

Climatología de las Olas de Calor en Argentina en el período 1961/62- 2022/23

Nota Técnica SMN 2024-165

Natalia Herrera¹

¹ *Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios. Dirección Central de Monitoreo del Clima, SMN.*

Febrero 2024

Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

Resumen

Se presenta una climatología de las Olas de Calor (OC) en Argentina en el período octubre-marzo entre los años 1961/62 y 2022/23. Se analizaron 68 estaciones meteorológicas agrupadas en 9 regiones: Litoral Norte, Litoral Sur, Norte, Noroeste, Cuyo, Centro Norte, Centro Sur, Buenos Aires y Patagonia. El Servicio Meteorológico Nacional de Argentina define un evento de OC cuando las temperaturas máximas y mínimas superan o igualan, por lo menos durante 3 días consecutivos y en forma simultánea, a ciertos valores umbrales que dependen de cada localidad (percentil 90 del semestre cálido octubre-marzo) y son calculados a partir del período 1961-2010. Se analizó a nivel regional los meses de ocurrencia, la duración de dichos eventos, y la cantidad de eventos durante el período. A nivel local y regional se analizaron las tendencias de los eventos de OC observados. La mayor cantidad de OC ocurrió en la región de Cuyo, el Litoral, el Norte y Buenos Aires. Las tendencias de OC son positivas en casi todo el país. Las únicas tendencias significativas fueron positivas y se dieron solamente en 12 estaciones meteorológicas, principalmente ubicadas en el oeste de Cuyo, noroeste de la Patagonia, sur de Santa Fe, norte del Litoral y centro y sur de la provincia de Buenos Aires. En cuanto a los meses de ocurrencia de las OC, las regiones Noroeste, Norte, Cuyo, Centro Norte y Litoral Sur presentan eventos en los 6 meses, con mayor ocurrencia en los meses de diciembre y enero. En cambio las regiones Centro Sur, Buenos Aires, Litoral Norte la mayor ocurrencia ocurrió en los meses de enero y febrero. Las regiones Litoral Sur, Centro Sur, Buenos Aires y Patagonia nunca han tenido una OC en octubre. Las OC más duraderas de la historia en Argentina se dieron en el Litoral.

Abstract

A climatic characterization of Heat Waves (HWs) in Argentina is presented in the October-March period between the years 1961/62 and 2022/23. 68 meteorological stations grouped into 9 regions (Litoral Norte, Litoral Sur, Norte, Noroeste, Cuyo, Centro Norte, Centro Sur, Buenos Aires y Patagonia) were analyzed. The Argentinian National Meteorological Service defines a HW event when maximum and minimum temperatures exceed or equal, for at least 3 consecutive days and simultaneously, certain threshold values that depend on each locality (90th percentile of the warm semester October-March) and are calculated for the period 1961-2010. The months of occurrence and duration of the HWs, and the number of events of HWs during the period, were analyzed at the regional level. Trends were analyzed at the local and regional level. The largest number of HWs occurred in Cuyo, Litoral, Norte and Buenos Aires. HWs trends are positive in almost the entire country. The only significant trends were positive and occurred only in 12 meteorological stations, mainly located in the west of Cuyo, northwest of Patagonia, south of Santa Fe, north of Litoral and center and south of the province of Buenos Aires. Noroeste, Norte, Cuyo, Centro Norte and Centro Sur regions present events of HWs in the 6 months (October-March), with the highest occurrence in the months of December and January. Centro Sur, Buenos Aires and Litoral Norte have the highest occurrence in the months of January and February. Litoral Sur, Centro Sur, Buenos Aires and Patagonia have never had a HW in October. The longest HWs in Argentina occurred on the Litoral.

Palabras clave: Climatología, Olas de calor, Argentina.

Citar como:

Herrera, N. 2024: Climatología de las Olas de Calor en Argentina en el período 1961/62-2022/23. Nota Técnica SMN 2024-165.

1. INTRODUCCION

No existe una definición única de ola de calor (WMO, 2015). La Organización Meteorológica Mundial define una ola de calor como dos o tres días consecutivos con temperaturas máxima y mínimas superiores a un umbral basado en las condiciones climáticas de una región (OMM, 2009, 2015). El Servicio Meteorológico Nacional de Argentina (SMN) define como ola de calor al período en el cual las temperaturas máximas y mínimas igualan o superan, por lo menos durante 3 días consecutivos y en forma simultánea, al percentil 90, calculado a partir de los datos diarios durante los meses de octubre a marzo (semestre cálido en el hemisferio sur) del período 1961-2010 (<https://www.smn.gob.ar/estadisticas>).

Las olas de calor amplifican muchos riesgos, como los relacionados con la salud o los económicos, incluido el aumento de la morbilidad y mortalidad humana, la sequía y la calidad del agua, los incendios forestales y el humo, la escasez de energía y las pérdidas agrícolas, lo que causa daños importantes a las comunidades de todo el mundo. En el semestre cálido 2013-2014 (octubre de 2013 a marzo de 2014) se registraron tres períodos de olas de calor de gran extensión, duración e intensidad en el centro-norte de Argentina, en los cuales se registraron 1877 muertes en exceso y encontraron que el riesgo de morir por olas de calor se incrementó en 13 de las 18 provincias analizadas (Chesini y otros, 2021). En 2022 solo en Europa se estimó que más de 60.000 personas murieron a causa del estrés relacionado con el calor (Ballester, 2023).

Según el Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2021) (IPCC por sus siglas en inglés), el cambio climático causado por el hombre ha aumentado la frecuencia e intensidad de las olas de calor desde la década de 1950 y un calentamiento adicional aumentará aún más su frecuencia e intensidad. Con un nivel de confianza alto afirman que el aumento de la urbanización puede aumentar el calentamiento de las ciudades y sus alrededores (efecto isla urbana de calor), especialmente durante las olas de calor. En América del Sur, muchos trabajos han observado aumentos de la frecuencia e intensidad de las olas de calor, especialmente en primavera y verano (Skansi y otros, 2013; Ceccherini y otros, 2016; Rusticucci y otros, 2016; Piticar, 2018; Bitencourt y otros, 2019; Feron y otros, 2019; Simões dos Reis y otros, 2019; Geirinhas y otros, 2021).

