a partir del promedio de los valores observados en torno a cada fecha (del 1 al 365) a lo largo del período 1982–2018. Para esto se emplea una ventana móvil centrada de 11 días (Hobday et al., 2016) y se excluyen los 29 de febrero en los años bisiestos (Tabla 4.3, Ec. 4.1). Posteriormente, se seleccionan los meses del semestre frío (mayo a octubre) para el análisis.

Estos resultados muestran que, en los tres sitios analizados, la TSM presenta un patrón estacional caracterizado por un descenso progresivo desde mayo hasta finales de julio, seguido de un aumento hasta octubre. En Carrasco\_sst, la mínima temperatura se registra el 22 de julio con 10.9 °C, mientras que la máxima se alcanza el 31 de octubre con 18.3 °C. En Rocha\_sst, el valor más bajo se observa el 28 de julio con 11.6 °C, y el más alto el 1 de mayo, alcanzando 18.5 °C. Por último, en RP4, la mínima se registra el 26 de julio con 11.1 °C, y la máxima el 31 de octubre con 18.4 °C.

La TSM se muestra con una marcada estacionalidad en la región, con mínimos en el invierno austral y máximos en la primavera, lo que sugiere una respuesta térmica consistente del océano a las variaciones estacionales de forzamiento atmosférico y radiación solar.



**Figura 3.5.** Climatología diaria de la TSM (°C) en los tres puntos marinos seleccionados a partir del producto satelital OISST v2.1, durante el semestre frío austral entre 1982 y 2018. Las climatologías se calcularon mediante una ventana móvil de 5 días centrada en el día de interés, eliminando los 29 de febrero. Se indican los valores máximos y mínimos del día del calendario (día–mes).

Con las climatologías de la TSM durante el semestre frío austral se identifican patrones térmicos medios bien diferenciados entre los puntos marinos del estuario del Río de la Plata y del océano Atlántico. Aunque en Carrasco\_sst y RP4 se presentan valores similares, con mayor variabilidad térmica y amplitud de las temperaturas, reflejo de la dinámica estuarina, mientras que Rocha\_sst exhibe menor dispersión y frecuencia de valores extremos, lo que indica una mayor estabilidad oceánica.

Los coeficientes de asimetría positivos y las curtosis negativas en los tres sitios indican distribuciones sesgadas hacia valores altos y con menor concentración en torno a la media, especialmente en el caso de Rocha\_sst. Las altas correlaciones entre los puntos marinos muestran un comportamiento térmico regionalmente coherente.

Los resultados obtenidos en este estudio respecto al aumento progresivo de TSM durante el semestre frío son consistentes con estudios recientes que destacan el papel clave del Atlántico suroccidental como región de calentamiento sostenido. En particular, Leyba et al. (2019) identifican en invierno tendencias positivas significativas de TSM, temperatura del aire ( $T_a$ ), y flujos de calor latente y sensible aire-mar ( $LHF$  y  $SHF$ , respectivamente) en el *ExtBCR* (*Extended Brazil Current Region*), coincidiendo con máximos de calentamiento localizados al norte del área de estudio.

Además, el aumento de la TSM se identifica como el principal impulsor del incremento en los flujos de calor aire-mar, respaldado por el ascenso conjunto en la diferencia de humedad ( $q_s - q_a$ ), de temperatura ( $TSM - T_a$ ) y en la velocidad del viento ( $U_{10m}$ ). Estos patrones sugieren

que el calentamiento superficial durante el semestre frío podría estar asociado a mecanismos regionales de acoplamiento océano–atmósfera, posiblemente vinculados a cambios en la circulación oceánica y a una intensificación del anticiclón subtropical del Atlántico Sur (Leyba et al., 2019). En este marco, las tendencias positivas y sostenidas en TSM observadas en Carrasco\_sst, RP4 y Rocha\_sst resultan coherentes con una posible advección regional de aguas más cálidas hacia latitudes medias, asociada al fortalecimiento del giro subtropical y del margen occidental del Atlántico Sur.

## 4. EVENTOS DE CALOR Y FRÍO ATMOSFÉRICOS

### 4.1 Definiciones de los eventos extremos de temperatura

En esta sección se presentan los criterios utilizados para la detección de los eventos extremos de calor y frío en la atmósfera. Para esto se emplean las mismas observaciones diarias de  $T_x$  y  $T_n$  descritas anteriormente y las definiciones estadísticas basadas en percentiles para capturar la variabilidad temporal y las características climáticas locales (Rusticucci et al., 2016; Perkins & Alexander, 2013; Zhang et al., 2005).

En particular, los extremos cálidos y fríos se definen como aquellos días en que la temperatura es mayor o igual al percentil 90 y menor o igual al percentil 10 diario, respectivamente. Estos umbrales diarios se estiman siguiendo el mismo principio utilizado para el cálculo de las climatologías (Tabla 4.3), aplicando una ventana móvil centrada de 5 días alrededor de cada día del calendario anual y considerando todos los años del período de referencia (1982 – 2018), excluyendo los 29 de febrero.

A diferencia de otras metodologías que utilizan ventanas de 15 días (Perkins & Alexander, 2013; de Mello, 2024), este estudio emplea una ventana más acotada, tal como lo implementa el software RClimDex (Zhang & Yang, 2004; Zhang et al., 2005), con el fin de preservar la sensibilidad a los extremos diarios sin perder estacionalidad (Renom, 2009; Peterson et al., 2001).

En este sentido, se calculan dos umbrales para temperaturas cálidas:  $\text{perc}_{90x}$  y  $\text{perc}_{90n}$  y dos para temperaturas frías:  $\text{perc}_{10x}$  y  $\text{perc}_{10n}$ , correspondientes a  $T_x$  y  $T_n$ , respectivamente. Además se obtienen los valores extremos de cada umbral para cada mes (Tablas 4.1 y 4.2).

En general, los mínimos y máximos de  $\text{perc}_{90x}$  y  $\text{perc}_{90n}$  se encuentran entre junio y julio y aumentan a partir de agosto, lo cual indica la transición intraestacional de finales de otoño e inicio de la primavera. Los valores cálidos más altos de  $\text{perc}_{90x}$  se dan en las estaciones del norte del país (Artigas, Rivera y Salto), oeste (Paysandú, Mercedes) y centro (Paso de los Toros) durante octubre, alcanzando hasta  $32^\circ\text{C}$ . En las estaciones del sur y este, los máximos oscilan entre  $25^\circ\text{C}$  y  $28^\circ\text{C}$  en el mismo mes. Los valores cálidos más altos de  $\text{perc}_{90n}$  se registran también en el norte, llegando a  $19^\circ\text{C}$  en octubre. En el sur, los umbrales están alrededor de  $17^\circ\text{C}$  en el mismo mes (Tabla 4.1).

En cuanto a los umbrales fríos, los mínimos de  $\text{perc}_{10x}$  más bajos se observan en julio, con Artigas, Melo y Salto alcanzando mínimos cercanos a  $11^\circ\text{C}$ , mientras que las estaciones del sur tienen mínimos cercanos a  $8^\circ\text{C}$ . En el norte, los valores mínimos de  $\text{perc}_{10n}$  oscilan entre  $-1^\circ\text{C}$  y  $1^\circ\text{C}$  en julio. Las estaciones del sur presentan los valores más bajos en torno a

0°C (Tabla 4.2). Estos patrones muestran diferencias regionales de amplitud térmica, con umbrales más extremos en las estaciones del norte, en concordancia con lo reportado para el Cono Sur por estudios de extremos de temperatura regionales (Donat et al., 2013; Rusticucci, 2012; Barros et al., 2015).

Las estaciones al norte (Artigas, Rivera y Salto) presentan una mayor amplitud térmica, con umbrales cálidos y fríos más extremos en comparación con las estaciones del sur (La Estanzuela, Prado, Carrasco).

Durante los meses de transición, mayo y septiembre, las diferencias entre regiones son menos marcadas, aunque los valores absolutos resultan generalmente más cálidos en el norte. Los meses de invierno, principalmente junio y julio, registran los umbrales más bajos tanto para Tx como para Tn. En octubre se observa una recuperación de los umbrales cálidos, especialmente en el norte, lo que refleja un mayor calentamiento diurno.

El umbral superior de Tx (perc\_90x) presenta cierto ciclo estacional con varios picos que recogen la variabilidad diaria de la serie (Figura 4.1). En contraste, el umbral inferior (perc\_10x) muestra un comportamiento más suavizado. También se observa patrón de umbrales similares entre estaciones geográficamente cercanas. En particular, se identifican similitudes entre las estaciones del sur-suroeste (como Prado y Carrasco), así como entre las del norte y noroeste (por ejemplo, Rivera, Artigas y Salto, Artigas), lo que sugiere una coherencia regional en el comportamiento térmico extremo durante el semestre frío.

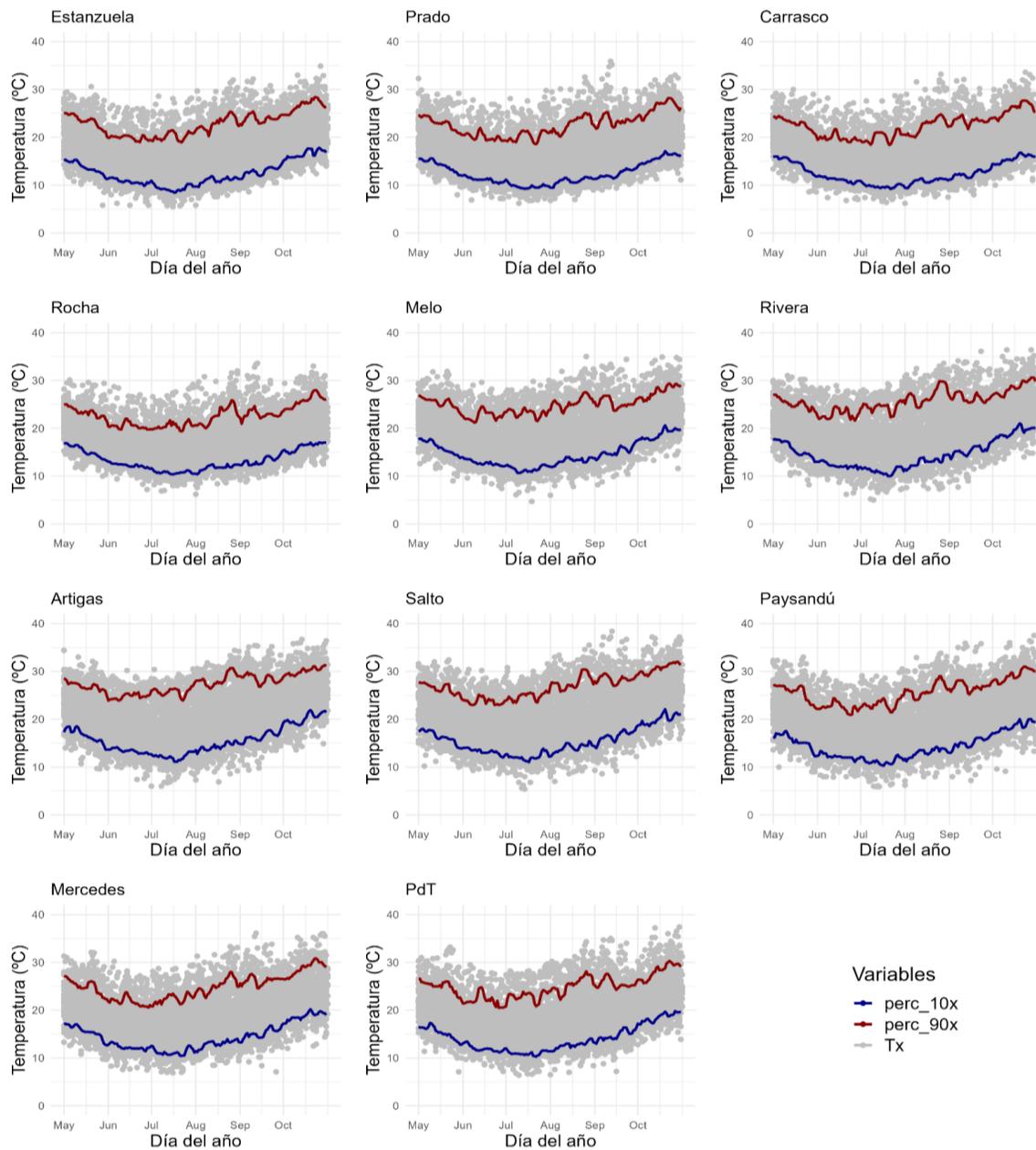
De manera similar, los umbrales de Tn presentan una variabilidad estacional menos pronunciada (Figura 4.2). En particular, los umbrales superiores (perc\_90n) en las estaciones del oeste, norte y este muestran un comportamiento sin una señal estacional marcada, aunque con algunos picos diarios. Por su parte, los umbrales inferiores (perc\_10n) evidencian un ciclo estacional algo más definido, con menor cantidad de picos que los observados en los umbrales de Tx.

**Tabla 4.1. Valores mínimos y máximos de perc\_90x y perc\_90n por mes, calculados para el período base 1982–2018 en cada estación meteorológica seleccionada. En cada celda se presenta el rango del percentil 90 de Tx (perc\_90x) y Tn (perc\_90n) como “Tx mín–máx / Tn mín–máx”, expresados en °C.**

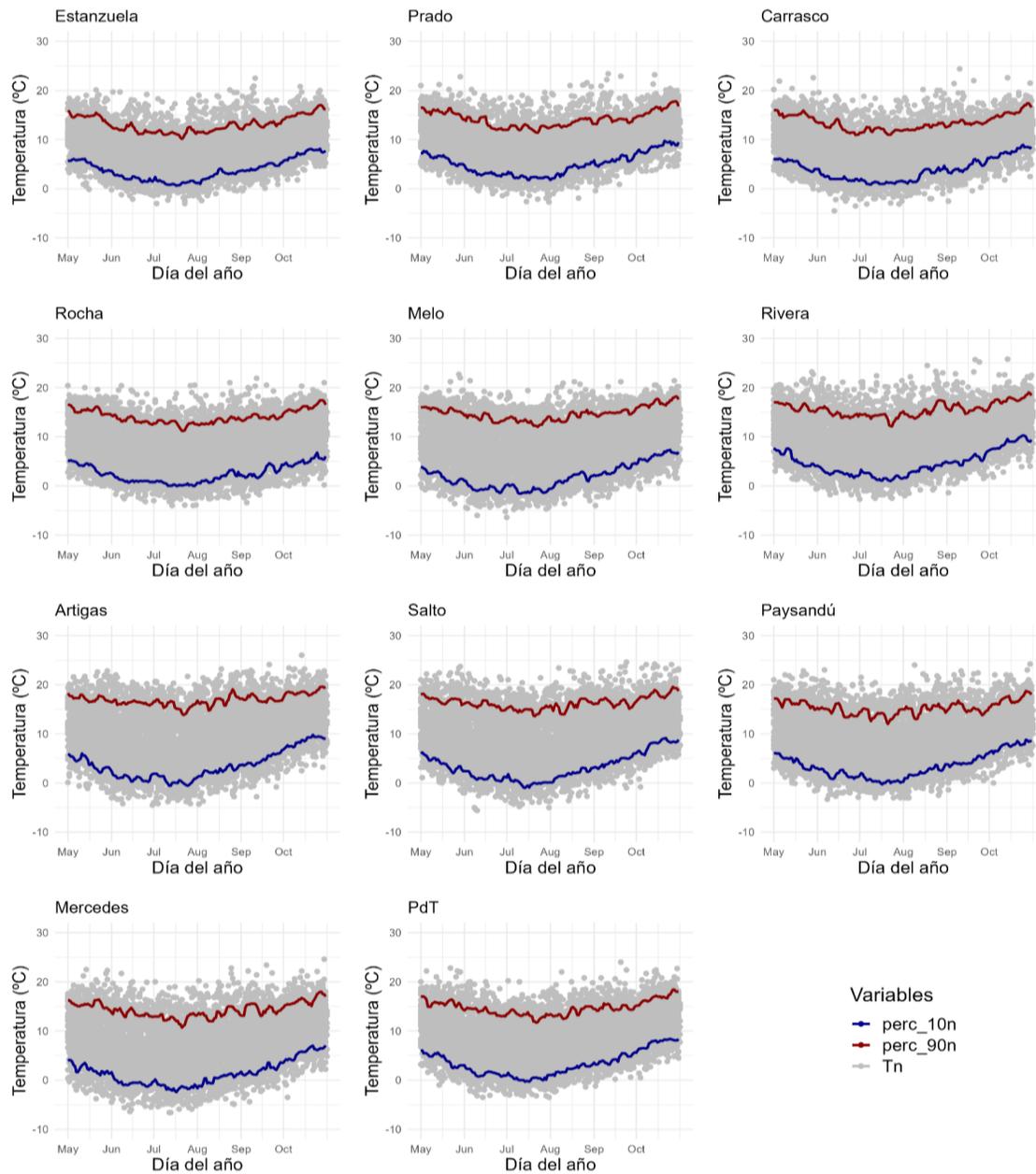
Estación	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct
La Estanzuela	20,1–25,1 / 12,9–15,9	19,0–20,5 / 11,1– 13,5	18,9–21,5 / 10,2– 12,6	20,3–25,4 / 11,3–13,6	22,5–25,4 / 12,1–14,2	24,7–28,4 / 14,1–17,0
Prado	20,5–24,7 / 14,1–16,5	19,3–22,0 / 12,0– 14,7	18,6–21,5 / 11,4– 13,1	20,2–25,1 / 12,5–14,4	21,8–25,3 / 13,2–14,9	23,5–28,2 / 14,6–17,8
Carrasco	20,4–24,5 / 13,6–16,0	19,0–21,7 / 11,0– 12,6	18,4–21,8 / 11,0– 12,6	20,0–24,8 / 11,9–13,4	21,7–24,7 / 12,6–14,0	23,4–27,7 / 14,0–17,4
Rocha	21,4–24,6 / 14,5–16,6	19,8–21,9 / 12,5– 14,5	19,4–21,9 / 11,2– 13,4	20,0–25,9 / 12,4–14,1	21,0–24,6 / 13,2–14,6	23,6–28,0 / 14,7–17,4
Melo	22,7–26,9 / 14,7–16,1	21,2–24,6 / 12,8– 14,8	21,5–24,3 / 12,0– 14,1	23,1–26,8 / 13,0–15,5	23,7–26,8 / 14,1–15,5	25,6–29,4 / 15,9–18,2
Rivera	23,3–27,0 / 15,0–17,0	21,6–24,6 / 13,8– 16,2	22,3–25,9 / 12,1– 14,9	24,3–29,9 / 13,7–17,4	25,4–27,7 / 14,7–16,9	26,5–30,6 / 15,9–19,0
Artigas	24,8–28,6 / 16,5–18,3	23,9–25,6 / 15,8– 16,9	23,9–27,5 / 13,9– 17,0	26,4–30,7 / 14,8–19,1	26,8–28,9 / 16,4–18,2	28,9–31,3 / 17,4–19,6
Salto	24,3–27,7 / 15,8–18,1	23,0–25,1 / 14,7– 16,8	23,5–26,0 / 13,6– 15,7	25,8–30,4 / 14,0–17,2	27,0–29,6 / 15,1–17,3	29,0–32,0 / 16,6–19,6
Paysandú	22,2–27,1 / 14,9–17,2	20,9–24,4 / 13,4– 16,3	21,4–25,0 / 12,0– 15,2	24,0–29,0 / 13,0–16,1	25,2–28,1 / 13,8–16,8	27,3–31,0 / 15,4–18,7
Mercedes	22,3–27,1 / 14,2–16,4	20,6–23,7 / 12,8– 14,7	20,8–23,9 / 10,7– 13,6	22,6–28,0 / 12,0–15,0	24,6–27,6 / 13,1–15,6	26,5–30,8 / 14,8–18,0
Paso de los Toros	22,0–26,6 / 14,4–17,0	20,5–24,8 / 13,0– 14,8	20,8–24,2 / 11,7– 14,4	22,2–28,1 / 12,5–15,0	24,3–27,6 / 14,1–15,6	25,7–30,3 / 15,1–18,4

**Tabla 4.2. Valores mínimos y máximos de perc\_10x y perc\_10n por mes, calculados para el período base 1982–2018 en cada estación meteorológica. En cada celda se presenta el rango del percentil 10 de Tx (perc\_10x) y Tn (perc\_10n) como “Tx mín–máx / Tn mín–máx”, expresados en °C.**

Estación	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct
La Estanzuela	11,3–15,3 / 3,34–6,08	9,82–11,6 / 1,34–3,68	8,44–10,9 / 0,64–2,4	9,64–11,9 / 1,0–4,1	11,3–14,5 / 3,6–5,28	15,0–17,8 / 5,64–8,14
Prado	12,0–15,6 / 4,64–7,68	10,3–12,1 / 2,54–4,72	9,24–11,1 / 1,8–3,44	9,48–11,7 / 1,8–5,44	11,3–13,5 / 4,5–7,08	14,0–17,1 / 7,2–9,74
Carrasco	11,8–16,0 / 3,44–6,14	10,2–12,0 / 1,58–4,0	9,2–10,9 / 0,88–2,0	9,4–11,4 / 1,08–4,68	11,2–13,6 / 3,14–6,28	14,3–16,8 / 6,2–8,94
Rocha	13,2–16,9 / 2,08–5,2	11,5–13 / 0,68–2,54	10,4–11,6 / 0,0–1,0	10,4–12,5 / 0,54–3,28	12,3–15,1 / 1,6–4,6	14,7–17,0 / 3,88–6,76
Melo	13,8–17,8 / 0,28–3,8	12,0–13,9 / - 1,44–1,04	10,7–12,4 / - 1,6–0,32	11,9–14,0 / -0,6–2,84	13,3–17,4 / 2,04–4,62	17,5–20,6 / 4,44–7,32
Rivera	13,0–17,7 / 4,0–7,68	11,4–13,3 / 1,64–4,12	10,0–12,0 / 1,0–3,28	11,2–14,5 / 1,6–4,94	13,5–17,1 / 4,2–7,1	17,3–21,0 / 7,22–10,3
Artigas	13,6–18,5 / 2,08–6,0	12,7–14,1 / 0,22–2,42	11,1–13,2 / - 0,56–1,9	12,8–15,5 / 1,2–3,8	14,8–18,4 / 3,48–6,68	18,7–21,9 / 6,8–9,8
Salto	13,9–18,0 / 2,0–6,2	12,0–14,1 / 0,34–2,44	11,0–13,8 / - 1,0–1,8	12,2–15,4 / 0,1–3,1	14,0–18,4 / 2,88–6,0	18,5–22,1 / 5,68–9,14
Paysandú	12,3–17,5 / 2,64–6,08	11,1–13,3 / 0,82–3,0	10,3–12,5 / - 0,28–2,0	11,2–14,2 / 0,24–3,84	13,0–16,7 / 3,26–5,94	17,0–20,0 / 6,02–8,8
Mercedes	12,6–17,2 / 1,0–4,1	11,4–13,3 / - 1,32–1,6	10,4–12,6 / - 2,44–0,14	11,2–14,0 / -1,64–1,4	13,3–16,8 / 1,04–3,62	17,2–20,2 / 3,54–7,04
Paso de los Toros	12,8–17,3 / 2,44–6,04	11,2–13,4 / 0,74–3,0	10,3–12,0 / - 0,32–1,48	11,4–14,1 / 0,88–3,34	13,0–16,4 / 3,14–5,64	17,0–19,8 / 5,58–8,4



**Figura 4.1.** Distribución diaria de Tx diarias (puntos grises) en las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Se indican perc\_90x (línea roja) y perc\_10x (línea azul) para cada día del año (1 a 365), sin el 29 de febrero, calculados mediante una ventana móvil de 5 días centrada en el día de interés. Estos umbrales se utilizaron para la detección de eventos extremos cálidos y fríos basados en Tx.



**Figura 4.2.** Distribución diaria de  $T_n$  diarias (puntos grises) en las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Se indican  $\text{perc}_{90n}$  (línea roja) y  $\text{perc}_{10n}$  (línea azul) para cada día del año (1 a 365), sin el 29 de febrero, calculados mediante una ventana móvil de 5 días centrada en el día de interés. Estos umbrales se utilizaron para la detección de eventos extremos cálidos y fríos basados en  $T_n$ .

A partir de lo anterior, se definen tres tipos de eventos: 1. Los episodios cálidos y fríos, 2. Las de calor y frío simples y 3. Las olas de calor y frío extremas. La detección se basa en las variables de  $T_x$  y  $T_n$ , considerando su distinta respuesta ante los forzantes atmosféricos y su

relevancia sectorial. En el caso de los episodios y las olas simples, se emplea exclusivamente la Tx, dado que esta variable refleja de manera más directa las condiciones sinópticas de gran escala, mientras que Tn está más influida por factores locales, como la cobertura nubosa o las características del emplazamiento (Renom, 2009). Como destacan Perkins & Alexander (2013), el uso de Tx permite identificar eventos caracterizados por un calentamiento diurno intenso, especialmente relevantes en aplicaciones como la gestión de la demanda energética, la agricultura o el diagnóstico atmosférico regional.

En el caso de las olas extremas, se considera la incorporación simultánea de la Tx y Tn, con el objetivo de identificar eventos térmicos particularmente severos, caracterizados por temperaturas elevadas tanto durante el día como en la noche. Tal como destaca Perkins & Alexander (2013), las noches cálidas impiden la recuperación térmica y agravan los impactos sobre la salud humana, el bienestar térmico y otros sectores sensibles. En ausencia de alivio nocturno, se intensifica el estrés térmico acumulado y los efectos adversos asociados. Por este motivo, las olas extremas se definen exigiendo la superación simultánea de los umbrales extremos de Tx y Tn durante varios días consecutivos.

En función de lo anterior, se adoptan las siguientes definiciones operativas para la clasificación de los eventos extremos de temperatura:

1. **Episodio cálido (frío):** Evento en el que la Tx sea mayor o igual (menor o igual) a su umbral diario, o sea, el percentil 90 (percentil 10), durante dos días consecutivos. Estos umbrales se calculan mediante una ventana móvil de 5 días centrada en el día de interés, y es único para el día del calendario y serie de temperatura.
2. **Ola de calor (frío) simple:** Evento en el que la Tx sea mayor o igual (menor o igual) a su umbral diario, o sea, el percentil 90 (percentil 10), durante al menos tres días consecutivos. Estos umbrales se calculan mediante una ventana móvil de 5 días centrada en el día de interés, y es único para el día del calendario y serie de temperatura.
3. **Ola de calor (frío) extrema:** Evento extremo definido según la metodología de Rusticucci et al. (2016), en el que tanto la (Tx como la Tn sean mayor o igual (menor o igual) que su umbral diario correspondiente, o sea, el percentil 90 (percentil 10), durante al menos tres días consecutivos. Estos umbrales se calculan mediante una ventana móvil de 5 días centrada en el día de interés, y es único para el día del calendario y serie de temperatura.

Para el cálculo de la climatología, los umbrales y las métricas se sigue el compendio de metodologías desarrollado en Hobday et al. (2016), Schlegel & Smit (2018), Rusticucci et al. (2019) y Perkins & Alexander (2013). A continuación se describen en detalle (Tabla 4.3).

**Tabla 4.3. Métricas utilizadas para definir las olas atmosféricas y marinas.**

Nombre	Definición	Ecuaciones	Uni.
<b>Climatología</b>	<b>T<sub>m</sub></b> : La media climatológica, calculada durante un período de referencia, donde todos los valores son relativos.	$T_m(j) = \sum_{a=a_i}^{a_f} \sum_{d=j-(v/2)}^{j+(v/2)} \frac{T(a,d)}{v(a_f - a_i + 1)} \text{ (Ec. 4.1)}$ <p><b>j</b>: día del año (1 a 365)</p> <p><b>a<sub>i</sub>, a<sub>f</sub></b>: es el inicio y el final del período climatológico, respectivamente.</p> <p><b>T</b>: temperatura máxima (Tx) para los episodios y olas de frío y calor simples, y extremas con Tx y temperatura mínima (Tn) en simultáneo; y temperatura superficial del mar (TSM) para las olas marinas, respectivamente, en el día 'd' del año 'a'.</p> <p><b>v</b>: ventana móvil centrada seleccionada (5 para las atmosféricas y 11 días para las marinas)</p>	°C
<b>Umbral</b>	<b>T<sub>%</sub></b> : El valor de variación diaria de la temperatura que define una ola (ej. T <sub>90</sub> es el valor del percentil 90 basado en los períodos de referencia).	$T_{90}(j) = P_{90}(X) ; P_{90} : P_{90}(X) \text{ es el percentil 90}$ $T_{10}(j) = P_{10}(X) ; P_{10} : P_{10}(X) \text{ es el percentil 10}$ <p>Donde <math>X\{T(a, d)   a_i \leq a \leq a_f, j - (v/2) \leq d \leq j + (v/2)\}</math></p>	°C
<b>Inicio y final de los eventos</b>	<b>t<sub>i</sub>, t<sub>f</sub></b> : fechas donde inicial y final, respectivamente.	<p><b>Eventos de frío</b></p> <p><b>t<sub>i</sub></b>: el tiempo, t, donde <math>T(t) &lt; T_{10}(j)</math> y <math>T(t - 1) &gt; T_{10}(j)</math>.</p> <p><b>t<sub>f</sub></b>: el tiempo donde <math>t_f &gt; t_i</math> y <math>T(t) &gt; T_{10}(j)</math> y <math>T(t - 1) &lt; T_{10}(j)</math>.</p> <p><b>Eventos de calor</b></p> <p><b>t<sub>i</sub></b>: el tiempo, t, donde <math>T(t) &gt; T_{90}(j)</math> y <math>T(t - 1) &lt; T_{90}(j)</math>.</p> <p><b>t<sub>f</sub></b>: el tiempo donde <math>t_f &gt; t_i</math> y <math>T(t) &lt; T_{90}(j)</math> y <math>T(t - 1) &gt; T_{90}(j)</math>.</p> <p>Para <b>Episodios cálidos/fríos</b>: <math>t_f - t_i = 2</math></p> <p>Para <b>Olas atmosféricas</b>: <math>t_f - t_i \geq 3</math></p> <p>Para <b>Olas marinas</b>:</p> $t_f - t_i \geq 5, \text{ y donde la brecha es } \leq 2$	Días
<b>1. Duración</b>	<b>D</b> : Período consecutivo de tiempo en el cual la temperatura excede el umbral.	$D = t_f - t_i \text{ (Ec. 4.2)}$	Días
<b>2. Intensidad max</b>	<b>i<sub>max</sub></b> : Mayor valor de anomalía de temperatura durante la ola.	$i_{max} = \max (T(t) - T_{\% = 90;10}(j)) \text{ (Ec. 4.3)}$ <p>(máximo de los valores resultantes de la diferencia de T(t) y T<sub>% = 90;10</sub>)</p>	°C

En cuanto a la detección de las olas extremas se aplica un enfoque flexible, basado en la propuesta de De Mello (2024). Si bien estos eventos se definen por la simultaneidad de extremos en  $T_x$  y  $T_n$  durante al menos tres días consecutivos, se permitió cierta flexibilidad en el cumplimiento estricto de esa condición. En particular, se acepta que dentro de la secuencia no se cumpla una de las seis condiciones requeridas (tres días para cada variable), siempre que se mantuviera la coherencia térmica del evento. Este criterio evita la fragmentación por variaciones puntuales y permite una representación más continua y realista de los extremos.

Cabe señalar que el sistema de clasificación adoptado en este estudio no establece categorías mutuamente excluyentes, salvo entre episodios y olas simples, las cuales se definen por rangos de duración específicos: los episodios se limitan a eventos de exactamente dos días, mientras que las olas simples requieren al menos tres días consecutivos. En cambio, pueden producirse solapamientos entre otras categorías, como entre episodios y olas extremas, o entre olas simples y olas extremas, lo cual se aborda con mayor detalle en la sección 4.3. Esta superposición responde a la naturaleza continua y compleja de los fenómenos térmicos, y permite una caracterización más integral de su comportamiento.

Asimismo, cualquiera de estas categorías atmosféricas puede coincidir temporalmente con eventos marinos, ya que la detección en el océano se basa en variables y criterios independientes, lo cual se estudia en el capítulo 6.

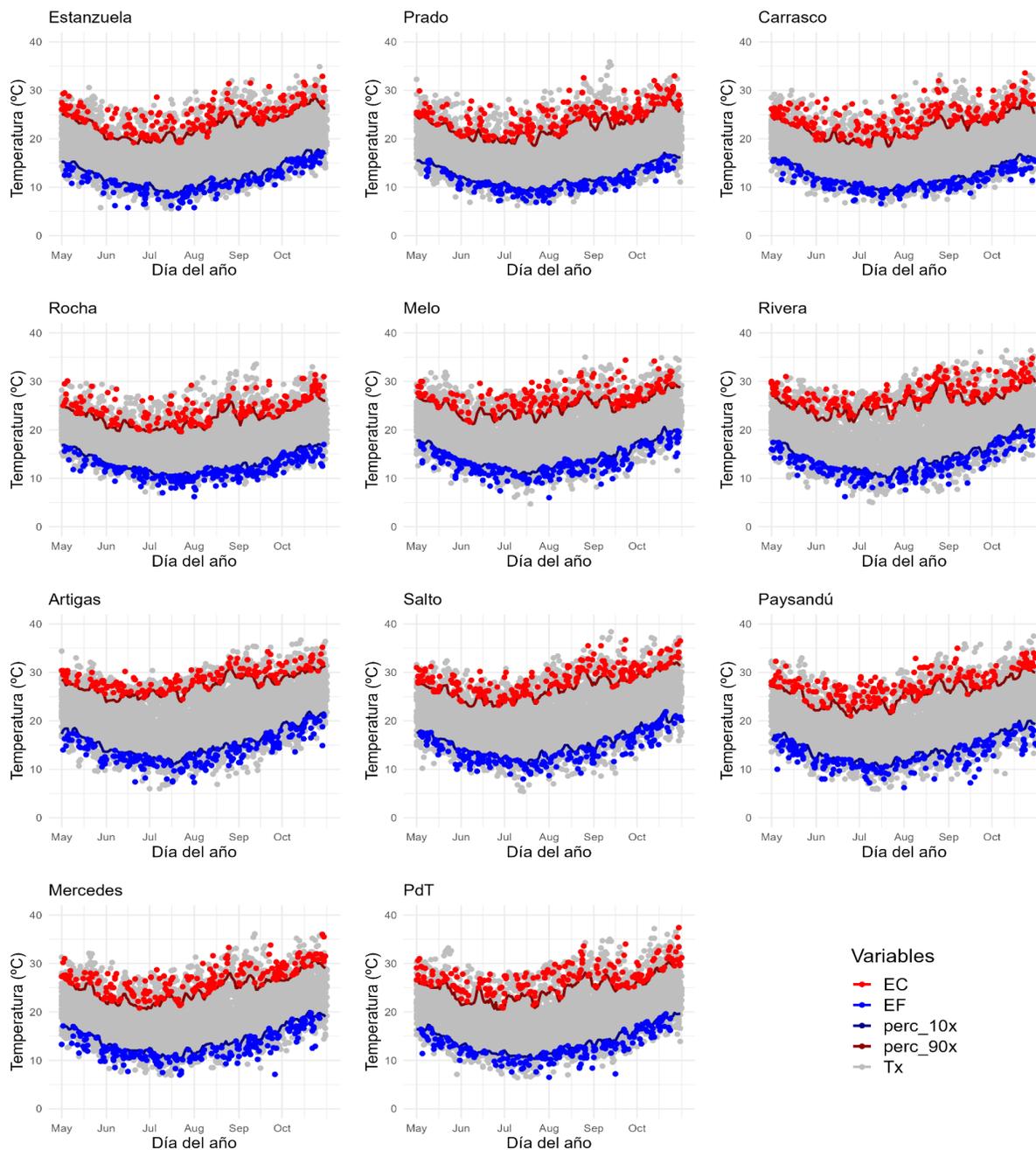
## **4.2 Episodios cálidos y fríos**

En la obtención de los episodios cálidos y fríos se muestra que las observaciones diarias de  $T_x$  correspondientes a episodios cálidos (EC) y fríos (EF) se distribuyen a lo largo de todo el semestre frío, exhibiendo una marcada variabilidad regional (Figura 4.3). Cabe destacar que estas no representan directamente al número de episodios, y dado que cada episodio tuvo una duración de dos días, se visualizan dos puntos por evento. Por este motivo, se obtienen agrupaciones densas de puntos en ciertos períodos o estaciones, incluso cuando la cantidad de eventos fue menor (Figura 4.4).

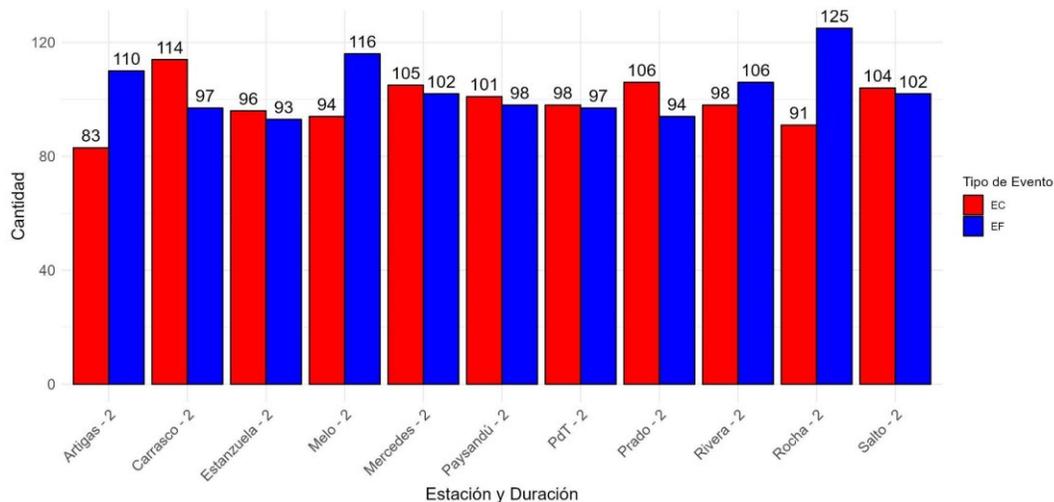
En las estaciones ubicadas en el norte (Rivera y Artigas) y en el este (Rocha y Melo), se observa una mayor frecuencia de observaciones dentro de episodios fríos, mientras que en las estaciones del sur, como Carrasco y Prado, predominan las observaciones con episodios cálidos.

Se identifican en total 1140 episodios fríos y 1088 episodios cálidos, considerando la suma de eventos registrados en las once estaciones meteorológicas. Si bien los valores absolutos son relativamente similares, se destaca una ligera predominancia de EF en las regiones norte y este, en contraste con el sur, donde los EC son más frecuentes. En otras regiones del país,

como el centro-oeste, no se observa un predominio claro entre los eventos cálidos y fríos (Figura 4.4).



**Figura 4.3.** Observaciones diarias de temperatura máxima (Tx, puntos grises) en las que se detectaron episodios cálidos (EC, puntos rojos) y fríos (EF, puntos azules) en las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Los EC y EF se definen como eventos de dos días consecutivos con temperatura máxima diaria (Tx, puntos grises)  $\geq$  perc\_90x (línea roja oscura) o  $\leq$  perc\_10x (línea azul oscura), respectivamente. Se indica el número total de eventos por categoría y estación.



**Figura 4.4.** Total de eventos cálidos (EC, rojo) y fríos (EF, azul) de 2 días de duración, detectados a partir de la temperatura máxima diaria ( $T_x$ , °C) en estaciones meteorológicas seleccionadas, durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018.

La cantidad de EC y EF oscilan entre 0 y 9 eventos por año, con algunos valores máximos en varias estaciones. En particular, 1983, 1984 y 1992 presentan las mayores frecuencias de estos eventos, aunque la distribución absoluta de EF y la ocurrencia de EC difieren entre estaciones (Figura 4.5).

Además, los años con máximos de EF fluctúan según la región y la estación meteorológica. En el norte, Artigas alcanza su pico en 1992 con 8 EF y sin EC, mientras que Salto y Rivera registran sus máximos en 1988 y 1983, con 8 EF y 1 EC y 7 EF y 1 EC, respectivamente. En Rivera, la ausencia de EC o EF no se debe a temperaturas dentro de los umbrales, sino a la falta de registros por el cierre de la estación, como se menciona en la sección 2.2.

En el oeste, Paysandú tiene su pico en 1988 con 7 EF y 2 EC, mientras que Mercedes presenta máximos en dos años consecutivos: 1983 y 1984, con 6 EF y 2 EC en cada caso. A su vez, en el centro del país, Paso de los Toros muestra máximos recurrentes en 1983, 1984, 1991 y 1995, con 6 EF en cada uno de esos años. Sin embargo, se observa un incremento progresivo en el número de EC: 1 en 1983, 3 en 1984 y 1991, y 4 en 1995.

En el sur, las estaciones de Carrasco, Prado y La Estanzuela alcanzan sus máximos de episodios fríos en 1984. En ese año, Carrasco presenta 7 EF y 1 EC; Prado, 8 EF y 3 EF; y La Estanzuela, 8 EF y 2 EC. También se observa otros años con máximos: en 1995, Carrasco tuvo 7 EF y 4 EC, mientras La Estanzuela alcanza 8 EF tanto en 1993 (con 1 EC) como en 2000 (sin EC registrados).

En el este del país se registra la mayor cantidad de EF. Melo alcanza sus máximos en 1993 y 2016, con 8 EF y 1 EC en cada uno de esos años. Por su parte, Rocha, presenta la mayor cantidad de EF entre todas las estaciones, con 9 EF y 3 EC en 1992.