En la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático (<https://www.argentina.gob.ar/ambiente/sustentabilidad/cambioclimatico/comunicacionnacional/tercera>) se indica que, tanto para el futuro cercano (2015-2039) como lejano (2075-2099) y bajo distintos escenarios de emisión de gases de efecto invernadero analizados, habrá un aumento en los días con ola de calor en la mayoría de las regiones del país. El aumento proyectado en el número de días con ola de calor sería mayor en el norte y especialmente en el noroeste del país.

En esta nota técnica se presenta una climatología de las olas de calor (OC) en Argentina en el período octubre-marzo entre los años 1961/62 y 2022/23. Se analizó a nivel regional los meses de ocurrencia, la duración de dichos eventos, y la cantidad de eventos durante el período. También se analizaron las tendencias de los eventos de OC observados a nivel local y regional.

2. DATOS

Se utilizaron datos diarios observados de temperatura máxima y temperatura mínima en 68 estaciones meteorológicas de Argentina (Figura 1), para los meses entre octubre y marzo del período 1961/62-2022/23. Las estaciones meteorológicas se agruparon en 9 regiones: Litoral Norte (8 estaciones meteorológicas),

Litoral Sur (5 estaciones meteorológicas), Norte (4 estaciones meteorológicas), Noroeste (7 estaciones meteorológicas), Cuyo (6 estaciones meteorológicas), Centro Norte (8 estaciones meteorológicas), Centro Sur (7 estaciones meteorológicas), Buenos Aires (13 estaciones meteorológicas) y Patagonia (10 estaciones meteorológicas). En el Apéndice 1 de la Sección 6 se encuentra la información de cada estación meteorológica utilizada.

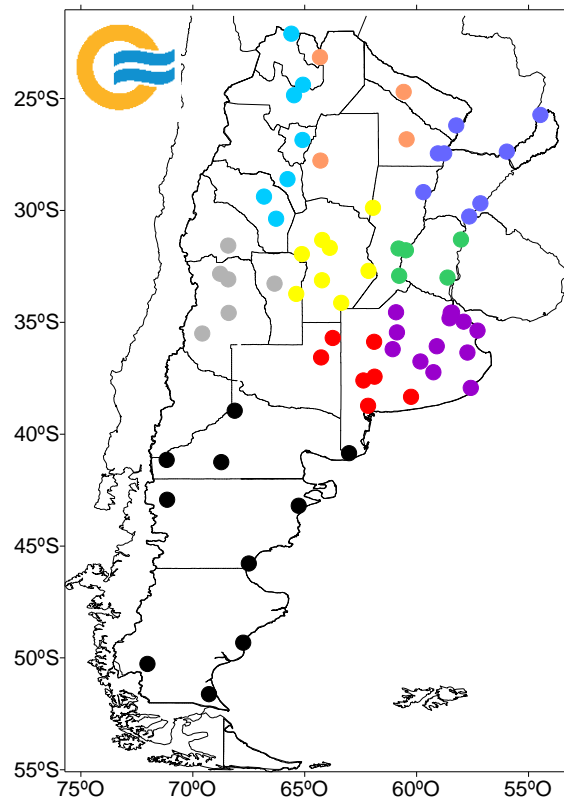


Fig. 1: Estaciones meteorológicas utilizadas. Azul: Litoral Norte; Verde: Litoral Sur; Naranja: Norte; Celeste: Noroeste; Gris: Cuyo; Amarillo: Centro Norte; Rojo: Centro Sur; Violeta: Buenos Aires; Negro: Patagonia.

3. METODOLOGÍA

Un evento de ola de calor (OC) se define cuando las temperaturas máxima y mínima superan o igualan, por lo menos durante 3 días consecutivos y en forma simultánea, a ciertos valores umbrales que dependen de cada localidad (percentil 90 del semestre cálido octubre-marzo).

Ola de Calor (OC):

OC: $TX_i \geq P90TX$ & $TN_i \geq P90TN$, en donde TX_i es la temperatura máxima observada el día i , TN_i es la temperatura mínima observada el día i , $P90TX$ es el percentil 90 de la temperatura máxima y $P90TN$ es el

percentil 90 de la temperatura mínima. Como esta condición se tiene que cumplir para 3 días consecutivos como mínimo, entonces se tiene que cumplir como mínimo para el día $i-2$, $i-1$ e i , definiendo así una ola de calor de 3 días, comenzando el día $i-2$ y finalizando el día i .

Ola de Calor en temperatura máxima (OC (TX)):

OC (TX): $TX_i \geq P90TX$, en donde TX_i es la temperatura máxima observada el día i , $P90TX$ es el percentil 90 de la temperatura máxima. Esta condición se tiene que cumplir para 3 días consecutivos como mínimo.

Ola de Calor en temperatura mínima (OC (TN)):

OC (TN): $TN_i \geq P90TN$, en donde TN_i es la temperatura mínima observada el día i , $P90TN$ es el percentil 90 de la temperatura mínima. Esta condición se tiene que cumplir para 3 días consecutivos como mínimo.

Percentil 90 de la temperatura máxima P90 (TX):

Para calcular el percentil 90 (P90) de la temperatura máxima, primero se seleccionan todos los datos diarios de la temperatura máxima entre el 1 de octubre y el 31 de marzo del período 1961-2010. Luego se ordena esa serie de menor a mayor, y el percentil 90 es el valor que por debajo del cual queda el 90% de los datos, o también se puede decir que es el valor que por encima del cual queda el 10% de los datos. De esta forma, el percentil 90 es un valor extremo. Para cada localidad se obtiene un umbral (valor fijo) para la temperatura máxima. Si durante 3 o más días consecutivos la temperatura máxima supera o iguala el P90 estamos frente a un evento de OC en temperatura máxima (OC (TX)).

Percentil 90 de la temperatura mínima P90 (TN):

Ídem que P90 (TX) pero para la temperatura mínima.

Si durante 3 o más días consecutivos las temperaturas máxima y mínima superan o igualan a sus respectivos P90 estamos frente a un evento de OC. En la Figura 2 se muestran los valores del P90 para cada una de las estaciones meteorológicas (los valores se encuentran en el Apéndice 1 de la Sección 6). Los valores más altos del P90 para la temperatura máxima (entre 36°C y 40°C) se encuentran en la región Norte y en el sur del Noroeste. Los valores más bajos (entre 20°C y 32°C) se encuentran en la Patagonia, en la zona norte del Noroeste y en el centro y este de Buenos Aires. Los valores más altos del P90 para la temperatura mínima (entre 22°C y 26°C) se encuentran en el Norte, en el Litoral Norte y en parte del Noroeste. Los valores más bajos (entre 8°C y 18°C) se encuentran en la Patagonia, sur de Cuyo y sur de Buenos Aires.

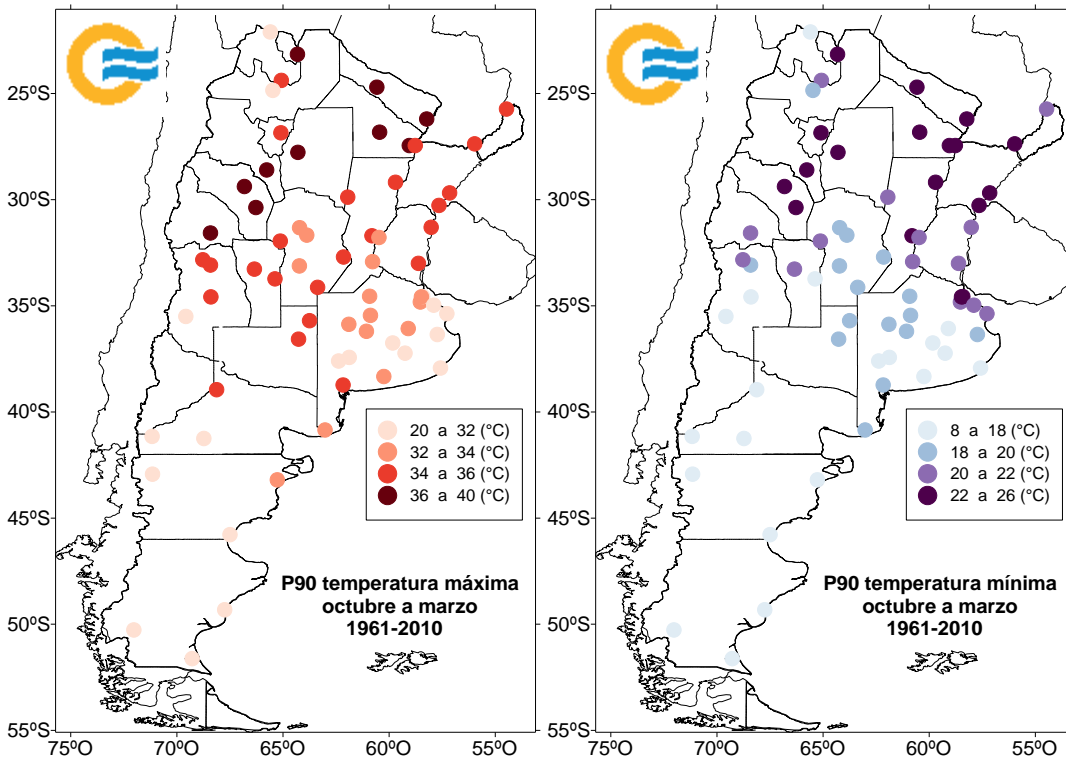


Fig. 2: Valores umbrales. Izquierda: Percentil 90 de la temperatura máxima. Derecha: Percentil 90 de la temperatura mínima.

4. RESULTADOS

4.1 Frecuencia y duración de las OC

Se analizó la cantidad de olas de calor (OC) ocurridas durante los meses de octubre a marzo del período 1961/62-2022/23. En la Figura 3 se observa que la menor cantidad de OC (entre 10 y 30) se dio principalmente en el Noroeste del país, en el este de la Patagonia y en el este de Buenos Aires. Esto implica que en todo el período de estudio (62 años), se dio en promedio menos de 1 ola de calor por cada 2 semestres cálidos. La mayor cantidad de OC (entre 50 y 70) se dio en las regiones Litoral Sur, norte de Buenos Aires, sur del Noroeste y Cuyo. Esto implica un promedio de una OC por semestre cálido. En particular la estación meteorológica San Luis fue la que presentó la mayor cantidad de OC, con un valor de 73 en todo el período, lo que implica que en promedio tuvo más de una OC (1.18 OC) por semestre cálido. Sin embargo, si analizamos la serie temporal (Figura 4), podemos ver que hubo semestres cálidos que no tuvieron OC y otros en donde hubo 5 OC. Paraná Aero fue la estación meteorológica que tuvo la mayor cantidad de eventos de OC (7) en un semestre cálido (2022/23).