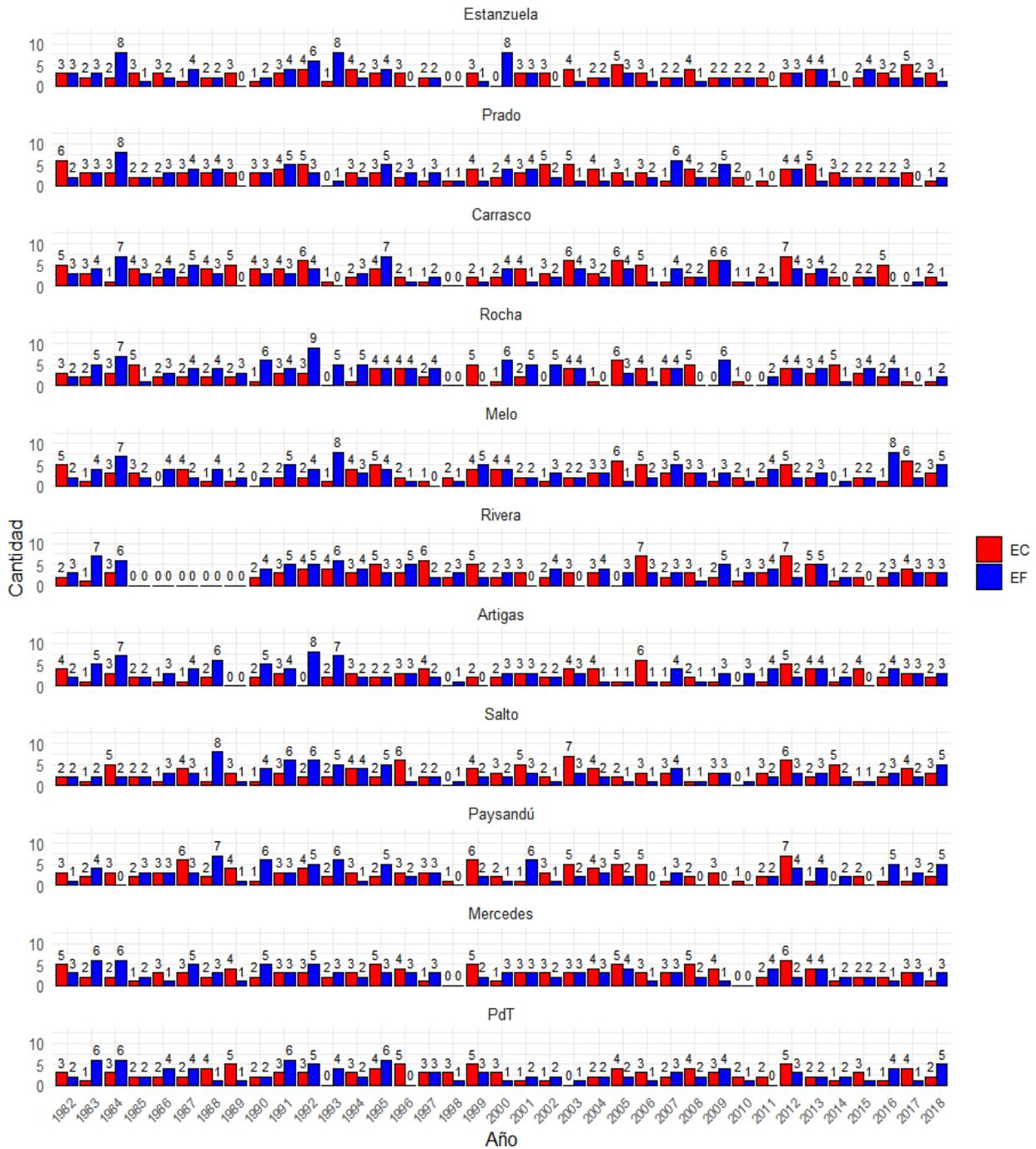
Por otro lado, los máximos de episodios cálidos (EC) se distribuyen en distintos años según la estación. En Artigas, el valor máximo se detecta en 2006, con 6 EC y 1 EF; en Rivera también se observa un pico en ese año así como en el 2012, alcanzando 7 EC y 2 EF. En el caso de Salto, el mayor número de EF (7) ocurre en un año diferente al de 2003, en el cual solo se registra 1 EC.

Las estaciones del oeste también registran sus máximos de episodios cálidos (EC) en 2012, con 7 EC y 4 episodios fríos (EF) en Paysandú, y 6 EC y 2 EF en Mercedes, coincidiendo con lo observado en Rivera. En Paso de los Toros, ese año también se destaca, aunque con un número menor de eventos: 5 EC y 3 EF. Asimismo, se identifican valores significativos en otros años, como 1989, 1992, 1996 y 1999. En todos estos años se detectan tanto EC como EF, con excepción de 1996, y los episodios fríos oscilan entre 1 y 3 durante el semestre.

De manera similar, en Carrasco, más al sur, el máximo se alcanzó en 2012 con 7 EC (4 EF). Sin embargo, en las estaciones cercanas, Prado y La Estanzuela, los máximos ocurren en años distintos: 1982 con 6 EC (2 EF) y 2005 con 5 EC (3 EF), respectivamente. Rocha y Melo también presentan su máximo en 2005, similar a La Estanzuela, ambas con 6 EF durante el semestre. Los episodios cálidos también se detectan en menor número: 1 en Rocha y 3 en Melo.

De manera similar, en Carrasco, ubicado más al sur, el máximo de episodios cálidos (EC) se registra en 2012, con 7 EC y 4 episodios fríos (EF). Sin embargo, en Prado y La Estanzuela los máximos ocurren en años distintos: en 1982, Prado alcanza 6 EC y 2 EF, mientras que La Estanzuela registra 5 EC y 3 EF en 2005. En ese mismo año, 2005, Rocha y Melo también presentan su máximo de EC, con 6 episodios cálidos cada una durante el semestre. En cuanto a los episodios fríos, se detectan en menor número: 3 en Rocha y 1 en Melo.

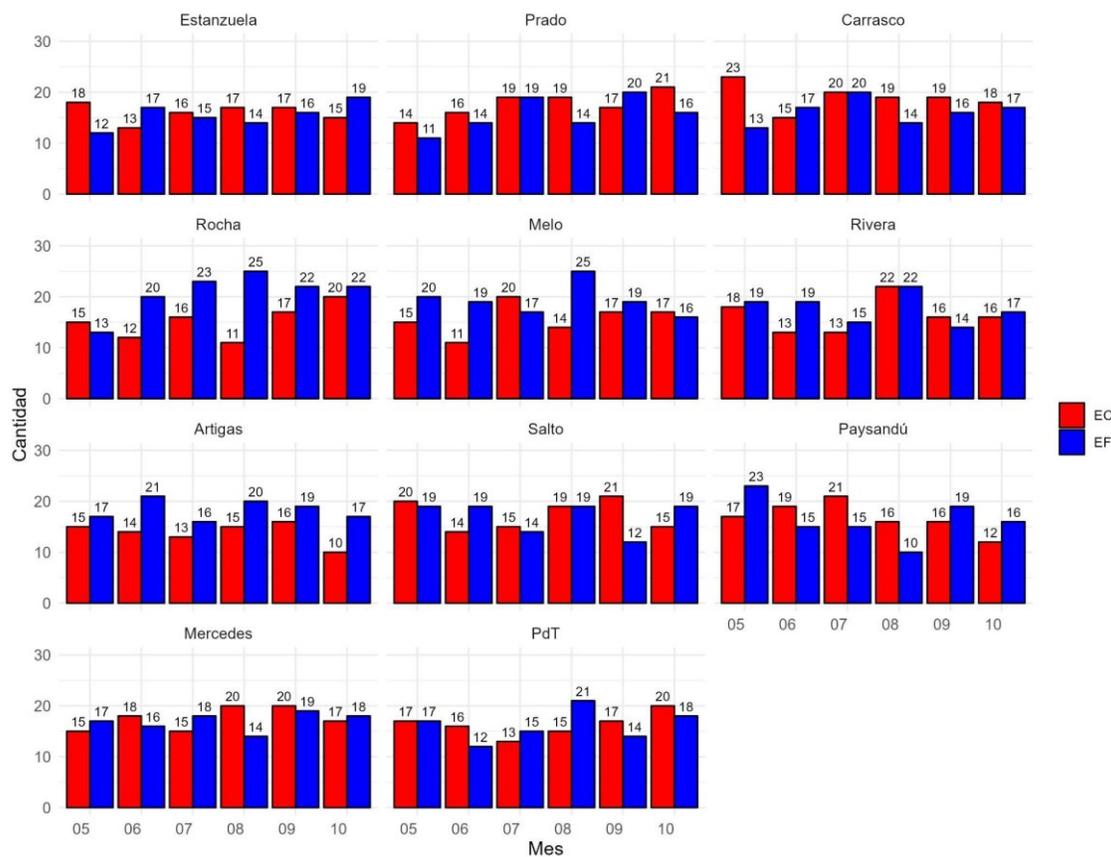
En general, los años con máximos de episodios cálidos también registran al menos un episodio frío, y viceversa. Se identifican casos atípicos, como la ausencia de eventos en Carrasco y Mercedes en 1998, o la ocurrencia aislada de un solo evento en Artigas en 1989. Algunos años presentan igual número de episodios cálidos y fríos, como 2008 y 2009 en Carrasco, y 1997 y 2004 en Prado. En otros, predomina un tipo de episodio:  $EC > EF$  en 1982 y 2005 en varias localidades, y  $EF > EC$  en 1983 y 1992, entre otros.



**Figura 4.5.** Cantidad anual de episodios cálidos (EC, rojo) y fríos (EF, azul), definidos a partir de la temperatura máxima diaria ( $T_x$ , °C), en las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018.

En la distribución mensual de los EC y EF, la cual se obtiene a partir de la fecha de inicio de cada evento (Figura 4.6), se observa una mayor cantidad de eventos de frío en agosto y

septiembre, principalmente en Rocha y Melo, en las cuales los EF alcanzan su máximo en agosto con 25 eventos, mientras que los EC fue ligeramente menos frecuentes (Figura 4.6).



**Figura 4.6.** Cantidad mensual de EC (rojo) y EF (azul), definidos a partir de Tx diaria (°C), en las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018.

En resumen, se observa una marcada diferencia en distribución regional de estos eventos. En este sentido se muestra una mayor frecuencia de EF al N-NE y este del país, mientras que en el área metropolitana y oeste-centro y NW predominaron los EC. Esto sugiere una influencia de factores locales y regionales sobre la ocurrencia de extremos de temperatura breves, en línea con estudios que han identificado la modulación de los extremos por variabilidad atmosférica regional, circulación sinóptica y diferencias latitudinales (Donat et al., 2013; Rusticucci, 2012; Barros et al., 2015).

Si bien el análisis se centra en el semestre frío, no existe un predominio general de eventos fríos. De hecho se observa una similitud en el número total de eventos cálidos (EC) y fríos (EF) en algunas estaciones. Esto sugiere una posible tendencia al aumento de los eventos cálidos consecuente con lo observado en la sección 2.4 (Figura 2.10).

Este patrón es consistente con lo reportado para el cono sur en las últimas décadas (Seneviratne et al., 2012), y ha sido señalado también en otros estudios regionales que evidencian un aumento en la frecuencia e intensidad de eventos cálidos, incluso durante estaciones tradicionalmente frías (Skansi et al., 2013).

### 4.3 Olas de calor y frío atmosféricas

En esta sección se determinan las olas simples en la atmósfera, clasificadas como olas de calor simples (OCS) y olas de frío simples (OFS), definidas a partir de extremos en la Tx diaria. Asimismo, se identifican las olas extremas, es decir, aquellas en las que se registran simultáneamente extremos en la Tx y la Tn, clasificadas como olas de calor extremas (OC) y olas de frío extremas (OF).

Tal como se explica en la sección 4.1, la detección de las olas extremas se basa en un enfoque flexible (de Mello, 2024), lo que permite cierta tolerancia en el cumplimiento simultáneo de extremos en Tx y Tn. Esta metodología posibilita que algunas olas extremas compartan días con olas simples o episodios, dando lugar a solapamientos parciales entre los tipo de eventos .

En primer lugar, las observaciones diarias de Tx correspondientes a olas simples (Figuras 4.7 a 4.10, izquierda) se distribuyen a lo largo de todo el semestre frío, siendo menos dispersas las pertenecientes a las frías (OFS). Cabe destacar que estas no equivalen directamente al número de olas, ya que cada ola simple tuvo una duración mínima de tres días consecutivos. Por ello, se observa una mayor densidad de puntos en ciertos períodos o estaciones, incluso cuando la frecuencia de eventos no es elevada (Figura 4.4).

Asimismo, en las observaciones diarias de Tx y Tn correspondientes a olas extremas (Figuras 4.7 a 4.10, derecha) se obtienen dos registros por día, uno por variable, incrementando la densidad visual respecto a las olas simples. Debido a la definición flexible adoptada para este tipo de eventos, se presentan casos en los que algunas observaciones no superan el umbral correspondiente (por ejemplo, temperaturas inferiores al percentil 90 en olas de calor, o superiores al percentil 10 en olas de frío), pero estas se incluyen dentro del evento por mantener la coherencia térmica general de la secuencia. Este criterio evita la fragmentación de eventos por fluctuaciones puntuales en una de las variables (De Mello, 2024).

En las estaciones del sur-suroeste, los valores de Tx asociados a las OFS son más numerosos y homogéneos, mientras que aquellos correspondientes a las OCS muestran una distribución más dispersa, con una leve disminución hacia los extremos del semestre frío. En Carrasco, se detectan 70 OFS y 64 OCS; en Prado, 71 OFS y 66 OCS; y en La Estanzuela, 75 OFS y 71 OCS. En contraste, los valores de Tx y Tn vinculados a las OF disminuyen más del 50 % en las estaciones metropolitanas, salvo en La Estanzuela. En el caso de las OC,

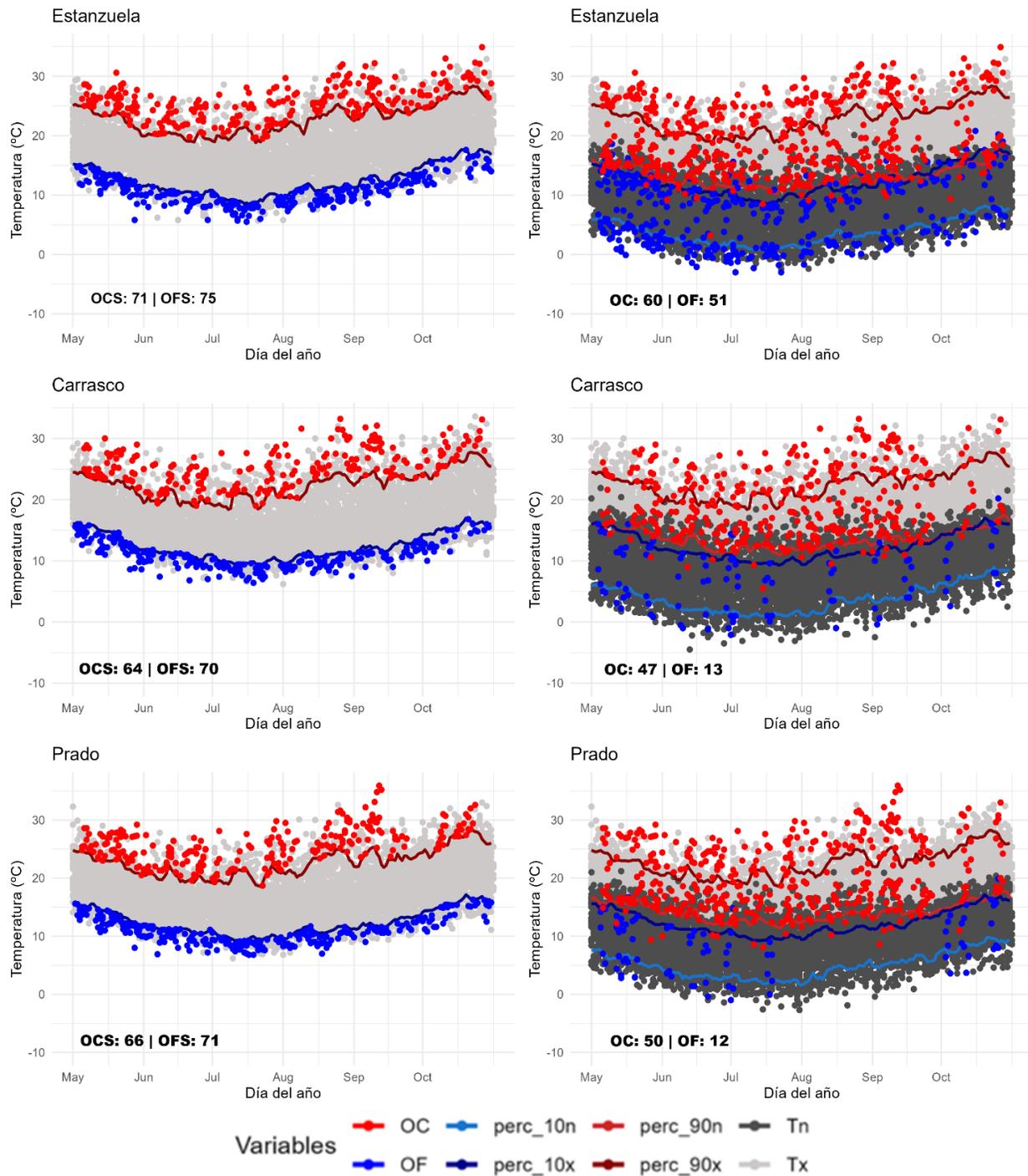
existen diferencias menos pronunciadas entre las simples y las extremas, y una distribución estacional más concentrada. Las olas extremas registradas son: Carrasco, 13 OF y 47 OC; Prado, 12 OF y 50 OC; y La Estanzuela, 51 OF y 60 OC (Figura 4.7).

En Rocha y Melo, se observa un patrón similar al del sur-suroeste, aunque en estas estaciones las Tx asociadas a OCS superan en frecuencia a las OFS. En Rocha se registran 55 OFS, 75 OCS, 12 OF y 49 OC; mientras que en Melo, 64 OFS, 79 OCS, 27 OF y 32 OC (Figura 4.8).

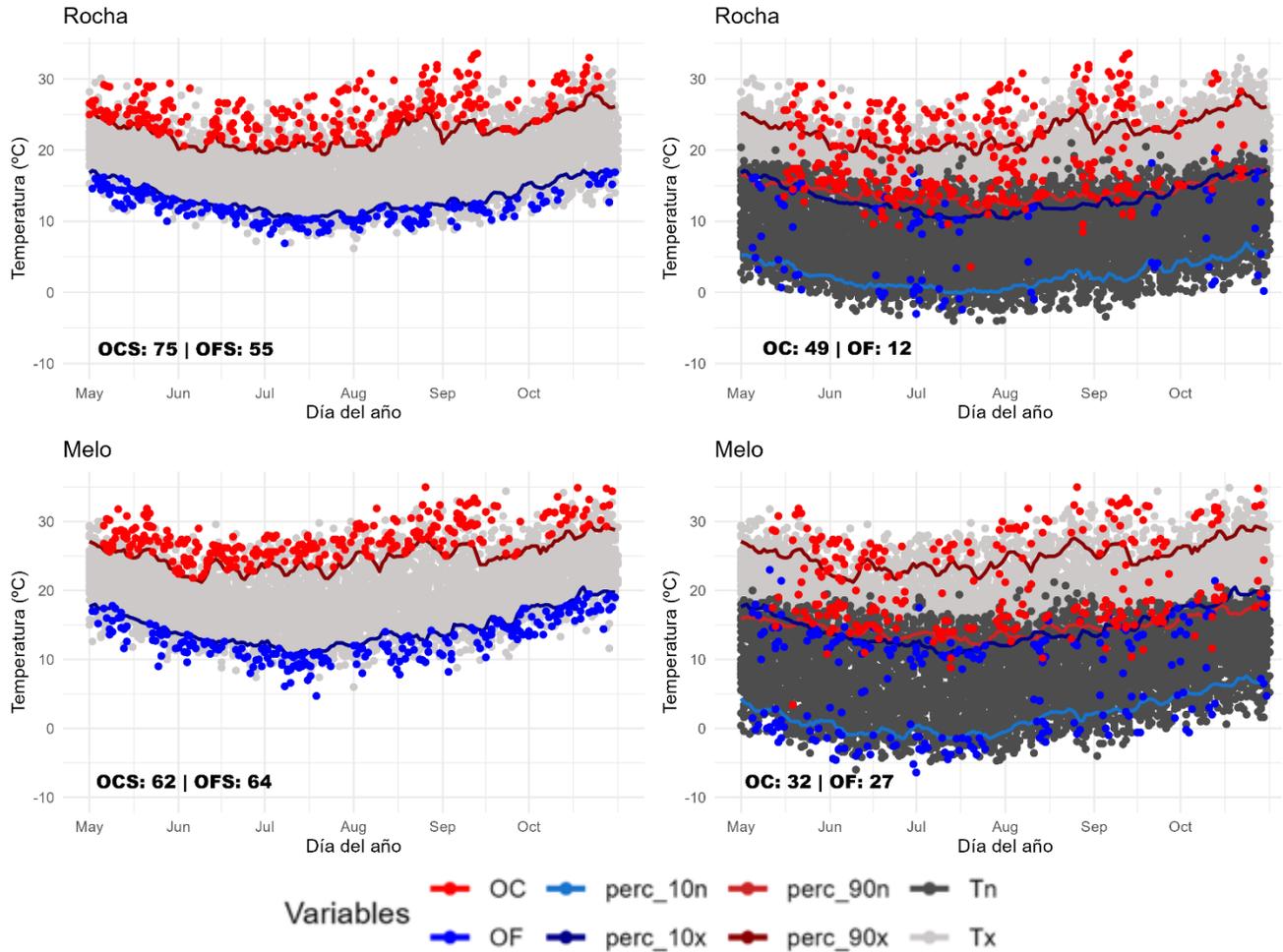
En las estaciones del norte (Figura 4.9) y del oeste-centro (Figura 4.10), la disminución en la cantidad de valores de temperatura correspondientes a olas extremas es menor al aplicar el criterio combinado de Tx y Tn. Los valores para OC presentan una distribución espacial más homogénea, mientras que los de OF continúan siendo más frecuentes en las estaciones del norte. Esto se refleja en la cantidad de eventos obtenidos, Rivera presenta 73 OFS, 79 OCS, 36 OF y 50 OC; Artigas, 66 OFS, 80 OCS, 43 OF y 54 OC; y Salto, 71 OFS, 75 OCS, 33 OF y 68 OC.

De manera similar, en las estaciones del norte (Rivera, Artigas y Salto) (Figura 4.9) y del oeste-centro (Paysandú, Mercedes y Paso de los Toros) (Figura 4.10), la aplicación del criterio combinado de extremos en Tx y Tn resulta en una disminución del número de valores diarios asociados a olas de calor y frío extremas. No obstante, esta reducción es menos marcada que la observada en las estaciones del sur y este del país. En cuanto a los eventos, Paysandú registra 72 OFS, 77 OCS, 39 OF y 67 OC; Mercedes, 68 OFS, 70 OCS, 26 OF y 49 OC; y Paso de los Toros, 67 OFS, 76 OCS, 42 OF y 52 OC.

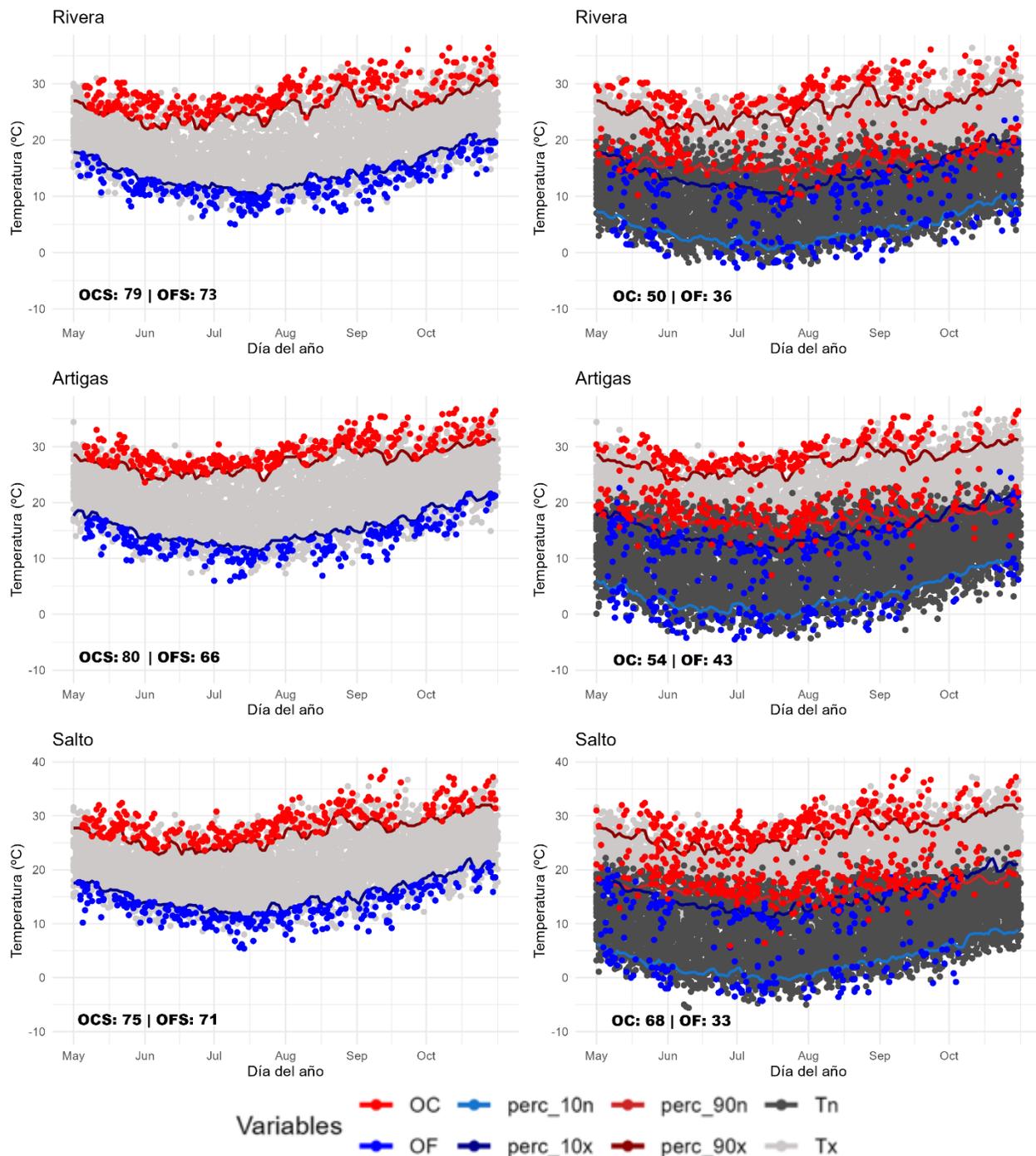
En términos generales, las Tx y Tn asociadas a OF poseen menor frecuencia en el sur-suroeste en comparación con el norte-centro, mientras que las correspondientes a OC muestran una distribución espacial más homogénea, con una leve disminución hacia el inicio y el final del semestre frío.



**Figura 4.7.** Observaciones diarias en las que se detectaron olas de calor (puntos rojos) y olas de frío (puntos azules) en La Estanzuela, Carrasco y Prado, durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. (izq.) Días con olas simples (OCS y OFS), definidas como eventos de al menos tres días consecutivos con temperatura máxima (Tx, puntos grises claros)  $\geq$  perc\_90x (línea roja oscura) o  $\leq$  perc\_10x (línea azul oscura), respectivamente. (der.) Días con olas extremas (OC y OF), definidas por la superación simultánea de umbrales en Tx y temperatura mínima (Tn): para OC,  $T_x \geq \text{perc}_{90x}$  y  $T_n \geq \text{perc}_{90n}$  (líneas roja oscura y roja clara); para OF,  $T_x \leq \text{perc}_{10x}$  y  $T_n \leq \text{perc}_{10n}$  (líneas azul oscura y azul clara). Se indica el número total de eventos por categoría y estación. F:Frío, C: Calor.

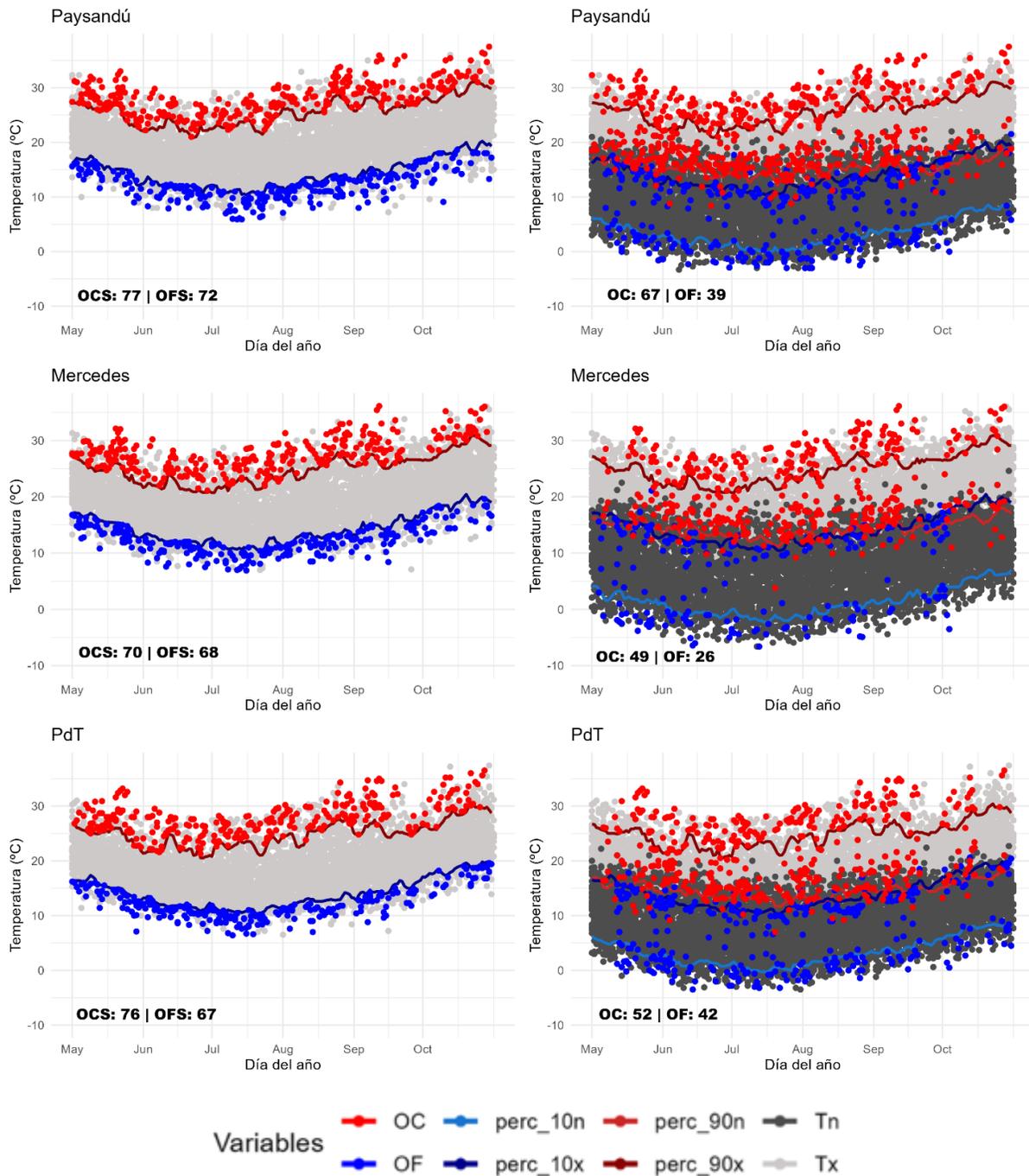


**Figura 4.8.** Observaciones diarias en las que se detectaron olas de calor (puntos rojos) y olas de frío (puntos azules) en Rocha y Melo, durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. (izq.) Días con olas simples (OCS y OFS), definidas como eventos de al menos tres días consecutivos con temperatura máxima (Tx, puntos grises claros)  $\geq$  perc\_90x (línea roja oscura) o  $\leq$  perc\_10x (línea azul oscura), respectivamente. (der.) Días con olas extremas (OC y OF), definidas por la superación simultánea de umbrales en Tx y temperatura mínima (Tn): para OC, Tx  $\geq$  perc\_90x y Tn  $\geq$  perc\_90n (líneas roja oscura y roja clara); para OF, Tx  $\leq$  perc\_10x y Tn  $\leq$  perc\_10n (líneas azul oscura y azul clara). Se indica el número total de eventos por categoría y estación. F:Frío, C: Calor.



**Figura 4.9.** Observaciones diarias en las que se detectaron olas de calor (puntos rojos) y olas de frío (puntos azules) en Rivera, Artigas y Salto, durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. (izq.) Días con olas simples (OCS y OFS), definidas como eventos de al menos tres días consecutivos con temperatura máxima (Tx, puntos grises claros)  $\geq$  perc\_90x (línea roja oscura) o  $\leq$  perc\_10x (línea azul oscura), respectivamente. (der.) Días con olas extremas (OC y OF), definidas por la superación simultánea de umbrales en Tx y temperatura mínima (Tn): para OC,  $Tx \geq$  perc\_90x y  $Tn \geq$  perc\_90n (líneas roja oscura y roja clara); para OF,  $Tx \leq$  perc\_10x y  $Tn \leq$  perc\_10n (líneas azul oscura y azul clara).

Se indica el número total de eventos por categoría y estación. F:Frío, C: Calor.



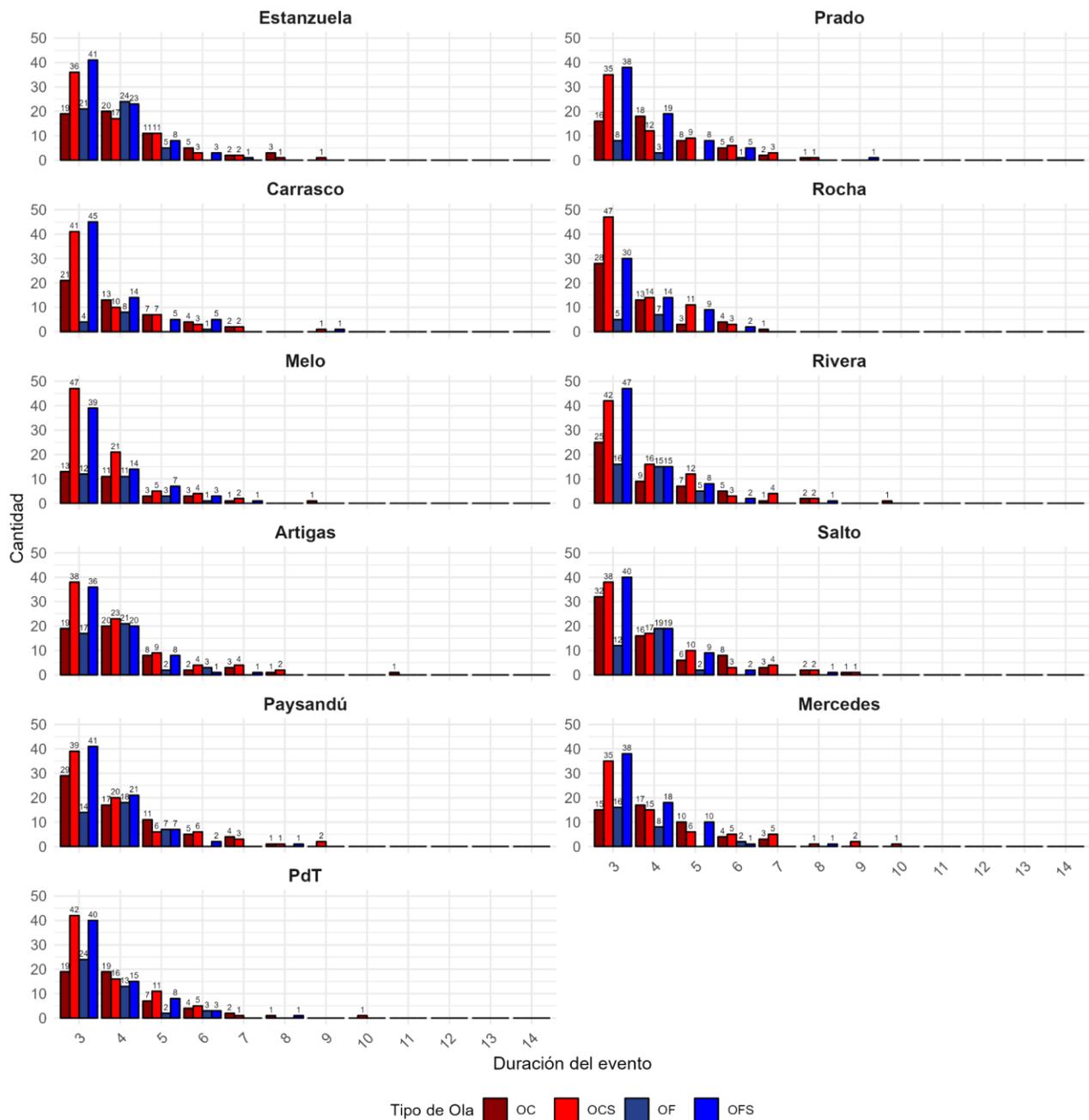
**Figura 4.10.** Observaciones diarias en las que se detectaron olas de calor (puntos rojos) y olas de frío (puntos azules) en Paysandú, Mercedes y Paso de los Toros (PdT) durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. (izq.) Días con olas simples (OCS y OFS), definidas como eventos de al menos tres días consecutivos con temperatura máxima (Tx, puntos grises claros)  $\geq$  perc\_90x (línea roja oscura) o  $\leq$  perc\_10x (línea azul oscura), respectivamente. (der.) Días con olas extremas (OC y OF), definidas por la superación simultánea de umbrales en Tx y temperatura mínima (Tn): para OC,  $Tx \geq$  perc\_90x y  $Tn \geq$  perc\_90n (líneas roja oscura y roja clara); para OF,  $Tx \leq$  perc\_10x y  $Tn \leq$  perc\_10n (líneas azul oscura y azul clara). Se indica el número total de eventos por categoría y estación. F:Frío, C: Calor.

Por otra parte, se determina la duración de estos eventos (Ec. 4.2, Tabla 4.3), y se observa una mayor frecuencia de olas simples (OCS y OFS) en comparación con las olas extremas (OC y OF), especialmente en el caso de los eventos fríos (Figura 4.11). Esta menor detección responde a la exigencia metodológica de requerir que tanto la  $T_x$  como la  $T_n$  superen (o no alcancen) sus respectivos umbrales en forma simultánea.

Como han señalado diversos estudios sobre eventos compuestos, el uso de múltiples criterios tiende a reducir la frecuencia de eventos detectados, aunque permite identificar fenómenos más extremos y potencialmente más impactantes (Zscheischler et al., 2018; Seneviratne et al., 2021).

No obstante, en la mayoría de las estaciones las olas extremas con duraciones superiores a tres días resultan levemente más frecuentes, o al menos tan comunes como las olas simples, lo cual concuerda con el enfoque metodológico flexible adoptado en este estudio. Este criterio permite detectar casos en los que una de las variables (por ejemplo,  $T_x$ ) no alcanza el umbral mientras que la otra ( $T_n$ ) sí lo supera, de modo que el evento se considera igualmente como ola extrema gracias a dicha flexibilidad.

En cuanto a la duración, la mayoría de las olas cálidas (simples y extremas) se concentran en las categorías de corta duración (3 a 5 días). Los eventos más largos, entre 10 y 11 días, resultan poco frecuentes, con solo un caso registrado en cuatro de las once estaciones para OCS. En el caso de las OFS, únicamente dos estaciones presentan eventos de hasta 9 días de duración.



**Figura 4.11.** Cantidad de olas de calor y frío según su duración (días), detectadas en las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Se distingue olas simples (OCS, rojo, y OFS, azul) y olas extremas (OC, rojo oscuro y OF, azul oscuro). F: Frío y C: Calor.

Al analizar la distribución anual de eventos extremos en el período (Figura 4.2) y en subperíodos como 1982 – 1999 (Tabla 4.4) y 2000–2018 (Tabla 4.5), se observa nuevamente una mayor frecuencia de olas simples en comparación con olas extremas.

Por otra parte, los eventos fríos predominan durante 1982-1999 en la región sur-suroeste (Estanzuela, Prado y Carrasco), sobre todo las olas simples. Este patrón también se presenta en Melo y Paso de los Toros, donde los tipos de olas frío resultan más numerosas que los de calor.

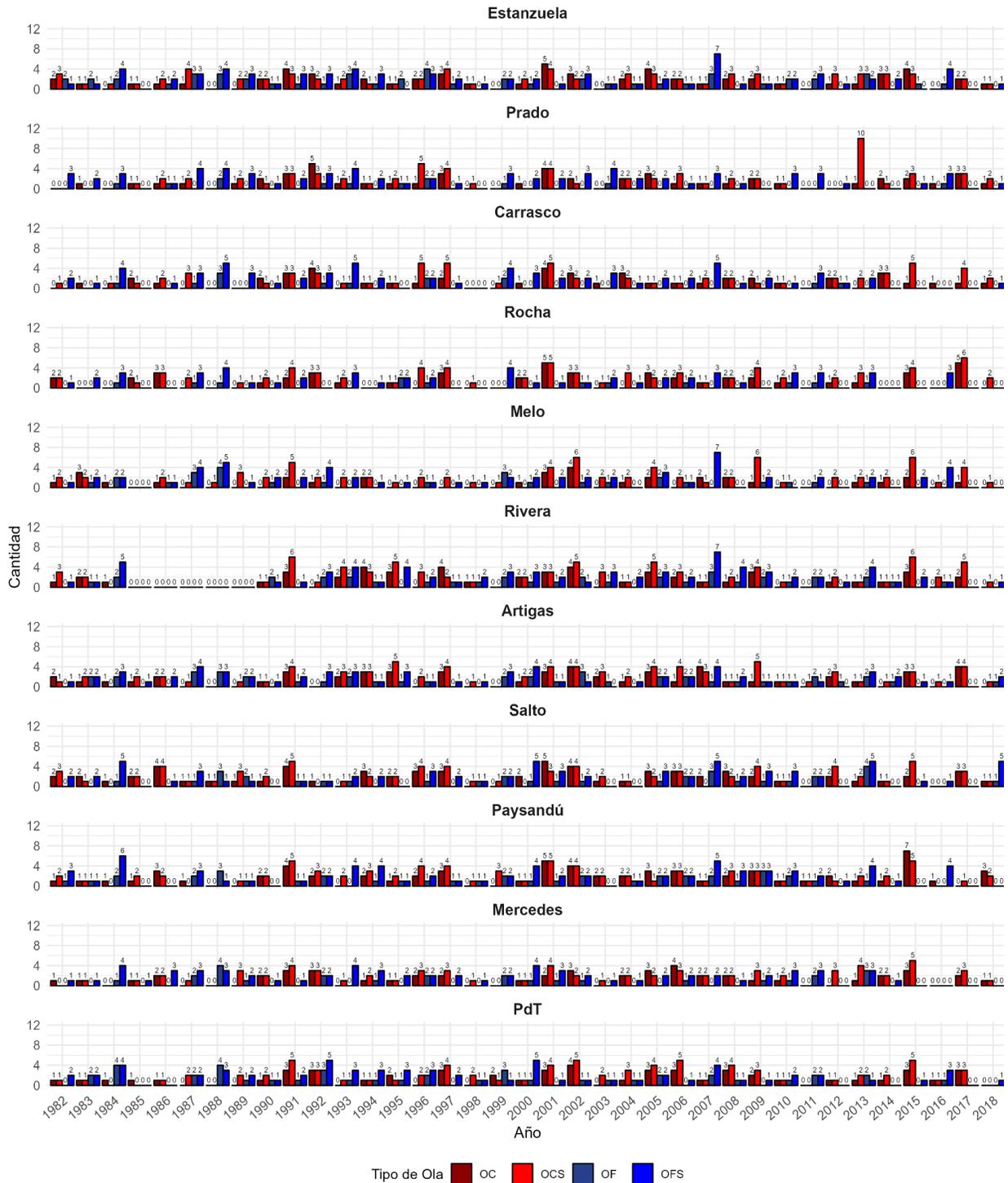
En contraste, en este mismo subperíodo, en el norte (Rivera, Salto) las OCS se observan con mayor frecuencia. Aunque en Artigas se detectan más OFS que OCS, lo cual resalta las diferencias locales dentro de la región.