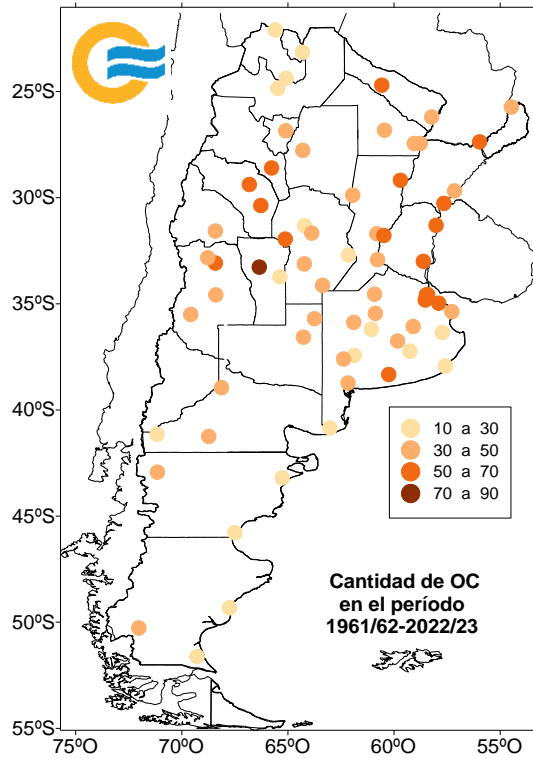


Fig. 3: Cantidad de OC en todo el período 1961/62-2022/23.

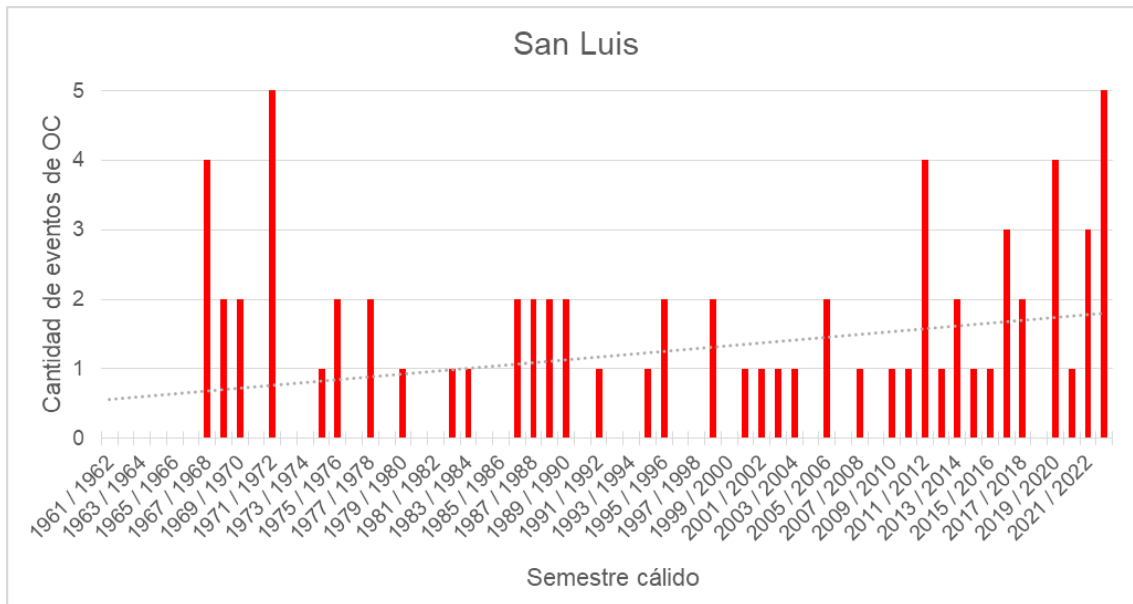


Fig. 4: Serie temporal de eventos de OC en San Luis. Línea punteada: tendencia lineal de eventos de OC en el período 1961/62-2022/23.

En la Figura 5 se puede ver la cantidad de OC teniendo en cuenta solamente la temperatura máxima- OC (TX)- y la temperatura mínima- OC (TN)-. Se puede ver que en general hay mayor cantidad de eventos de

OC cuando consideramos solamente la temperatura máxima (entre 150 y 180 eventos), y principalmente esto ocurre en Buenos Aires y en el noroeste de la Patagonia. En donde hay menor cantidad de eventos (entre 60 y 90) es en el este de la Patagonia. En el caso de eventos de OC con temperatura mínima la mayor ocurrencia (entre 150 y 180) se dio en Cuyo y en el centro-este del país. La menor cantidad de casos (entre 60 y 90) se dio en la Patagonia. En líneas generales, tanto para OC (TX) como para OC (TN), en promedio para todo el país hay por lo menos 1 evento en cada semestre cálido, llegando en algunas regiones a casi 3 eventos.

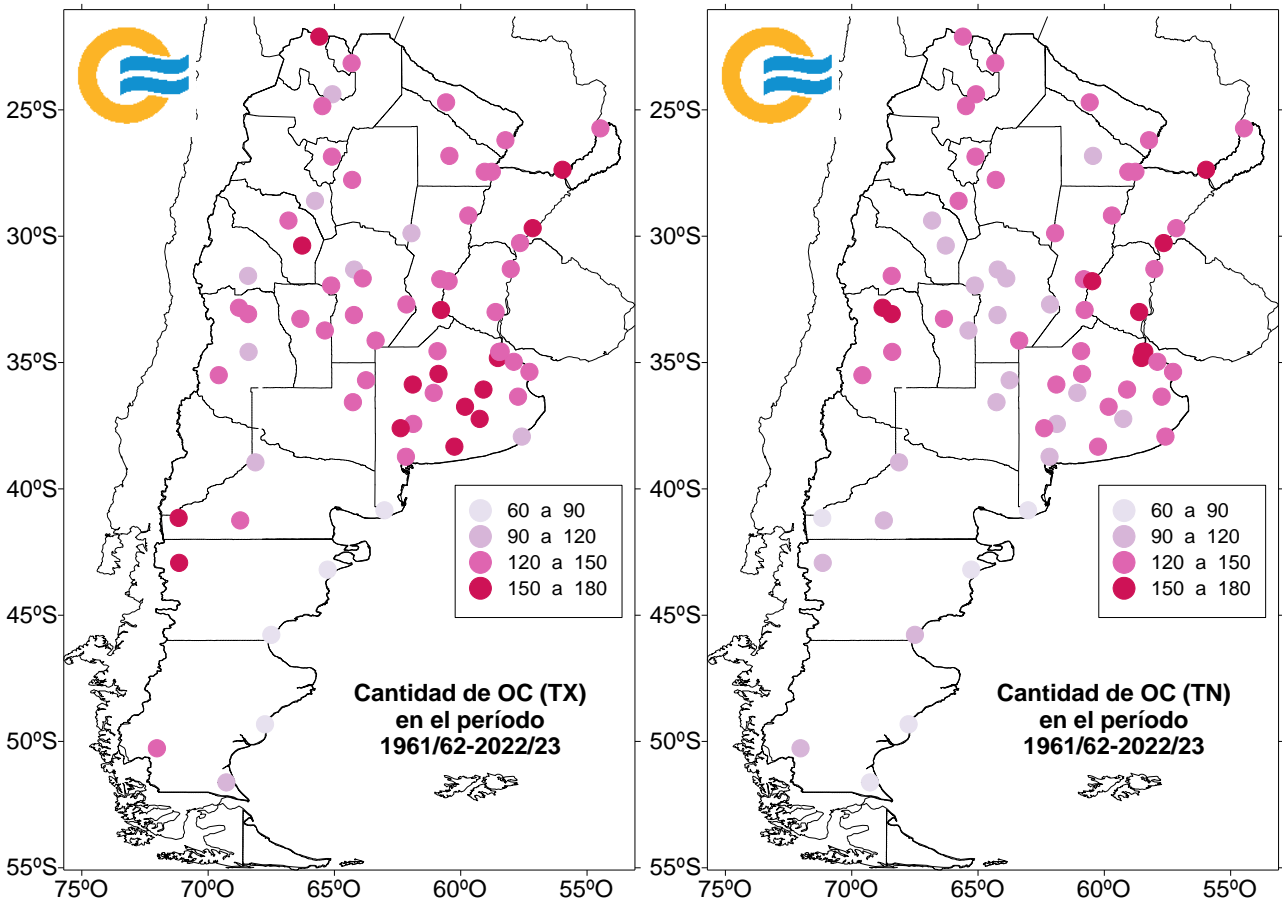


Fig. 5: Izquierda: Cantidad de OC (TX). Derecha: Cantidad de OC (TN). Período 1961/62-2022/23 (62 años).

4.2 Distribución mensual y de duración de las OC

En la Figura 6 se observa la distribución mensual normalizada de las OC para cada una de las regiones. Se asigna el mes de la OC al mes correspondiente de la fecha del primer día de la ola. Se sumó la cantidad de OC que ocurrieron en cada una de las estaciones meteorológicas que componen cada región en cada mes entre octubre y marzo, y luego se dividió por la cantidad de estaciones de cada región, de manera que cada región presenta un valor promedio. En todas las regiones, salvo en el Noroeste, enero fue el mes que presentó la mayor cantidad de eventos de OC. Para el Noroeste el mes con mayor frecuencia fue diciembre, seguido por enero. Febrero fue el segundo mes con mayor frecuencia para Litoral Norte, Centro Sur,

Buenos Aires y Patagonia. En cambio para Litoral Sur, Norte, Cuyo y Centro Norte el segundo mes con mayor frecuencia fue diciembre. En octubre no hubo eventos para las regiones Litoral Sur, Buenos Aires, Centro Sur y Patagonia.

En la Figura 7 se observa la distribución normalizada de la duración de los eventos de OC. Se sumó la cantidad de OC para cada duración (3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y de 10 o más días), en cada una de las estaciones meteorológicas que componen cada región, sin discriminar en qué mes ocurrió, y luego se dividió por la cantidad de estaciones de cada región, de manera que cada región presenta un valor promedio para cada una de las duraciones del evento de OC. En general para casi todas las regiones se observa mayor cantidad de eventos de menor duración y a medida que aumenta la duración del evento disminuye la frecuencia observada. Se destaca el Litoral Norte como la región que tiene más eventos de OC que duran 10 o más días. Las otras regiones que presentan eventos de OC de más de 7 días son Litoral Sur, Centro Norte, Norte, Cuyo, Noroeste, Buenos Aires y Patagonia. La región Centro Sur no presentó nunca eventos de más de 7 días de duración.