A partir del año 2000, en la mayoría de las estaciones, los eventos cálidos aumentan considerablemente, mientras que los fríos disminuyen excepto en Salto, donde las OFS siguen predominando, lo cual guarda relación con la tendencia negativa (no significativa) de Tx encontrada (Figura 2.10).

En el sur, en Prado y Carrasco, se registran sólo dos eventos de OF en cada estación durante el último período. En contraste, en el este-centro, Paysandú muestra un aumento destacado en las OC, superando incluso en frecuencia a las olas simples.

En resumen, se observa un aumento generalizado de las olas cálidas, tanto simples como extremas, en el subperíodo 2000-2018, mientras que los eventos fríos disminuyen, lo cual refleja posibles efectos de un clima más cálido.

Estos resultados se enmarcan en una tendencia más amplia observada a nivel global, donde se ha documentado un aumento en la frecuencia e intensidad de los extremos cálidos, incluidos las olas de calor, y una disminución de los extremos fríos desde 1950. Esta tendencia ha sido evaluada como prácticamente cierta a escala global y al menos probable en más del 80% de las regiones evaluadas en el *Sixth Assessment Report (AR6)* (SeneviraTne et al., 2021).



**Figura 4.12.** Cantidad anual de olas de calor y frío detectadas en las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Se distingue olas simples (OCS, rojo, y OFS, azul) y olas extremas (OC, rojo oscuro y OF, azul oscuro). F: Frío y C: Calor.

**Tabla 4.4. Cantidad anual de olas de calor y frío detectadas en cada estación meteorológica durante el semestre frío austral entre 1982 y 1999. Se distingue olas simples (OCS, rojo, y OFS, azul) y olas extremas (OC, rojo oscuro y OF, azul oscuro). F: Frío y C: Calor.**

<b>Región</b>	<b>Estación</b>	<b>OC</b>	<b>OF</b>	<b>OCS</b>	<b>OFS</b>
<b>Sur-Suroeste</b>	Estanzuela	25	31	32	40
	Prado	22	10	29	39
	Carrasco	18	11	29	39
<b>Oeste</b>	Rocha	18	6	30	29
	Melo	11	17	31	33
<b>Norte</b>	Rivera	22	15	31	29
	Artigas	22	21	32	37
	Salto	31	14	37	29
<b>Este-Centro</b>	Paysandú	24	20	37	33
	Mercedes	19	15	28	38
	Paso de los Toros	20	27	29	39

**Tabla 4.5. Cantidad anual de olas de calor y frío detectadas en cada estación meteorológica durante el semestre frío austral entre 2000 y 2018. Se distingue olas simples (OCS y OFS) y olas extremas (OC y OF). F: Frío y C: Calor.**

<b>Región</b>	<b>Estación</b>	<b>OC</b>	<b>OF</b>	<b>OCS</b>	<b>OFS</b>
<b>Sur-Suroeste</b>	Estanzuela	35	20	39	35
	Prado	28	2	37	32
	Carrasco	29	2	35	31
<b>Oeste</b>	Rocha	31	6	45	26
	Melo	21	10	48	31
<b>Norte</b>	Rivera	28	21	48	44
	Artigas	32	22	48	29
	Salto	37	19	38	42
<b>Este-Centro</b>	Paysandú	43	19	40	39
	Mercedes	30	11	42	30
	Paso de los Toros	32	15	47	28

Por otra parte, la mayoría de las olas simples y extremas se concentran en los meses de mayo, junio, julio y agosto, mientras que los mínimos se registran principalmente en octubre, tanto para los eventos de calor como de frío (Figura 4.13). La mayor frecuencia durante este período coincide con una atmósfera más inestable, particularmente en mayo y junio, meses que integran la transición otoñal, donde la interacción entre masas de aire cálido subtropical y aire frío polar genera condiciones propicias para la ocurrencia de extremos de temperatura breves o persistentes, tal como lo han señalado Rusticucci (2012). En este sentido, la autora también destaca que los extremos de temperatura en el sur de Sudamérica no se restringen exclusivamente a las estaciones cálidas o frías, sino que también pueden intensificarse durante el otoño e invierno debido a la influencia de forzantes atmosféricos de escala sinóptica y regional que generan eventos temperatura fuera de temporada.

Los máximos de OC entre las estaciones se observan en varios meses, pero principalmente en julio y agosto. En julio, se obtiene un pico máximo en las estaciones del norte (Rivera, Artigas y Salto) y en Paysandú. También en agosto, pero en las estaciones del sur-suroeste (La Estanzuela, Carrasco, Prado) y Mercedes. También se muestran máximos en junio en Rocha y La Estanzuela. En Melo, el máximo ocurre en septiembre, mientras que en Paso de los Toros (PdT) se registra en mayo.

Los mínimos de OC, en cambio, se detectan mayoritariamente en octubre, en 9 de las 11 estaciones: las del S-SW (La Estanzuela, Carrasco y Prado), Rocha, Artigas, Salto y las del oeste-centro (Paysandú, Mercedes y PdT). Otros mínimos se registran en agosto (Melo y Artigas) y en mayo (Rivera, Salto y Mercedes).

En las OCS, los máximos se distribuyen a lo largo de varios meses. En mayo, estaciones como Carrasco, Prado, Rocha, Rivera y PdT registran un mayor número de eventos, mientras que en julio los valores más altos se observan en Artigas, Salto y las estaciones del oeste-centro. Por su parte, Melo presenta un pico en junio, y en La Estanzuela, el máximo ocurre en septiembre.

Los mínimos de OCS ocurren principalmente en octubre, en las estaciones de La Estanzuela, Carrasco, Rocha, Melo, Salto y las del oeste-centro (Paysandú, Mercedes y PdT). Otros mínimos se registran en septiembre (Prado, Rivera, Artigas y PdT) y agosto (Salto).

En el caso de las OF, los máximos se distribuyen entre mayo, junio, julio y agosto. En mayo, se concentran en las estaciones del S-SW (La Estanzuela, Carrasco y Prado), así como en Rocha, Artigas, Salto, Mercedes y PdT. En junio, aunque en menor medida, se registran picos en Carrasco, Prado, Rocha y Melo. En julio, los máximos se observan en Melo, Artigas y PdT, mientras que en agosto ocurren en Rivera y Paysandú.

Los mínimos de OF se detectan en octubre en las estaciones de La Estanzuela, Melo, Salto, Paysandú y Mercedes. Otros mínimos se presentan en septiembre (Estanzuela, Prado, Rocha, Artigas y PdT), agosto (Carrasco, Prado y Rocha) y junio (Rivera).

En las OFS, los máximos en las estaciones del S-SW (La Estanzuela, Prado y Carrasco) y Rocha se observan en mayo. En Melo se muestran en septiembre, así como en las del norte (Rivera, Artigas y Salto). En Salto y PdT el máximo se registra en junio, mientras que en Paysandú el máximo se alcanza en julio y agosto (Figura 4.13).

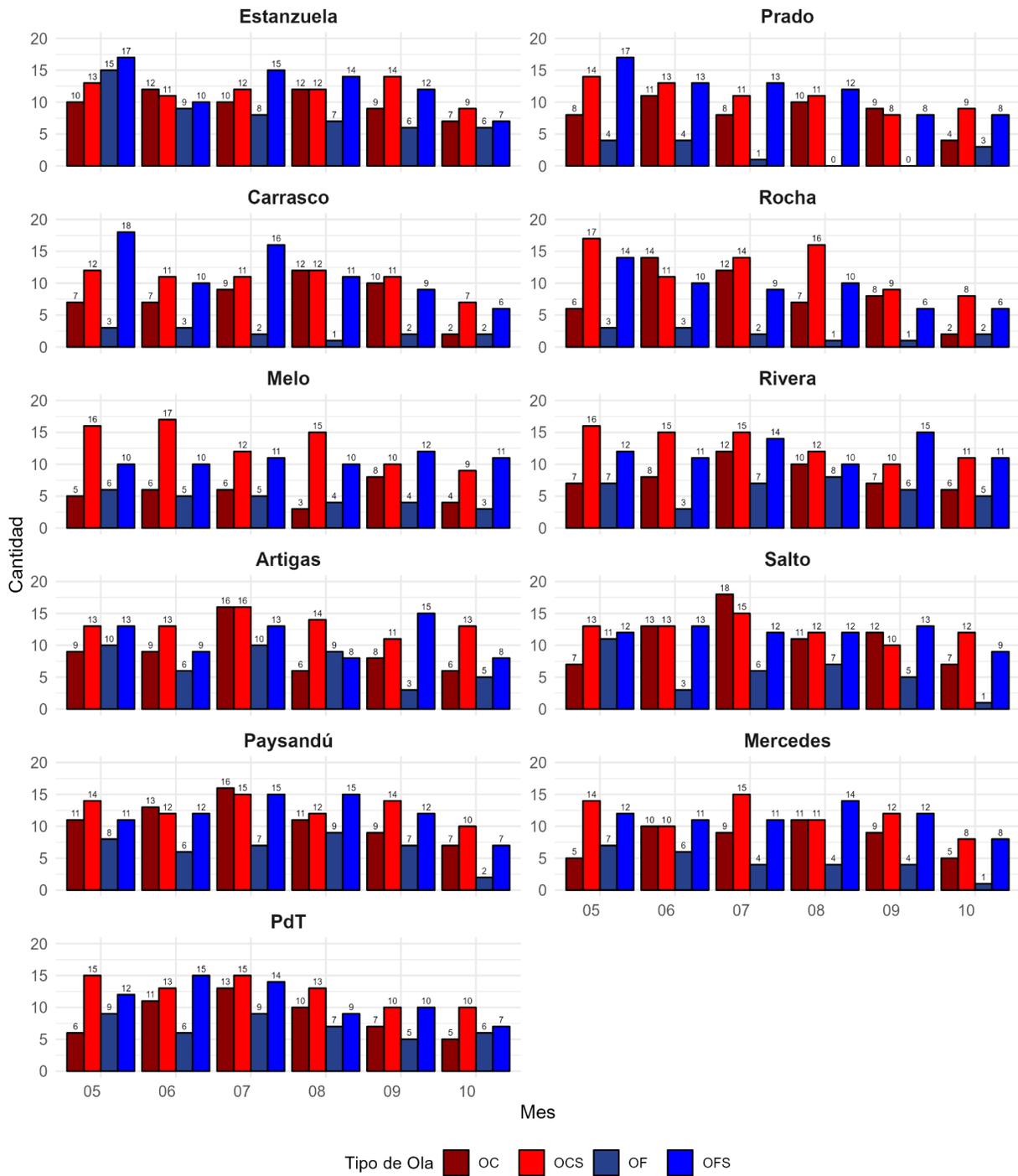
Los mínimos de OFS, al igual que en otras categorías, se observan principalmente en octubre en las estaciones del S-SW, Rocha, Artigas, Salto y las del oeste-centro. También se encuentran mínimos en septiembre en Prado y Rocha, y agosto, en Melo, Rivera y Artigas; así como en junio y mayo.

Por otro lado, aunque las olas simples y las extremas se analizan como eventos independientes, en algunos casos se superponen, ya que disímiles olas extremas se encontraron dentro de las simples. Un ejemplo ilustrativo se presenta en La Estanzuela durante 1987 (Figura 4.14), donde se identifican tres OFS y tres OF, con varios días de solapamiento entre ellas: la OF no. 2 coincide con la OFS no. 4 en cuatro días, y la OF no. 3 se solapa durante tres días con la OFS no. 5. También se observa un caso similar en las de calor: la OC no. 7 comparte tres días con la OCS no. 10. Estos resultados indican que estos eventos no son excluyentes, y su estrecha relación refuerza la necesidad de analizarlos en conjunto.

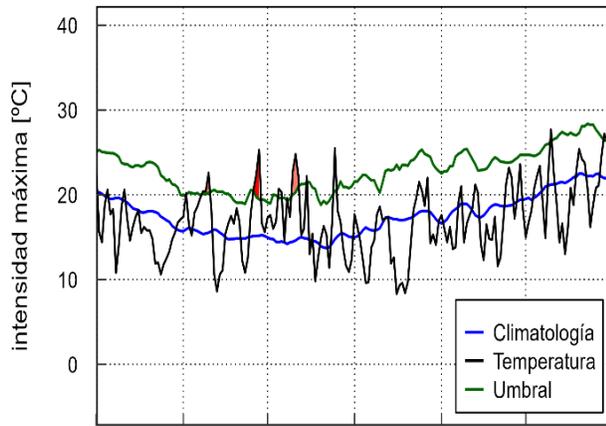
En síntesis, la identificación de los distintos tipos de olas, tanto de calor como de frío, muestra diferencias marcadas en la frecuencia, duración y distribución espacial de los eventos extremos de temperatura durante el semestre frío.

Las olas simples, definidas únicamente a partir de la  $T_x$  como períodos de al menos tres días consecutivos por encima o por debajo del umbral diario, resultan más numerosas y frecuentes que las extremas, aquellas definidas por la condición simultánea en  $T_x$  y  $T_n$ . Esta diferencia se explica por la mayor exigencia metodológica de esta última definición, que requiere que ambas variables superen simultáneamente sus respectivos umbrales (Rusticucci et al., 2016).

No obstante, como señala Rusticucci et al. (2016), el incremento observado en las temperaturas mínimas nocturnas ha favorecido una mayor ocurrencia de olas extremas en las últimas décadas, al aumentar la probabilidad de que las noches cálidas acompañen a los extremos diurnos, favoreciendo la superación conjunta de los umbrales de  $T_x$  y  $T_n$ .

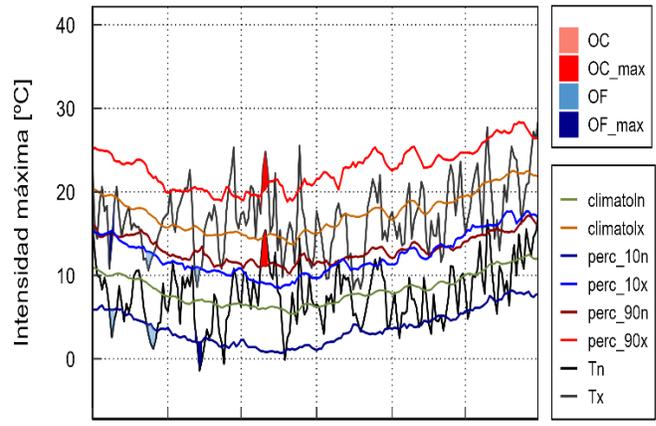


**Figura 4.13.** Cantidad mensual de olas de calor y de frío identificadas detectadas en las estaciones meteorológicas seleccionadas durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Se distingue olas simples (OCS, rojo, y OFS, azul) y olas extremas (OC, rojo oscuro y OF, azul oscuro). F: Frío y C: Calor.



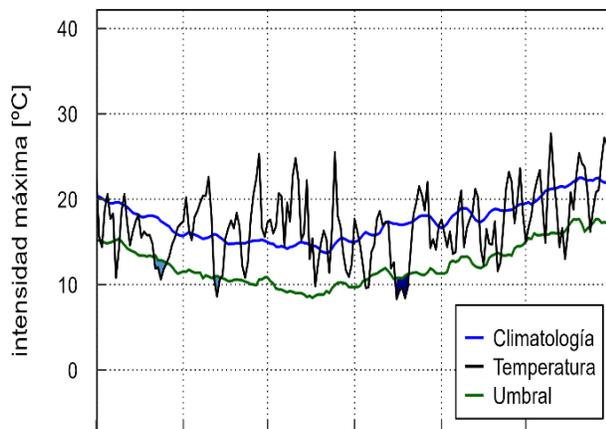
may. 1987 jun. 1987 jul. 1987 ago. 1987 sep. 1987 oct. 1987

Fecha



may. 1987 jun. 1987 jul. 1987 ago. 1987 sep. 1987 oct. 1987

Fecha



may. 1987 jun. 1987 jul. 1987 ago. 1987 sep. 1987 oct. 1987

Fecha

Tipo de evento	(No.) Fecha de inicio (dd/mm)	(No.) Fecha final (dd/mm)	No. de eventos coincidentes/días
OF	(1) 08-05 (2) 23-05 (3) 12-06	(1) 10-05 (2) 27-05 (3) 15-06	2 y 4 / 4 días 3 y 5 / 3 días
OFS	(4) 22-05 (5) 12-06 (6) 16-08	(4) 26-05 (5) 14-06 (6) 20-08	
OC	(7) 09-07	(7) 12-07	7 y 10 / 3 días
OCS	(8) 08-06 (9) 26-06 (10) 10-07 (11) 29-10	(4) 10-08 (9) 28-06 (10) 12-07 (11) 31-10	

**Figura 4.14.** Distribución temporal y eventos extremos de temperatura registrados en la estación La Estanzuela durante 1987. Se muestran las series diarias de temperatura máxima (Tx) y mínima (Tn), junto con sus climatologías (climatolx y climatoln) y los umbrales extremos (perc\_10x/n y perc\_90x/n). (Izq.) Olas simples (OCS, superior, y OFS, inferior), definidas por Tx. (Sup. der.) Olas extremas (OC y OF), identificadas por la concurrencia de extremos en Tx y Tn. La intensidad máxima se representa con tonos más oscuros (OC\_max, OF\_max). (Inf. der.) Fechas de inicio y fin de cada evento y días coincidentes entre categorías. F: Frío, C: Calor

## 5. OLAS DE CALOR Y FRÍO MARINAS

### 5.1 Definiciones de las olas de calor y frío marinas

Las olas de calor y frío marinas (OCM y OFM, respectivamente) se definen de forma análoga a sus contrapartes atmosféricas, empleando criterios basados en percentiles para detectar anomalías térmicas extremas. En ambos casos, se establece una duración mínima de cinco días, considerando que las escalas temporales de variabilidad en el océano son naturalmente más largas que en la atmósfera (Perkins y Alexander, 2013; Hobday et al., 2016; Oliver et al., 2017, 2018a, 2018b).

Esta determinación se realiza a partir de la TSM de tres puntos marinos cercanos a la costa: Rocha\_sst, perteneciente a la plataforma costera del Atlántico Sur y próximo a la estación meteorológica de Rocha; Carrasco\_sst, zona estuarina y próximo a la estación meteorológica de Carrasco; y RP4, Río de la Plata y próximo a la estación meteorológica de La Estanzuela (Figura 3.1). Para esto se utilizan las definiciones de Hobday et al. (2016) y Schlegel et al. (2017) como:

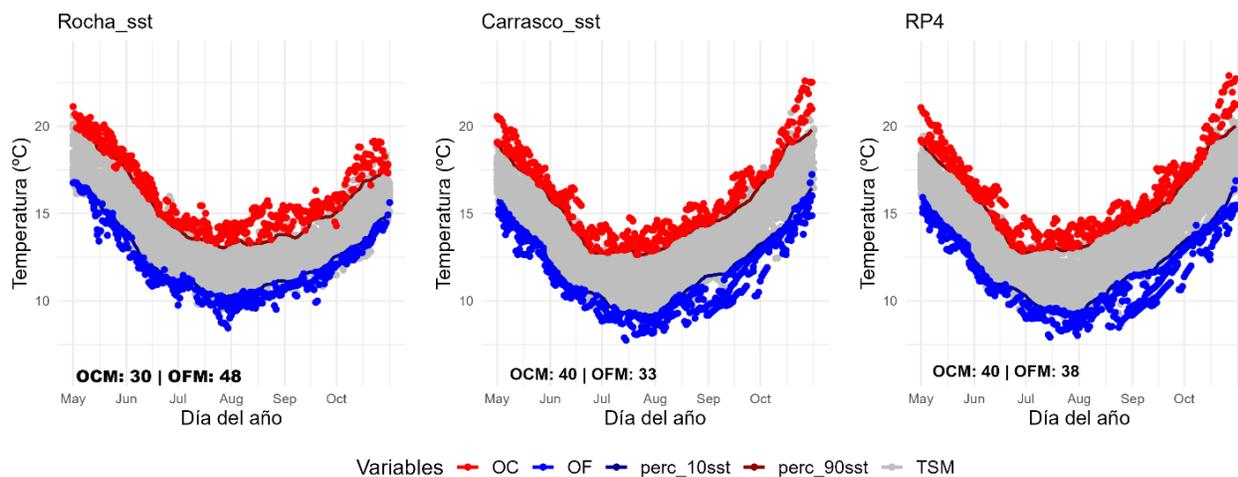
**Ola de calor (frío) marina:** Evento en el que la TSM sea mayor o igual (menor o igual) al umbral diario, o sea percentil 90 (percentil 10), durante al menos cinco días consecutivos. Estos umbrales se calculan mediante una ventana móvil de 11 días centrada en el día de interés, y es único para el día del calendario y serie de temperatura.

Para estimar estos umbrales se utiliza la misma metodología aplicada en el cálculo de las climatologías diarias (Sección 3.2 y Tabla 4.3), basada en una ventana móvil centrada de 11 días sobre el calendario anual y utilizando el período 1982–2018. Además se considera un evento continuo si la brecha entre dos olas no supera los dos días. Esta definición sigue los criterios propuestos por Hobday et al. (2016).

En las observaciones diarias de TSM dentro a una ola de calor marina (OCM) y de frío (OFM) se observa un comportamiento bien marcado estacionalmente, con patrones similares de umbrales inferior (perc\_10sst) y superior (perc\_90sst) entre los puntos del Río de la Plata (Carrasco\_sst y RP4) (Figura 5.5).

A su vez, los percentiles diarios en los tres puntos siguen el patrón estacional esperado, con un descenso progresivo de la TSM hacia los meses centrales del semestre frío (junio, julio y agosto) y un aumento hacia los extremos (mayo y octubre). En general, las observaciones de OCM se observan a lo largo de todo el período de estudio, son una mayor concentración al inicio, especialmente entre mayo y julio, cuando la TSM supera el perc\_90sst. Además, las temperaturas extremas más altas se registran en Carrasco\_sst y RP4.

También se identifican observaciones de OFM a lo largo de todo el período de estudio, con numerosos casos en los que la TSM se mantiene por debajo del perc\_10sst durante varios días consecutivos. Estos eventos muestran una distribución similar a las OCM. Asimismo, las temperaturas más extremas se registran entre julio y agosto en Carrasco\_sst y RP4, donde la distribución térmica presenta una gran similitud (Figura 5.1).



**Figura 5.1.** Observaciones diarias de temperatura superficial del mar (TSM, puntos grises) en las que se detectaron olas de calor marinas (OCM, puntos rojos) y frío (OFM, puntos azules) en (a) Rocha\_sst, (b) Carrasco\_sst y (c) RP4, durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018. Los datos pertenecen al producto satelital OISST v2.1. Las OCM y OFM son definidas como eventos de  $\geq 5$  días consecutivos con  $TSM \geq \text{perc}_{90sst}$  (línea roja oscura) o  $\leq \text{perc}_{10sst}$  (línea azul oscuras), respectivamente. Se muestra el total de eventos registrados por sitio.

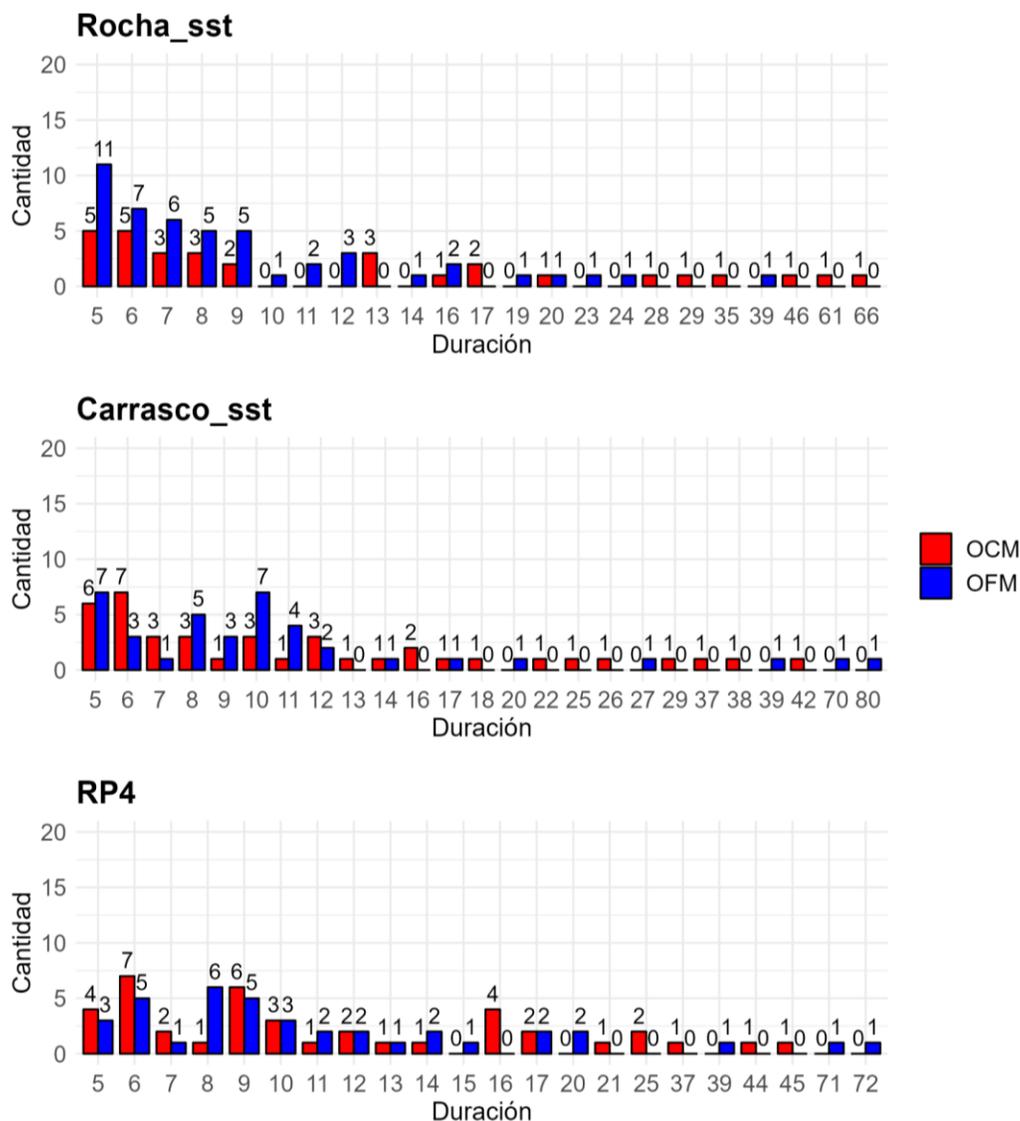
Por otro lado, las OCM y las OFM difieren en su duración diaria, registrándose eventos más prolongados que los atmosféricos. Esto se debe, en parte, al tipo de definición utilizada y a la mayor persistencia de los extremos en la TSM. Asimismo, se muestra que la mayoría de los eventos, tanto de calor como de frío, se agrupan en la categoría de 5 días, destacándose en Rocha\_sst y Carrasco\_sst. Por otro lado, los de mayor duración, aunque menos frecuentes, oscilan entre 60 y 80 días (Figura 5.2).

En Rocha\_sst, las OFM resultan más frecuentes que las OCM para duraciones inferiores a 13 días, con una disminución progresiva en la cantidad de eventos a medida que aumenta su duración. La frecuencia desciende rápidamente con la extensión temporal, aunque se registran eventos excepcionales: una OFM de hasta 39 días, desde el 24 de julio hasta el 31 de agosto de 2007, y una OCM que alcanza los 66 días, entre el 2 de agosto y el 6 de octubre de 2017. Con esto se evidencia la capacidad de persistencia de los extremos térmicos en esta región.

De manera similar, en Carrasco\_sst, la mayor cantidad de eventos se concentra en la duración de 5 días, con 6 OCM y 7 OFM. La duración máxima registrada es de 80 días para una OFM,

del 13 de agosto al 31 de octubre de 1995 y de 42 días para una OCM, del 31 de julio al 10 de septiembre de 2015. Además, la distribución de eventos de corta y mediana duración (entre 5 y 10 días) se observan relativamente uniforme.

Por su parte, en RP4, las OCM y las OFM de duraciones de 6, 8 y 9 días son las más frecuentes. La mayor duración registrada para las OCM es de 45 días, del 28 de julio al 10 de septiembre de 2015; mientras que, para las OFM, de 72 días, del 14 de agosto al 24 de octubre de 1995.



**Figura 5.2.** Cantidad de olas de calor marinas (OCM, rojo) y frío (OFM, azul) según su duración (en días), identificadas a partir de TSM en los puntos costeros Rocha\_sst, Carrasco\_sst y RP4 durante el semestre frío (mayo–octubre) del período 1982–2018.

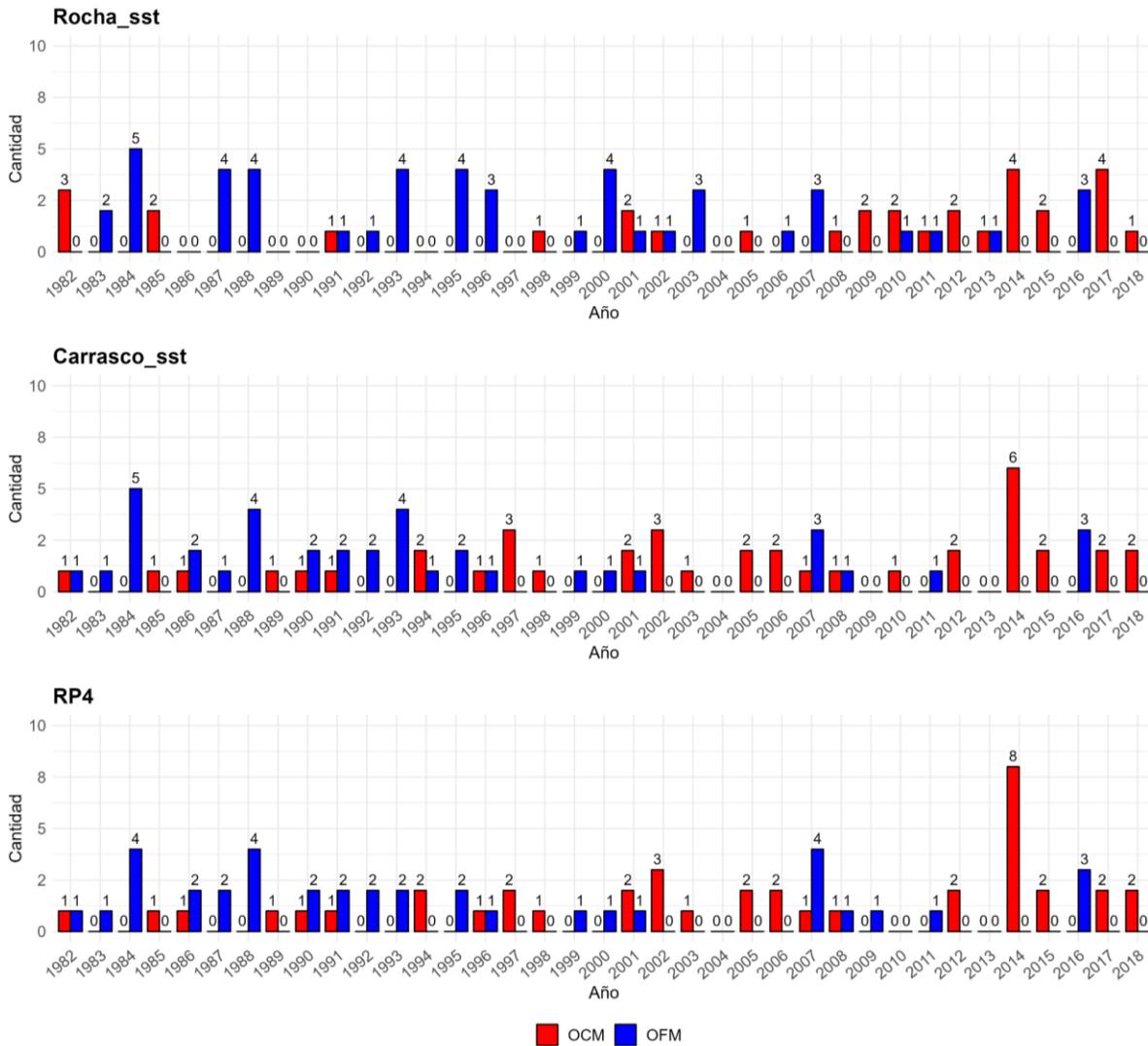
En cuanto a la distribución anual de las olas marinas, se observan variaciones temporales en la frecuencia de estos eventos. A partir del año 2000, las OCM superan a las OFM en todos los puntos analizados (Figura 5.3).

Este incremento en la frecuencia de las OCM resulta particularmente notable en Carrasco\_sst y RP4. En RP4, el año 2014 se destaca por registrar la mayor cantidad de OCM, con un máximo de 8 eventos, mientras que en Carrasco\_sst, ese mismo año, se contabilizan 6 eventos.

Este comportamiento sugiere un aumento considerable en la frecuencia de eventos cálidos hacia el final del período. En Rocha\_sst, los picos de OCM se registran en 2014 y 2017, con 4 eventos en cada año. Otros años con más de un evento son 1982 (3 eventos) y 1985, 2001, 2009, 2010, 2012 y 2015 (2 eventos cada uno). Este patrón indica una menor regularidad temporal en la ocurrencia de OCM en comparación con Carrasco\_sst y RP4.

Por otra parte, las OFM resultaron ser más frecuentes en las primeras décadas (1980-2000), especialmente en Rocha\_sst y Carrasco\_sst. En 1984, se registra un máximo de 5 eventos en Rocha\_sst, mientras que en 1985 ocurre lo mismo en Carrasco\_sst. En ambos casos, la frecuencia disminuye drásticamente después del año 2000, con períodos consecutivos sin la presencia de olas de frío.

En RP4, los picos de OFM se observan en 1984, 1988 y 2007, con 4 eventos en cada año. Posteriormente, estos eventos también disminuyen significativamente, registrándose solo entre 0 y 1 evento anual después del 2000, con la excepción de 2016, cuando se reportaron 3 OFM (Figura 5.2).



**Figura 5.3.** Cantidad anual de olas de calor marinas (OCM, rojo) y frío (OFM, azul), identificadas a partir de TSM en los puntos costeros Rocha\_sst, Carrasco\_sst y RP4 durante el semestre frío (mayo–octubre)entre 1982 y 2018.

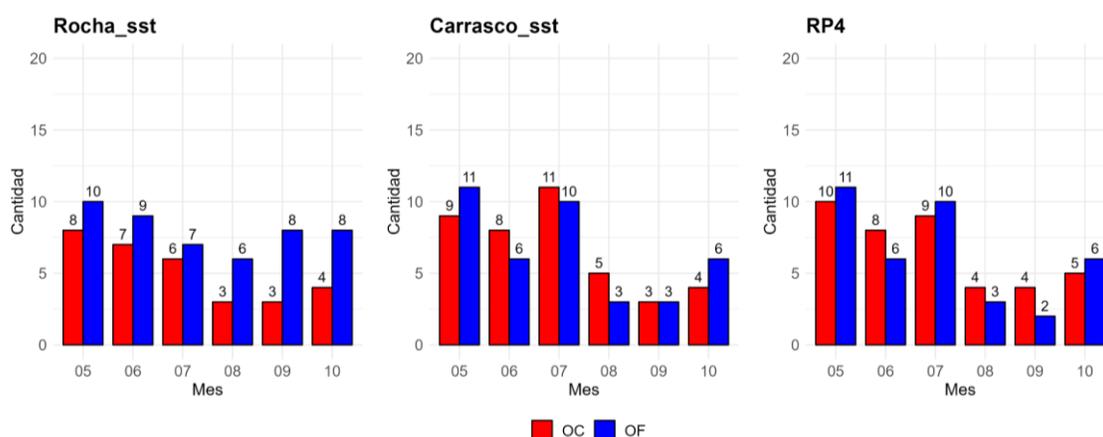
Por otro lado, en la distribución mensual de las olas marinas en Carrasco\_sst y RP4 presenta cantidades comparables, tanto entre sí como entre los eventos cálidos y fríos. En contraste, Rocha\_sst registra una mayor frecuencia de olas de frío y una menor ocurrencia de olas de calor en comparación con los otros dos puntos, especialmente durante los meses de mayo y junio (Figura 5.4).

En los meses de mayo y julio se destaca la mayor frecuencia de olas marinas en Carrasco\_sst y RP4, mientras que en Rocha\_sst los valores más altos se registran en mayo y junio. A partir de agosto, la frecuencia de eventos disminuye notablemente en todos los puntos analizados, con mínimos en septiembre.

En total, se identifican 110 OCM y 125 OFM, con un predominio de estas últimas en las primeras décadas. La distribución temporal de los eventos no se mantiene uniforme a lo largo del semestre. Los máximos de ambos tipos se registran en mayo y julio, con hasta 27 OCM y 32 OFM. En contraste, los mínimos ocurren en agosto y septiembre, con valores que oscilan entre 10 y 13 eventos, seguidos de un leve repunte en octubre para las olas de frío.

A nivel individual, RP4 presenta el mayor número de OCM con 10 eventos en mayo, mientras que en Carrasco\_sst se alcanza en julio con 11 eventos. Los mínimos se registran en agosto y septiembre, con 3 y 4 eventos en Rocha\_sst y RP4, respectivamente, y un mínimo de 3 eventos en septiembre en Carrasco\_sst. De manera similar, las OFM muestran máximos en mayo y julio, con entre 10 y 11 eventos en los tres puntos analizados, y mínimos en agosto y septiembre, con valores entre 2 y 3 eventos (Figura 5.4).

Estos resultados sugieren una posible influencia de las transiciones estacionales y del núcleo del invierno austral en la ocurrencia de estos eventos, apuntando a un patrón común de reducción en la frecuencia de extremos hacia el final del semestre frío.



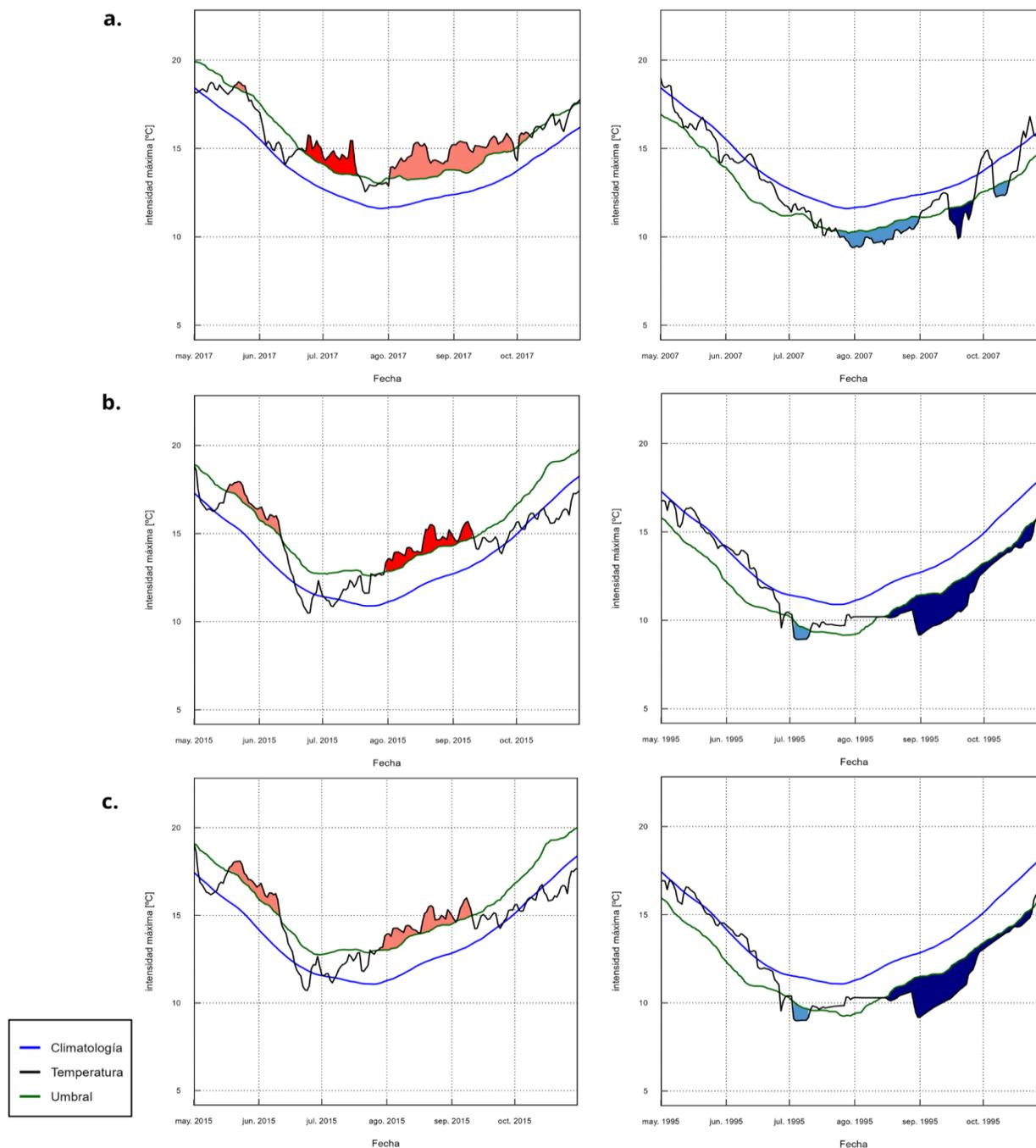
**Figura 5.4.** Cantidad mensual de olas de calor marinas (OCM, rojo) y frío (OFM, azul), identificadas a partir de TSM en los puntos costeros Rocha\_sst, Carrasco\_sst y RP4 durante el semestre frío (mayo–octubre) entre 1982 y 2018.

Las OCM y OFM de mayor duración, previamente identificadas, se caracterizan por su notable persistencia. En Rocha\_sst, los eventos más extensos, tanto cálidos como fríos, ocurren en años diferentes a los ya mencionados, lo que sugiere una variabilidad temporal en la persistencia de estos extremos en la región (Figura 5.5a).

Las olas de calor marinas más prolongadas se registran en 2015, tanto en Carrasco\_sst, con una duración de 42 días (Figura 5.5b, izquierda), como en RP4, con 45 días (Figura 5.5c, izquierda). En este caso, la OCM en RP4 comienza el 28 de julio de 2015, dos días antes

que en Carrasco\_sst, donde se inicia el 31 de julio; sin embargo, ambas finalizan el mismo día: el 10 de septiembre de 2015.