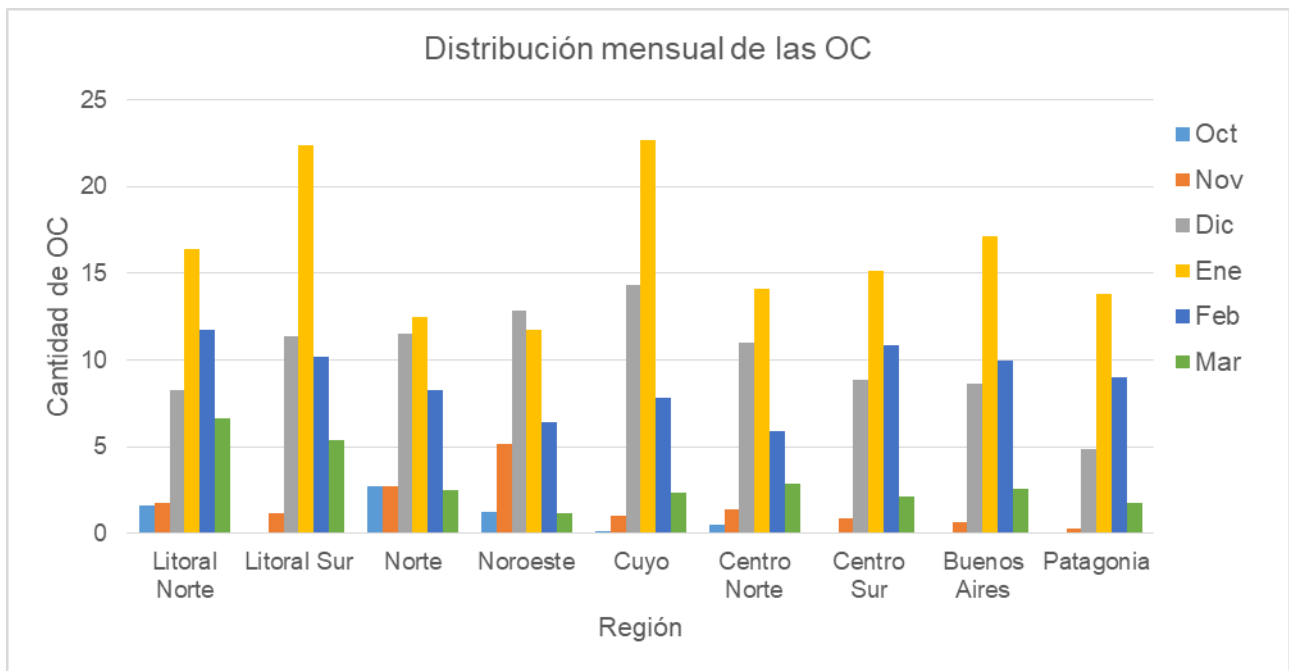


Fig. 6: Distribución mensual normalizada de los eventos de OC para el período 1961/62-2022/23.

En la Figura 8 se muestran los resultados de sumar la cantidad de eventos de OC normalizado presentado en la Figura 6. Se concluye que el Litoral Sur presentó la mayor cantidad de eventos de OC (51), seguido por Cuyo (48), Litoral Norte (46), Norte (40), Buenos Aires (39), Noroeste (39), Centro Sur (38), Centro Norte (36), y por último Patagonia (30). A nivel regional se tiene que en promedio ninguna región llega a presentar una OC por cada semestre cálido. Patagonia fue la región con menor cantidad de eventos, presentando en promedio casi 1 evento de OC cada 2 años.

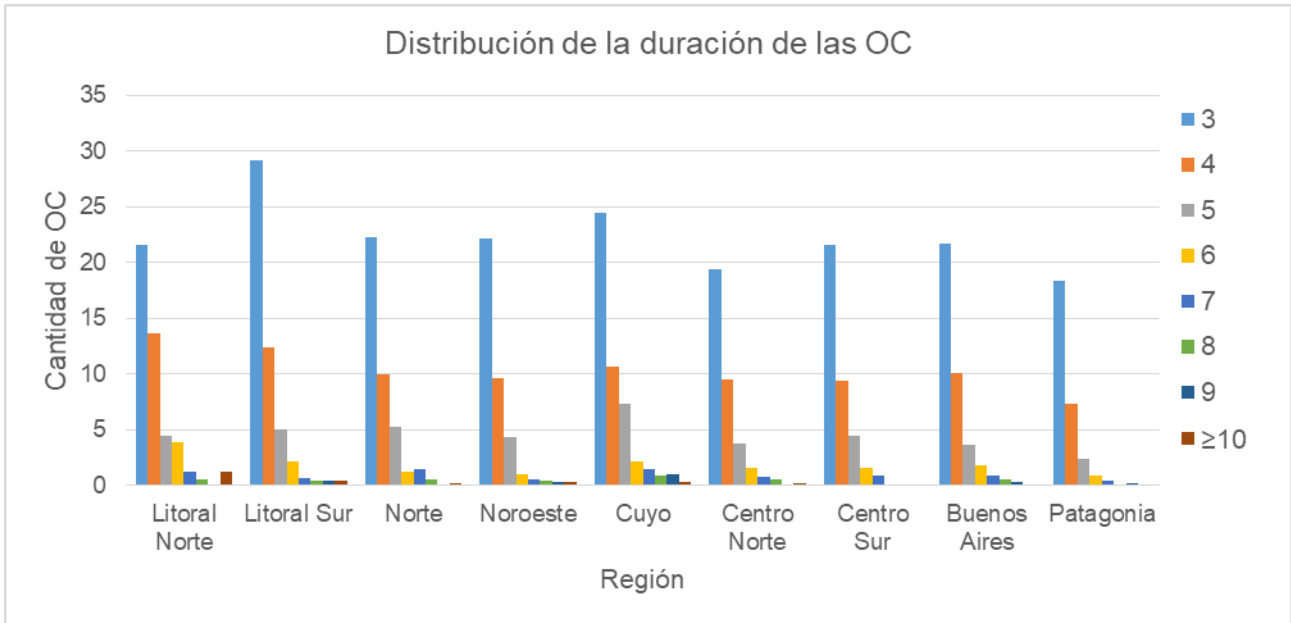


Fig. 7: Distribución de la duración normalizada de las OC para el período 1961/62-2022/23.