No obstante, el evento más prolongado es una OFM de 80 días registrada en Carrasco\_sst durante 1995 (Figura 5.5b, derecha). Esta ola coincide parcialmente con otra OFM en RP4 (Figura 5.5c, derecha), que tiene una duración de 72 días, iniciando un día después del evento en Carrasco\_sst y finalizando siete días antes.



**Figura 5.5.** Distribución temporal e intensidad máxima de las olas marinas en los años con mayor duración total de eventos en cada punto costero: a) Rocha\_sst en 2017, b) Carrasco\_sst y c) RP4 en 2015. Los datos provienen del producto satelital diario OISST v2.1 ( $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ). (Izq.) Olas de frío (azul) y (der.) olas de calor (rojo). Se muestran las series diarias de temperatura superficial del mar (TSM,  $^\circ\text{C}$ ), junto con su climatología y los umbrales extremos (percentil 10 para frío y 90 para calor). Los eventos detectados se indican con polígonos, donde los tonos más oscuros reflejan las olas más intensas registradas durante el año correspondiente.

Complementariamente, un análisis más detallado de la evolución temporal muestra que las OFM presentan una mayor duración durante la década de 1990 en Carrasco\_sst y RP4,

acompañadas de una disminución progresiva en su frecuencia e intensidad a partir del año 2000, con eventos menores a 15 días, excepto en el año 2007 que se registra un evento de 39 días. En Rocha\_sst, aunque también se observa una reducción en la frecuencia, se registra un evento de frío particularmente prolongado en 2007.

Por su parte, las OCM se mostraron más frecuentes y de mayor duración entre 2015 y 2018, especialmente en Carrasco\_sst y RP4, lo que refuerza la tendencia reciente hacia extremos cálidos persistentes.

En cuanto a la intensidad máxima de los eventos ( $i_{max}$ ), se destaca que las olas de frío más intensas ocurrieron entre 1982 y 1995 en Carrasco\_sst y RP4, disminuyendo posteriormente, después del 2000. En Rocha\_sst, las intensidades extremas de las OFM se mantienen estables, pero con menor frecuencia.

Por el contrario, las OCM se observan con mayor intensidad y frecuencia en las últimas décadas, destacándose como la más intensa la registrada en Carrasco\_sst y RP4 el 27 de octubre de 2014, en coincidencia con un evento de magnitud similar en Rocha\_sst el 14 de octubre de ese mismo año. Estos resultados sugieren un posible aumento en la intensidad de los extremos de TSM en la región, en línea con las tendencias documentadas previamente.

Los resultados obtenidos en los tres puntos costeros muestran patrones consistentes con lo reportado en la literatura sobre olas marinas. La mayor frecuencia de OFM entre los meses de mayo y julio, seguida de una disminución hacia septiembre y octubre, podría atribuirse a la dinámica estacional de las masas de agua y su acoplamiento con la atmósfera. En particular, se ha señalado que la persistencia térmica del océano permite la ocurrencia de eventos extremos incluso durante los períodos de transición estacional (Hobday et al., 2016; Schlegel et al., 2017).

Asimismo, la mayor duración de las olas marinas en comparación con las atmosféricas se encuentra en línea con lo discutido por Oliver et al. (2018a, 2018b), quienes destacan que la alta capacidad calorífica del océano confiere mayor inercia térmica al sistema marino, favoreciendo la persistencia de las anomalías una vez iniciadas. Esta característica contribuye a que eventos prolongados de hasta 80 días, como los registrados en este estudio, no sean inusuales en entornos oceánicos costeros.

El incremento sostenido en la frecuencia de olas de calor marinas a partir del año 2000 se alinea con los resultados globales y regionales que documentan un aumento significativo de estos eventos en el contexto del cambio climático (Oliver et al., 2018a, 2018b; Smale et al., 2019; IPCC, 2021). Este cambio ha sido vinculado al calentamiento progresivo de las aguas superficiales, lo que incrementa la probabilidad de que la TSM supere los umbrales extremos definidos climatológicamente. La evidencia reciente sugiere que las OCM no solo se están volviendo más frecuentes, sino también más intensas y duraderas, con impactos relevantes sobre ecosistemas marinos, pesquerías y procesos costeros (Frölicher et al., 2018; Laufkötter et al., 2020).

En este sentido, la disminución observada en la frecuencia y duración de las OFM durante las últimas décadas puede interpretarse como una manifestación directa de esta tendencia al calentamiento oceánico, en concordancia con lo señalado por Hobday et al. (2018), quienes advierten que el balance entre olas de calor y de frío marinas se está desplazando progresivamente hacia eventos cálidos extremos.

## 6. ANÁLISIS DE COOCURRENCIA DE OLAS ATMOSFÉRICAS Y MARINAS

### 6.1 Agrupamiento entre sitios y relación temporal y espacial

Para comprender la relación entre las olas de calor y frío extremas atmosféricas (OC y OF) y las marinas (OCM y OCF), se analiza la co-ocurrencia diaria de los eventos. Para ello, se construye una matriz binaria de presencia/ausencia de eventos en cada sitio y se identifican regiones con comportamientos térmicos similares según el tipo de evento, considerando las estaciones meteorológicas ubicadas tanto en el interior ( $\_xn$ ) como en zonas costeras ( $\_cost\_xn$ ), junto con los puntos marinos ( $\_sst$ ).

La similitud entre sitios se evalúa a partir de la correlación de Pearson aplicada a estas series dicotómicas, la cual se transforma en una métrica de distancia. Con esta matriz de distancias se realiza la clasificación de regiones mediante un agrupamiento jerárquico utilizando el método de Ward (Ward, 1963).

Con esto se obtienen los dendrogramas según la coincidencia de días con olas de calor (izquierda) y olas de frío (derecha) (Figura 6.1). En ambos casos, se identifican dos regiones principales bien diferenciadas. La primera corresponde a la región marino-costera, conformada por los tres puntos marinos, mientras que la segunda, más extensa y fragmentada, representa la región terrestre, donde se ubican las estaciones meteorológicas.

Dentro del grupo marino-costero, se distinguen dos sub-agrupamientos: los sitios del estuario-Río de la Plata y el de la región oceánica, lo que indica una alta similitud en la ocurrencia de eventos extremos de temperatura dentro de cada subgrupo. En particular, se observa una fuerte correlación en la ocurrencia de extremos en Carrasco\_sst y RP4\_sst, generadas probablemente por condiciones oceánicas similares (Figura 6.1).

En la región terrestre, los sub-agrupamientos difieren marcadamente entre los eventos cálidos y los fríos. En el caso de las olas de calor se identifican dos grupos principales. El primero abarca la zona sur-suroeste, donde Car\_cost\_xn y Pra\_xn forman un clúster compacto, al que posteriormente se incorpora Est\_cost\_xn y Mer\_xn, lo que sugiere una similitud en la coincidencia de eventos.

El segundo grupo se compone por dos zonas: la norte-noreste, conformada por Mel\_xn, Art\_xn y Riv\_xn (estas dos últimas más cercanas entre sí), y un último agrupamiento integrado por las estaciones del noroeste-centro (PdT\_xn, Pay\_xn y Sal\_xn), junto con Rocha\_cost\_xn. En este caso, se observa una asociación entre una estación costera y los eventos térmicos en estaciones más continentales.

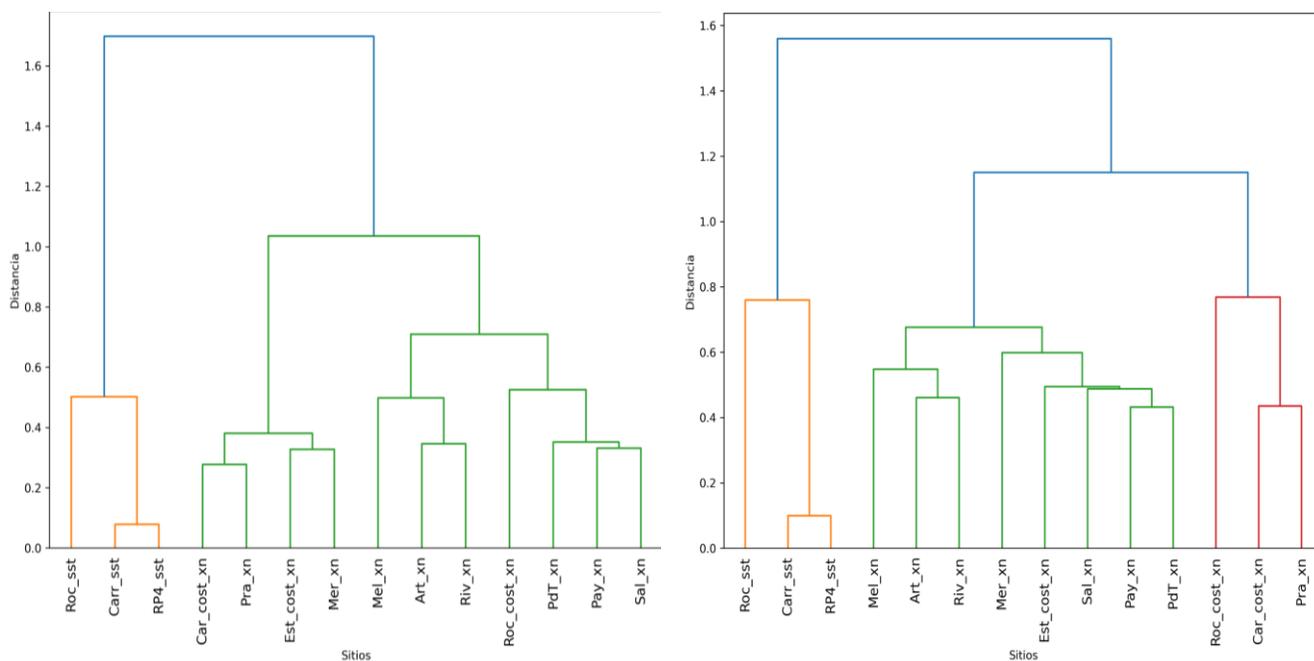
Por otro lado, en las olas de frío se mantienen en dos agrupaciones principales (una en la zona sur y otra en la zona noreste y noroeste-centro), pero algunas estaciones cambian de

grupo. En la zona sur, se observa nuevamente la agrupación de Car\_cost\_xn y Pra\_xn, pero se incorpora Roc\_cost\_xn, lo cual refleja una alta similitud entre las estaciones costeras.

En el segundo grupo, la zona noreste mantiene las mismas estaciones que en las olas de calor, mientras que en la zona noroeste-centro se incorporan Mer\_xn y Est\_cost\_xn, las cuales en las olas de calor se encuentran en la zona sursuroeste. Este cambio sugiere que, en eventos de frío, estas estaciones comparten características térmicas más continentales.

Con estos resultados se observa una separación entre las estaciones marinas y terrestres, con patrones específicos en la distribución de olas de calor y frío. Mientras que en los sitios marinos se obtiene una estructura de agrupamiento más estable, las estaciones terrestres presentan variaciones en sus subgrupos dependiendo del tipo de evento térmico analizado (Figura 6.1).

Estas diferencias se asocian probablemente a factores como la circulación atmosférica, la influencia de masas de aire y la interacción con la superficie oceánica, lo que resalta la importancia de considerar la localización geográfica y las dinámicas atmosféricas en el estudio de la ocurrencia de eventos extremos.



**Figura 6.1.** Dendrogramas de agrupamiento jerárquico entre sitios según la coincidencia diaria de olas de calor (izquierda) y frío (derecha) durante el semestre frío (mayo–octubre) de 1982–2018. Se consideran olas extremas atmosféricas (OC y OF) y olas marinas (OCM y OFM). El análisis se basa en la correlación de Pearson aplicada a una variable dicotómica (presencia/ausencia diaria de eventos) y un agrupamiento jerárquico con el método de Ward. Se incluyen las estaciones meteorológicas del interior (\_xn), costeras (cost\_xn) y puntos marinos (\_sst). F: Frío, C: Calor.

Con este enfoque se identifican las regiones con patrones térmicos homogéneos entre las estaciones meteorológicas (las más continentales y las más costeras) y los puntos marinos. Asimismo se obtienen los sitios de mayor acoplamiento térmico, basados en la correlación de la co-ocurrencia entre estos eventos extremos por día. Seguidamente, con el objetivo de evaluar la relación temporal entre las olas atmosféricas (extremas) y las olas marinas, se seleccionan las estaciones meteorológicas de mayor influencia costera, ubicadas en proximidad a los puntos marinos. Las estaciones elegidas, correspondientes al sitio 1, son: Car\_cost\_xn, Roc\_cost\_xn y Est\_cost\_xn. Por su parte, los puntos marinos, definidos como sitio 2, mantienen la nomenclatura utilizada en el capítulo 5: Carr\_sst, Roc\_sst y RP4\_sst.

A partir de las mismas series dicotómicas, se calculan las co-ocurrencia (o coincidencia) diaria entre eventos en los sitios terrestre y marino, considerando distintos desfases temporales (lags) desde  $-4$  hasta  $+4$  días. Los desfases positivos permiten evaluar si los eventos oceánicos preceden a los atmosféricos, mientras que los negativos indican si los eventos atmosféricos ocurren antes que los oceánicos (Tabla 6.1).

La coincidencia entre eventos se define mediante una función indicadora que suma uno únicamente cuando ambos sitios presentan simultáneamente (o con desfase) un valor de 1 en sus respectivas series. Para cada valor de lag considerado, se obtiene el número total de coincidencias como:

$$C(lag) = \sum_t 1 [E_{sitio1}(t) = 1 \wedge E_{sitio2}(t - lag) = 1] \quad (\text{Ec. 6.1}),$$

donde  $E_{sitio1}(t)$  y  $E_{sitio2}(t+lag)$  indican la presencia (1) o ausencia (0) de evento en el día correspondiente.

Luego, para permitir comparabilidad entre pares con distinto número de eventos, las coincidencias son normalizadas y expresadas en porcentaje a porcentajes como:

$$C_{norm}(lag) = \frac{C(lag)}{\min(Total E_{sitio1}, Total E_{sitio2})} \times 100 \quad (\text{Ec. 6.2})$$

Adicionalmente, se calcula la diferencia respecto al desfase nulo ( $lag = 0$ ), para evaluar si la coincidencia aumenta o disminuye con el desplazamiento temporal:

$$\Delta C(lag) = C_{norm}(lag) - C_{norm}(lag = 0) \quad (\text{Ec. 6.3})$$

Este enfoque permite identificar si los eventos oceánicos tienden a anteceder (lags positivos) o suceder (lags negativos) a los eventos atmosféricos, e inferir así la dirección predominante del acoplamiento térmico aire-mar. Este análisis se aplica por separado para las olas de calor y las olas de frío.

**Tabla 6.1. Definición de lags y su interpretación**

Lags	Interpretación
0	Se comparan eventos en el océano (sitio 2) y la atmósfera (sitio 1) en el mismo día.
+1	El evento oceánico ocurrió 1 día antes que el inicio del atmosférico.
+2	El evento oceánico ocurrió 2 días antes que el inicio del atmosférico.
+3	El evento oceánico ocurrió 3 días antes que el inicio del atmosférico.
+4	El evento oceánico ocurrió 4 días antes que el inicio del atmosférico.
-1	El evento oceánico ocurrió 1 día después que el inicio del atmosférico.
-2	El evento oceánico ocurrió 2 días después que el inicio del atmosférico.
-3	El evento oceánico ocurrió 3 días después que el inicio del atmosférico.
-4	El evento oceánico ocurrió 4 días después que el inicio del atmosférico.

Aunque el análisis de co-ocurrencia incluye desfases tanto negativos como positivos (– 4 a + 4 días), sólo se presentan los resultados correspondientes a los *lags* negativos. Esto se debe a que, en todos los casos, los *lags* positivos (donde los eventos marinos ocurren antes que los atmosféricos) arrojan diferencias de coincidencias negativas con respecto al desfase nulo ( $lag = 0$ ), con valores de menor magnitud. Por lo tanto, se opta por no mostrar esas figuras y centrar el análisis en los casos donde los eventos atmosféricos preceden a los oceánicos, que resultan más relevantes desde el punto de vista interpretativo.

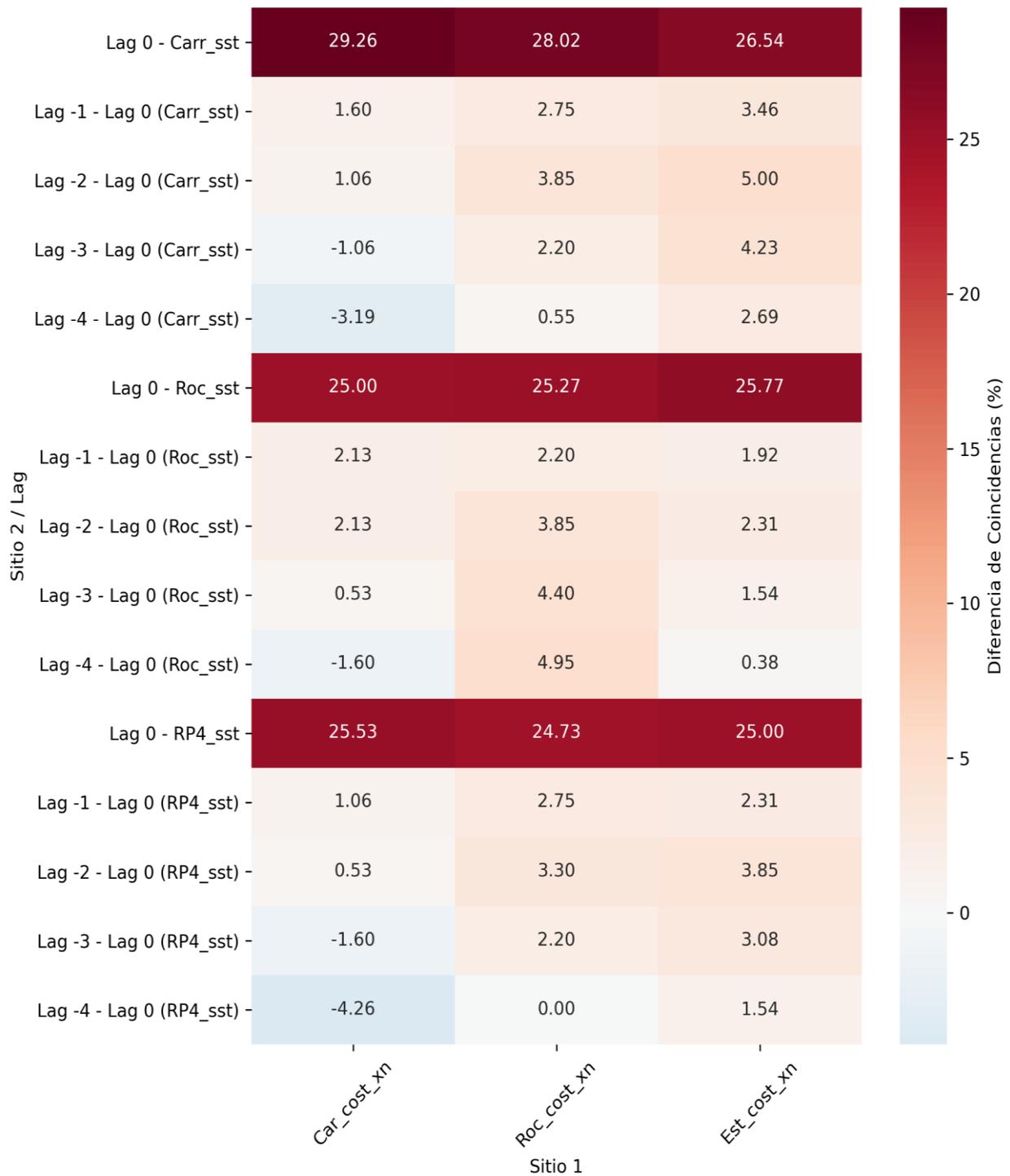
En este sentido, se obtienen las variaciones porcentuales de la coincidencia de olas de calor entre el sitio 1 y el sitio 2, evaluada en función de distintos desfases temporales (*lags*) negativos respecto al lag de referencia ( $lag = 0$ ). Los valores positivos indican un aumento relativo en las coincidencias para el lag considerado, mientras que valores negativos reflejan una disminución respecto al valor de referencia (Figura 6.2).

Las mayores diferencias positivas se concentran en los lags negativos de corta duración (– 1 y – 2 días), lo que sugiere que, en diversos casos, los eventos atmosféricos antecedieron a los oceánicos. Este comportamiento es especialmente notable en las combinaciones entre Carr\_sst y Roc\_cost\_xn (+ 3.85%) y entre Carr\_sst y Est\_cost\_xn (+ 5.00%) en  $lag = -2$ . También se destaca un incremento similar en las combinaciones Roc\_sst–Roc\_cost\_xn y RP4\_sst–Est\_cost\_xn. Estos patrones respaldan la hipótesis de un desfase atmósfera–océano, donde el forzamiento atmosférico antecede a la respuesta térmica del mar.

Las estaciones Roc\_cost\_xn y Est\_cost\_xn presentan una mayor persistencia del acoplamiento térmico incluso en lags más amplios, con diferencias aún positivas en lag = - 3 y - 4. Por ejemplo, Roc\_sst-Roc\_cost\_xn alcanza un aumento de + 4.95% en lag = - 4, y varias combinaciones con Est\_cost\_xn mantienen aumentos en ese rango temporal.

Por el contrario, la estación Car\_cost\_xn muestra un acoplamiento más limitado en el tiempo, con sus máximos en los lags - 1 y - 2 (+2.13% con Roc\_sst), y una clara disminución en lags más amplios. En lag = - 4, todas las combinaciones con Car\_cost\_xn registran diferencias negativas, destacándose Carr\_sst-Car\_cost\_xn (- 3.19%) y RP4\_sst-Car\_cost\_xn (- 4.26%). Este patrón apunta a que el acoplamiento aire-mar en la región de Carrasco se debilita rápidamente cuando el lag supera los dos días, posiblemente asociado a su configuración urbana o dinámica atmosférica local.

En conjunto, los resultados apuntan a que las coincidencias máximas no se registran necesariamente en lag = 0, sino que, en muchos casos, se desplazan hacia lags negativos, particularmente en La Estanzuela (Est\_cost\_xn) y Rocha (Roc\_cost\_xn). Esto sugiere una mayor probabilidad de que las olas de calor atmosféricas actúen como precursoras de las marinas en la zona costera, en consonancia con las diferencias espaciales observadas en la intensidad y persistencia del acoplamiento térmico aire-mar a lo largo del litoral.



**Figura 6.2.** Variación en la coincidencia de olas de calor entre sitios marinos (Sitio 1: Carr\_sst, Roc\_sst, RP4\_sst) y costeros (Sitio 2: Car\_cost\_xn, Roc\_cost\_xn, Est\_cost\_xn) en función del desfase temporal (lag). La primera fila de cada bloque muestra la coincidencia de eventos con desfase cero (lag = 0), y las filas siguientes indican la variación relativa ( $\Delta C$ , en %) para desfases negativos (-1 a -4 días), calculada con respecto a lag = 0. Valores positivos (rojo) indican un aumento en la coincidencia; valores negativos (azul), una disminución.

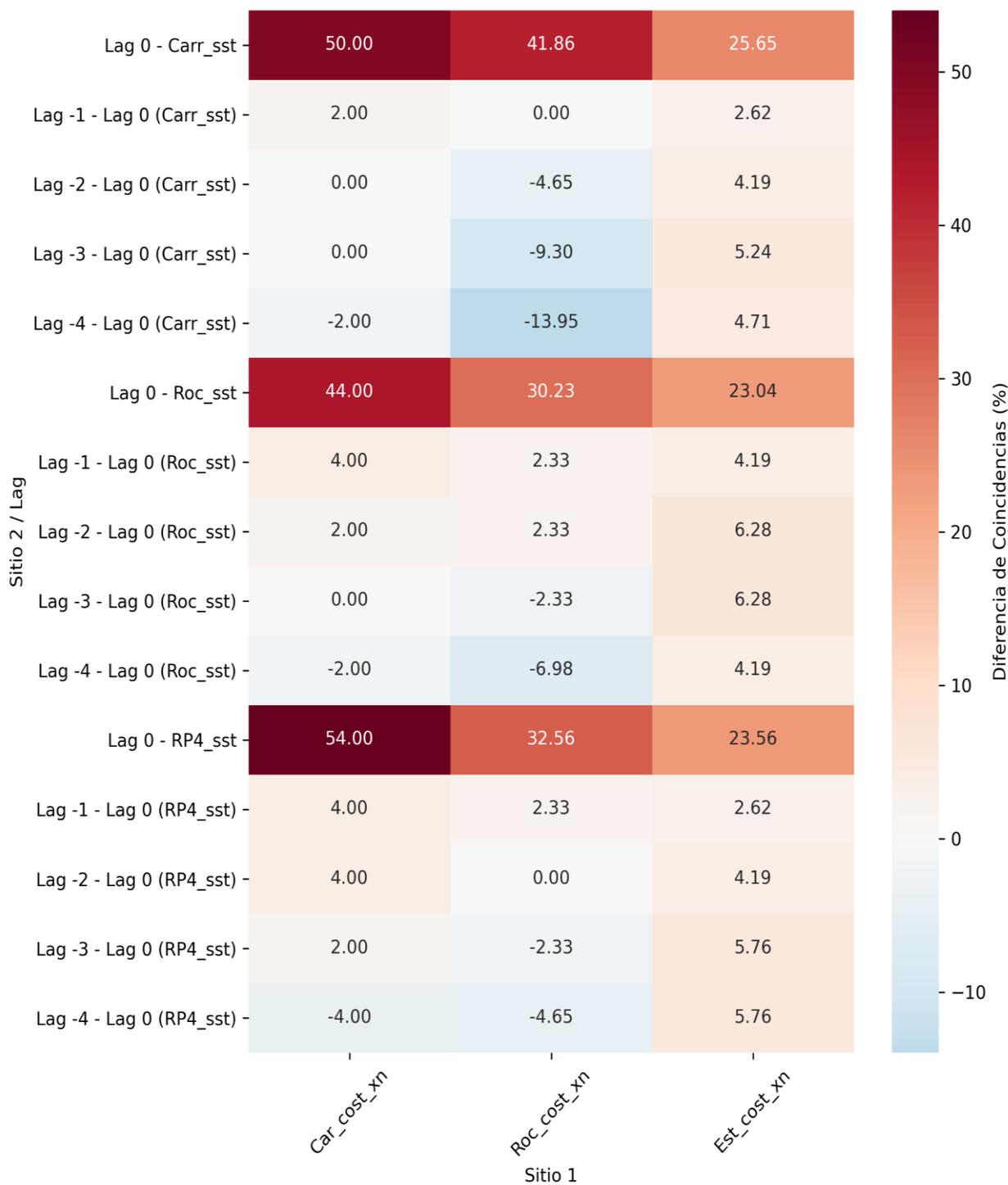
A diferencia de lo observado para las olas de calor, en el caso de las olas de frío (Figura 6.3) las mayores coincidencias se registran en el desfase nulo ( $\text{lag} = 0$ ), alcanzando hasta un 54% en la combinación RP4\_sst–Car\_cost\_xn. Esto sugiere una mayor sincronización temporal entre los eventos de frío atmosféricos y oceánicos. Sin embargo, al considerar la evolución de las coincidencias en función del desfase temporal, se identifican patrones regionales diferenciados.

En particular, Est\_cost\_xn presenta un incremento progresivo en las coincidencias con los tres puntos marinos a medida que aumenta el desfase negativo, alcanzando máximos en  $\text{lag} = -4$ : + 4.71% con Carr\_sst, + 6.28% con Roc\_sst y + 5.76% con RP4\_sst. Este comportamiento sugiere que, en esta estación, los eventos fríos atmosféricos tienden a anticipar de forma sistemática los eventos oceánicos, con un desfase de hasta cuatro días.

Por otro lado, Car\_cost\_xn muestra diferencias más acotadas, con máximos en lags  $-1$  y  $-2$  (+ 2.00% con Carr\_sst y + 2.00% con Roc\_sst), pero con una clara disminución en lags más amplios, incluyendo diferencias negativas en  $\text{lag} = -4$  (– 2.00% con Carr\_sst y – 4.00% con RP4\_sst). Esto sugiere una ventana temporal de acoplamiento más estrecha en la región de Carrasco.

En cuanto a Roc\_cost\_xn, se observa una tendencia marcadamente decreciente en las coincidencias a medida que aumenta el desfase, con diferencias negativas importantes en  $\text{lag} = -3$  y  $-4$ : – 9.30% con Carr\_sst y – 6.98% con Roc\_sst. Estos resultados indican que en Rocha, el acoplamiento térmico aire-mar durante eventos fríos es más sincrónico y sensible al desfase.

En resumen, los resultados sugieren que las olas de frío presentan un acoplamiento aire-mar más intenso y mayores porcentajes de coincidencia que las olas de calor. No obstante, también se observan diferencias regionales en la persistencia y sincronización temporal de los eventos, destacándose La Estanzuela por su desfase atmosférico-oceánico más sostenido, en contraste con la respuesta más puntual observada en Carrasco y Rocha.



**Figura 6.3.** Variación en la coincidencia de olas de frío entre sitios oceánicos (Sitio 1: Carr\_sst, Roc\_sst, RP4\_sst) y costeros (Sitio 2: Car\_cost\_xn, Roc\_cost\_xn, Est\_cost\_xn) en función del desfase temporal (lag). La primera fila de cada bloque muestra la coincidencia de eventos con desfase cero (lag = 0), y las filas siguientes indican la variación relativa ( $\Delta C$ , en %) para desfases negativos (-1 a -4 días), calculada respecto a lag = 0. Valores positivos (rojo) indican un aumento en la coincidencia; valores negativos (azul), una disminución.

Estos resultados muestran de que los eventos térmicos en tierra tienden a preceder a los del océano, lo que indica una influencia de la temperatura del aire sobre la temperatura superficial del mar con cierto desfase temporal. Asimismo, estos resultados sugieren que existe una fuerte sincronización inicial, sobre todo en los eventos fríos, entre los eventos atmosféricos y marinos, y que esta relación que persiste en el tiempo, con desfases de hasta 3 días o 4 días en algunos sitios.

A continuación, se presenta otro enfoque del análisis, centrado en la obtención de eventos térmicos de mayor cobertura espacial, definidos como olas generalizadas según la propuesta de De Mello (2024). En este estudio, se adopta un umbral del 50 % de estaciones afectadas para su identificación, en lugar del 75 % originalmente propuesto, con el fin de ampliar el número de casos analizados. Además, no se impone una duración mínima, permitiendo incluir coincidencias breves pero potencialmente relevantes entre condiciones extremas en la atmósfera y el océano.

A partir de estos criterios, se identifican cuatro tipos de olas generalizadas (Tabla 6.2):

- (1) Olas atmosféricas generalizadas (OFA\_50 / OCA\_50), cuando al menos el 50 % de las estaciones meteorológicas ( $\geq 6$ ) registran eventos extremos de frío o calor;
- (2) Olas marinas generalizadas (OFM\_50 / OCM\_50), cuando al menos dos de los tres puntos marinos presentan simultáneamente eventos extremos;
- (3) Olas coexistentes (OFC\_50/OCC\_50), cuando hay coincidencia simultánea de eventos en  $\geq 2$  estaciones meteorológicas costeras y  $\geq 2$  puntos marinos ( $\geq 50\%$  en ambas regiones costeras);
- (4) Olas totales (OFT\_50 / OCT\_50), cuando al menos el 50 % del total de estaciones meteorológicas y del total de puntos marinos presentan eventos extremos en simultáneo.

Esta tipología permite analizar con mayor precisión su distribución espacial y su vinculación con los forzantes atmosféricos y marinos. Cabe aclarar que en todos los casos, el umbral del 50 % se interpreta como "igual o mayor al 50 %" ( $\geq 50\%$ ), y se aplica sobre el total de estaciones meteorológicas y/o puntos marinos considerados. Además, las categorías de olas generalizadas definidas en esta tipología son mutuamente excluyentes, de modo que cada evento extremo se clasifica en una única categoría según el criterio que cumple.

Las olas atmosféricas generalizadas (de frío: OFA\_50, de calor: OCA\_50) registran un mayor número de eventos de olas de calor en comparación con las de frío (44 OCA\_50 y 18 OFA\_50), lo cual indica una mayor persistencia de anomalías cálidas durante el período de estudio. Sin embargo, las olas marinas generalizadas (de frío: OFM\_50, de calor: OCM\_50) registraron 39 eventos tanto de frío como de calor, lo que sugiere que las anomalías térmicas en el océano presentan una mayor homogeneidad en la distribución de frecuencias.

Por otra parte, las olas coexistentes (de frío: OFC\_50, de calor: OCC\_50), que combinan eventos atmosféricos y oceánicos, tienen una notable diferencia en la ocurrencia entre olas

de frío, con 5 eventos y olas de calor, con 13, por lo que se evidencia un predominio de eventos cálidos en la región costera.

Por último, las olas totales (de frío: OFT\_50, de calor: OCT\_50), caracterizadas por la ocurrencia simultánea de eventos en las estaciones meteorológicas, son las menos frecuentes, con 8 eventos de frío y 12 de calor. Este resultado evidencia la baja probabilidad de que un evento térmico extremo afecte de manera simultánea la mitad o toda la región de estudio.

**Tabla 6.2. Clasificación de las olas generalizadas.**

<b>Categoría</b>	<b>Criterio</b>	<b>Olas de Frío</b>	<b>Olas de Calor</b>
Olas Atmosféricas Generalizadas (OFA_50, OCA_50)	≥ 50% de las estaciones meteorológicas (≥ 6 estaciones)	18	44
Olas Marinas Generalizadas (OFM_50, OCM_50)	Simultáneamente en al menos 2 de los 3 puntos marinos	39	39
Olas Coexistentes (OFC_50, OCC_50)	≥ 50% de la región marina y ≥ 50% de las estaciones meteorológicas costeras (≥ 2 puntos marinos y ≥ 2 estaciones)	5	13
Olas Totales (OFT_50, OCT_50)	≥ 50% en la región marina y ≥ 50% de las estaciones	8	12

Nota: Las abreviaciones utilizadas en esta tabla corresponden a: OFA\_50 / OCA\_50 (olas atmosféricas generalizadas de frío y de calor), OFM\_50 / OCM\_50 (olas marinas generalizadas de frío y de calor), OFC\_50 / OCC\_50 (olas coexistentes), y OFT\_50 / OCT\_50 (olas totales). En todos los casos, el umbral del 50 % se interpreta como "igual o mayor al 50 %" (≥ 50 %). Las categorías son mutuamente excluyentes, es decir, cada evento se clasifica en una única categoría según el criterio que cumple. Esta clasificación adapta la propuesta de De Mello (2024), utilizando un umbral del 50 % en lugar del 75 % original, y sin imponer una duración mínima, con el fin de incluir también eventos breves de coincidencia potencialmente relevantes entre condiciones extremas en la atmósfera y el océano. F: frío y C: calor.

Los resultados obtenidos apuntan a que los eventos térmicos no se distribuyen de forma homogénea en toda la región, sino que muestran patrones diferenciados de ocurrencia en función de las condiciones atmosféricas y oceánicas predominantes.

La mayor frecuencia de olas de calor generalizadas, incluyendo las coexistentes y las totales, en comparación con las de frío sugiere una posible influencia de tendencias de calentamiento regional y de patrones de circulación atmosférica que favorecen la persistencia de eventos cálidos.

Los resultados muestran una relación notable entre la co-ocurrencia de olas extremas en las estaciones más costeras con olas marinas, con una sincronización más marcada durante los

eventos fríos, aunque con una influencia atmosférica más persistente en los eventos cálidos. A partir de estos sitios, la identificación de olas coexistentes (OFC\_50 y OCC\_50) sugiere una predominancia destacada de los eventos cálidos sobre los fríos. Esta co-ocurrencia ha sido recientemente destacada en la literatura como un componente clave de los eventos compuestos, especialmente en contextos costeros donde la interacción aire-mar puede amplificar las anomalías térmicas regionales (Santos et al., 2024).

Estudios previos han demostrado que los extremos de temperatura en la atmósfera pueden estar acoplados a las anomalías de TSM, ya sea por forzantes comunes o por mecanismos de retroalimentación atmósfera-océano (Rodrigues et al., 2019; Santos et al., 2024). En particular, se ha propuesto que las olas de calor atmosféricas (siglas en inglés, *AHW*) pueden anteceder y potenciar las olas marinas (siglas en inglés, *MHW*) mediante flujos de calor ascendentes y condiciones de viento débil, favoreciendo la persistencia de las anomalías cálidas (García-Herrera et al., 2010; Olita et al., 2007; Feudale & Shukla, 2007).

La co-ocurrencia de estos eventos ha sido documentada en diversas regiones del mundo (Aboelkhair et al., 2023; Pathmeswaran et al., 2022), con especial énfasis en zonas costeras donde el acoplamiento térmico aire-mar es más directo. En línea con estos antecedentes, Pastor et al. (2024) demostraron que, en el Mediterráneo, la concurrencia espacio temporal entre *AHW* y *MHW* intensifica significativamente la magnitud de los eventos marinos, sin alterar sustancialmente la de los eventos atmosféricos. Esta asimetría coincide con nuestros hallazgos, en los que se observa una mayor estabilidad y persistencia de la señal atmosférica en eventos cálidos costeros. Además, ambos estudios coinciden en que los eventos marinos suelen responder con cierto desfase a los eventos atmosféricos, lo que apunta a un posible forzante desde la atmósfera hacia el océano.

De hecho, se ha observado que las olas marinas pueden estar asociadas a aumentos simultáneos en la temperatura del aire y en la humedad relativa en ciudades litorales (Santos et al., 2024; Rodrigues et al., 2019). Los resultados de esta tesis son consistentes con esta evidencia, mostrando que los eventos cálidos presentan mayores coincidencias cuando las olas atmosféricas anteceden a las marinas, lo que sugiere un acoplamiento liderado por la atmósfera, con el océano actuando como modulador térmico de respuesta más lenta (Oliver et al., 2018a).

Finalmente, la identificación de eventos compuestos costeros (simultaneidad de olas atmosféricas y marinas) refuerza la necesidad de considerar procesos acoplados aire-mar como indicadores del calentamiento regional y de los cambios en las dinámicas de interacción en escenarios de cambio climático (Frölicher et al., 2018; Hobday et al., 2018; Laufkötter et al., 2020).

## 6.2 Patrones sinópticos asociados a la co-ocurrencia de olas

En esta sección se realiza un análisis de las anomalías de circulación atmosférica mediante la obtención de composites, con el objetivo de caracterizar los mecanismos de forzamiento dinámico asociados a la ocurrencia de las olas generalizadas, según su categoría, a partir de los eventos identificados durante el período de estudio (Tabla 6.2).

Para este análisis se utilizan datos del reanálisis ERA5, producido por el European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) y disponible gratuitamente en [Copernicus Climate Data Store](#). Este producto proporciona campos atmosféricos, terrestres y oceánicos con resolución horaria y una malla espacial de  $0,25^\circ$ , cubriendo el período 1982–2018 (Hersbach et al., 2018).

Las variables seleccionadas son: temperatura del aire a 2 metros ( $t_2m$ ), vector de viento a 10 metros (componente zonal:  $10u$ , componente meridional:  $10v$ ), presión media al nivel del mar (msl), y TSM. Las anomalías diarias se calculan como desviaciones respecto a la media climatológica del día calendario (base 1982–2018), aplicando un promedio móvil centrado de 5 días para suavizar la variabilidad diaria.

En este sentido, primero se calculan los campos promedios de anomalías de los días en que ocurren los eventos de olas de frío (Figura 6.4) y de calor (Figura 6.5), a partir de las categorías definidas (Tabla 6.2).

La circulación en las olas de frío atmosféricas generalizadas (OFA\_50) (Figura 6.4a) muestran una intensa anomalía fría de  $t_2m$ , que abarca gran parte de Sudamérica (SA), desde aproximadamente  $10^\circ S$  hasta  $50^\circ S$ , así como una extensa área del Atlántico Suroccidental. Las anomalías más intensas se localizan en el Sudeste de Sudamérica (SESA) y la región del Gran Chaco, incluyendo el norte-noroeste de Uruguay, aunque todo el país se encuentra bajo anomalías térmicas negativas fuertes.

Este patrón se asocia con una anomalía de alta presión atmosférica sobre el suroeste de SA, acompañada de vientos intensos del sursuroeste sobre Uruguay y la cuenca del Atlántico Sur. Asimismo, se observan anomalías negativas de TSM en el Río de la Plata y en el Atlántico Suroccidental (Figura 6.4e).

De manera similar, en las olas de frío marinas generalizadas (OFM\_50) (Figura 6.4b) se evidencia una anomalía fría de  $t_2m$  más débil en comparación con las OFA\_50, aunque persiste sobre la mayor parte de SA y la cuenca del Río de la Plata. Las anomalías más intensas se localizan en el sur de la región del Gran Chaco y en el norte-noroeste de Uruguay.

Este patrón se asocia con una anomalía de alta presión atmosférica sobre el sur de SA y con vientos de componente suroeste más débiles sobre Uruguay y el Atlántico Sur. En este caso, las anomalías negativas de TSM se presentan en el Río de la Plata y en la plataforma costera del Atlántico Suroccidental, aunque menos extendidas mar adentro que en las OFA\_50 (Figura 6.4f).

Por otro lado, en las olas de frío coexistentes (OFC\_50) (Figura 6.4c) se observa un patrón similar al de las OFA\_50, con una intensa anomalía fría de 2m sobre SA, aunque con menor extensión sobre el Atlántico Suroccidental. Se destacan mínimos de anomalías de temperatura intensos en SESA y en la región del Gran Chaco, incluyendo el norte-noroeste de Uruguay, donde todo el país se encuentra bajo anomalías frías fuertes.

Este campo se asocia con un dipolo de presión bien definido, compuesto por una anomalía de alta presión sobre el suroeste de SA y el Pacífico Suroriental, junto con un centro de baja presión ubicado cerca de 30°S en la cuenca occidental del Atlántico Sur. También se observa una anomalía de vientos moderados del suroeste sobre Uruguay y el Atlántico Sur.

Adicionalmente, se presentan anomalías negativas de TSM en el Río de la Plata y en la plataforma costera del Atlántico Suroccidental, extendiéndose aproximadamente desde 22°S hasta 48°S (Figura 6.4g).

Finalmente, las olas de frío totales (OFT\_50) (Figura 6.4d) se generan debido a una circulación atmosférica muy similar a la de las OFA\_50, con una intensa anomalía fría de 2m. Sin embargo, en este caso, la anomalía de alta presión atmosférica predomina aún más sobre toda la región, con un centro desplazado más al suroeste de SA, sobre el Pacífico Suroriental. Se observan vientos fuertes de componente suroeste-sur sobre Uruguay y el Atlántico Sur.

Asimismo, las anomalías negativas de TSM en el Río de la Plata y en la plataforma continental del Atlántico Suroccidental presentan una mayor extensión mar adentro en comparación con los otros composites (Figura 6.4h).