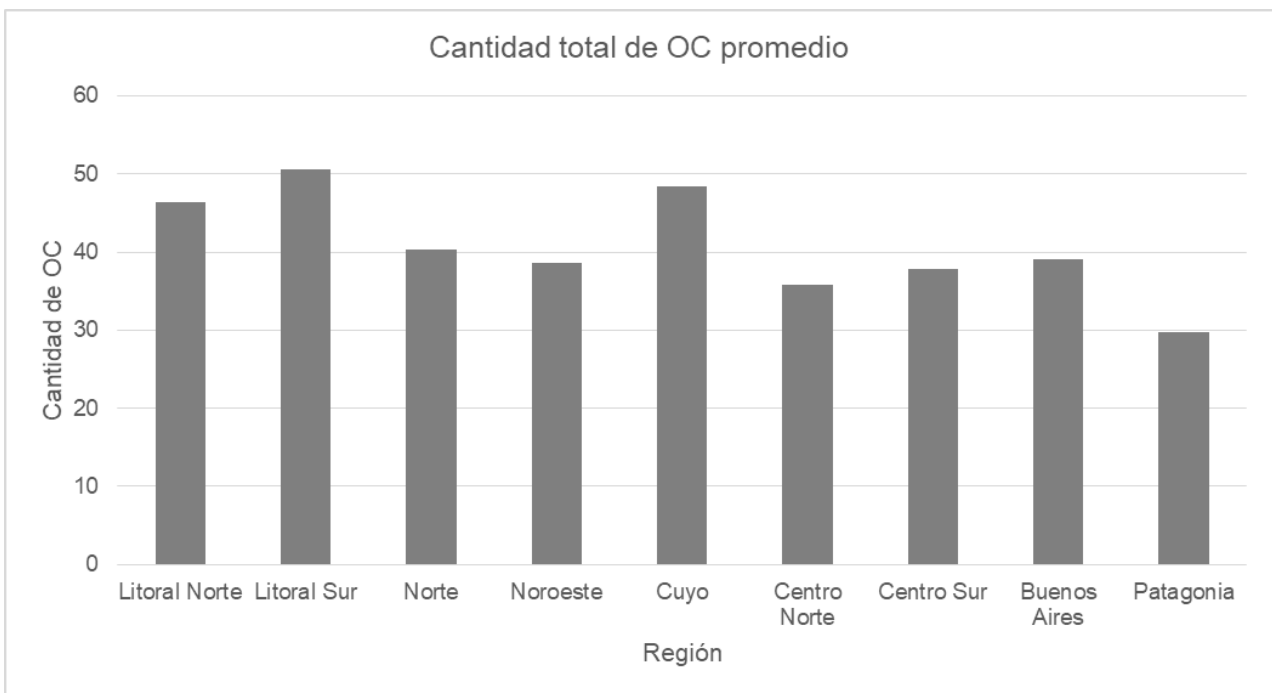


Fig. 8: Cantidad total de eventos de OC normalizado para cada región para el período 1961/62-2022/23.

4.3 Duración media de las OC

La información de la cantidad de eventos de OC y la distribución de las duraciones de los eventos sirvió para calcular la duración media de las OC para cada estación meteorológica. En la Figura 9 se muestra el resultado de sumar la cantidad de días con OC y dividirla por la cantidad de eventos de OC. La duración media de las OC presenta los valores más bajos (entre 3 y 3.5 días) en el este de la Patagonia y sudeste de Buenos Aires. Los valores más altos, de entre 4 y 5 días, se observaron principalmente en Litoral Norte y sur de Cuyo. Si consideramos eventos de OC con temperatura máxima o mínima (Figura 9 centro y derecha) se observan en general áreas más grandes de eventos de duración de entre 4 y 5 días. Los eventos más duraderos de entre 4.5 y 5 días se observan principalmente en el Litoral Norte. En el este de la Patagonia se siguen observando eventos relativamente cortos, de menos de 4 días de duración.

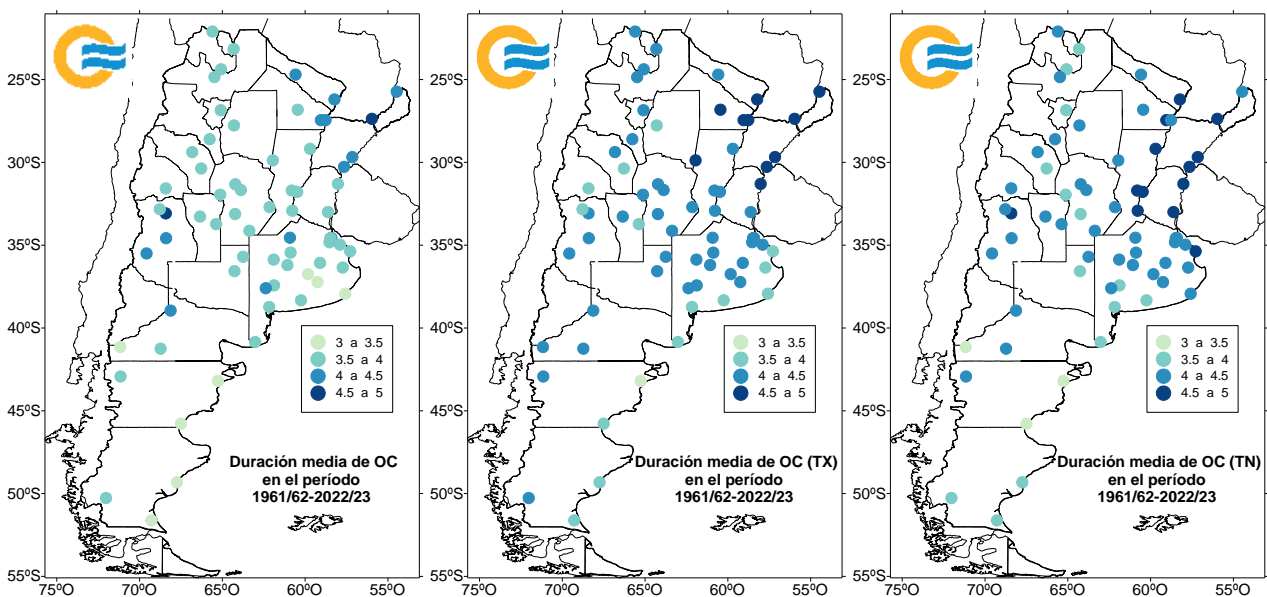


Fig. 9: Duración media de las OC (izquierda), OC (TX) (centro) y OC (TN) (derecha), para el período 1961/62-2022/23.