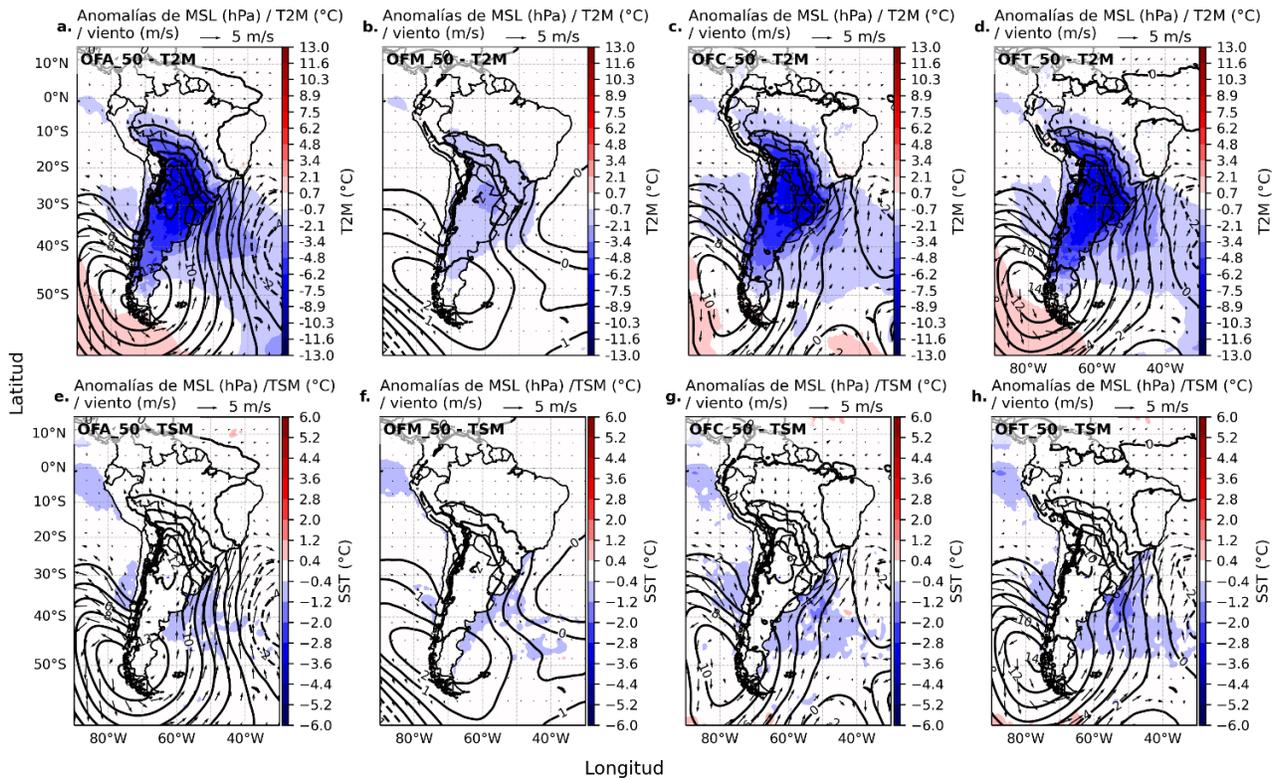
En todos los casos, las configuraciones atmosféricas descritas favorecen la irrupción de aire frío desde latitudes más altas hacia latitudes más bajas en Sudamérica. En particular, la combinación de anomalías de alta presión sobre el suroeste de SA y bajas presiones en el Atlántico Sur genera una circulación meridional S-N, que permite la advección de aire frío hacia el continente. Este efecto es más pronunciado en los eventos de OFA\_50 y OFT\_50, donde los vientos del sursuroeste son más intensos, facilitando el transporte de masas de aire frío hacia el centro de SA y la cuenca del Paraná-La Plata.

En el caso de las OFC\_50, la incursión de aire frío probablemente también provoca advección de aguas frías desde el Sur más superficiales, que afectan principalmente la plataforma costera de Uruguay y el Atlántico Suroccidental.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran una alta coherencia con los patrones sinópticos documentados en eventos recientes de olas de frío en Sudamérica, particularmente con el evento de junio–julio de 2021 analizado por Marengo et al. (2023), que encuentran que el desarrollo de un anticiclón migratorio de núcleo frío sobre el Pacífico sur, su cruce de los Andes y su avance hacia el centro del continente, genera un fuerte gradiente de presión que favorece la advección de aire frío desde latitudes altas.

Este patrón coincide con la presencia de anomalías positivas de presión y vientos del sursuroeste identificados en nuestros mapas, especialmente en OFA\_50 y OFT\_50. Asimismo, la interacción entre dicho anticiclón y una baja presión sobre el Atlántico Suroccidental genera

una configuración tipo dipolar observada en OFC\_50 y OFT\_50, que puede favorecer el transporte de aire frío hacia regiones tropicales. Las anomalías frías de t2m y TSM detectadas sobre el sudeste de Sudamérica, el Gran Chaco, Uruguay y el Atlántico Suroccidental son consistentes con este patrón sinóptico, sugiriendo una circulación atmosférica similar a la documentada en eventos extremos previos.



**Figura 6.4.** Promedios de los días con olas de frío generalizadas ( $\geq 50\%$  de los sitios) en Uruguay durante semestre frío austral (1982–2018) para la región de Sudamérica. (a–d): anomalías de temperatura a 2 m (sombreado), presión a nivel del mar (contornos; continuos para valores positivos y discontinuos para negativos) y viento a 10 m (flechas), para eventos atmosféricos (OFA\_50), marinos (OFM\_50), coexistentes (OFC\_50) y totales (OFT\_50). (e–h): mismos eventos, con anomalías de TSM (sombreado) en lugar de t2m.

Por el contrario, en las olas de calor atmosféricas gen. (OCA\_50) (Figura 6.5a) se presenta un patrón opuesto al observado en las OFA\_50, o sea, se identifica una intensa anomalía cálida de t2m, que, al igual que en los eventos fríos, abarca gran parte de Sudamérica (SA), desde aproximadamente 10°S hasta 50°S, así como una extensa área del Atlántico Suroccidental.

Las anomalías más intensas se localizan en SESA y en la región del Gran Chaco, incluyendo el noroeste de Uruguay, aunque todo el país se encuentra bajo anomalías térmicas cálidas altas, con un gradiente térmico débil que disminuye hacia el sureste.

Este patrón se asocia con una anomalía de baja presión atmosférica sobre la región, con su centro desplazado más hacia el oeste, acompañada de anomalías de viento moderado a fuerte, predominantemente del norte, con una ligera componente noreste sobre Uruguay y la cuenca del Atlántico Sur. Asimismo, se observan anomalías positivas de TSM en el Río de la Plata y en el Atlántico Suroccidental (Figura 6.5e).

A su vez, en las OCM\_50 (Figura 6.5b) se evidencia una anomalía cálida de t2m más débil en comparación con las OCA\_50, aunque persiste sobre la mayor parte de SA, la cuenca del Río de la Plata y el Atlántico Suroccidental. Las anomalías más intensas se localizan en el sur de la región del Gran Chaco y en gran parte de Uruguay, aunque son de menor magnitud en la región más oriental del país.

Similarmente a las OCA\_50, este patrón se asocia con una anomalía de baja presión atmosférica, también con su centro desplazado hacia el oeste, pero con gradientes de presión más intensos en comparación con las Figuras 6.5a, 6.5e.

Además, se presentan anomalías de viento débiles de componente noreste y norte. En este caso, las anomalías positivas de TSM son más intensas en el Río de la Plata y en la plataforma costera del Atlántico Suroccidental, extendiéndose mar adentro con mayor cobertura que en las OCA\_50 (Figura 6.5f).

Por otro lado, las olas de calor coexistentes (OCC\_50) (Figura 6.5c) muestran un patrón muy similar al de las OCA\_50. Sin embargo, presentan anomalías positivas de TSM más intensas en el Río de la Plata y en el Atlántico Suroccidental (Figura 6.5g).

De igual manera, en las olas de calor totales (OFT\_50) (Figura 6.5d, h) se observa una configuración muy similar, con una circulación predominante asociada a anomalías térmicas cálidas y bajas presiones atmosféricas.

En todos los casos, las configuraciones atmosféricas descritas favorecen la irrupción de aire cálido desde latitudes más bajas hacia latitudes más altas en Sudamérica. Este comportamiento se vincula con la combinación de anomalías de baja presión sobre el Sudeste de Sudamérica (SESA) y la región del Gran Chaco, incluyendo el noroeste de Uruguay. Esto genera una circulación meridional de norte a sur (N-S), lo cual permite la advección de aire cálido desde el trópico hacia los subtrópicos.

Este efecto resulta más pronunciado en los eventos de OCA\_50, OCC\_50 y OFT\_50, donde los vientos del norte-noreste son más intensos, facilitando el transporte de masas de aire cálido hacia el centro de SA y la cuenca del Paraná-La Plata.

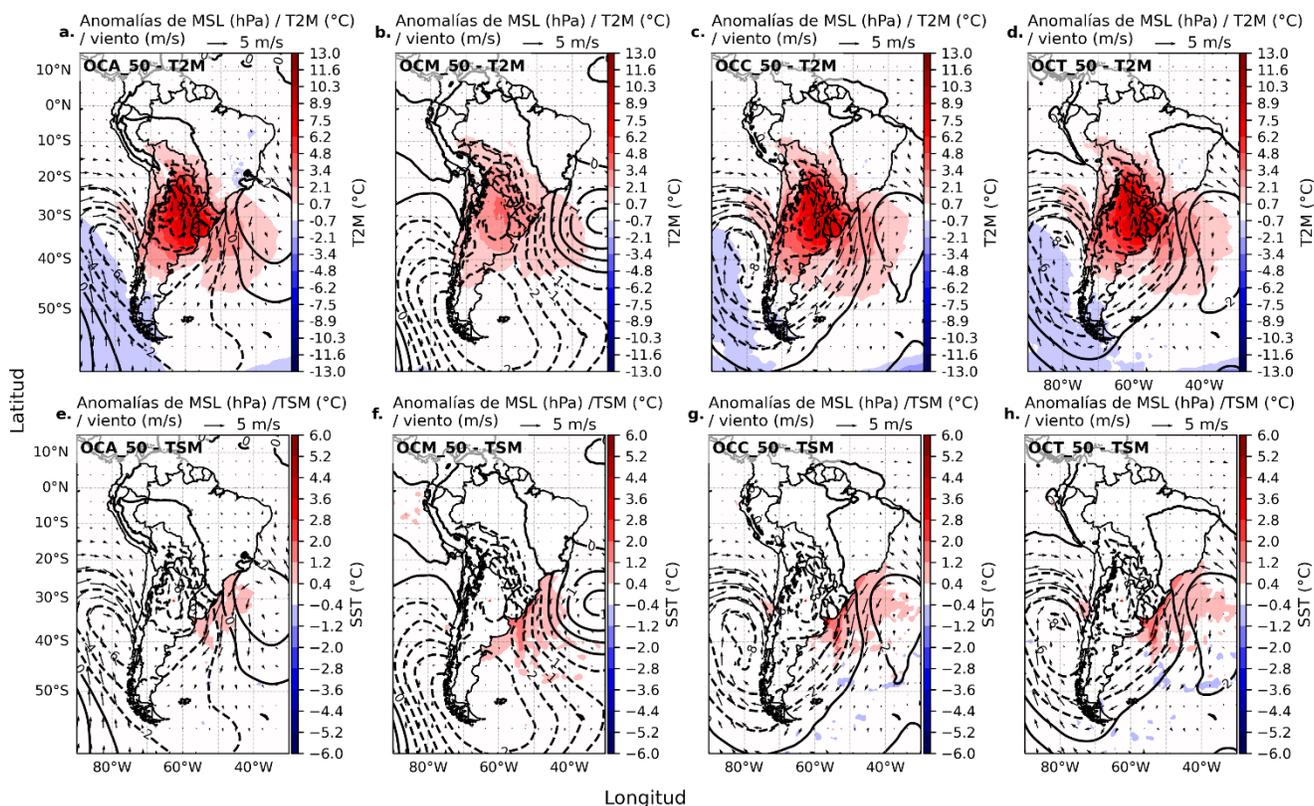
En el caso de las OCM\_50 y OCC\_50, la incursión de aire cálido se traduce en la llegada de corrientes superficiales cálidas, que afectan principalmente la plataforma costera de Uruguay y el Atlántico Suroccidental.

Cabe destacar que los patrones sinópticos de presión en el nivel medio del mar observados durante los eventos de olas de calor del semestre frío, particularmente en los promedios de anomalías de OCA\_50, OCC\_50 y OCT\_50, muestran notables similitudes con los

identificados por Suli et al. (2024) para las olas de calor regionales del semestre cálido (octubre a marzo), especialmente en las regiones Norte del Sur de Sudamérica (NS), que incluye el norte de Uruguay (Salto, Rivera y Artigas), y Centro-Este (CES), donde se encuentra el resto de las estaciones meteorológicas del país.

Dichos autores encuentran anomalías negativas de presión desplazadas hacia el oeste y el fortalecimiento de la Baja del Chaco, lo cual favorece la advección de aire cálido desde latitudes tropicales. Esta circulación, además, se refuerza por una mayor actividad del Jet de Bajo Nivel Sudamericano (*South American Low-Level Jet*, SALLJ), que intensifica el transporte de calor y humedad hacia las regiones NS y CES (Suli et al., 2024; Saulo et al., 2004; Cerne et al., 2007).

En conjunto, estos resultados sugieren que ciertos mecanismos sinópticos, como la intensificación del Anticiclón del Atlántico Sur y las bajas térmicas regionales, operan de manera recurrente en distintas estaciones del año, destacando el rol de patrones atmosféricos persistentes como forzantes clave en la ocurrencia de extremos de temperatura en el sur de SA.



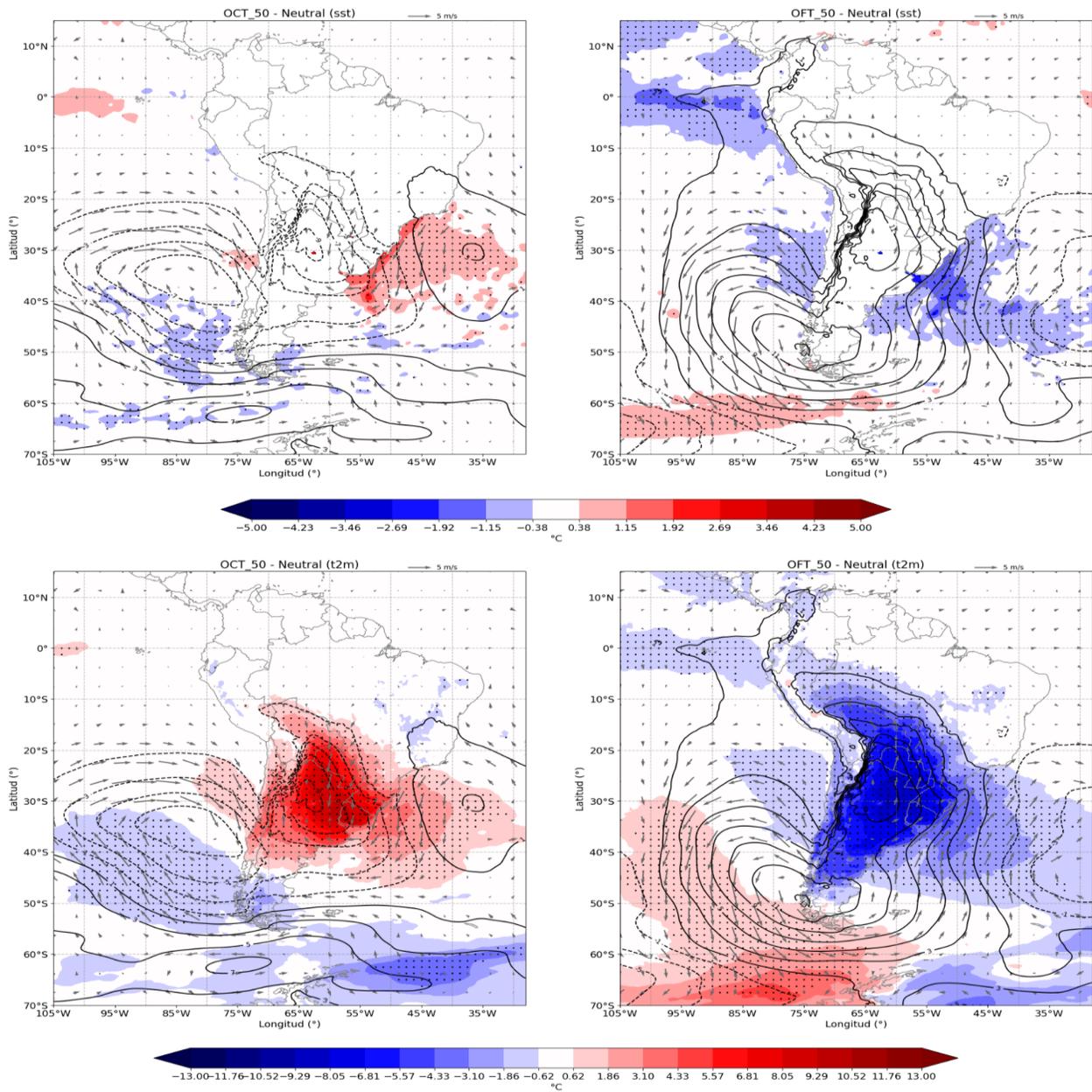
**Figura 6.5.** Promedios de los días con olas de calor generalizadas ( $\geq 50\%$  de los sitios) en Uruguay durante el semestre frío austral (1982–2018) para la región de Sudamérica. (a–d): anomalías de temperatura a 2 m (sombreado), presión a nivel del mar (contornos; continuos para valores positivos y discontinuos para negativos) y viento a 10 m (flechas), para eventos atmosféricos (OCA\_50), marinos (OCM\_50), coexistentes (OCC\_50) y totales (OCT\_50). (e–h): mismos eventos, con anomalías de TSM (sombreado) en lugar de t2m.

También se calculan los composites residuales de anomalías atmosféricas y oceánicas, definidos como la diferencia entre los campos promedio de anomalías correspondientes a los días con olas (cálidas o frías), según su categoría, y los promedios neutrales obtenidos a partir de días sin olas seleccionados aleatoriamente, con igual tamaño muestral para cada caso (Figuras 6.6 a 6.9).

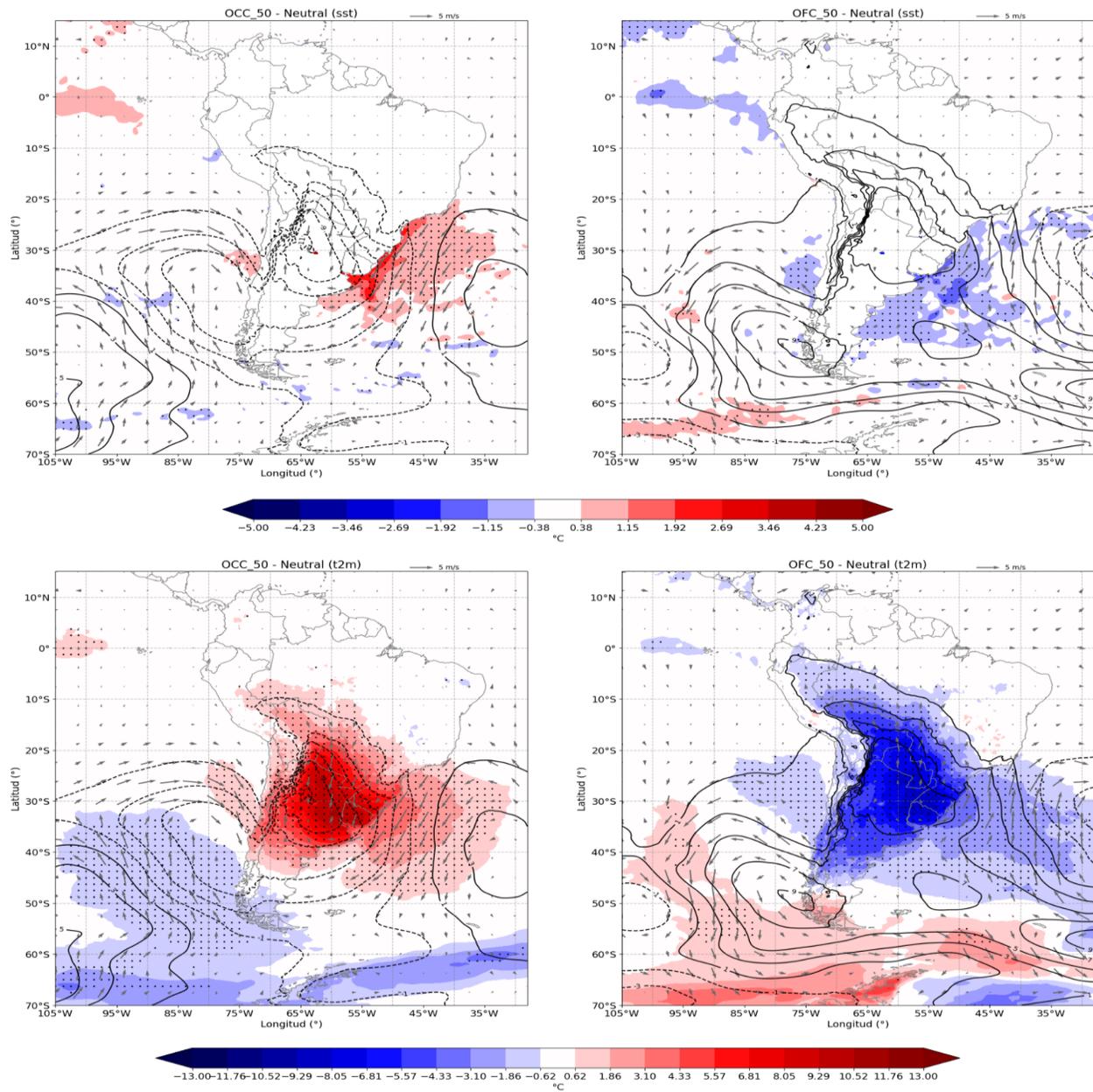
En general, las regiones con las anomalías intensas de TSM (Figuras 6.6 a 6.9, panel superiores) tanto para los eventos de olas de calor (izquierda) como de olas de frío (derecha), así como las anomalías de  $t_2m$  (panel inferior) correspondientes, resultan estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 99 %, según la prueba *t* de *Student* de dos colas. Esto permite identificar con mayor certeza las zonas donde las condiciones extremas están significativamente asociadas a los patrones sinópticos analizados.

Durante las olas de calor (paneles izquierdos), los patrones sinópticos están dominados por la Baja del Chaco, que favorece la advección de aire cálido y húmedo desde el norte, junto con un centro de anomalías anticiclónicas en el Atlántico suroccidental, desplazado hacia el noreste. En las olas coexistentes (Figura 6.7), también se observa una predominancia térmica similar vinculada a la Baja del Chaco y el centro anticiclónico se ubica más al sur en el Atlántico suroccidental. En este caso, se registran anomalías de viento superiores a 5 m/s, con circulación predominante del noreste sobre la costa. En las olas marinas generalizadas el campo de anomalías de presión presenta un gradiente débil, evidenciado por el espaciamiento amplio entre las isóbaras, así como vientos de muy baja magnitud (Figura 6.9), lo que sugiere una menor influencia continental y una mayor modulación oceánica.

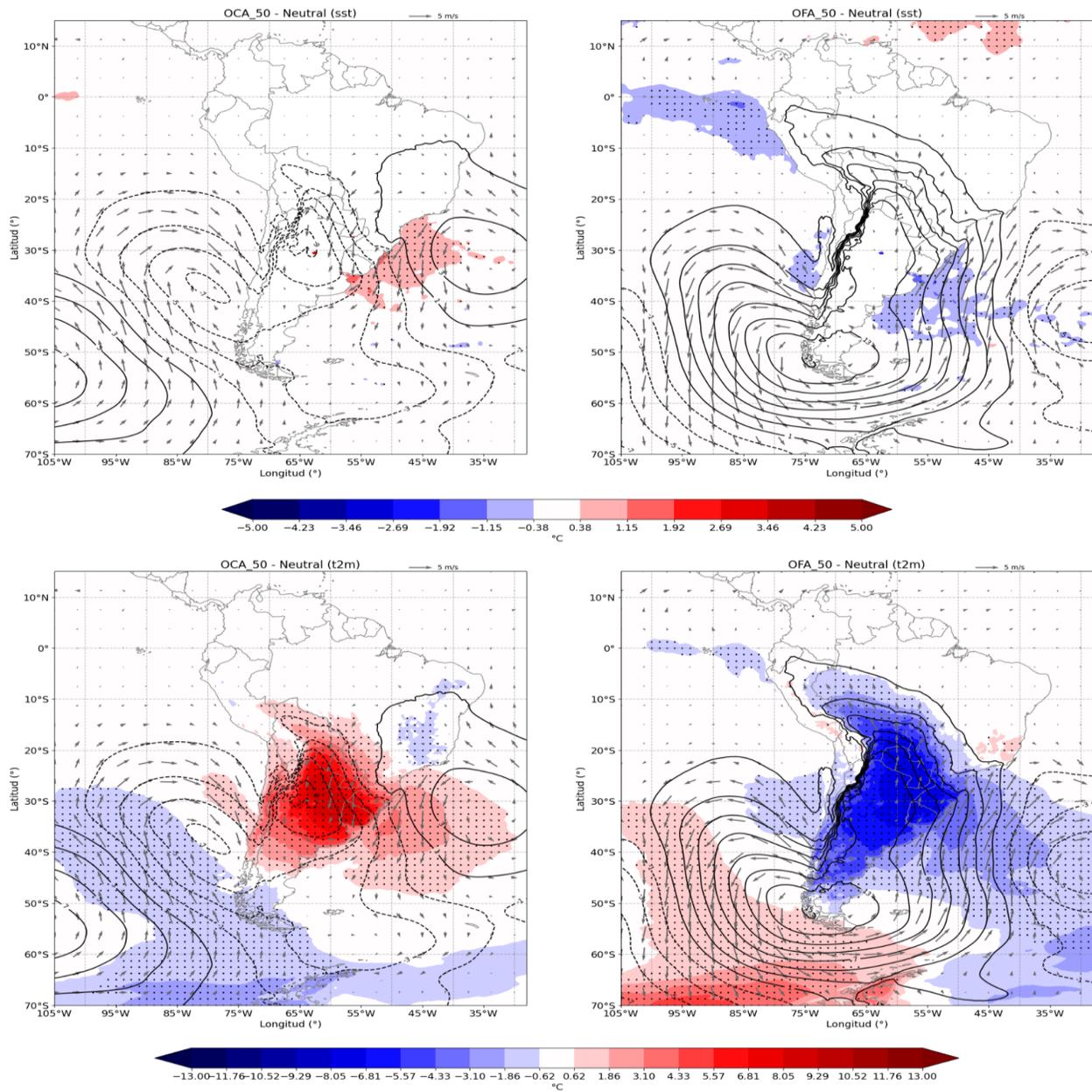
Durante las olas de frío (paneles derechos), se identifica de forma consistente un anticiclón en el Pacífico Sur, con su centro ubicado sobre el sur de Sudamérica y extendido sobre gran parte de la región, así como un ciclón en el Atlántico. Esta configuración favorece el ingreso de aire frío desde latitudes altas. En las olas coexistentes, el enfriamiento resulta más intenso sobre la franja litoral. En las olas atmosféricas generalizadas (Figura 6.8), las anomalías negativas de  $t_2m$  son más marcadas y extensas sobre el continente. En cambio, en las olas marinas generalizadas, las anomalías térmicas son más débiles, probablemente debido a la inercia térmica del océano, lo que sugiere una mayor persistencia de estos eventos.



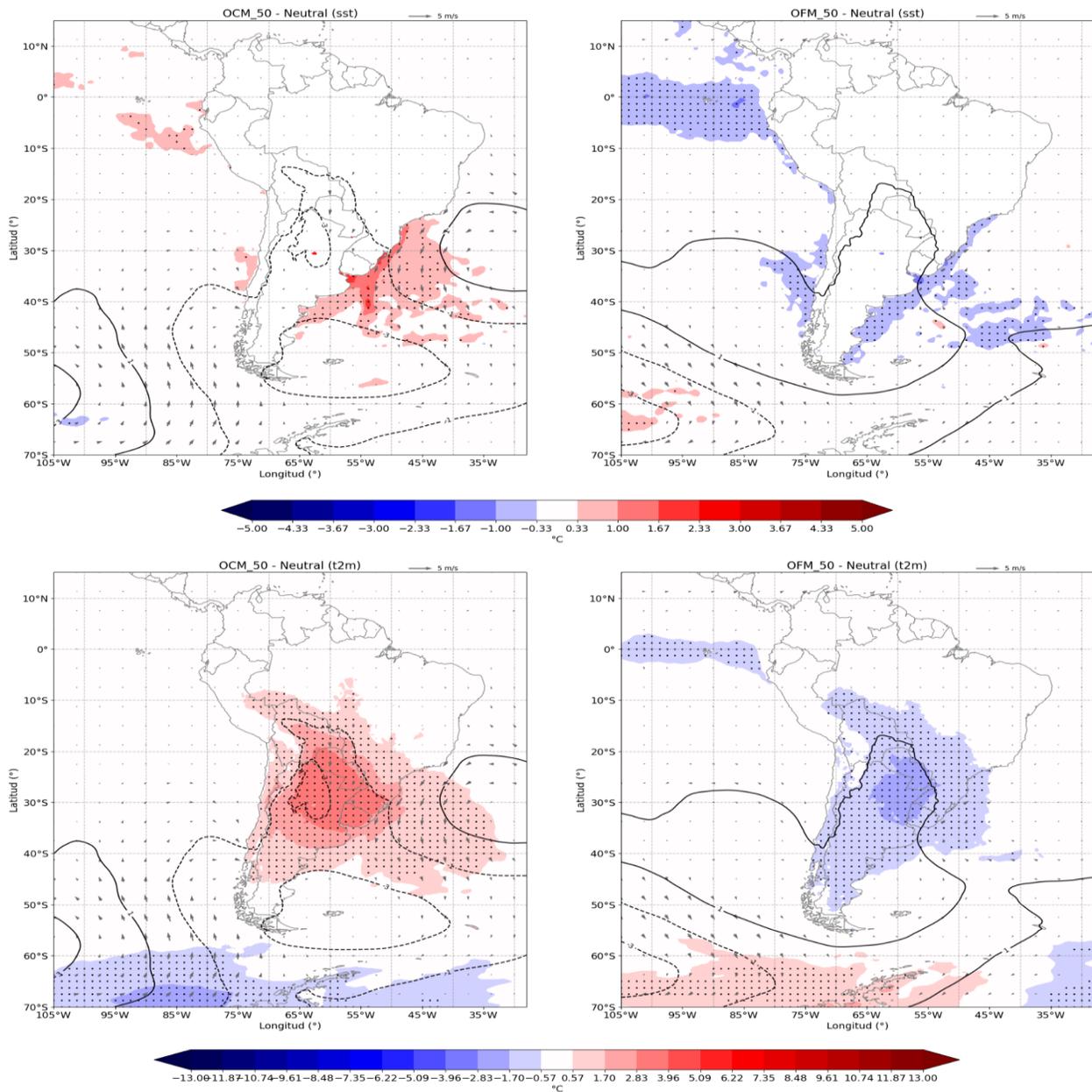
**Figura 6.6.** Composites de días con olas totales en Uruguay durante el semestre frío austral (1982–2018). Arriba: anomalías de TSM; abajo: t2m (sombreado), MSL (contornos; continuos: positivos, discontinuos: negativos) y viento a 10 m (flechas). Izquierda: OCT\_50; derecha: OFT\_50. Puntos indican significancia al 99 % (prueba t de Student). F: Frío; C: Calor. Compuestos calculados como días con olas menos igual número de días neutros.



**Figura 6.7.** Composites de días con olas coexistentes en Uruguay durante el semestre frío austral (1982–2018). Arriba: anomalías de TSM; abajo: t2m (sombreado), MSL (contornos; continuos: positivos, discontinuos: negativos) y viento a 10 m (flechas). Izquierda: OCT\_50; derecha: OFT\_50. Puntos indican significancia al 99 % (prueba t de Student). F: Frío; C: Calor. Compuestos calculados como días con olas menos igual número de días neutros.



**Figura 6.8.** Composites de días con olas atmosféricas generalizadas en Uruguay durante el semestre frío austral (1982–2018). Arriba: anomalías de TSM; abajo: t2m (sombreado), MSL (contornos; continuos: positivos, discontinuos: negativos) y viento a 10 m (flechas). Izquierda: OCT\_50; derecha: OFT\_50. Puntos indican significancia al 99 % (prueba t de Student). F: Frío; C: Calor. Compuestos calculados como días con olas menos igual número de días neutros.



**Figura 6.9.** Composites de días con olas marinas generalizadas en Uruguay durante el semestre frío austral (1982–2018). Arriba: anomalías de TSM; abajo: t2m (sombreado), MSL (contornos; continuos: positivos, discontinuos: negativos) y viento a 10 m (flechas). Izquierda: OCT\_50; derecha: OFT\_50. Puntos indican significancia al 99 % (prueba t de Student). F: Frío; C: Calor. Compuestos calculados como días con olas menos igual número de días neutros.

Los resultados derivados de los composites de diferencias entre eventos extremos y condiciones neutras muestran una robustez estadística en los patrones sinópticos identificados, tanto en la atmósfera como en el océano. La significancia estadística de las anomalías de t2m y TSM apoya la hipótesis de que los eventos extremos de temperatura están

fuertemente vinculados con configuraciones de circulación específicas, en línea con lo documentado en estudios previos sobre extremos térmicos en SA (Rusticucci & Renom, 2008).

En las olas de calor, el predominio de la Baja del Chaco y la advección cálida desde latitudes bajas concuerda con los patrones descritos por Suli et al. (2024), quienes destacan el rol de sistemas de baja presión continentales en la intensificación de eventos cálidos regionales. Por su parte, las olas de frío muestran una configuración clásica de alta presión en el Pacífico Sur y baja presión en el Atlántico Suroccidental, que favorece la irrupción de aire frío desde latitudes altas, en línea con lo reportado por Garreaud (2000) y Marengo et al. (2023).

Además, los resultados correspondientes a las olas marinas generalizadas (Figura 6.9) sugieren un rol destacado del océano en la modulación de estos eventos, dada su mayor inercia térmica en comparación con la superficie terrestre, lo que puede haber influido en la persistencia y evolución de las olas marinas. Se observa un suavizado de los patrones sinópticos, con centros de presión menos intensos, lo que indica una menor influencia de forzamientos atmosféricos transitorios y una mayor dependencia de la variabilidad oceánica.

Con lo anterior, se explica la persistencia de las anomalías térmicas en la TSM y la mayor duración de estos eventos en el océano, en comparación con los eventos sobre tierra, donde los cambios en la circulación generan fluctuaciones más abruptas en la temperatura. Estas diferencias han sido ampliamente documentadas en la literatura sobre eventos térmicos extremos y su vínculo con el forzamiento oceánico (Hobday et al., 2016; Schlegel et al., 2017; Frölicher et al., 2018), reforzando la importancia de considerar la interacción atmósfera-océano en este tipo de estudios.

## 7. CONCLUSIONES

Este estudio proporcionó un análisis integral de los eventos extremos de temperatura en Uruguay, tanto atmosférico como marino-costero, durante el semestre frío austral (mayo–octubre) del período 1982–2018. La investigación se basó en series temporales de temperatura máxima (Tx) y mínima (Tn) diarias sometidas a control de calidad, junto con datos satelitales de temperatura superficial del mar (TSM). Los principales hallazgos se resumen a continuación:

- Se observaron contrastes térmicos regionales en el territorio continental, con mayores amplitudes térmicas en el norte y un efecto atenuador en el sur y este del país. Las series de Tx y Tn mostraron tendencias de incremento significativas en la mayoría de las estaciones meteorológicas, lo que sugiere un posible calentamiento regional progresivo durante el período analizado. En paralelo, la TSM presentó una mayor variabilidad en zonas estuarinas (Carrasco\_sst, RP4) y mayor estabilidad en el océano (Rocha\_sst), acompañadas de tendencias positivas significativas, consistentes con procesos de acoplamiento océano-atmósfera.
- Se identificaron cuatro tipos de eventos extremos: (i) Episodios cálidos y fríos, de corta duración en la atmósfera; (ii) Olas simples, cuando Tx supera los percentiles extremos (90 para calor o 10 para frío) durante al menos tres días consecutivos; (iii) Olas extremas, con superación simultánea de los percentiles extremos por Tx y Tn durante al menos tres días, reflejando eventos compuestos intensos; y (iv) Olas marinas, cuando la TSM supera los percentiles extremos durante cinco días consecutivos en los puntos marinos.
- Los episodios breves mostraron una distribución regional diferenciada, con mayor frecuencia de extremos fríos en el norte y este del país, y predominancia relativa de eventos cálidos en el sur y centro-oeste, en concordancia con la influencia de forzantes locales y patrones sinópticos regionales.
- Se observó una mayor frecuencia de olas simples en comparación con las olas extremas, debido a la mayor exigencia metodológica de esta última. No obstante, estas representan fenómenos de mayor intensidad e impacto. La definición utilizada permitió detectar olas de calor más severas, en las que no hay alivio térmico entre el día y la noche, lo que resulta especialmente relevante por sus implicancias en salud y demanda energética. A partir del año 2000 se registró un aumento notable en la frecuencia de las olas de calor simples y extremas en diversas estaciones, lo que refuerza la señal de calentamiento en el Cono Sur.
- Las olas marinas se caracterizaron por una mayor duración y persistencia, atribuible a la inercia térmica del océano. Desde comienzos del siglo XXI se observó un aumento

sostenido en la frecuencia, duración e intensidad de las olas de calor marinas, mientras que las olas de frío mostraron una tendencia decreciente, especialmente en Carrasco\_sst y RP4.

- El análisis de co-ocurrencia entre olas atmosféricas extremas y olas marinas permitió identificar patrones térmicos regionales diferenciados y distintos niveles de acoplamiento entre ambos sistemas. Se observó una clara separación entre sitios terrestres y marinos, con mayor estabilidad térmica en el océano y mayor variabilidad en tierra. A nivel temporal, tanto los eventos cálidos como fríos mostraron una alta sincronización, especialmente los fríos. En varios casos, las coincidencias se mantuvieron incluso al aumentar los desfases (lags), siendo esta persistencia más notable en los eventos cálidos. En general, los eventos atmosféricos tendieron a preceder a los marinos, lo que sugiere un forzamiento descendente desde la atmósfera hacia el océano. Esta sincronización sugiere la influencia del aire sobre la evolución térmica costera y resalta la importancia de considerar la interacción aire-mar como un componente clave en la caracterización de eventos extremos en regiones litorales.
- La clasificación espacial de los eventos extremos en olas atmosféricas generalizadas, marinas generalizadas, coexistentes y totales sugiere una predominancia de las olas de calor sobre las de frío, así como en contextos costeros. Este patrón se alinea con el calentamiento regional y global observado en las últimas décadas. La respuesta más lenta del océano, modulando las anomalías térmicas generadas en la atmósfera, refuerza el papel del acoplamiento aire-mar en la persistencia de estos eventos.
- La determinación de las olas coexistentes sugiere una marcada co-ocurrencia de extremos térmicos entre el océano y las estaciones meteorológicas costeras, lo que apunta a una alta sensibilidad del margen costero a forzamientos atmosféricos regionales, posiblemente combinados con mecanismos de retroalimentación oceánica. Esta sincronía resalta la necesidad de abordar los eventos extremos desde una perspectiva integrada atmósfera-océano, especialmente en el contexto del cambio climático, donde se prevé una intensificación de estos fenómenos y de sus impactos sobre los sistemas naturales y sociales.
- Finalmente, el análisis sinóptico de circulación atmosférica en nivel de superficie reveló configuraciones claramente diferenciadas entre las olas de calor y frío. Las olas de frío se asociaron a un patrón robusto de alta presión en el Pacífico Sur y baja presión en el Atlántico Suroccidental, que favoreció la advección de aire frío desde latitudes altas hacia el continente. En cambio, las olas de calor estuvieron dominadas por la intensificación de la Baja del Chaco, promoviendo una circulación meridional norte-sur, que facilitó el transporte de aire cálido y húmedo desde los trópicos. La similitud de estos patrones con los documentados para el semestre cálido sugiere una dinámica sinóptica persistente a lo largo del año.

## 8. PERSPECTIVAS

El análisis de la co-ocurrencia de extremos de temperatura abre múltiples oportunidades para profundizar la comprensión de estos eventos en el contexto del cambio climático. Una línea prioritaria consiste en avanzar hacia un enfoque integrado que considere la co-ocurrencia entre olas de calor atmosféricas y marinas, así como su interacción con sequías y otros extremos compuestos, en línea con estudios realizados en la región del Mediterráneo (Pastor et al., 2024). La incorporación de un análisis intraestacional, como los aplicados en Sudamérica (Álvarez et al., 2014), permitiría identificar ventanas críticas de riesgo, evaluando la sincronización o desfase entre forzantes y sus impactos amplificados.

De forma complementaria, el estudio detallado de eventos excepcionales, como el verano 2022/23 en Argentina (Collazo et al., 2024), ofrece la posibilidad de descomponer los factores que intensifican los extremos. La combinación de diagnósticos sinópticos, termodinámicos y técnicas de atribución basadas en análogos circulatorios permite cuantificar la contribución relativa de la circulación atmosférica, la humedad del suelo y el cambio climático en la generación de estos eventos.

En este marco, resulta clave profundizar en el papel de las teleconexiones relevantes para el hemisferio sur, incluyendo la actividad del SALLJ, la *Madden-Julian Oscillation* (MJO), así como los trenes de ondas de Rossby de origen subtropical y extratropical (Collazo et al., 2024). Asimismo, se destaca la importancia de considerar la influencia de la Oscilación Antártica (AAO/SAM), la cual ha sido asociada a la ocurrencia de olas de frío y heladas durante el invierno en el sur de Brasil (Alves et al., 2017), contribuyendo a una mejor comprensión de la variabilidad y propagación de eventos extremos en la región.

Finalmente, es fundamental integrar los acoplamientos tierra-atmósfera y océano-atmósfera, considerando la retroalimentación entre anomalías de temperatura del suelo, humedad y temperatura superficial del mar, pues son variables que condicionan la duración e intensidad de los extremos (Álvarez et al., 2014; Pastor et al., 2024). Consolidar estos enfoques permitirá avanzar en el conocimiento científico y aportar herramientas prácticas para la predicción y gestión de eventos extremos en un clima que continuará intensificando estos riesgos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aboelkhair, H., Mohamed, B., Morsy, M., & Nagy, H. (2023). *Co-occurrence of atmospheric and oceanic heatwaves in the eastern Mediterranean over the last four decades*. *Remote Sensing*, 15(7), 1841.
- Ajaaj AA., Mishra AK., Khan AA. (2018) Urban and peri-urban precipitation and air temperature trends in mega cities of the world using multiple trend analysis methods. *Theor Appl Climatol* 132:403–418
- Álvarez, M. S., Cerne, B., Osman, M., & Vera, C. S. (2019). Intraseasonal and low frequency processes contributing to the December 2013 heat wave in Southern South America. *Climate Dynamics*, 53(7–8), 4977–4988. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04838-6>
- Alvarez, M.; Vera, C.; Kiladis, G.; Liebmann, B. (2014). Intraseasonal Variability in South America during the Cold Season *Climate Dynamics*. 42. 10.1007/s00382-013-1872-z.
- Alves, M. P. A., Silveira, R. B., Minuzzi, R. B., & Franke, A. E. (2017). The influence of the Antarctic Oscillation (AAO) on cold waves and occurrence of frosts in the State of Santa Catarina, Brazil. *Climate*, 5(1). <https://doi.org/10.3390/cli5010017>
- Barreiro, M., Arizmendi, F., Díaz, N., & Trinchin, R. (2021). Análisis del clima y escenarios de cambio y variabilidad climática en Uruguay (Entregable 4 del Proyecto URU/18/002). Universidad de la República – Facultad de Ciencias / Instituto Uruguayo de Meteorología / PNUD.
- Barros, V., Boninsegna, J., Camilloni, I., Chidiak, M., Magrin, G., & Rusticucci, M. (2015). Climate change in Argentina: Trends, projections, impacts and adaptation. In: *IPCC AR5 – Chapter on South America*.
- Bazrafshan J. (2017) Effect of air temperature on historical trend of longterm droughts in different climates of Iran. *Water Resour Manag* 31(14):4683–4698
- Banzon, V., Smith, T. M., Chin, T. M., Liu, C., & Hankins, W. (2016). A long-term record of blended satellite and in situ sea surface temperature for climate monitoring, modeling and environmental studies. *Earth System Science Data*, 8, 165–176. <https://doi.org/10.5194/essd-8-165-2016>
- Castro, A. L. C., Calheiros, L. B., Cunha, M. I. R., & Bringel, M. L. N. C. (2003). *DESASTRES NATURAIS*.
- Cerne, S. B., Vera, C. S., & Liebmann, B. (2007). The nature of a heat wave in eastern Argentina occurring during SALLJEX. *Monthly Weather Review*, 135(3), 1165–1174. <https://doi.org/10.1175/MWR3306.1>
- Cerne, S. B., & Vera, C. S. (2011). Influence of the intraseasonal variability on heat waves in subtropical South America. *Climate Dynamics*, 36(11–12), 2265–2277. <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0812-4>
- Connell, J. H. (1978). Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199(4335), 1302–1310. <https://doi.org/10.1126/science.199.4335.1302>
- Collazo, S., Suli, S., Zaninelli, P. G., García-Herrera, R., Barriopedro, D., & Garrido-Pérez, J. M. (2024). Influence of large-scale circulation and local feedbacks on extreme summer heat in Argentina in 2022/23. *Communications Earth & Environment*, 5(131). <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01386-8>
- de Mello, S. (2013). Estudio climatológico y regionalización de heladas meteorológicas en Uruguay. Trabajo final de licenciatura en Ciencias de la atmósfera, Facultad de Ciencias- Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay.

- de Mello, S. (2024). Caracterización de las olas de calor en Uruguay, análisis de la variabilidad interanual y variabilidad diaria. Tesis de maestría. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Ciencias - PEDECIBA. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/45865>
- Donat, M. G., Alexander, L. V., Yang, H., Durre, I., Vose, R., & Caesar, J. (2013). Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(5), 2098–2118. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50150>
- Feudale, L., & Shukla, J. (2007). *Role of Mediterranean SST in enhancing the European heat wave of summer 2003*. *Geophysical Research Letters*, 34(3), L03811.
- Fox, J. F. (1979). Intermediate-disturbance hypothesis. *Science*, 204(4399), 1344–1345. <https://doi.org/10.1126/science.204.4399.1344>
- Frölicher, T. L., Fischer, E. M., & Gruber, N. (2018). Marine heatwaves under global warming. *Nature*, 560, 360–364. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0383-9>
- García-Herrera, R., Díaz, J., Trigo, R. M., Luterbacher, J., & Fischer, E. M. (2010). *A review of the European summer heat wave of 2003*. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 40(4), 267–306.
- Garreaud, R. D. (2000). Cold air incursions over subtropical and tropical South America: A review. *Meteorologica*, 25, 3–23.
- Giacosa, G. (2018). Caracterización de los bloqueos atmosféricos en los Océanos Pacífico Sudeste y Atlántico Sur y su impacto sobre Uruguay. Trabajo final de licenciatura en Ciencias de la atmósfera, Facultad de Ciencias- Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay.
- Giacosa, G., Renom, M. & Barreiro, M. (2020). Bloqueos atmosféricos en los océanos Pacífico Sudeste y Atlántico Sur y su impacto sobre Uruguay. 45.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., & Thépaut, J.-N. (2018). ERA5 hourly data on single levels from 1959 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). <https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47>
- Holbrook, N.J., Scannell, H.A., Gupta, A.S., Benthuyesen, J.A., Feng, M., et al. (2019). A global assessment of marine heatwaves and their drivers. *Nat. Commun.* 10:2624
- Holm, S. (1979). A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian Journal of Statistics*. 6 (2): 65–70. JSTOR 4615733. MR 0538597
- Hobday, A. J., Alexander, L. v., Perkins, S. E., Smale, D. A., Straub, S. C., Oliver, E. C. J., Benthuyesen, J. A., Burrows, M. T., Donat, M. G., Feng, M., Holbrook, N. J., Moore, P. J., Scannell, H. A., sen Gupta, A., & Wernberg, T. (2016). A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Progress in Oceanography*, 141, 227–238. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.12.014>
- Hobday, A. J., Oliver, E. C. J., Sen Gupta, A., et al. (2018). Categorizing and naming marine heatwaves. *Progress in Oceanography*, 161, 227–238.
- IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report (AR6), Chapter 9 & 11.* <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Kendall, M. G. (1975) Rank correlation methods, 4th edn. Charles Griffin, London.

- Laufkötter, C., Zscheischler, J., Frölicher, T. L. (2020). High-impact marine heatwaves attributable to human-induced global warming. *Science*, 369(6511), 1621–1625. <https://doi.org/10.1126/science.aba0690>
- Leyba, I. M., Solman, S. A., & Saraceno, M. (2019). Trends in sea surface temperature and air–sea heat fluxes over the South Atlantic Ocean. *Climate Dynamics*, 53, 4141–4153. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04777-2>
- Llano, M. (2021). Variabilidad temporal de la concentración de precipitación en la Argentina, *Meteorologica*, 46(2), ISSN 1850-468X, <https://doi.org/10.24215/1850468Xe005>
- Mann, H. B. (1945). Non-parametric tests against trend. *Econometrica* 13: 245–259. doi:10.2307/1907187
- Manta, G., de Mello, S., Trinchin, R., Badagian, J., & Barreiro, M. (2018). The 2017 Record Marine Heatwave in the Southwestern Atlantic Shelf. *Geophysical Research Letters*, 45(22), 12,449-12,456. <https://doi.org/10.1029/2018GL081070>
- Marengo, J., Espinoza, J. C., Bettolli, L., Cunha, A. P., Molina-Carpio, J., Skansi, M., Correa, K., Ramos, A. M., Salinas, R., & Sierra, J.-P. (2023). A cold wave of winter 2021 in central South America: Characteristics and impacts. *Climate Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06701-1>
- Montibeller, B., Jaagus, J., Mander, Ü., & Uemaa, E. (2021). Evapotranspiration intensification over unchanged temperate vegetation in the Baltic countries is being driven by climate shifts. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4, 663327. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.663327>
- Nairn, J. (2013). Heatwave defined as a heat impact event for all community and emergency sectors in Australia.
- Nairn, J. R., & Fawcett, R. J. B. (2015). The excess heat factor: A metric for heatwave intensity and its use in classifying heatwave severity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(1), 227–253. <https://doi.org/10.3390/ijerph120100227>
- Olita, A., Sorgente, R., Natale, S., Gabersek, S., Ribotti, A., Bonanno, A., & Patti, B. (2007). Effects of the 2003 European heatwave on the Central Mediterranean Sea: Surface fluxes and the dynamical response. *Ocean Science*, 3(2), 273–289. <https://doi.org/10.5194/os-3-273-2007>
- Oliver, E. C. J., Benthuisen, J. A., Bindoff, N. L., Hobday, A. J., Holbrook, N. J., Mundy, C. N., & Perkins-Kirkpatrick, S. E. (2017). The unprecedented 2015/16 Tasman Sea marine heatwave. *Nature Communications*, 8. <https://doi.org/10.1038/ncomms16101>
- Oliver, E.C.J., Lago, V., Hobday, A.J., Holbrook, N.J., Ling, S.D., & Mundy, C.N. (2018a). Marine heatwaves off eastern Tasmania: Trends, interannual variability, and predictability. *Progress in Oceanography*, 161, 116–130. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.02.007>
- Oliver, E.C.J., Donat, M.G., Burrows, M.T. et al. (2018b) Longer and more frequent marine heatwaves over the past century. *Nat Commun* 9, 1324. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03732-9>
- Oliver, E.C.J., Benthuisen, J.A., Damaraki, S., Donat, M.G., Hobday, A.J., Holbrook, N.J., Schlegel, R.W. and Sen Gupta, A. (2021). Marine heatwaves. *Annual Review of Marine Science*, vol. 13, pp. 313-342, doi: 10.1146/annurev-marine-032720-095144.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2018). Guía de prácticas climatológicas (OMM-Nº 100). Ginebra: OMM. Recuperado de <https://library.wmo.int/idurl/4/28514>
- Organización Meteorológica Mundial (2019). *Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2019*.

- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2021). Directrices para el control de la calidad y el aseguramiento de la calidad de los datos de estaciones de observación en superficie para aplicaciones climáticas (OMM-Nº 1269). Ginebra: OMM. Recuperado de <https://library.wmo.int/idurl/4/28302>
- Pastor, F., Paredes-Fortuny, L., & Khodayar, S. (2024). Mediterranean marine heatwaves intensify in the presence of concurrent atmospheric heatwaves. *Communications Earth & Environment*, 5, 797. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01982-8>
- Pathmeswaran, C., Sen Gupta, A., Perkins-Kirkpatrick, S. E., & Hart, M. A. (2022). *Exploring potential links between co-occurring coastal terrestrial and marine heatwaves in Australia*. *Frontiers in Climate*. 4. 10.3389/fclim.2022.792730
- Peterson, T.C., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., & Plummer, N. (2001). Changes in climate extremes: Report on the CLIVAR workshop on changes in climate extremes and indices. *Climatic Change*, 42(1), 5–31.
- Perkins, S.E., & Alexander, L.V. (2013). On the measurement of heat waves. *Journal of Climate*, 26(13), 4500–4517. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00383.1>
- Pezza, A. B., & Ambrizzi, T. (2005). Cold waves in South America and freezing temperatures in São Paulo: historical background (1888-2003) and case studies of cyclone and anticyclone tracks. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 20(1), 141-158.
- Pohlert, T. (2018). Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. <https://cran.r-project.org/web/packages/trend/trend.pdf>
- Prăvălie R., Bandoc G., Patriche C., Tomescu M. (2017). Spatio-temporal trends of mean air temperature during 1961–2009 and impacts on crop (maize) yields in the most important agricultural region of Romania. *Stoch Env Res Risk A* 31(8):1923–1939
- Reboita, M. S., Escobar, G., & Lopes, V. S. (2015). Climatología sinóptica de eventos de ondas de frío sobre a região Sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia*, 16, 1–18. <https://doi.org/10.5380/abclima.v16i0.40327>
- Renom, M. (2009). Temperaturas extremas en Uruguay. Análisis de la variabilidad de temporal de baja frecuencia y su relación con la circulación de gran escala. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Reyes-Mendoza, O., Manta, G., & Carrillo, L. (2022). Marine heatwaves and marine cold-spells on the Yucatan Shelf-break upwelling region. *Continental Shelf Research*, 239. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2022.104707>
- Richard W. Reynolds, Viva F. Banzon, and NOAA CDR Program (2008): NOAA Optimum Interpolation 1/4 Degree Daily Sea Surface Temperature (OISST) Analysis, Version 2. [indicate subset used]. NOAA National Centers for Environmental Information. <https://doi.org/10.7289/V5SQ8XB5>
- Rodrigues, R. R., Taschetto, A. S., Sen Gupta, A., & Foltz, G. R. (2019). *Common cause for severe droughts in South America and marine heatwaves in the South Atlantic*. *Nature Geoscience*, 12(8), 620–626.
- Rusticucci, M. (1995) Regional variability of 6 hours and daily surface temperatures over Argentina. PhD thesis. University of Buenos Aires.
- Rusticucci M., Barrucand M. (2001). Climatología de temperaturas extremas en la Argentina. Consistencia de datos. Relación entre la temperatura media estacional y la ocurrencia de extremos. *Meteorológica*, 26,69-84.

- Rusticucci, M., Kousky, V. (2002). A comparative study of Maximum and Minimum temperatures over Argentina: NCEP/NCAR Reanalysis versus Station Data. *J. Climate*, 15, 2089-2101.
- Rusticucci, M., Renom, M. (2008). Variability and trends in indices of quality controlled daily temperature extremes in Uruguay. *International Journal of Climatology* 28 (8), 1083–1095.
- Rusticucci, M. (2012). Observed and simulated climate extremes over South America. *Journal of Climate*, 25(21), 8147–8160.
- Rusticucci, M., Kyselý, J., Almeida, G., & Lhotka, O. (2016). Long-term variability of heat waves in Argentina and recurrence probability of the severe 2008 heat wave in Buenos Aires. *Theoretical and Applied Climatology*, 124(3–4), 679–689. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1445-7>
- Santos, R., Russo, A., & Gouveia, C. M. (2024). *Co-occurrence of marine and atmospheric heatwaves with drought conditions and fire activity in the Mediterranean region*. *Scientific Reports*, 14, 19233. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69691-y>
- Saravia, C., Astigarraga, L., Van Lier, E., & Bentancur, O. (2011). Impacto de las olas de calor en vacas lecheras en Salto (Uruguay). *Agrociencia Uruguay*, 15(1), 93-102. doi: 1510-0839. [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2301-15482011000100011](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482011000100011)
- Saulo, C., Ferreira, L. J., Mejia, J., Seluchi, M. (2004). Description of the thermal low characteristics using SALLJEX special observations. CLIVAR
- Schlegel, R. W., Oliver, E. C. J., Wernberg, T., & Smit, A. J. (2017). Nearshore and offshore co-occurrence of marine heatwaves and cold-spells. *Progress in Oceanography*, 151, 189–205. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.01.004>
- Schlegel, R. W., & Smit, A. J. (2018). heatwaveR: A central algorithm for the detection of heatwaves and cold-spells. *Journal of Open Source Software*, 3(27), 821. <https://doi.org/10.21105/joss.00821>
- Schlegel, R. W., Darmaraki S., Benthuyzen J. A., Filbee-Dexter K., Oliver, E. C. J. (2021). Marine cold-spells. *Progress in Oceanography*, Volume 198, 102684, ISSN 0079-6611, <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2021.102684>.
- Sen, P. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *J. Am. Stat. Assoc.* 63 (324), 1379-1389.
- SeneviraTne, S. I., et al. (2012). Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX-IPCC)*, 109–230.
- SeneviraTne, S. I., Zhang, X., Adnan, M., Badi, W., et al. (2021). Weather and climate extreme events in a changing climate. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC (AR6 WG1)*, Chapter 11. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Singh, D., Jain, S. K., & Gupta, R. D. (2015). Trend in observed and projected maximum and minimum temperature over the north-western Himalayan basin. *Journal of Mountain Science*, 12(2), 417–433. <https://doi.org/10.1007/s11629-013-2889-9>
- Smale, D. A., Wernberg, T., Oliver, E. C. J., Thomsen, M. S., Harvey, B. P., Straub, S. C. & Moore, P. J. (2019). Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nature Climate Change*, 9, 306–312. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0412-1>

- Skansi, M., Brunet, M., Sigró, J., Aguilar, E., Arévalo, J., Bentancur, O., Castellón, Y., Correa, R., Jácome, H., Ramos, A., Oria, C., Pastén, M., Sallons-Mitro, S., Villarroel, C., Martínez, R., Alexander, L. V., & Jones, P. D. (2013). Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. *Global and Planetary Change*, 100, 295–307. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.11.004>
- Sousa, W. P. (1984). The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 15, 353–391. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.15.110184.002033>
- Sprenger, M., Martius, O., & Arnold, J. (2013). Short Communication Cold surge episodes over southeastern Brazil—a potential vorticity perspective. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY Int. J. Climatol*, 33, 2758–2767. <https://doi.org/10.7892/boris.39674>
- Suli, S., Barriopedro, D., García-Herrera, R., & Rusticucci, M. (2023). Regionalisation of heat waves in southern South America. *Weather and Climate Extremes*, 40, 100569. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2023.100569>
- Vavrus, S., Walsh, J. E., Chapman, W. L., & Portis, D. (2006). The behavior of extreme cold air outbreaks under greenhouse warming. *International Journal of Climatology*, 26(9), 1133–1147. <https://doi.org/10.1002/joc.1301>
- Vera, C. S., & Vigliarolo, P. K. (2000). *A Diagnostic Study of Cold-Air Outbreaks over South America*.
- Ward, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58(301), 236–244. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>
- White, P. S., & Pickett, S. T. A. (1985). Natural disturbance and patch dynamics: An introduction. En S. T. A. Pickett & P. S. White (Eds.), *The ecology of natural disturbance and patch dynamics* (pp. 3–13). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-050495-7.50006-5>
- Yan, Y., Wang, D., Yue, S., & Zhang, J. (2019). Trends in summer air temperature and vapor pressure and their impacts on thermal comfort in China. *Theoretical and Applied Climatology*, 138, 1445–1456. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02909-6>
- Yue, S., Pilon, P., & Cavadias, G. (2002). Power of the Mann–Kendall and Spearman’s rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 259, 254–271. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00594-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00594-7)
- Zhang, X., Hegerl, G., Zwiers, F. W., & Kenyon, J. (2005). *Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes*. *Journal of Climate*, 18(11), 1641–1651.
- Zhang X. & Yang F. (2004). *RClimDex (1.0) user manual*, 2004. Climate Research Branch Environment Canada.
- Zscheischler, J., Westra, S., van den Hurk, B., Seneviratne, S. I., Ward, P. J., Pitman, A., et al. (2018). Future climate risk from compound events. *Nature Climate Change*, 8(6), 469–477. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0156-3>

## GLOSARIO

**AAO / SAM** (Oscilación Antártica / Modo Anular del Sur): Patrón dominante de variabilidad climática en el hemisferio sur, definido como la diferencia en la presión a nivel del mar entre las latitudes medias (~40°S) y la Antártida (~65°S). Se manifiesta como un desplazamiento del cinturón de vientos del oeste. Su fase positiva se asocia con condiciones más secas y estables en latitudes medias; la negativa, con ingreso de frentes fríos y mayor inestabilidad en el sur de Sudamérica.

**Baja del Chaco:** Sistema de baja presión semipermanente ubicado sobre el norte de Argentina y sur de Bolivia. Tiene un rol clave en la circulación regional, especialmente durante el invierno, al influir en la advección de aire cálido y húmedo hacia el sur.

**Climatología:** Promedio de largo plazo de una variable meteorológica, típicamente calculado sobre un período de referencia de al menos 30 años, como 1981–2010. Se usa como línea base para identificar anomalías.

**Componente meridional:** Parte de un vector (como el viento) que representa el movimiento en dirección norte-sur.

**Componente zonal:** Parte de un vector (como el viento) que representa el movimiento en dirección este-oeste.

**IPCC** (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático): Organismo de las Naciones Unidas responsable de evaluar la ciencia del cambio climático, sus impactos y opciones de mitigación y adaptación, a través de informes periódicos basados en la literatura científica revisada por pares.

**LLJ / SALLJ** (Chorro de Bajos Niveles de Sudamérica): Corriente intensa de viento en niveles bajos de la atmósfera (~850 hPa), que transporta humedad desde la Amazonia hacia el sur de Sudamérica. Influye en la ocurrencia de eventos extremos como precipitaciones intensas y olas de calor.

**MJO** (Oscilación de Madden-Julian): Modo dominante de variabilidad intraestacional en los trópicos. Se manifiesta como una onda de convección que se propaga hacia el este desde el océano Índico al Pacífico y afecta la circulación atmosférica y la ocurrencia de eventos extremos en Sudamérica en escalas de 30–60 días.

**ZCAS** (Zona de Convergencia del Atlántico Sur): Banda persistente de nubosidad y convección que se extiende desde el sureste de Brasil hasta el Atlántico suroccidental. Es una de las principales fuentes de precipitación en el verano austral y se asocia a la interacción entre masas de aire tropical y subtropical.

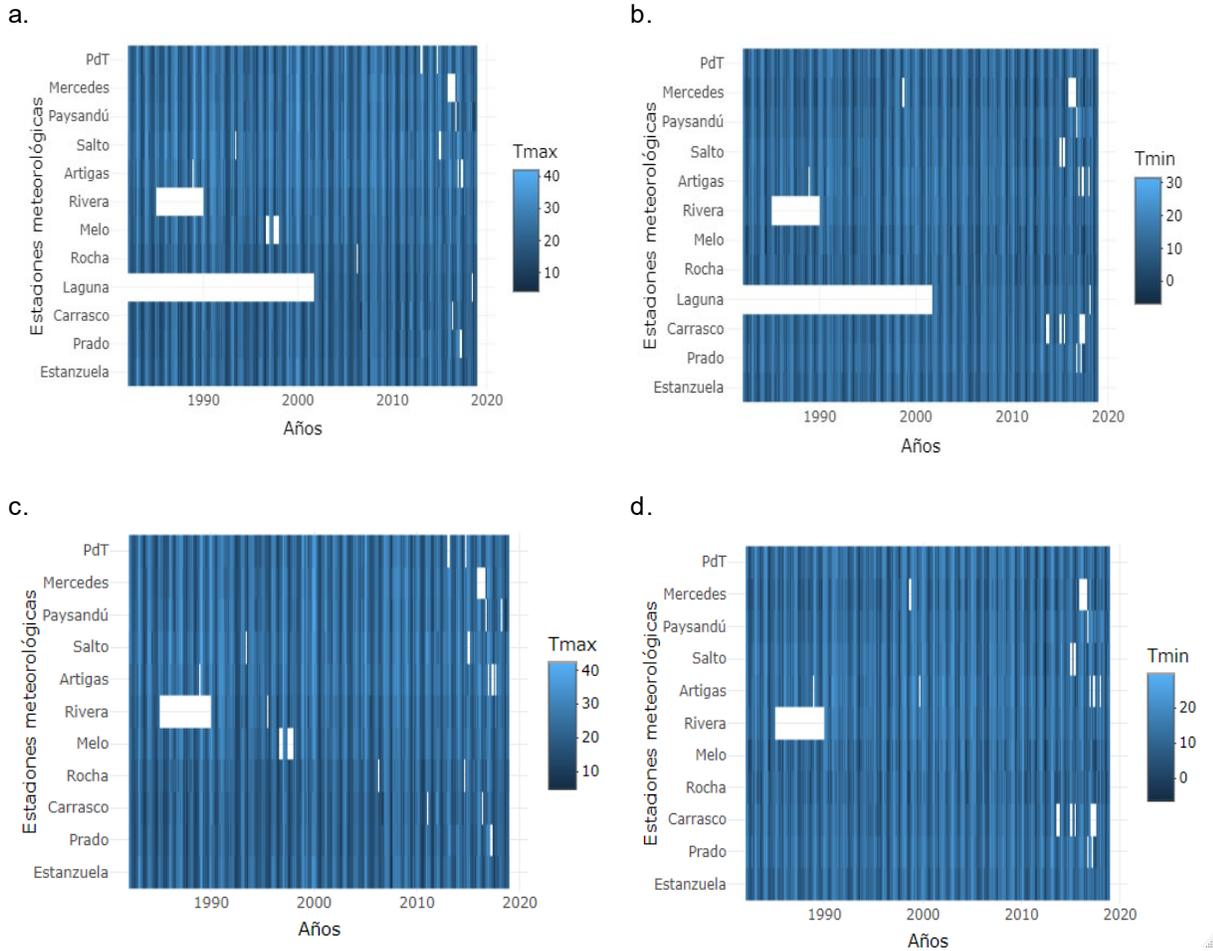
**T<sub>n</sub>** (Temperatura mínima): Valor diario más bajo de la temperatura del aire registrado en una estación meteorológica, generalmente durante la madrugada.

**T<sub>SM</sub>** (Temperatura Superficial del Mar): Temperatura de la capa más superficial del océano, típicamente medida en los primeros centímetros. Afecta procesos de convección, circulación atmosférica y fenómenos extremos.

**T<sub>x</sub>** (Temperatura máxima): Valor diario más alto de la temperatura del aire registrado en una estación meteorológica, generalmente durante la tarde.

# ANEXOS

## Anexo A. Exploración de datos faltantes antes y después del análisis de consistencia



**Figura A.1.** Disponibilidad de datos de las series diarias de temperatura máxima (Tx, izquierda) y mínima (Tn, derecha) de las estaciones meteorológicas durante el período 1982-2018: sin control de calidad (a y b con control de calidad (c y d). Los espacios en blanco representan los períodos o días de datos faltantes (NAs) en las series y también en la escala de colores se visualizan los valores diarios de temperatura.

**Tabla A.1 Resumen exploratorio de las series diarias de temperatura máxima (Tx) y mínima (Tn) de las estaciones de estudio que cubren todo el período 1982-2018 sin control de calidad.**

<b>Estación_Variable</b>	<b>Min.</b>	<b>Fecha de min.</b>	<b>Mediana</b>	<b>Media</b>	<b>Max.</b>	<b>Fecha de max.</b>
Artigas_Tn	-4.50	1996-06-29	14.60	13.7	31.60	2016-11-06
Artigas_Tx	6.00	1994-07-08	25.60	25.21	41.00	1999-12-27
Carrasco_Tn	-4.5	2002-06-13	12.5	12.3	25.2	1992-02-20
Carrasco_Tx	5.5	2002-06-15	21.0	21.0	39.8	2013-12-27
La Estanzuela_Tn	-3.00	1984-07-22	12.10	11.93	26.70	1990-01-27
La Estanzuela_Tx	5.50	1992-07-15	21.8	21.78	39.80	2012-01-10
Mercedes_Tn	-6.60	1988-07-12	12.10	11.57	29.50	2006-01-10
		2007-07-12				
Mercedes_Tx	6.90	1992-07-15	24.00	23.82	41.70	2013-12-27
Paysandú_Tn	-3.30	2012-06-07	13.20	12.69	28.50	2014-01-23
Paysandú_Tx	5.90	2000-07-11	24.20	24.1	42.00	1999-12-27
Prado_Tn	-2.7	2009-07-31	13.40	13.22	28.20	2016-10-29
Prado_Tx	6.20	2007-07-10	21.30	21.25	40.20	2013-12-27
Rocha_Tn	-4.00	2007-07-29	11.90	11.52	26.0	2014-01-23
Rocha_Tx	6.20	1991-08-01	21.60	21.67	40.00	1995-12-18
Salto_Tn	-5.60	2012-06-09	13.90	13.15	29.00	2014-01-23
Salto_Tx	5.40	2000-07-13	25.40	25.17	42.20	1986-01-15
Melo_Tn	-6.40	1996-06-30	12.40	11.79	26.40	2012-12-25
Melo_Tx	4.30	1988-06-25	23.80	23.58	41.30	1999-12-27
PdT_Tn	-3.50	1987-06-14	13.20	12.71	27.40	2014-01-02
PdT_Tx	6.4	2007-07-10	23.70	23.51	41.60	1999-12-26
Rivera_Tn	-2.70	1996-06-30	13.90	13.29	26.90	2012-12-25
Rivera_Tx	5.00	2007-07-10	24.30	23.86	40.40	1999-12-27

## Anexo B. Control de calidad para todo el período 1982 – 2018

Tabla B.1. Total de errores por outliers sospechosos (fuera del rango permitido) por estación y variable.

Estaciones	Tn	Tx
Rivera	6	6
Melo	7	7
Paso de los Toros	4	4
Artigas	15	25
La Estanzuela	9	6
Salto	9	9
Paysandú	8	10
Mercedes	9	16
Rocha	9	10
Carrasco	15	11
Prado	10	13

Tabla B.2. Datos faltantes y tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica Rivera.

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1983-05-09		NA (1)	-	-	-
1984-05-19		-	-	-	1.2 (Corrección Inumet: 12.2)
1985-10-07	1989-12-30	NA (1819)	-	-	-
1990-06-18		NA (1)	-	-	-
1990-07-04		-	-	-	0.4 (Corrección Inumet: 10.4)
1993-05-12		NA (1)	-	-	-
1993-07-22		NA (1)	-	-	-
1994-04-21		-	-	-	15.3 (NA)
1996-08-28		-	-	-	3 (NA)
1997-06-01	1997-06-02	NA (2)	-	-	-
1998 -06-16		NA (1)	-	-	-
2000-08-25		NA (1)	-	-	-
2002 -09-11		NA (1)	-	-	-
2008-10-08		-	-	-	3 (NA)
2015-04-20		-	-	-	19.8 (NA)
2016-05-19		NA (1)	-	-	-
2016-06-27		NA (1)	-	-	-
2016-11-03		NA (1)	-	-	-
2017-02-20		NA (1)	-	-	-
2017-03-12		NA (1)	-	-	-

2017-07-11		NA (1)	-	-	-
2017-09-23		NA (1)	-	-	-
2017-10-07		NA (1)	-	-	-
2017-11-04		NA (1)	-	-	-
2017-11-27		NA (1)	-	-	-
2017-12-13	2017-12-14	NA (2)	-	-	-
2017-12-16	2017-12-17	NA (2)	-	-	-
2017-12-19		NA (1)	-	-	-
2017-12-28		NA (1)	-	-	-
2017-12-30		NA (1)	-	-	-
2018-08-30	2018-08-31	NA (2)	-	-	-

**Tabla B.3. Datos faltantes y tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica Rivera.**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1985-10-07	1989-12-30	NA (1819)	-	-	-
1991-05-22	-	-	-	-	16.2 (NA)
1992-05-27		NA (1)	-	-	-
1993-05-09		NA (1)	-	-	-
1994-08-22		NA (1)	-	-	-
1994-12-28		NA (1)	-	-	-
1995-07-05		-	-	-	26.5 (NA)
1997-01-08		-	-	-	24.2 (NA)
1997-05-31	1997-06-02	NA (3)	-	-	-
1998-11-16	1998-11-17	NA (2)	-	-	-
2010-02-08		-	-	-	26.7 (Corrección Inumet: 31)
2014-01-02	2014 -01-03	NA (2)	-	-	-
2014 -01-05	2014 -01-06	NA (2)	-	-	-
2014 -01-08	2014-01-09	NA (2)	-	-	-
2016-03-23		-	-	-	36.3 (NA)
2016-11-27		-	-	-	22.3 (NA)
2017-02-20		NA (1)	-	-	-
2017-03-12		NA (1)	-	-	-
2018-02-08		NA (1)	-	-	-
2018-02-12		NA (1)	-	-	-

**Tabla B.4. Datos faltantes y tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica Melo.**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1987-09-09		-	-	-	17.6 (Corrección Inumet: 10.6)
1995-06-24		-	-	-	19 (Corrección Inumet: 10.2)
1996-09-08		-	-	-	10.6 (Corrección Inumet: 7.8)
2004-07-14		-	-	-	13.7 (Corrección Inumet: 12.8)
2006-08-26		-	-	-	16 (Corrección Inumet: 13.2)
2014-11-12		NA (1)	-	-	-
2014-11-19		NA (1)	-	-	-
2016-09-15	2016-09-16	NA (2)	-	-	-
2016-09-20	2016-09-21	NA (2)	-	-	-
2016-12-27		NA (1)	-	-	-
2017-05-07	2017-05-10	NA (4)	-	-	-
2017-10-01		-	-	-	0.6 (Corrección Inumet: 11.8)
2017-11-16		-	-	-	3.6 (Corrección Inumet: 14.7)

**Tabla B.5. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica Melo.**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1983-08-23		-	-	-	13.4 (Corrección Inumet: 23.4)
1988-06-25		-	-	-	4.3 (Corrección Inumet: 14.3)
1992-02-23		-	-	-	20 (Corrección Inumet: 25.6)
1996-08-07	1996-08-30	NA (24)	-	-	-
1996-09-01	1996-09-07	NA (7)	-	-	-
1996-09-09	1996-12-31	NA (114)	-	-	-
1997-06-01	1997-12-31	NA (214)	-	-	-
2001-04-29		-	-	-	26.8 (Corrección Inumet: 16.8)
2002-10-07		-	-	-	17 (Corrección Inumet: 20.4)

2013-02-15		-	-	-	25.8 (Corrección Inumet: 30.5)
2014-11-04		NA (1)	-	-	-
2015-10-26		NA (1)	-	-	-
2016-01-01	2016-01-10	NA (10)	-	-	-
2017-05-07	2017-05-10	NA (4)	-	-	-
2017-11-19		-	-	-	17.4 (Corrección Inumet: 27.8)

**Tabla B.6. Datos faltantes y tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica Paso de los Toros.**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1993-11-04		-	-	-	23.6 (Corrección Inumet: 16.6)
1993-12-02		-	-	-	22 (Corrección Inumet: 12)
1996-12-03		-	-	-	10 (Corrección Inumet: 19.2)
2014-12-02		NA (1)	-	-	-
2014-12-04		NA (1)	-	-	-
2015-06-08		NA (1)	-	-	-
2016-03-08		NA (1)	-	-	-
2016-11-13		NA (1)	-	-	-
2017-02-10		NA (1)	-	-	-
2017-05-18	2017-05-19	NA (2)	-	-	-
2018-03-05		NA (1)	-	-	-
2018-04-22	2018-04-23	NA (2)	-	-	-
2018-05-14		NA (1)	-	-	-
2018-05-21		NA (1)	-	-	-
2018-05-28		NA (1)	-	-	-
2018-06-03	2018-06-04	NA (2)	-	-	-
2018-06-10	2018-06-11	NA (2)	-	-	-
2018-06-17	2018-06-18	NA (2)	-	-	-
2018-06-24	2018-06-25	NA (2)	-	-	-
2018-08-04	2018-08-06	NA (3)	-	-	-
2018-08-11	2018-08-13	NA (3)	-	-	-
2018-08-18	2018-08-20	NA (3)	-	-	-
2018-08-22	2018-08-23	NA (2)	-	-	-
2018-08-25	2018-08-27	NA (3)	-	-	-
2018-09-02	2018-09-03	NA (2)	-	-	-
2018-09-09		NA (1)	-	-	-
2018-09-16		NA (1)	-	-	-
2018-09-23		NA (1)	-	-	-
2018-09-30	2018-10-01	NA (2)	-	-	-
2018-10-07		NA (1)	-	-	-
2018-10-14		NA (1)	-	-	-

2018-10-21		NA (1)	-	-	-
2018-10-28		NA (1)	-	-	-
2018-11-03	2018-11-08	NA (6)	-	-	-
2018-11-10	2018-11-12	NA (3)	-	-	-
2018-11-14	2018-11-15	NA (2)	-	-	-
2018-11-17	2018-11-19	NA (3)	-	-	-
2018-11-21	2018-12-03	NA (13)	-	-	-
2018-12-08	2018-12-10	NA (3)	-	-	-
2018-12-15	2018-12-17	NA (3)	-	-	-
2018-12-22		NA (1)	-	-	-
2018-12-24	2018-12-25	NA (2)	-	-	-

**Tabla B.7. Datos faltantes y tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica Paso de los Toros**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
2008-12-10		-	-	-	24.4 (Corrección Inumet: 30.2)
2011-11-29	2011-11-30	NA (2)	-	-	
2011-12-16	2011-12-17	NA (2)	-	-	
2012-01-31	2012-02-01	NA (2)	-	-	
2012-12-31	2013-01-01	NA (2)	-	-	
2013-01-03	2013-01-04	NA (2)	-	-	
2013-01-06	2013-01-08	NA (3)	-	-	
2013-01-13	2013-01-23	NA (11)	-	-	
2013-01-25	2013-02-05	NA (12)	-	-	
2013-02-07	2013-02-14	NA (8)	-	-	
2013-02-16	2013-02-17	NA (2)	-	-	
2013-02-21	2013-02-23	NA (3)	-	-	
2013-02-27	2013-02-28	NA (2)	-	-	
2013-03-02	2013-03-04	NA (3)	-	-	
2013-03-06	2013-03-09	NA (4)	-	-	
2013-03-13	2013-03-15	NA (3)	-	-	
2013-05-24		-	-	-	8.4 (NA)
2014-09-19	2014-10-09	NA (22)	-	-	

2015-08-09		-	32.5 [0.99, 32.15]	-	-
2016-12-05		NA (1)	-	-	-
2017-02-10		NA (1)	-	-	-
2017-03-07		-	-	-	19.6 (Corrección Inumet: 30.4)
2017-05-18	2017-05-19	NA (2)	-	-	-
2017-09-18		-	-	-	34.4 (Corrección Inumet: 20.7)
2018-03-04		NA (1)	-	-	-
2018-04-21	2018-04-22	NA (2)	-	-	-
2018-04-28		NA (1)	-	-	-
2018-05-06		NA (1)	-	-	-
2018-05-13		NA (1)	-	-	-
2018-05-20		NA (1)	-	-	-
2018-05-27		NA (1)	-	-	-
2018-06-02	2018-06-03	NA (2)	-	-	-
2018-06-09		NA (1)	-	-	-
2018-06-23		NA (1)	-	-	-
2018-08-03		NA (1)	-	-	-
2018-09-02		NA (1)	-	-	-
2018-09-09		NA (1)	-	-	-
2018-09-16		NA (1)	-	-	-
2018-09-23		NA (1)	-	-	-
2018-09-30		NA (1)	-	-	-
2018-10-07		NA (1)	-	-	-
2018-10-14		NA (1)	-	-	-
2018-10-21		NA (1)	-	-	-
2018-10-28		NA (1)	-	-	-
2018-11-03	2018-11-08	NA (6)	-	-	-
2018-11-10	2018-11-12	NA (3)	-	-	-
2018-11-14	2018-11-15	NA (2)	-	-	-
2018-11-17	2018-11-19	NA (3)	-	-	-
2018-11-21	2018-12-02	NA (12)	-	-	-
2018-12-07	2018-12-09	NA (3)	-	-	-
2018-12-14	2018-12-16	NA (3)	-	-	-
2018-12-21		NA (1)	-	-	-
2018-12-23	2018-12-24	NA (2)	-	-	-
2018-12-28	2018-12-29	NA (2)	-	-	-

**Tabla B.8. Datos faltantes y tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica Artigas.**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1983-02-20		-	-	-	28 (NA)
1987-03-17		-	-	-	8.4 (NA)
1987-05-12		-	-	-	15.3 (NA)
1988-04-20		-	-	-	19.7 (NA)
1988-11-21	1988-11-30	NA (10)	-	-	-
1990-08-08		-	-	-	3 (NA)
1992-10-29		-	-	-	2.7 (NA)
1993-01-18		-	-	-	12.6 (NA)
1996-03-26		-	-	-	16.4 (NA)
1999-09-07		-	-	-	20.9 (NA)
1999-09-30		-	-	-	4.4 (NA)
2001-12-09		-	-	-	6.9 (NA)
2003-12-11		-	-	-	22 (NA)
2005-01-26		-	-	-	9.6 (NA)
2013-12-05		-	-	-	22.8 (NA)
2016-09-29		NA (1)	-	-	-
2016-10-19		NA (1)	-	-	-
2016-11-06		-	-	16.4< 31.6 No se cambia por la corrección del Inumet	-
2016-11-18		NA (1)	-	-	-
2016-11-21		NA (1)	-	-	-
2016-11-28	2016-12-06	NA (9)	-	-	-
2016-12-08	2016-12-20	NA (13)	-	-	-
2017-01-01	2017-01-06	NA (6)	-	-	-
2017-01-10		NA (1)	-	-	-
2017-01-19		NA (1)	-	-	-
2017-02-02		NA (1)	-	-	-
2017-02-04		NA (1)	-	-	-
2017-02-06		NA (1)	-	-	-
2017-02-08		NA (1)	-	-	-
2017-02-21		NA (1)	-	-	-
2017-02-27		NA (1)	-	-	-
2017-03-01		NA (1)	-	-	-
2017-03-03		NA (1)	-	-	-
2017-03-05		NA (1)	-	-	-
2017-03-08		NA (1)	-	-	-
2017-03-13		NA (1)	-	-	-

2017-03-16		NA (1)	-	-	-
2017-03-19		NA (1)	-	-	-
2017-03-22		NA (1)	-	-	-
2017-03-25		NA (1)	-	-	-
2017-03-28		NA (1)	-	-	-
2017-03-30		NA (1)	-	-	-
2017-04-01		NA (1)	-	-	-
2017-04-04		NA (1)	-	-	-
2017-04-07	2017-04-08	NA (2)	-	-	-
2017-04-11	2017-04-12	NA (2)	-	-	-
2017-04-15	2017-04-17	NA (3)	-	-	-
2017-04-19		NA (1)	-	-	-
2017-04-22		NA (1)	-	-	-
2017-04-24		NA (1)	-	-	-
2017-04-27		NA (1)	-	-	-
2017-04-30		NA (1)	-	-	-
2017-05-13		NA (1)	-	-	-
2017-06-03		NA (1)	-	-	-
2017-06-15		NA (1)	-	-	-
2017-07-02	2017-07-03	NA (2)	-	-	-
2017-11-19		NA (1)	-	-	-
2017-11-30		NA (1)	-	-	-
2017-12-02		NA (1)	-	-	-
2017-12-04		NA (1)	-	-	-
2017-12-06		NA (1)	-	-	-
2017-12-08		NA (1)	-	-	-
2017-12-13	2017-12-14	NA (2)	-	-	-
2017-12-16		NA (1)	-	-	-
2017-12-19		NA (1)	-	-	-
2017-12-21		NA (1)	-	-	-
2017-12-23	2017-12-24	NA (2)	-	-	-
2017-12-26	2017-12-27	NA (2)	-	-	-
2017-12-30		NA (1)	-	-	-
2018-01-01		NA (1)	-	-	-
2018-01-29		NA (1)	-	-	-
2018-01-31		NA (1)	-	-	-

**Tabla B.9. Datos faltantes y tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica Artigas**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1982-02-07		-	-	-	34 (NA)
1988-11-21	1988-11-30	NA (10)	-	-	-
1998-12-18		-	-	-	18.9 (NA)
1999-02-02		-	-	-	26 (NA)
1999-04-27		-	-	-	17.9 (NA)

1999-10-01		-	-	-	14.2 (NA)
1999-12-02		-	-	-	21 (NA)
2000-03-21		-	-	-	21 (NA)
2000-09-21		-	-	-	17 (NA)
2001-02-12		-	-	-	24.9 (NA)
2001-12-21		-	-	-	23.5 (NA)
2002-12-23		-	-	-	23.6 (NA)
2004-02-27		-	-	-	24.2 (NA)
2004-10-22		-	-	-	30.8 (NA)
2005-03-04		-	-	-	21.2 (NA)
2005-03-22		-	-	-	17.2 (NA)
2014-02-13		-	-	-	29.4 (Corrección Inumet: 24.5)
2014-02-14		-	-	-	20 (NA)
2014-09-28	2014-10-01	NA (4)	-	-	-
2015-03-26		-	-	-	16.4 (NA)
2015-12-09		-	-	-	20.9 (NA)
2016-01-01	2016-01-03	NA (3)	-	-	-
2016-09-29		NA (1)	-	-	-
2016-10-06		-	-	-	16.5 (NA)
2016-10-19		NA (1)	-	-	-
2016-11-06		-	-	16. < 31.6	-
2016-11-18		NA (1)	-	-	-
2016-11-21		NA (1)	-	-	-
2016-11-28	2016-12-06	NA (9)	-	-	-
2016-12-08	2016-12-20	NA (13)	-	-	-
2017-01-01	2017-01-06	NA (6)	-	-	-
2017-01-10		NA (1)	-	-	-
2017-01-19		NA (1)	-	-	-
2017-02-02		NA (1)	-	-	-
2017-02-04		NA (1)	-	-	-
2017-02-06		NA (1)	-	-	-
2017-02-08		NA (1)	-	-	-
2017-02-21		NA (1)	-	-	-
2017-02-27		NA (1)	-	-	-
2017-03-01		NA (1)	-	-	-
2017-03-03		NA (1)	-	-	-
2017-03-05		NA (1)	-	-	-
2017-03-08		NA (1)	-	-	-
2017-03-13		NA (1)	-	-	-
2017-03-16		NA (1)	-	-	-
2017-03-19		NA (1)	-	-	-
2017-03-22		NA (1)	-	-	-
2017-03-25		NA (1)	-	-	-
2017-03-28		NA (1)	-	-	-
2017-03-30		NA (1)	-	-	-
2017-04-01		NA (1)	-	-	-
2017-04-04		NA (1)	-	-	-
2017-04-07	2017-04-08	NA (2)	-	-	-
2017-04-11	2017-04-12	NA (2)	-	-	-

2017-04-15	2017-04-17	NA (3)	-	-	-
2017-04-19		NA (1)	-	-	-
2017-04-22		NA (1)	-	-	-
2017-04-24		NA (1)	-	-	-
2017-04-27		NA (1)	-	-	-
2017-05-13		NA (1)	-	-	-
2017-06-03		NA (1)	-	-	-
2017-06-15		NA (1)	-	-	-
2017-07-02	2017-07-03	NA (2)	-	-	-
2017-08-27	-	-	-	-	19.5 (NA)
2017-08-30	-	-	-	-	32.4 (NA)
2017-08-31	-	-	-	-	14.2 (NA)
2017-09-23	-	-	-	-	16.6 (NA)
2017-10-26		NA (1)	-	-	-
2017-11-17	-	-	-	-	17.2 (NA)

**Tabla B.10. Datos faltantes y tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica La Estanzuela**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1985-01-10		-	-	-	23.1 (NA)
1995-12-18		-	-	-	22 (NA)
1998-03-20		-	-	-	8.7 (NA)
2013-03-17		-	1.8 [2.32, 28.63] (NA)	-	-
2013-03-29		-	-	-	1.5 (NA)
2014-11-11		-	-	-	8.2 (NA)
2016-07-09	2016-07-10	NA (2)	-	-	-
2016-08-06		-	-	-	1.6 (NA)
2017-01-14		-	-	-	14.6 (NA)
2018-01-28		-	-	-	20.2 (NA)
2018-04-07		-	-	-	10.8 (NA)

**Tabla B.11. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica La Estanzuela**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1982-09-15		-	-	-	29 (NA)
1988-01-22		-	-	-	28.2 (NA)
1989-01-18		-	-	-	23.6 (NA)
2002-11-10		-	-	-	13 (NA)

2016- 07-09	2016-07-10	NA (2)	-	-	-
2018-11-20		NA (1)	-	-	-
2018-05-13		-	-	-	11.8 (NA)
2018-11-01		-	-	-	15.4 (NA)

**Tabla B.12. Datos faltantes y tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica Salto**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1987-12-30		-	-	-	10.2 (Corrección Inumet: 20.2)
1998-12-20		-	-	-	24 (Corrección Inumet: 15.4)
2000-03-21		-	-	-	19.5 (Corrección Inumet: 18.6)
2002-11-08		-	-	-	27.6 (Corrección Inumet: 15.5)
2004-10-16	2004-10-17	NA (2)	-	-	-
2005-04-11	2005-04-13	NA (3)	-	-	-
2005-11-04		-	-	-	20.4 (Corrección Inumet: 13.4)
2011-06-21		-	-	-	1.2 (Corrección Inumet: 11)
2014-01-02		-	-	-	27.8 (Corrección Inumet: 21)
2014-12-01	2015-03-07	NA (97)	-	-	-
2015-04-18	2015-06-22	NA (66)	-	-	-
2015-07-21		NA (1)	-	-	-
2015-07-24		NA (1)	-	-	-
2015-08-14		NA (1)	-	-	-
2015-08-24		-	-	-	16.4 (NA)
2015-11-19		NA (1)	-	-	-
2015-11-27		NA (1)	-	-	-
2015-12-11		NA (1)	-	-	-
2016-08-21		NA (1)	-	-	-
2017-11-19		-	-	-	6.3 (Corrección Inumet: 10.4)
2018-04-12		-	-	21.3<21 (Corrección Inumet: Tx=27.3, Tn=15.4)	-

2018-08-30 - - 12.9<15.4  
(Intercambio) -

**Tabla B.13. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica Salto**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1993-06-01	1993-06-06	NA (6)	-	-	-
1993-12-25		-	-	-	24.6 (Corrección Inumet: 34.6)
1996-02-20		-	-	-	24.8 (Corrección Inumet: 32.6)
1996-08-20		-	-	-	19.1 (Corrección Inumet: 21.4)
1997-03-09		-	-	-	23.3 (Corrección Inumet: 28)
1999-01-18		-	-	-	23.8 (Corrección Inumet: 24.2)
1999-01-24		-	-	-	25.2 (Corrección Inumet: 28.7)
2000-02-11		-	-	-	25.4 (Corrección Inumet: 27)
2003-09-28		-	-	-	11.4 (Corrección Inumet: 18.4)
2005-04-10	2005-04-13	NA (4)	-	-	-
2005-05-06		-	-	-	13.8 (Corrección Inumet: 15.8)
2007-01-20		-	-	-	21.4 (Corrección Inumet: 27)
2008-01-16		-	-	-	25.4 (Corrección Inumet: 28.7)
2008-08-28		-	-	-	14.4 (Corrección Inumet: 22)
2010-02-06		-	-	-	37 (NA)
2010-04-13		-	-	-	17.4 (NA)
2010-10-28		-	-	-	18 (Corrección Inumet: 28.8)
2011-01-16		-	-	-	28 (Corrección Inumet: 38.8)
2014-02-03		-	-	-	36.6 (NA)
2014-04-26		-	-	-	13.5 (NA)
2014-12-01	2015-03-07	NA (97)	-	-	-
2015-05-13		NA (1)	-	-	-
2015-05-28		NA (1)	-	-	-
2015-08-14		NA (1)	-	-	-
2015-11-19		NA (1)	-	-	-

2015-11-27		NA (1)	-	-	-
2015-12-11		NA (1)	-	-	-
2016- 07-09	2016-07-10	NA (2)	-	-	-
2016-08-21		NA (1)	-	-	-
2016-12-24		-	-	-	22.4 (Corrección Inumet: 27)
2018-04-12		-	-	21.3<21. 6	-
2018-08-30		-	-	2.9<15.4	-

**Tabla B.14. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica Paysandú**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1991-19-19		-	-	-	24.2 (Corrección Inumet: 16.9)
2005-10-27		-	-	-	21.9 (Corrección Inumet: 12.2)
2013-09-07		-	-	-	19.2 (Corrección Inumet: 18.7)
2014-06-16		-	-	-	12.8 (NA)
2014-09-09		-	-	-	20.9 (Corrección Inumet: 11)
2015-06-03		NA (1)	-	-	-
2015-12-06		NA (1)	-	-	-
2015-12-19		-	-	-	12 (NA)
2015-12-13		NA (1)	-	-	-
2015-12-20		NA (1)	-	-	-
2015-12-27		NA (1)	-	-	-
2016-01-03		NA (1)	-	-	-
2016-01-10		NA (1)	-	-	-
2016-01-17		NA (1)	-	-	-
2016-01-24		NA (1)	-	-	-
2016-01-31		NA (1)	-	-	-
2016-02-07		NA (1)	-	-	-
2016-02-14		NA (1)	-	-	-
2016-02-21		NA (1)	-	-	-
2016-02-28		NA (1)	-	-	-
2016-05-01		NA (1)	-	-	-
2016-09-20	2016-10-01	NA (12)	-	-	-
2016-10-04		NA (1)	-	-	-
2016-10-11		NA (1)	-	-	-
2016-10-18		NA (1)	-	-	-
2016-10-25		NA (1)	-	-	-
2016-11-01		NA (1)	-	-	-

2016-11-08		NA (1)	-	-	-
2016-11-15		NA (1)	-	-	-
2016-11-17	2016-11-18	NA (2)	-	-	-
2016-11-21			-	12<18.5 (Corrección Inumet: Tx=30.5, Tn=19)	-
2016-11-22		NA (1)	-	-	-
2016-11-29		NA (1)	-	-	-
2016-12-05	2016-12-06	NA (2)	-	-	-
2016-12-08		NA (1)	-	-	-
2016-12-13		NA (1)	-	-	-
2016-12-16		-	-	19<26 (Corrección Inumet: Tx=31, Tn=17.1)	-
2016-12-20		NA (1)	-	-	-
2016-12-27	2016-12-28	NA (2)	-	-	-
2017-01-03	2017-01-04	NA (2)	-	-	-
2017-01-10	2017-01-11	NA (2)	-	-	-
2017-01-13		NA (1)	-	-	-
2017-01-17	2017-01-18	NA (2)	-	-	-
2017-01-24	2017-01-25	NA (2)	-	-	-
2017-01-31	2017-02-01	NA (2)	-	-	-
2017-02-07	2017-02-08	NA (2)	-	-	-
2017-02-14	2017-02-15	NA (2)	-	-	-
2017-02-21	2017-02-22	NA (2)	-	-	-
2017-02-28		NA (1)	-	-	-
2017-03-01		NA (1)	-	-	-
2017-03-07	2017-02-08	NA (2)	-	-	-
2017-03-14	2017-03-15	NA (2)	-	-	-
2017-03-21	2017-03-22	NA (2)	-	-	-
2017-03-28	2017-03-29	NA (2)	-	-	-
2017-04-04	2017-04-05	NA (2)	-	-	-
2017-04-11	2017-04-12	NA (2)	-	-	-
2017-04-18	2017-04-19	NA (2)	-	-	-
2017-04-25	2017-04-26	NA (2)	-	-	-
2017-05-02	2017-05-03	NA (2)	-	-	-
2017-05-09	2017-05-10	NA (2)	-	-	-
2017-05-16	2017-05-17	NA (2)	-	-	-
2017-05-23	2017-05-24	NA (2)	-	-	-
2017-05-30	2017-05-31	NA (2)	-	-	-
2017-06-06	2017-06-07	NA (2)	-	-	-
2017-06-13	2017-06-14	NA (2)	-	-	-
2017-06-20	2017-06-21	NA (2)	-	-	-
2017-06-27	2017-06-28	NA (2)	-	-	-
2017-07-04	2017-07-06	NA (3)	-	-	-

2017-07-11	2017-07-12	NA (2)	-	-	-
2017-07-18	2017-07-19	NA (2)	-	-	-
2017-07-25	2017-07-26	NA (2)	-	-	-
2017-08-01	2017-08-02	NA (2)	-	-	-
2017-08-08	2017 -08-09	NA (2)	-	-	-
2017-08-15	2017-08-16	NA (2)	-	-	-
2017-08-22		NA (1)	-	-	-
2017-08-29		NA (1)	-	-	-
2017-09-05		NA (1)	-	-	-
2017-09-12	2017-09-13	NA (2)	-	-	-
2017-09-19		NA (1)	-	-	-
2017-09-26	2017-09-27	NA (2)	-	-	-
2017-10-03	2017-10-04	NA (2)	-	-	-
2017-10-10	2017-10-11	NA (2)	-	-	-
2017-10-17	2017-10-18	NA (2)	-	-	-
2017-10-24	2017-10-25	NA (2)	-	-	-
2017-10-31	2017-11-01	NA (2)	-	-	-
2017-11-07	2017-11-08	NA (2)	-	-	-
2017-11-14	2017-11-15	NA (2)	-	-	-
2017-11-21	2017-11-22	NA (2)	-	-	-
2017-11-28	2017-11-29	NA (2)	-	-	-
2017-12-05	2017-12-06	NA (2)	-	-	-
2017-12-12	2017-12-13	NA (2)	-	-	-
2017-12-19	2017-12-20	NA (2)	-	-	-
2017-12-26	2017-12-27	NA (2)	-	-	-
2017-12-29	2017-12-30	NA (2)	-	-	-
2018-01-05	2018-01-06	NA (2)	-	-	-
2018-01-12		NA (1)	-	-	-
2018-03-30		-	-	-	22.4 (NA)
2018-06-15	2018-06-16	NA (2)	-	-	-
2018-06-22	2018-06-24	NA (3)	-	-	-
2018-06-29	2018-06-30	NA (2)	-	-	-
2018-07-06	2018-07-07	NA (2)	-	-	-
2018-07-13		NA (1)	-	-	-
2018-07-20		NA (1)	-	-	-
2018-07-27		NA (1)	-	-	-
2018-08-03		NA (1)	-	-	-
2018-08-10		NA (1)	-	-	-
2018-08-17	2018-08-18	NA (2)	-	-	-
2018-08-24	2018-08-25	NA (2)	-	-	-
2018-08-31	2018-09-01	NA (2)	-	-	-
2018-09-07	2018-09-08	NA (2)	-	-	-
2018-09-14		NA (1)	-	-	-
2018-09-21		NA (1)	-	-	-
2018-09-28		NA (1)	-	-	-
2018-10-05		NA (1)	-	-	-
2018-10-12		NA (1)	-	-	-
2018-10-14		-	-	-	2.8 (NA)
2018-10-19		NA (1)	-	-	-

2018-10-26		NA (1)	-	-	
2018-11-02		NA (1)	-	-	
2018-11-16	2018-11-17	NA (2)	-	-	-
2018-11-23	2018-11-24	NA (2)	-	-	-
2018-11-30	2018-12-01	NA (2)	-	-	-
2018-12-07		NA (1)	-	-	-
2018-12-13	2018-12-14	NA (2)	-	-	-
2018-12-20	2018-12-21	NA (2)	-	-	-
2018-12-27	2018-12-28	NA (2)	-	-	-

**Tabla B.15. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica Paysandú.**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1984-02-21		-	-	-	18.6 (NA)
1986-06-22		-	-	-	15.9 (Corrección Inumet: 17.3)
1990-12-09		-	-	-	17.2 (Corrección Inumet: 21.8)
1996-05-10		-	-	-	13.5 (Corrección Inumet: 24.4)
2003-08-16		-	-	-	6 (NA)
2005-08-25		-	-	-	7 (Corrección Inumet: 17)
2013-11-09		-	-	-	20.3 (NA)
2014-06-24	2014-06-25	NA (2)	-	-	-
2014-09-10		-	-	-	12.8 (NA)
2014-09-28	2014-10-01	NA (4)	-	-	-
2015-12-06		NA (1)	-	-	-
2015-12-13		NA (1)	-	-	-
2015-12-20		NA (1)	-	-	-
2015-12-27		NA (1)	-	-	-
2016-01-03		NA (1)	-	-	-
2016-01-10		NA (1)	-	-	-
2016-01-24		NA (1)	-	-	-
2016-01-31		NA (1)	-	-	-
2016-02-07		NA (1)	-	-	-
2016-02-14		NA (1)	-	-	-
2016-02-21		NA (1)	-	-	-
2016-05-01		NA (1)	-	-	-
2016-09-18		NA (1)	-	-	-
2016-09-20	2016-10-01	NA (12)	-	-	-
2016-10-04		NA (1)	-	-	-
2016-10-11		NA (1)	-	-	-
2016-10-18		NA (1)	-	-	-
2016-10-25		NA (1)	-	-	-
2016-10-29		NA (1)	-	-	-

2016-11-01		NA (1)	-	-	-
2016-11-08		NA (1)	-	-	-
2016-11-15		NA (1)	-	-	-
2016-11-17	2016-11-18	NA (2)	-	-	-
2016-11-21		-	-	12<18.5	-
2016-11-22		NA (1)	-	-	-
2016-11-29		NA (1)	-	-	-
2016-12-05	2016-12-06	NA (2)	-	-	-
2016-12-08		NA (1)	-	-	-
2016-12-13		NA (1)	-	-	-
2016-12-16		-	-	19<26	-
2016-12-20		NA (1)	-	-	-
2016-12-27	2016-12-28	NA (2)	-	-	-
2017-01-03	2017-01-04	NA (2)	-	-	-
2017-01-10	2017-01-11	NA (2)	-	-	-
2017-01-17	2017-01-18	NA (2)	-	-	-
2017-01-24	2017-01-25	NA (2)	-	-	-
2017-01-31	2017-02-01	NA (2)	-	-	-
2017-02-07	2017-02-08	NA (2)	-	-	-
2017-02-14	2017-02-15	NA (2)	-	-	-
2017-02-21	2017-02-22	NA (2)	-	-	-
2017-02-28	2017-03-01	NA (2)	-	-	-
2017-03-07	2017-03-08	NA (2)	-	-	-
2017-03-14	2017-03-15	NA (2)	-	-	-
2017-03-21	2017-03-22	NA (2)	-	-	-
2017-03-28	2017-03-29	NA (2)	-	-	-
2017-04-04	2017-04-05	NA (2)	-	-	-
2017-04-11	2017-04-12	NA (2)	-	-	-
2017-04-18	2017-04-19	NA (2)	-	-	-
2017-04-25	2017-04-26	NA (2)	-	-	-
2017-05-02	2017-05-03	NA (2)	-	-	-
2017-05-09	2017-05-10	NA (2)	-	-	-
2017-05-16	2017-05-17	NA (2)	-	-	-
2017-05-23	2017-05-24	NA (2)	-	-	-
2017-05-30	2017-05-31	NA (2)	-	-	-
2017-06-06	2017-06-07	NA (2)	-	-	-
2017-06-13	2017-06-14	NA (2)	-	-	-
2017-06-20	2017-06-21	NA (3)	-	-	-
2017-06-27	2017-06-28	NA (2)	-	-	-
2017-07-04	2017-07-06	NA (3)	-	-	-
2017-07-11	2017-07-12	NA (2)	-	-	-
2017-07-18	2017-07-19	NA (2)	-	-	-
2017-07-25	2017-07-26	NA (2)	-	-	-
2017-08-01	2017-08-02	NA (2)	-	-	-
2017-08-08	2017-08-09	NA (2)	-	-	-
2017-08-15	2017-08-16	NA (2)	-	-	-
2017-08-22	2017-08-23	NA (2)	-	-	-
2017-08-29	2017-10-30	NA (2)	-	-	-
2017-09-05	2017-09-06	NA (2)	-	-	-
2017-09-12	2017-09-13	NA (2)	-	-	-

2017-09-19	2017-09-20	NA (2)	-	-	-
2017-09-26	2017-09-27	NA (2)	-	-	-
2017-10-03	2017-10-04	NA (2)	-	-	-
2017-10-10	2017-10-11	NA (2)	-	-	-
2017-10-17	2017-10-18	NA (2)	-	-	-
2017-10-24	2017-10-25	NA (2)	-	-	-
2017-10-31	2017-11-01	NA (2)	-	-	-
2017-11-07	2017-11-08	NA (2)	-	-	-
2017-11-14	2017-11-15	NA (2)	-	-	-
2017-11-21	2017-11-22	NA (2)	-	-	-
2017-11-28	2017-11-29	NA (2)	-	-	-
2017-12-04		-	-	-	20.3 (NA)
2017-12-05	2017-12-06	NA (2)	-	-	-
2017-12-12	2017-12-13	NA (2)	-	-	-
2017-12-19	2017-12-20	NA (2)	-	-	-
2017-12-26	2017-12-27	NA (2)	-	-	-
2017-12-29	2017-12-30	NA (2)	-	-	-
2018-01-05	2018-01-06	NA (2)	-	-	-
2018-01-12		NA (1)	-	-	-
2018-03-27		-	-	-	24.3 (NA)
2018-05-02		-	-	-	23 (NA)
2018-06-14	2018- 06 - 15	NA (2)	-	-	-
2018-06-21	2018-06-22	NA (2)	-	-	-
2018-06-26		NA (1)	-	-	-
2018-06-28	2018-06-29	NA (2)	-	-	-
2018-07-05	2018-07-06	NA (2)	-	-	-
2018-07-12	2018-07-13	NA (2)	-	-	-
2018-07-19	2018-07-20	NA (2)	-	-	-
2018-07-26	2018-07-27	NA (2)	-	-	-
2018-08-02	2018-08-03	NA (2)	-	-	-
2018-08-09	2018-08-10	NA (2)	-	-	-
2018-08-16	2018-08-17	NA (2)	-	-	-
2018-08-23	2018-08-24	NA (2)	-	-	-
2018-08-30	2018-08-31	NA (2)	-	-	-
2018-09-06	2018-09-07	NA (2)	-	-	-
2018-09-14		NA (1)	-	-	-
2018-09-21		NA (1)	-	-	-
2018-09-28		NA (1)	-	-	-
2018-10-05		NA (1)	-	-	-
2018-10-12		NA (1)	-	-	-
2018-10-26		NA (1)	-	-	-
2018-11-02		NA (1)	-	-	-
2018-11-09		NA (1)	-	-	-
2018-11-16	2018-11-17	NA (2)	-	-	-
2018-11-23	2018-11-24	NA (2)	-	-	-
2018-11-30	2018-12-01	NA (2)	-	-	-
2018-12-07		NA (1)	-	-	-
2018-12-13		NA (1)	-	-	-

2018-12-19	2018-12-20	NA (2)	-	-	-
2018-12-26	2018-12-27	NA (2)	-	-	-

**Tabla B.16. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica Mercedes.**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1982-06-14		-	-	-	12.8 (por NA)
1993-08-09		-	-	-	-8 (Corrección Inumet: -3.6)
1998-07-21	1998-11-09	NA (112)	-	-	-
2005-03-19		-	-	-	25.8 (por NA)
2008-06-25		-	-	-	12 (Corrección Inumet: 6.4)
2011-01-19		-	-	-	21.7 (Corrección Inumet: 19.3)
2015-11-29	2016-04-16	NA (140)	-	-	-
2016-04-20	2016-07-22	NA (94)	-	-	-
2016-07-24	2016-08-29	NA (37)	-	-	-
2016-09-03		NA (1)	-	-	-
2016-11-16		-	-	-	2.6 (NA)
2016-12-07		-	-	-	8 (NA)
2017-11-26		-	-	-	5 (NA)
2018-06-26		-	-	-	10.8 (Corrección Inumet: -0.6)

**Tabla B.17. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica Mercedes.**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1988-03-27		-	-	-	22.5 (NA)
1996-02-17		-	-	-	23.4 (Corrección Inumet: 26.4)
1997-01-02		-	-	-	21.8 (NA)
2001-04-15		-	-	-	16.8 (NA)
2002-11-25		-	-	-	22.8 (NA)
2003-11-18		-	-	-	16 (NA)
2003-12-04		-	-	-	18.7 (NA)
2004-05-02		-	-	-	10.8 (Corrección Inumet: 21.1)
2004-08-12		-	-	-	11.6 (NA)

2006-01-11		-	-	-	24.6 (Corrección Inumet: 24.8)
2006-10-10	2006-10-14	NA (5)	-	-	-
2007-11-24		-	-	-	19.1 (NA)
2011-10-07		-	-	-	14.2 (NA)
2011-12-07		-	-	-	23 (Corrección Inumet: 32.5)
2012-02-05		-	-	-	36.7 (NA)
2014-01-01		-	-	-	27.3 (Corrección Inumet: 36)
2014-03-01		-	-	-	19.8 (Corrección Inumet: 26.6)
2015-11-29	2016-04-16	NA (140)	-	-	-
2016-04-19	2016-07-22	NA (95)	-	-	-
2016-07-24	2016-08-29	NA (37)	-	-	-
2016-08-31		NA (1)	-	-	-
2016-09-03		NA (1)	-	-	-

**Tabla B.18. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica Rocha.**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1982-10-29		-	-	-	15 (Corrección Inumet: 12.8)
1984-12-05		-	-	-	22.6 (Corrección Inumet: 17.8)
1987-04-16		-	-	-	19.9 (Corrección Inumet: 18.3)
1987-05-07		-	-	-	15.2 (Corrección Inumet: 14)
1988-12-01		-	-	-	5 (Corrección Inumet: 15)
1996-02-23		-	-	-	22.8 (Corrección Inumet: 20.1)
1996-09-19		-	-	-	13.5 (Corrección Inumet: 12.2)
2007-01-18		-	-	-	19.4 (Corrección Inumet: 18.5)
2012-03-07		-	-	-	11.8 (Corrección Inumet: 21.8)
2012-03-08		-	-	-	21.7 (Corrección Inumet: 20.2)
2014-07-30		-	-	-	13.2 (NA)

2016-07-09	2016-07-10	NA (2)	-	-	-
2018-08-21	2018-08-22	NA (2)	-	-	-
2018-11-29		NA (1)	-	-	-

**Tabla B.19. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica Rocha.**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outlier s	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1986-02-21		-	-	-	22.1 (NA)
1986-07-13		-	-	-	12 (NA)
1987-03-16		-	-	-	19.6 (NA)
1987-09-18		-	-	-	26.4 (NA)
1990-04-11		-	-	-	18.8 (Corrección Inumet: 19.6)
1991-01-24		-	-	-	18.8 (Corrección Inumet: 29.8)
1991-04-11		-	-	-	16 (Corrección Inumet: 24.8)
2006-03-15	2006-05-09	NA (56)	-	-	-
2013-10-25		-	-	-	15.8 (NA)
2014-08-22		-	-	-	29.4 (NA)
2016-07-09	2016 -07 -10	NA (2)	-	-	-
2018-08-21	2018-08-22	NA (2)	-	-	-
2018-12-27		NA (1)	-	-	-

**Tabla B.20. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica Carrasco.**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1983-01-15		-	-	-	12 (Corrección Inumet: 17)
1991-11-23		-	-	-	20 (Corrección Inumet: 16.2)
1992-02-06		-	-	-	13 (Corrección Inumet: 22)
1993-08-05		-	-	-	12.4 (Corrección Inumet: 10.2)
1997-02-21		-	-	-	8 (NA)
1997-03-07		-	-	-	10.5 (NA)
1998-10-28		-	-	-	7.5 (NA)
2005-03-22		-	-	-	20.2 (NA)

2005-10-14		-	-	-	10.6 (Corrección Inumet: 9)
2011-07-15		-	-	-	15 (Corrección Inumet: 11.5)
2011-09-04		-	-	-	12.8 (Corrección Inumet: 9.4)
2012-01-08		-	-	-	14 (NA)
2012-12-26	2012-12-31	NA (6)	-	-	-
2013-07-24	2013-09-08	NA (47)	-	-	-
2013-09-10	2013-09-11	NA (2)	-	-	-
2013-09-13	2013-10-30	NA (48)	-	-	-
2013-11-01	2013-12-06	NA (36)	-	-	-
2014-10-18		NA (1)	-	-	-
2014-12-09	2015-02-07	NA (61)	-	-	-
2015-02-22		NA (1)	-	-	-
2015-03-20		NA (1)	-	-	-
2015-03-28		-	-	-	9 (Corrección Inumet: 10)
2015-04-12		-	-	-	8.8 (Corrección Inumet: 10)
2015-05-27	2015-07-03	NA (38)	-	-	-
2015-07-22		NA (1)	-	-	-
2016-02-11		-	-	-	14.6 (Corrección Inumet: 20.5)
2016-05-29		NA (1)	-	-	-
2016-07-03		-	-	11.6<12 (Corrección Inumet: Tx=22.2, Tn=12.8)	-
2016-07-29		-	-	10.4<11.6 (Corrección Inumet: Tx=16, Tn=3.5)	-
2016-09-11		NA (1)	-	-	-
2016-09-14		NA (1)	-	-	-
2016-09-20		-	-	13.2<14.6 (Corrección Inumet: Tx=16.2, Tn=11)	-
2016-09-27		NA (1)	-	-	-
2016-10-23		-	-	13.6<15.3	-

2016-12-09		NA (1)	-	(Corrección Inumet: Tx=19, Tn=12)	-
2016-12-14	2016-12-15	NA (2)	-	-	-
2016-12-17		NA (1)	-	-	-
2016-12-19		NA (1)	-	-	-
2016-12-22	2016-12-25	NA (4)	-	-	-
2016-12-27	2017-07-27	NA (213)	-	-	-
2017-07-29		-	-	12.8<15.8 (Corrección Inumet: Tx=24.4, Tn=15.8)	-
2017-07-30		NA (1)	-	-	-
2017-08-25	2017-08-26	NA (2)	-	-	-
2017-09-02		-	-	16<18.1 (Corrección Inumet: Tx=26.6, Tn=18.1)	-
2017-09-03		-	-	15.4<16.4 (Corrección Inumet: Tx=25, Tn=16.4)	-
2017-11-27		NA (1)	-	-	-
2017-12-06		NA (1)	-	-	-
2018-05-31		NA (1)	-	-	-
2018-08-21	2018-08-22	NA (2)	-	-	-

**Tabla B.21. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica Carrasco.**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1986-02-17		-	-	-	19.3 (Corrección Inumet: 22.4)
1990-01-24		-	-	-	23.2 (NA)
1991-06-27		-	-	-	20 (Corrección Inumet:12.1)
1992-07-23		-	-	-	6.2 (Corrección Inumet:7.4)
1997-03-30		-	-	-	16.5 (Corrección Inumet: 30.8)

2002-06-15		-	-	-	5.5 (Corrección Inumet: 13.2)
2002-09-06		-	-	-	26 (Corrección Inumet: 20.8)
2005-04-08		-	-	-	14 (Corrección Inumet: 20.2)
2010-11-04		-	-	-	30.2 (NA)
2011-01-17		-	-	-	36.4 (NA)
2012-12-31	2013-01-01	NA (2)	-	-	-
2014-10-18		NA (1)	-	-	-
2014-12-13	2015-12-16	NA (4)	-	-	-
2014-12-18	2015-12-20	NA (3)	-	-	-
2014-12-23	2014-12-24	NA (2)	-	-	-
2015-02-22		NA (1)	-	-	-
2015-03-20		NA (1)	-	-	-
2015-07-01		NA (1)	-	-	-
2016-03-03		NA (1)	-	-	-
2016-04-07	2016-05-28	NA (52)	-	-	-
2016-07-03		-	-	11.6<12	-
2016-07-29		-	-	10.4<11. 6	-
2016-09-09		NA (1)	-	-	-
2016-09-12		NA (1)	-	-	-
2016-09-20		-	-	13.2<14. 6	-
2016-10-23		-	-	13.6<15. 3	-
2017-02-18		NA (1)	-	-	-
2017-06-17	2017-06-19	NA (3)	-	-	-
2017-07-02		NA (1)	-	-	-
2017-07-12		NA (1)	-	-	-
2017-07-17	2017-07-18	NA (2)	-	-	-
2017-09-29		-	-	12.8<15. 8	-
2017-08-23		NA (1)	-	-	-
2017-09-02		-	-	16<18.1	-
2017-09-03		-	-	15.4<16. 4	-
2017-12-04		NA (1)	-	-	-
2018-08-21	2018-08-22	NA (1)	-	-	-
2018-12-07		NA (1)	-	-	-
2018-12-17		NA (1)	-	-	-

**Tabla B.22. Datos faltantes y tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura mínima (Tn) de la estación meteorológica Prado.**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1982-11-24		-	-	-	24 (Corrección Inumet: 18.4)
1985-09-12		-	-	-	16.6 (NA)
1986-01-12		-	-	-	25.4 (Corrección Inumet: 23.1)
1987-02-21		-	-	-	12.1 (Corrección Inumet: 21)
1989-01-30		-	-	-	12.2 (NA)
1993-10-08		-	-	-	18.4 (Corrección Inumet: 12)
1995-09-03		-	-	-	-1.4 (Corrección Inumet: 1.4)
1996-08-06		-	-	-	0.5 (Corrección Inumet: 9.5)
2004-04-07		-	-	-	13 (Corrección Inumet: 20.1)
2011-12-11	2011-12-13	NA (3)	-	-	-
2015-04-06		NA (1)	-	-	-
2015-06-24		-	-	-	0.8 (NA)
2015-08-09		-	-	-	22.8 (NA)
2016-07-14		NA (1)	-	-	-
2016-09-17	2016-09-22	NA (6)	-	-	-
2016-10-29		-	-	-	28.2 (NA)
2016-10-30		NA (1)	-	-	-
2016-11-02		NA (1)	-	-	-
2016-11-13		NA (1)	-	-	-
2016-12-30	2016-12-31	NA (2)	-	-	-
2017-01-04	2017-01-05	NA (2)	-	-	-
2017-01-09	2017-01-10	NA (2)	-	-	-
2017-01-14		NA (1)	-	-	-
2017-01-17		NA (1)	-	-	-
2017-01-23		NA (1)	-	-	-
2017-01-29		NA (1)	-	-	-
2017-02-03		NA (1)	-	-	-
2017-02-08		NA (1)	-	-	-
2017-02-19	2017-02-20	NA (2)	-	-	-
2017-02-22		NA (1)	-	-	-
2017-02-24		NA (1)	-	-	-
2017-02-26		NA (1)	-	-	-
2017-03-01	2017-03-02	NA (2)	-	-	-

2017-03-05		NA (1)	-	-	-
2017-03-11		NA (1)	-	-	-
2017-03-17		NA (1)	-	-	-
2017-03-21		NA (1)	-	-	-
2017-03-24		NA (1)	-	-	-
2017-03-26		NA (1)	-	-	-
2017-03-28	2017-03-30	NA (3)	-	-	-
2017-04-26		NA (1)	-	-	-
2017-04-28		NA (1)	-	-	-
2017-05-01		NA (1)	-	-	-
2017-05-05		NA (1)	-	-	-
2017-05-09	2017-05-11	NA (3)	-	-	-
2017-06-18	2017-06-19	NA (2)	-	-	-
2017-07-17	2017-07-18	NA (2)	-	-	-
2017-07-29	2017-07-30	NA (2)	-	-	-
2017-12-03	2017-12-04	NA (2)	-	-	-
2018-07-31		NA (1)	-	-	-

**Tabla B.23. Datos faltantes y Tipos de errores detectados en el control de calidad de temperatura máxima (Tx) de la estación meteorológica Prado.**

Fecha inicial (AAAA-MM-DD)	Fecha final	NAs (cant.)	Errores por outliers	Errores Tx < Tn	Errores por outliers sospechosos ( $\Delta T \geq 4\sigma$ )
1985-07-15		-	-	-	13.2 (Corrección Inumet: 15.8)
1990-10-23		-	-	-	16.8 (Corrección Inumet: 20)
2011-10-05		-	-	-	32 (Corrección Inumet: 18)
2011-10-10		-	-	-	32 (Corrección Inumet: 16.3)
2015-01-05		-	-	-	32.8 (NA)
2015-04-06		NA (1)	-	-	-
2015-08-09		-	31.3 [- 0.5, 30.67]	-	-
2016-01-24		-	-	-	36.5 (NA)
2016-07-14		NA (1)	-	-	-
2016-10-29		NA (1)	-	-	-
2016-11-02		-	-	-	14.3 (NA)
2016-11-13		NA (1)	-	-	-
2016-12-10		-	-	-	32.6 (Corrección Inumet: 31.6)
2016-12-29	2016-12-31	NA (3)	-	-	-

2017-01-04	2017-01-05	NA (2)	-	-	-
2017-01-09	2017-01-10	NA (2)	-	-	-
2017-01-14		NA (1)	-	-	-
2017-01-17		NA (1)	-	-	-
2017-01-23		NA (1)	-	-	-
2017-01-29		NA (1)	-	-	-
2017-02-03		NA (1)	-	-	-
2017-02-08		NA (1)	-	-	-
2017-02-19	2017-02-20	NA (2)	-	-	-
2017-02-22		NA (1)	-	-	-
2017-02-24		NA (1)	-	-	-
2017-02-26		NA (1)	-	-	-
2017-03-01	2017-03-02	NA (2)	-	-	-
2017-03-05		NA (1)	-	-	-
2017-03-11		NA (1)	-	-	-
2017-03-17		NA (1)	-	-	-
2017-03-21		NA (1)	-	-	-
2017-03-24		NA (1)	-	-	-
2017-03-26		NA (1)	-	-	-
2017-03-28	2017-03-30	NA (3)	-	-	-
2017-04-15		NA (1)	-	-	-
2017-04-18	2017-05-15	NA (28)	-	-	-
2017-06-18	2017-06-19	NA (2)	-	-	-
2017-07-17	2017-07-18	NA (2)	-	-	-
2017-07-29	2017-07-30	NA (2)	-	-	-
2017-12-03	2017-12-04	NA (2)	-	-	-
2018-02-18		NA (1)	-	-	-
2018-08-02		NA (1)	-	-	-

**Tabla B.24. Datos faltantes de temperatura máxima (Tx) y mínima (Tn) de las estaciones de estudio que cubren el período 1982-2018 sin control de calidad y con control de calidad.**

Estaciones	Art.	Car.	Est.	Mer.	Pay.	Pra.	Roc.	Sal.	Riv.	Mel.	Pdt
<b>NAs en Tx</b>	89	84	3	279	207	72	61	116	1838	375	148
<b>NAs en Tx con CC</b>	111	87	9	290	213	76	66	120	1843	375	150
<b>NAs en Tn</b>	99	476	2	384	195	58	5	177	1847	11	83
<b>NAs en Tn con CC</b>	113	480	12	390	199	63	6	178	1851	11	83

## Anexo C. Análisis exploratorio y estadístico para el semestre frío

**Tabla C.1. Estadísticos básicos de las series de Tx y Tn de las 11 estaciones meteorológicas seleccionadas después del control de calidad.**

Estación_Variable	Min.	Q1.	Median	Media	Q3	Max.	STD	NAs
a								
Artigas_Tn	-4.50	6.20	10.60	10.22	14.4	26.0	5.463649	12
Artigas_Tx	6.00	17.5	21.10	21.13	24.8	36.7	5.096467	20
Carrasco_Tn	-4.50	5.80	9.00	8.75	11.8	24.4	4.218794	236
Carrasco_Tx	6.20	13.6	16.60	17.03	20.0	33.6	4.538278	42
Estanzuela_Tn	-3.00	5.30	8.20	8.31	11.2	22.5	4.087321	3
Estanzuela_Tx	5.50	14.0	17.30	17.48	20.5	34.9	4.71625	4
Mercedes_Tn	-6.60	3.70	7.60	7.694	11.8	24.6	5.396447	225
Mercedes_Tx	6.90	16.0	19.20	19.41	22.6	36.1	4.875448	129
Paysandú_Tn	-3.30	5.50	9.00	9.131	12.8	24.2	5.713434	99
Paysandú_Tx	5.90	16.0	19.5	19.69	23.1	37.5	5.101993	115
Prado_Tn	-2.70	6.80	9.70	9.64	12.5	23.4	4.037526	24
Prado_Tx	6.20	13.8	16.9	17.23	20.2	35.9	6.047282	25
Rocha_Tn	-4.00	4.60	8.10	8.207	12.0	21.9	4.688454	5
Rocha_Tx	6.20	14.8	17.60	17.78	20.4	33.6	4.180358	17
Salto_Tn	-5.60	5.425	9.50	9.501	13.60	24.6	5.391851	62
Salto_Tx	5.40	17.20	20.80	20.92	24.50	38.4	5.150471	12
Melo_Tn	-6.40	4.40	8.60	8.358	12.50	22.7	5.276208	8
Melo_Tx	4.70	16.00	19.20	19.41	22.60	35.0	4.671029	242
PdT_Tn	-3.50	5.40	9.00	8.918	12.50	24.0	4.809448	39
PdT_Tx	6.40	15.60	18.80	19.09	22.30	37.4	4.901722	43
Rivera_Tn	-2.70	6.60	10.20	10.08	13.70	25.8	4.87628	938
Rivera_Tx	5.00	15.90	19.50	19.74	23.50	36.4	5.21574	928

**Tabla C.2. Resumen de los estadísticos de los datos previamente consistidos del total de datos por variable para el período de estudio.**

Variable	Min.	Q1	Mediana	Media	Q3	Max.	NAs
Tx	4.70	15.30	18.60	18.98	22.30	38.40	1577
Tn	-6.60	5.40	9.00	8.973	12.60	26.00	1651

**Tabla C.3 Resumen exploratorio de temperatura máxima (Tx) y mínima (Tn) de las estaciones de estudio que cubren el período 1982-2018 con control de calidad.**

<b>Estación_Variable</b>	<b>Min.</b>	<b>Fecha de min.</b>	<b>Mediana</b>	<b>Media</b>	<b>Max.</b>	<b>Fecha de max.</b>
Artigas_Tn	-4.50	1996-06-29	14.6	13.7	26.0	1991-10-14
Artigas_Tx	6.00	1994-07-08 2007-07-01	25.60	25.21	36.7	1994-07-08
Carrasco_Tn	-4.50	2002-06-13	12.5	12.3	24.4	2007-09-10
Carrasco_Tx	6.20	1991-08-01	21.0	21.0	33.6	2006-10-24
Estanzuela_Tn	-3.00	1984-07-22 1989-07-03	12.10	11.93	22.5	2013-09-11
Estanzuela_Tx	5.50	1992-07-15	21.80	21.78	34.9	2014-10-27
Mercedes_Tn	-6.60	1988-07-12 2007-07-12	12.10	11.57	24.6	2009-10-30
Mercedes_Tx	6.90	1992-07-15	24.00	23.82	36.1	2013-09-12
Paysandú_Tn	-3.30	2012-06-07	13.20	12.69	24.2	2009-10-30
Paysandú_Tx	5.90	2000-07-11 2000-07-13	24.20	24.1	37.5	2009-10-30
Prado_Tn	-2.7	2009-07-31	13.40	13.22	23.4	2013-09-11
Prado_Tx	6.20	2007-07-10	21.30	21.25	35.9	2013-09-12
Rocha_Tn	-4.00	2007-07-29 2015-07-14	11.90	11.52	21.9	2013-09-12
Rocha_Tx	6.20	1991-08-01	21.60	21.67	33.6	2013-09-13
Salto_Tn	-5.60	2012-06-09	13.90	13.15	24.6	1994-09-24
Salto_Tx	5.40	2000-07-13	25.40	25.17	38.4	2013-09-13
Melo_Tn	-6.40	1996-06-30	12.40	11.79	22.7	1991-05-28
Melo_Tx	4.70	1992-07-18	23.80	23.58	35.0	2002-08-26
PdT_Tn	-3.50	1987-06-14 2012-07-30	13.20	12.71	24.0	1994-09-20
PdT_Tx	6.4	2007-07-10	23.70	23.51	37.4	2009-10-30
Rivera_Tn	-2.70	1996-06-30	13.90	13.29	25.8	1991-10-14
Rivera_Tx	5.00	2007-07-10	24.30	23.86	36.4	1993-10-11 2014-10-28

## Anexo D. Correlaciones de Pearson

Tabla D.1. Correlaciones con el Método de Pearson de temperatura mínima (Tn).

Parámetro 1	Parámetro 2	r	95% [CI bajo, CI alto]	t	df	p	No. observaciones
Artigas	Carrasco	0.85	[0.84,0.85]	183.56	12970	< .001***	12972
Artigas	Estanzuela	0.85	[0.84,0.85]	183.75	13387	< .001***	13389
Artigas	Mercedes	0.88	[0.88,0.89]	213.39	13009	< .001***	13011
Artigas	Paysandú	0.90	[0.90,0.90]	237.53	13227	< .001***	13229
Artigas	Prado	0.83	[0.83,0.84]	174.22	13345	< .001***	13347
Artigas	Rocha	0.80	[0.79,0.80]	153.46	13393	< .001***	13395
Artigas	Salto	0.92	[0.92,0.92]	268.85	13221	< .001***	13223
Artigas	Melo	0.89	[0.89,0.90]	229.91	13388	< .001***	13390
Artigas	PdT	0.92	[0.91,0.92]	266.59	13316	< .001***	13318
Artigas	Rivera	0.94	[0.94,0.95]	306.33	11566	< .001***	11568
Carrasco	Estanzuela	0.91	[0.91,0.91]	251.38	13021	< .001***	13023
Carrasco	Mercedes	0.90	[0.89,0.90]	227.09	12644	< .001***	12646
Carrasco	Paysandú	0.89	[0.88,0.89]	218.59	12900	< .001***	12902
Carrasco	Prado	0.96	[0.96,0.96]	403.39	13010	< .001***	13012
Carrasco	Rocha	0.91	[0.90,0.91]	244.93	13028	< .001***	13030
Carrasco	Salto	0.87	[0.87,0.88]	203.93	12943	< .001***	12945
Carrasco	Melo	0.85	[0.85,0.86]	186.78	13026	< .001***	13028
Carrasco	PdT	0.91	[0.91,0.92]	257.66	12954	< .001***	12956
Carrasco	Rivera	0.87	[0.87,0.88]	188.42	11185	< .001***	11187
Estanzuela	Mercedes	0.91	[0.91,0.91]	254.54	13113	< .001***	13115
Estanzuela	Paysandú	0.90	[0.90,0.90]	239.31	13301	< .001***	13303
Estanzuela	Prado	0.91	[0.91,0.91]	254.00	13438	< .001***	13440
Estanzuela	Rocha	0.84	[0.84,0.85]	182.43	13496	< .001***	13498
Estanzuela	Salto	0.87	[0.87,0.88]	206.59	13324	< .001***	13326
Estanzuela	Melo	0.80	[0.80,0.81]	156.58	13489	< .001***	13491
Estanzuela	PdT	0.91	[0.90,0.91]	250.33	13417	< .001***	13419
Estanzuela	Rivera	0.85	[0.85,0.86]	176.97	11650	< .001***	11652
Mercedes	Paysandú	0.93	[0.93,0.93]	289.75	12938	< .001***	12940
Mercedes	Prado	0.89	[0.89,0.90]	226.12	13060	< .001***	13062
Mercedes	Rocha	0.85	[0.85,0.86]	187.92	13118	< .001***	13120
Mercedes	Salto	0.93	[0.93,0.93]	293.57	12948	< .001***	12950
Mercedes	Melo	0.86	[0.85,0.86]	189.60	13111	< .001***	13113
Mercedes	PdT	0.94	[0.94,0.94]	323.59	13040	< .001***	13042
Mercedes	Rivera	0.89	[0.89,0.90]	209.12	11273	< .001***	11275
Paysandú	Prado	0.89	[0.88,0.89]	219.08	13266	< .001***	13268
Paysandú	Rocha	0.83	[0.82,0.83]	169.26	13307	< .001***	13309
Paysandú	Salto	0.92	[0.92,0.93]	275.31	13136	< .001***	13138
Paysandú	Melo	0.85	[0.84,0.85]	185.38	13307	< .001***	13309
Paysandú	PdT	0.94	[0.94,0.94]	321.62	13239	< .001***	13241
Paysandú	Rivera	0.90	[0.90,0.91]	224.20	11467	< .001***	11469
Prado	Rocha	0.90	[0.90,0.91]	243.92	13443	< .001***	13445
Prado	Salto	0.87	[0.87,0.88]	205.00	13271	< .001***	13273
Prado	Melo	0.84	[0.83,0.84]	178.51	13442	< .001***	13444
Prado	PdT	0.92	[0.91,0.92]	263.52	13367	< .001***	13369
Prado	Rivera	0.87	[0.86,0.87]	188.28	11601	< .001***	13416
Rocha	Salto	0.84	[0.83,0.84]	178.12	13330	< .001***	11603
Rocha	Melo	0.85	[0.84,0.85]	184.53	13495	< .001***	13497
Rocha	PdT	0.87	[0.87,0.87]	204.46	13425	< .001***	13427
Rocha	Rivera	0.85	[0.84,0.85]	172.91	11655	< .001***	11657

Salto	Melo	0.87	[0.87, 0.88]	207.02	13323	< .001***	13325
Salto	PdT	0.94	[0.93, 0.94]	305.79	13254	< .001***	13256
Salto	Rivera	0.93	[0.92, 0.93]	262.23	11484	< .001***	11486
Melo	PdT	0.91	[0.91, 0.91]	253.94	13418	< .001***	13420
Melo	Rivera	0.92	[0.915,0.92]	250.22	11650	< .001***	11652
PdT	Rivera	0.94	[0.936,0.94]	290.63	11578	< .001***	11580

*p-value adjustment method: Holm (1979)*

*Observations: 12646-13498*

**Tabla D.2. Correlaciones con el Método de Pearson de temperatura máxima (Tx).**

Parámetro 1	Parámetro 2	r	95% [CI bajo, CI alto]	t	df	p	No. observaciones
Artigas	Carrasco	0.82	[0.82, 0.83]	165.95	13315	< .001***	13317
Artigas	Estanzuela	0.84	[0.83, 0.84]	175.81	13393	< .001***	13395
Artigas	Mercedes	0.87	[0.86, 0.87]	199.80	13115	< .001***	13117
Artigas	Paysandú	0.89	[0.88, 0.89]	221.49	13215	< .001***	13217
Artigas	Prado	0.83	[0.82, 0.83]	170.11	13339	< .001***	13341
Artigas	Rocha	0.84	[0.83, 0.84]	175.79	13335	< .001***	13337
Artigas	Salto	0.91	[0.91, 0.91]	255.23	13281	< .001***	13283
Artigas	Melo	0.91	[0.91, 0.92]	254.24	13029	< .001***	13031
Artigas	PdT	0.90	[0.90, 0.90]	237.52	13256	< .001***	13258
Artigas	Rivera	0.95	[0.95, 0.96]	344.06	11568	< .001***	11570
Carrasco	Estanzuela	0.91	[0.90, 0.91]	246.57	13416	< .001***	13418
Carrasco	Mercedes	0.90	[0.89, 0.90]	232.12	13186	< .001***	13188
Carrasco	Paysandú	0.87	[0.86, 0.87]	201.20	13218	< .001***	13220
Carrasco	Prado	0.94	[0.94, 0.94]	313.30	13354	< .001***	13356
Carrasco	Rocha	0.92	[0.91, 0.92]	265.64	13361	< .001***	13363
Carrasco	Salto	0.85	[0.84, 0.85]	182.60	13315	< .001***	13317
Carrasco	Melo	0.88	[0.88, 0.88]	211.16	13050	< .001***	13052
Carrasco	PdT	0.89	[0.89, 0.90]	231.15	13278	< .001***	13280
Carrasco	Rivera	0.83	[0.83, 0.84]	144.42	13293	< .001***	13295
Estanzuela	Mercedes	0.94	[0.94, 0.94]	162.82	13215	< .001***	13217
Estanzuela	Paysandú	0.90	[0.90, 0.91]	242.47	11582	< .001***	11584
Estanzuela	Prado	0.94	[0.94, 0.94]	312.06	13427	< .001***	13429
Estanzuela	Rocha	0.90	[0.90, 0.90]	239.58	13439	< .001***	13441
Estanzuela	Salto	0.88	[0.88, 0.89]	217.31	13385	< .001***	13387

Estanzuela	Melo	0.87	[0.87, 0.88]	203.20	13128	< .001***	13130
Estanzuela	PdT	0.91	[0.91, 0.91]	251.61	13354	< .001***	13356
Estanzuela	Rivera	0.84	[0.83, 0.84]	164.31	11662	< .001***	11664
Mercedes	Paysandú	0.95	[0.94, 0.95]	332.57	13021	< .001***	13023
Mercedes	Prado	0.92	[0.92, 0.92]	266.58	13148	< .001***	13150
Mercedes	Rocha	0.90	[0.90, 0.91]	240.46	13158	< .001***	13160
Mercedes	Salto	0.93	[0.93, 0.93]	292.93	13106	< .001***	13108
Mercedes	Melo	0.90	[0.89, 0.90]	230.89	12857	< .001***	12859
Mercedes	PdT	0.95	[0.95, 0.95]	346.44	13072	< .001***	13074
Mercedes	Rivera	0.87	[0.87, 0.88]	190.29	11381	< .001***	11383
Paysandú	Prado	0.89	[0.88, 0.89]	221.91	13245	< .001***	13247
Paysandú	Rocha	0.87	[0.87, 0.87]	202.90	13234	< .001***	13236
Paysandú	Salto	0.93	[0.93, 0.94]	300.68	13179	< .001***	13181
Paysandú	Melo	0.90	[0.90, 0.90]	232.88	12928	< .001***	12930
Paysandú	PdT	0.94	[0.94, 0.95]	326.04	13161	< .001***	13163
Paysandú	Rivera	0.88	[0.88, 0.89]	201.52	11456	< .001***	11458
Prado	Rocha	0.92	[0.92, 0.92]	275.22	13370	< .001***	13372
Prado	Salto	0.87	[0.86, 0.87]	200.16	13317	< .001***	13319
Prado	Melo	0.88	[0.88, 0.88]	212.43	13065	< .001***	13067
Prado	PdT	0.91	[0.90, 0.91]	247.34	13287	< .001***	13289
Prado	Rivera	0.78	[0.78, 0.79]	145.06	13305	< .001***	13307
Rocha	Salto	0.87	[0.86, 0.87]	200.53	13328	< .001***	13330
Rocha	Melo	0.91	[0.90, 0.91]	243.29	13071	< .001***	13073
Rocha	PdT	0.91	[0.91, 0.91]	252.93	13296	< .001***	13298
Rocha	Rivera	0.86	[0.855,0.87]	181.77	11606	< .001***	11608
Salto	Melo	0.90	[0.90, 0.90]	235.82	13017	< .001***	13019
Salto	PdT	0.93	[0.93, 0.93]	291.25	13242	< .001***	13244
Salto	Rivera	0.90	[0.90, 0.91]	231.39	11549	< .001***	11551
Melo	PdT	0.94	[0.94, 0.94]	322.29	12987	< .001***	12989
Melo	Rivera	0.94	[0.93,0.94]	293.09	11296	< .001***	11298
PdT	Rivera	0.92	[0.92,0.92]	248.54	11519	< .001***	11521

*p-value adjustment method: Holm (1979)*

*Observations: 12859-13441*

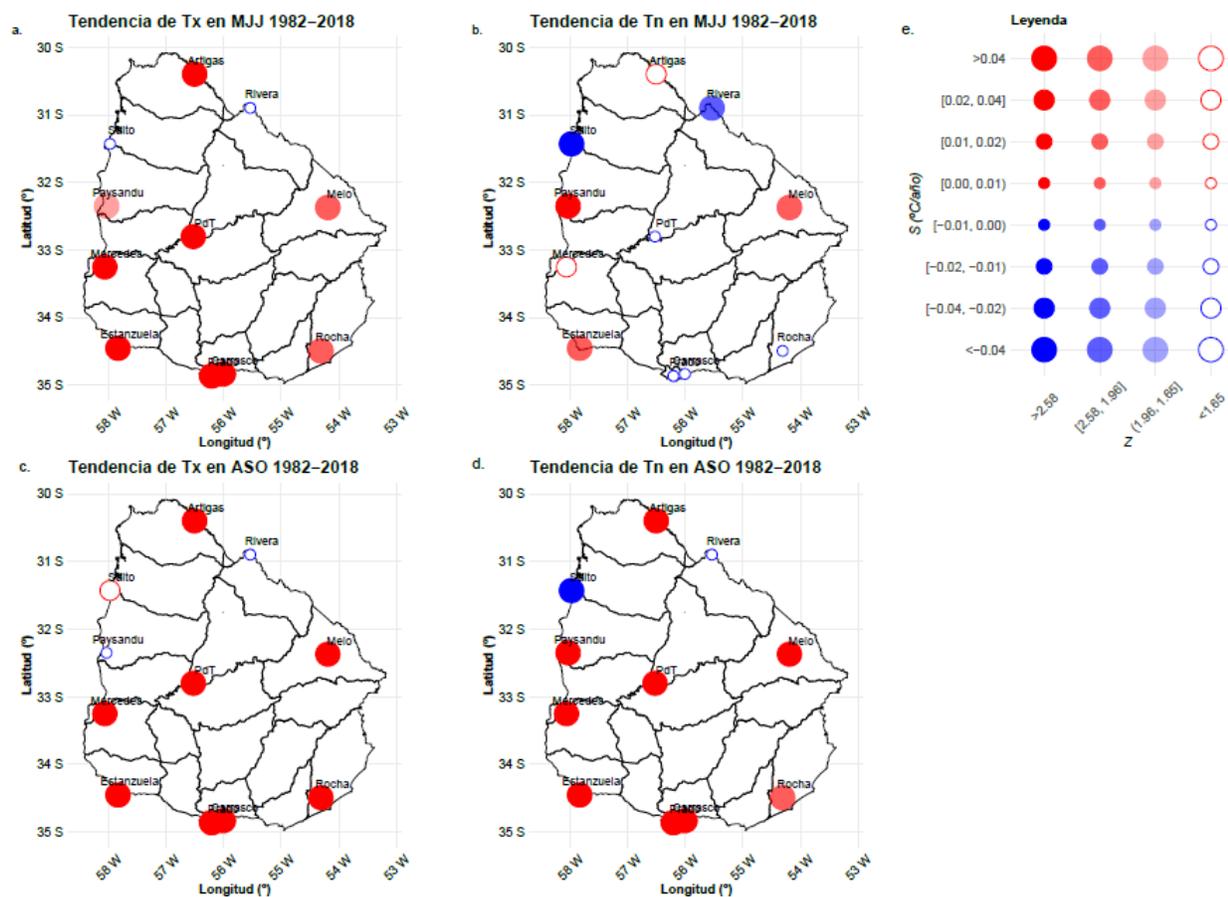
Interpretación común de los asteriscos en las tablas proporcionada:

(\*) indica que el valor  $p$  es menor que 0.05, lo que indica una correlación estadísticamente significativa al nivel de significancia del 5%.

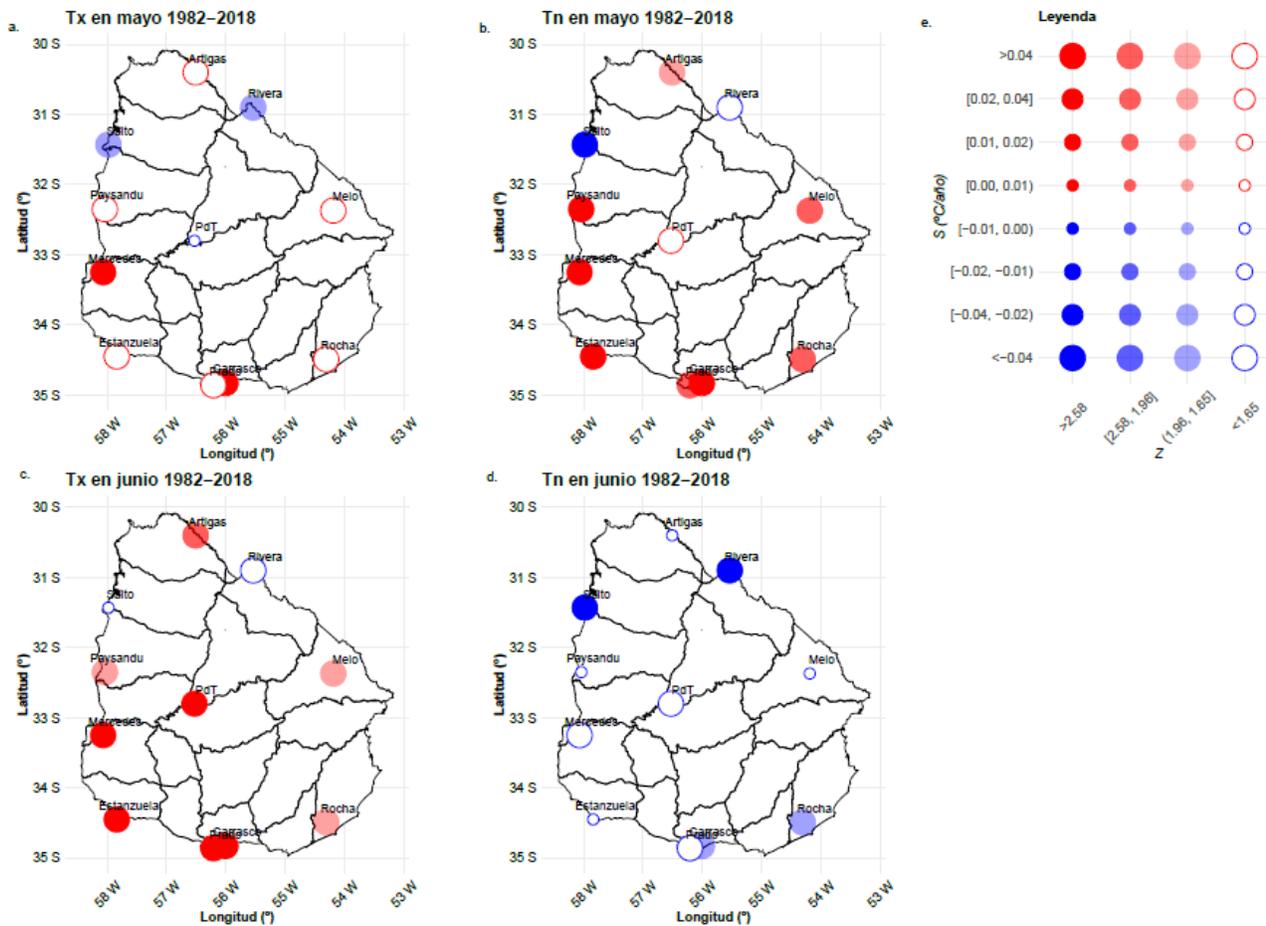
(\*\*) indican que el valor  $p$  es menor que 0.01, lo que indica una correlación estadísticamente significativa al nivel de significancia del 1%.

(\*\*\*) indican que el valor  $p$  es menor que 0.001, lo que indica una correlación estadísticamente significativa al nivel de significancia del 0.1%.

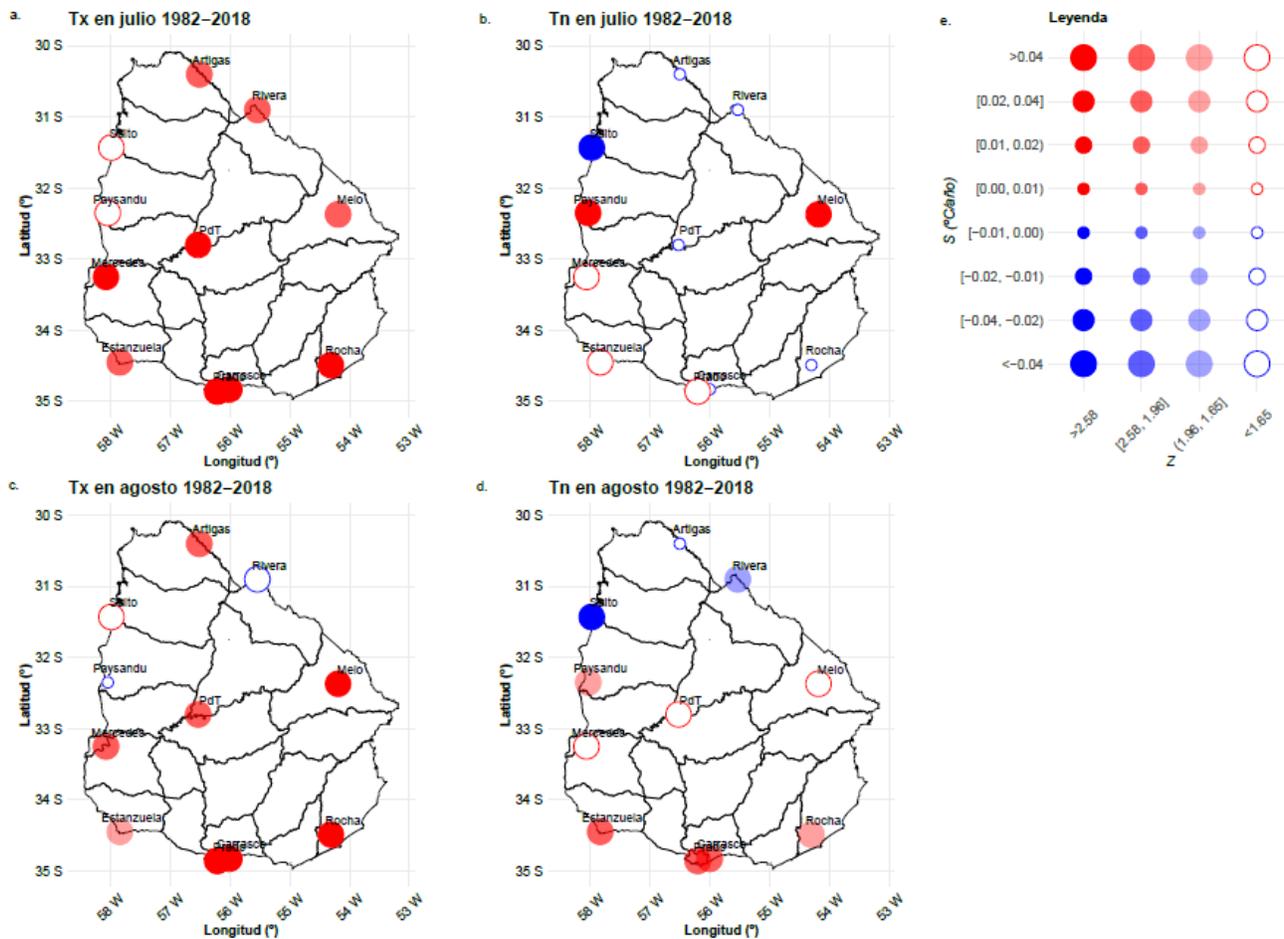
## Anexo E. Tendencias de temperatura máxima (Tx) y mínima (Tn).



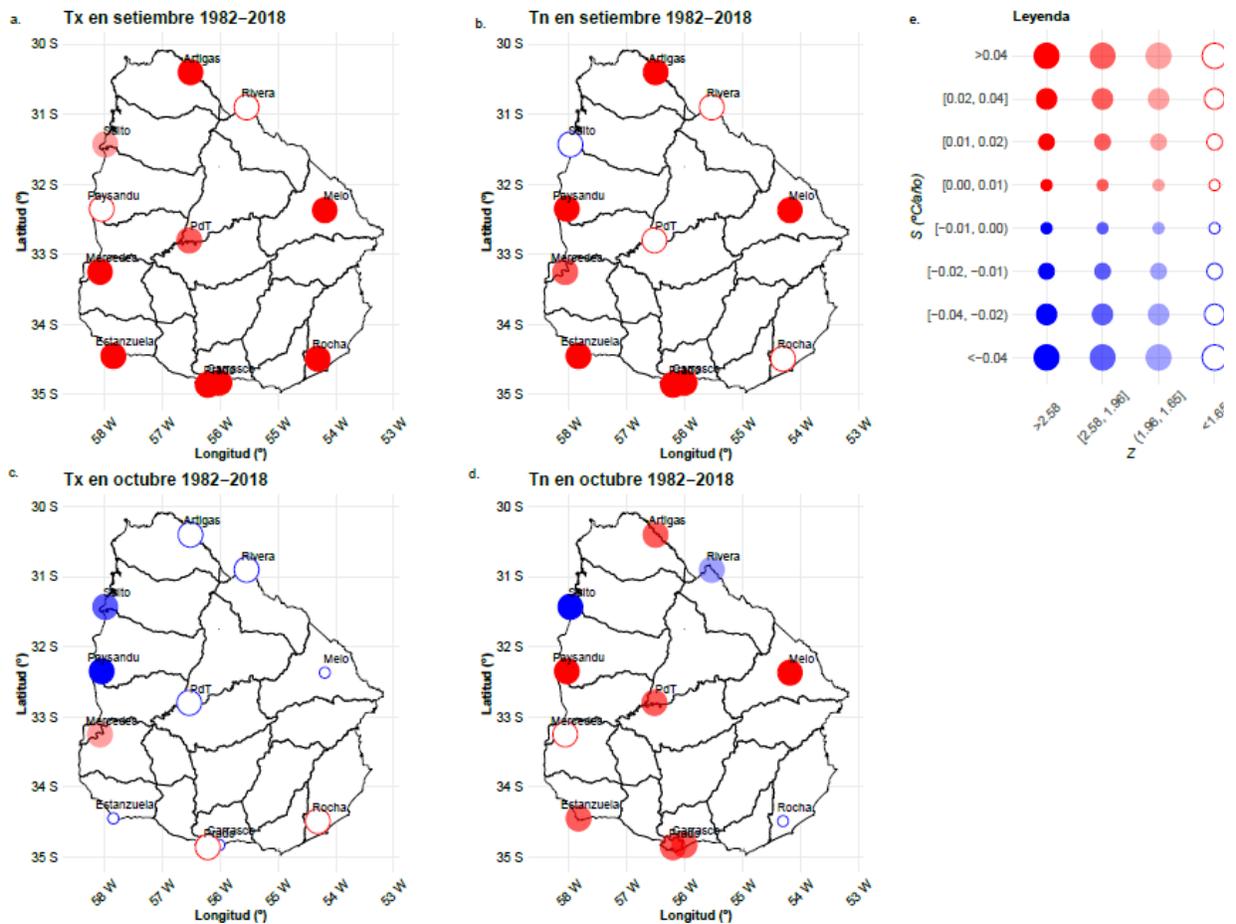
**Figura E.1.** Tendencias de (a, c) Tx y (b, d) Tn diarias de las estaciones meteorológicas durante los trimestres (a, b) MJJ y (c, d) ASO entre 1982 y 2018 (excepto Rivera: 1990–2018). Las pendientes ( $^{\circ}\text{C}/\text{año}$ ), estimadas mediante el test de Sen, se representan con círculos rojos (positivas) y azules (negativas), cuyo tamaño es proporcional a la magnitud. La significancia estadística (Mann–Kendall) se indica por transparencia según los umbrales ( $Z = 1.65, 1.96$  y  $2.58$ ), correspondientes a niveles de confianza del 90 %, 95 % y 99 %. Las estaciones sin tendencia significativa se muestran en blanco.



**Figura E.2.** Tendencias de (a, c) Tx y (b, d) Tn diarias de las estaciones meteorológicas durante (a, b) mayo y (c, d) junio entre 1982 y 2018 (excepto Rivera: 1990–2018). Las pendientes ( $^{\circ}\text{C}/\text{año}$ ), estimadas mediante el test de Sen, se representan con círculos rojos (positivas) y azules (negativas), cuyo tamaño es proporcional a la magnitud. La significancia estadística (Mann–Kendall) se indica por transparencia según los umbrales ( $Z = 1.65, 1.96$  y  $2.58$ ), correspondientes a niveles de confianza del 90 %, 95 % y 99 %. Las estaciones sin tendencia significativa se muestran en blanco (e.).

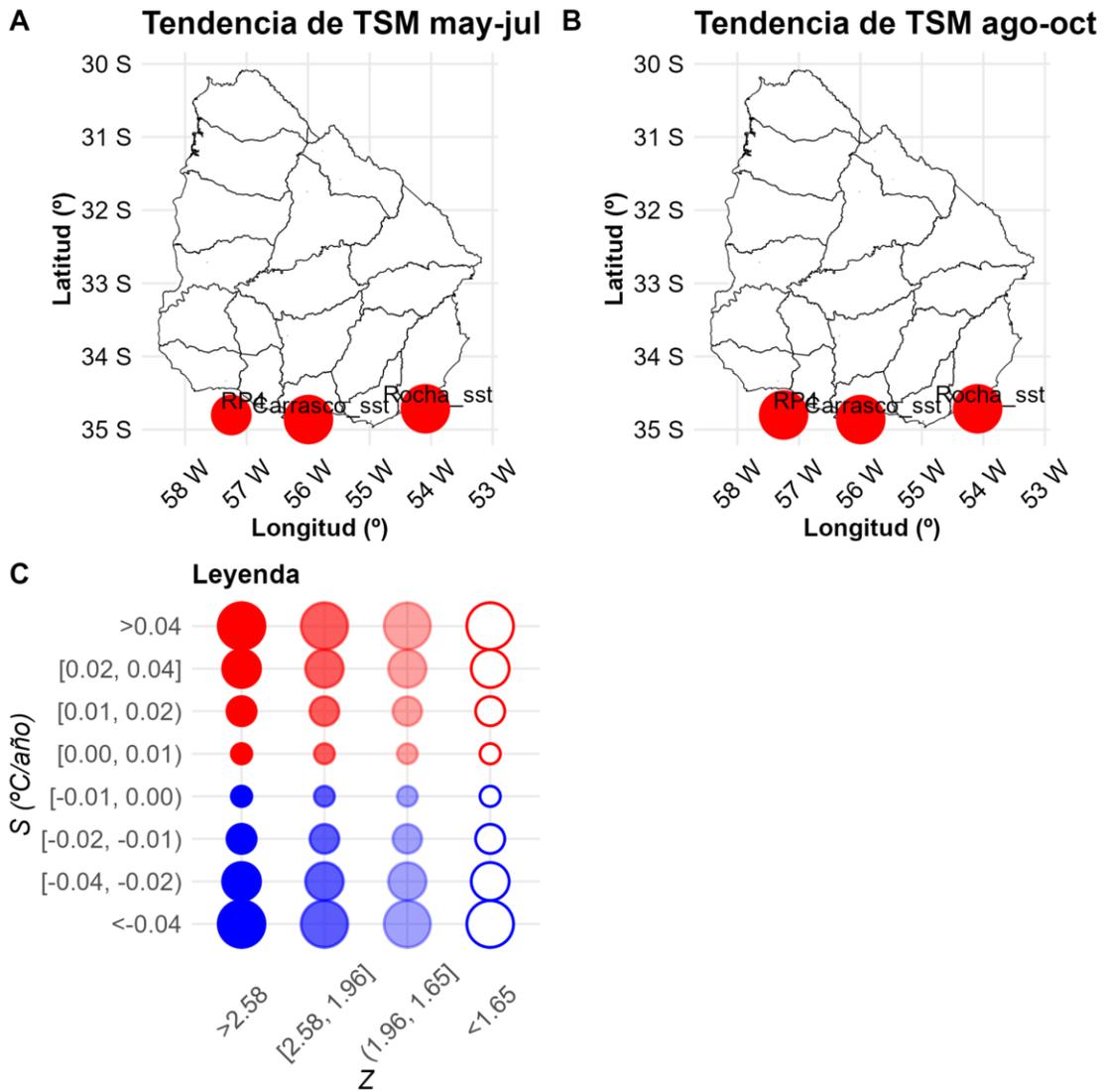


**Figura E.3.** Tendencias de (a, c) Tx y (b, d) Tn diarias de las estaciones meteorológicas durante (a, b) julio y (c, d) agosto entre 1982 y 2018 (excepto Rivera: 1990–2018). Las pendientes (°C/año), estimadas mediante el test de Sen, se representan con círculos rojos (positivas) y azules (negativas), cuyo tamaño es proporcional a la magnitud. La significancia estadística (Mann–Kendall) se indica por transparencia según los umbrales ( $Z = 1.65, 1.96$  y  $2.58$ ), correspondientes a niveles de confianza del 90 %, 95 % y 99 %. Las estaciones sin tendencia significativa se muestran en blanco (e.)

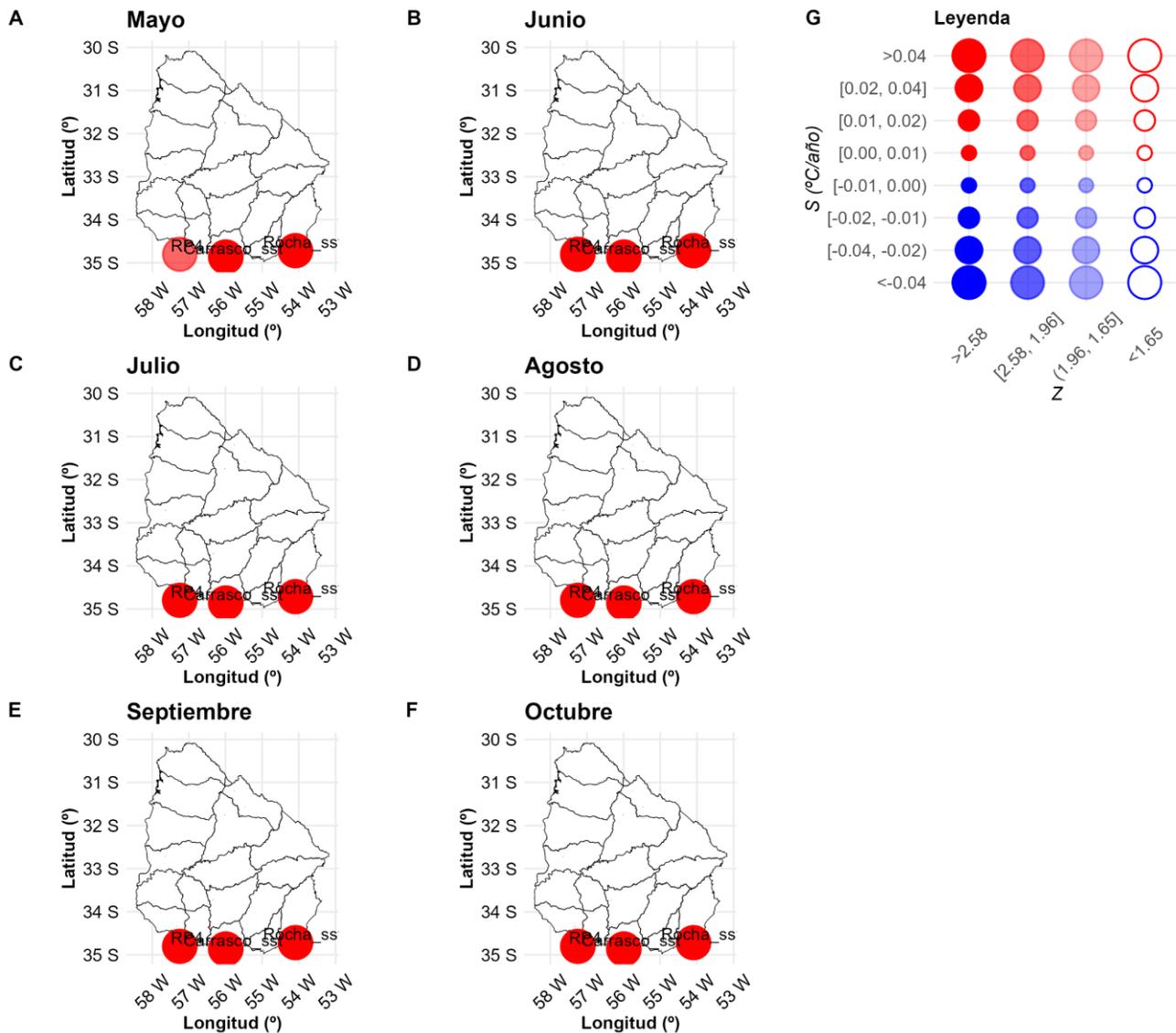


**Figura E.4.** Tendencias de (a, c) Tx y (b, d) Tn diarias de las estaciones meteorológicas seleccionadas durante (a, b) setiembre y (c, d) octubre entre 1982 y 2018 (excepto Rivera: 1990–2018). Las pendientes ( $^{\circ}\text{C}/\text{año}$ ), estimadas mediante el test de Sen, se representan con círculos rojos (positivas) y azules (negativas), cuyo tamaño es proporcional a la magnitud. La significancia estadística (Mann–Kendall) se indica por transparencia según los umbrales ( $Z = 1.65, 1.96$  y  $2.58$ ), correspondientes a niveles de confianza del 90 %, 95 % y 99 %. Las estaciones sin tendencia significativa se muestran en blanco (e.).

**Anexo F. Tendencias de temperatura superficial de mar (TSM).**



**Figura F.1.** Tendencias de la TSM diaria de los puntos marinos, seleccionados a partir del producto OISST v2.1, durante el trimestre (A) MJJ y (B) ASO entre 1982 y 2018. Las pendientes de las tendencias, estimadas mediante el test de Sen, se expresan en °C/año y se representan con el tamaño de los círculos: rojo para tendencias positivas y azul para negativas. La significancia estadística, evaluada mediante la prueba de Mann–Kendall (MK), se indica con distintos niveles de transparencia según tres umbrales ( $Z = 1.65, 1.96$  y  $2.58$ ), correspondientes a niveles de confianza del 90 %, 95 % y 99 %, respectivamente. Los puntos sin tendencia significativa se muestran en blanco (C).



**Figura F.2.** Tendencias de la temperatura superficial del mar (TSM) de los puntos marinos, seleccionados a partir del producto OISST v2.1, en cada mes del semestre frío entre 1982 y 2018. Las pendientes de las tendencias, estimadas mediante el test de Sen, se expresan en °C/año y se representan con el tamaño de los círculos: rojo para tendencias positivas y azul para negativas. La significancia estadística, evaluada mediante la prueba de Mann–Kendall (MK), se indica con distintos niveles de transparencia según tres umbrales ( $Z = 1.65, 1.96$  y  $2.58$ ), correspondientes a niveles de confianza del 90 %, 95 % y 99 %, respectivamente. Los puntos sin tendencia significativa se muestran en blanco (G).

## **Anexo G. Lista de abreviaturas**

- 10u:** Componente zonal del viento a 10 metros de altura (este-oeste).
- 10v:** Componente meridional del viento a 10 metros de altura (norte-sur).
- AHW:** Atmospheric Heatwaves, olas de calor atmosféricas.
- ASO:** Agosto, septiembre, octubre.
- AVHRR:** Advanced Very High Resolution Radiometer.
- $\beta$ :** Pendiente de la tendencia, según el estimador de Theil-Sen.
- Carrasco\_sst:** Punto marino frente a la costa de Carrasco.
- $\Delta T$ :** Variación interdiurna de temperatura.
- ETCCDI:** Equipo de Expertos sobre los Índices y la Detección del Cambio Climático.
- GHRSSST-MUR:** Group for High Resolution Sea Surface Temperature – Multi-scale Ultra-high Resolution.
- IQR:** Rango intercuartílico.
- INIA:** Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- IPCC:** Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.
- Inumet:** Instituto Uruguayo de Meteorología.
- LHF:** Flujo de calor latente aire-mar (Latent Heat Flux).
- MHW:** Marine Heatwaves, olas de calor marinas.
- MK:** Prueba estadística de Mann-Kendall.
- MJJ:** Mayo, junio, julio.
- msl:** Presión al nivel medio del mar (mean sea level pressure).
- NAs/NA:** Datos faltantes (Not Available).
- OCA\_50:** Ola de calor atmosférica generalizada ( $\geq 50$  % de estaciones meteorológicas).
- OC:** Ola de calor extrema, con superación simultánea de extremos en Tx y Tn.
- OCM:** Ola de calor marina (definida por TSM).
- OCM\_50:** Ola de calor marina generalizada ( $\geq 2/3$  de los puntos marinos).
- OCC\_50:** Ola de calor coexistente ( $\geq 50$  % estaciones costeras y  $\geq 50$  % puntos marinos).
- OCT\_50:** Ola de calor total ( $\geq 50$  % de estaciones totales y puntos marinos).
- OCS:** Ola de calor simple (definida por Tx).
- OF:** Ola de frío extrema, con superación simultánea de extremos en Tx y Tn.

**OFA\_50:** Ola de frío atmosférica generalizada ( $\geq 50$  % de estaciones meteorológicas).

**OFM:** Ola de frío marina (definida por TSM).

**OFM\_50:** Ola de frío marina generalizada ( $\geq 2/3$  de los puntos marinos).

**OFC\_50:** Olas de frío coexistentes ( $\geq 50$  % estaciones costeras y  $\geq 50$  % puntos marinos).

**OFT\_50:** Ola de frío total ( $\geq 50$  % de estaciones totales y puntos marinos).

**OFS:** Ola de frío simple (definida por Tx).

**OMM:** Organización Meteorológica Mundial.

**PdT:** Paso de los Toros.

**q<sub>A</sub>:** Humedad específica del aire a 10 metros sobre la superficie.

**q<sub>s</sub>:** Humedad específica a nivel de la superficie del mar.

**RClimDex:** Software utilizado para la detección de extremos y control de calidad climático.

**Rocha\_sst:** Punto marino frente a la costa de Rocha.

**RP4:** Punto en el Río de la Plata.

**S:** Estimador de tendencia según Theil-Sen.

**Sen:** Estimador de pendiente de Theil-Sen.

**SHF:** Flujo de calor sensible aire-mar (Sensible Heat Flux).

**std:** Desviación estándar.

**t<sub>2m</sub>:** Temperatura del aire a 2 metros de altura.

**TSM:** Temperatura superficial del mar.

**T<sub>n</sub>:** Temperatura mínima diaria.

**T<sub>x</sub>:** Temperatura máxima diaria.

**Z:** Estadístico estandarizado de la prueba de Mann-Kendall.

**$\sigma(j)$ :** Desviación estándar correspondiente al mes j.