4.4 Tendencia de las OC

En la Figura 10 se muestran las tendencias lineales de la cantidad de eventos de OC, OC (TX) y OC (TN) para el período 1961/62-2022/23. El resultado está expresado como la variación total de la cantidad de eventos en el período de estudio (62 años), que es resultado de multiplicar por 62 el valor de la pendiente lineal en ese período. Las tendencias significativas al 90% se muestran con un borde negro. Para los eventos de OC se observan en general tendencias positivas. Solamente 4 estaciones meteorológicas (Pcia. Roque Saenz Peña Aero, Marcos Juárez Aero, Laboulaye Aero y Bolívar Aero) presentaron tendencias levemente negativas (entre 0 y -1 eventos de OC en 62 años). Las estaciones meteorológicas que presentaron tendencias positivas y significativas en eventos de OC se ubicaron principalmente en Cuyo, noroeste de Patagonia, sur del Litoral Sur y centro de Buenos Aires, con valores que indican que hubo un incremento de entre 1 y 2 eventos de OC en el período. La estación meteorológica San Martín (Mza) presentó un incremento de entre 2 y 4 OC (ver Figura 11), en su serie se observan 2 períodos bien definidos: hasta el 2010/11 tenía entre 0 y a lo sumo 2 OC, luego se incrementan los eventos y pasan a ser

entre 2 y 4 OC por semestre cálido. Si observamos las tendencias de los eventos de OC (TX) y OC (TN) en general los valores de las tendencias son mayores, llegando a alcanzar más fácilmente incrementos de 4 y hasta 6 días en el período. En las tendencias de OC (TX) se encuentran algunas estaciones con tendencias negativas, principalmente en la provincia de Córdoba. Esto está asociado a la disminución de la temperatura máxima en esa región (ver mapa de tendencia de temperatura máxima media para el verano (DEF) en <https://www.smn.gov.ar/clima/tendencias>). Otra vez la zona de Cuyo y noroeste de la Patagonia presentan los mayores valores. En las tendencias de OC (TN) solamente dos estaciones presentaron tendencia negativa (Pcia. Roque Saenz Peña Aero y El Calafate). Las tendencias positivas de entre 2 y 6 eventos de OC (TN) abarcaron mayor parte del país. La significancia de estas tendencias se dio principalmente en el Noroeste, Cuyo, Buenos Aires, noroeste de Patagonia y partes del Litoral.

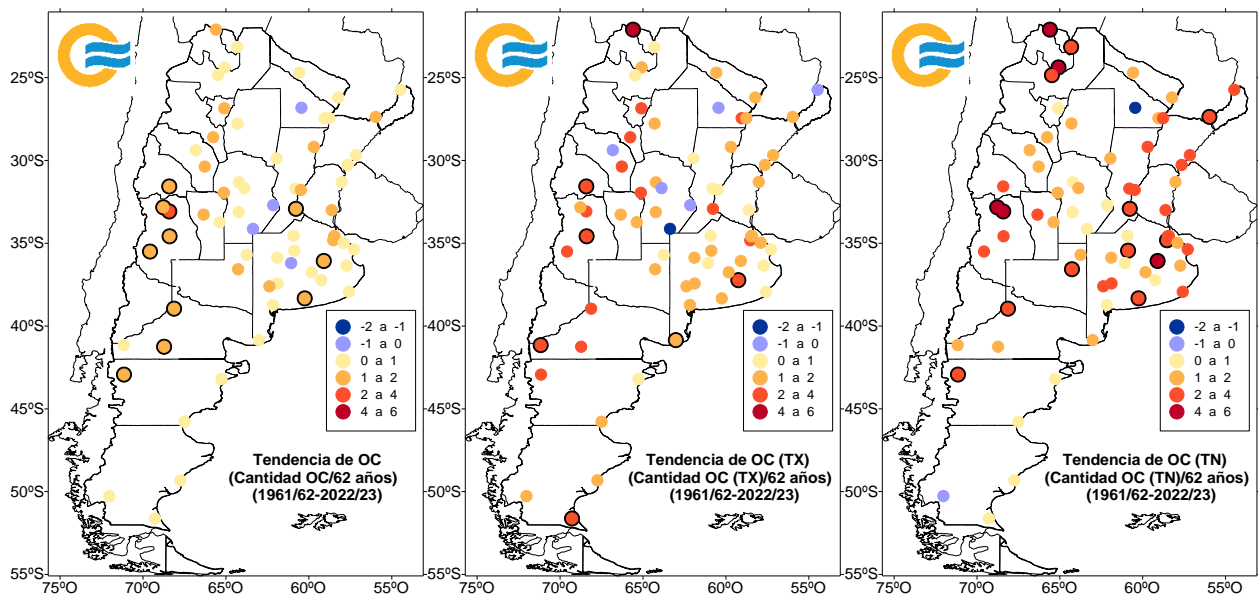


Fig. 10: Tendencia lineal de la cantidad de eventos de: OC (izquierda), OC (TX) (centro) y OC (TN) (derecha), durante el período 1961/62-2022/23 (62 años). En las estaciones meteorológicas para las cuales la tendencia es estadísticamente significativa al 90% se muestra el círculo con un borde negro.

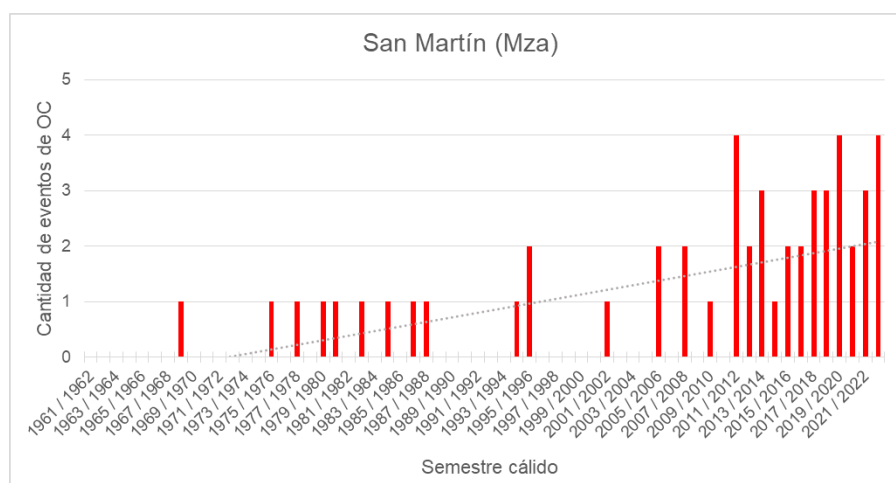


Fig. 11: Serie temporal de eventos de OC en San Martín (Mza). Línea punteada: tendencia lineal de eventos de OC en 1961/62-2022/23.

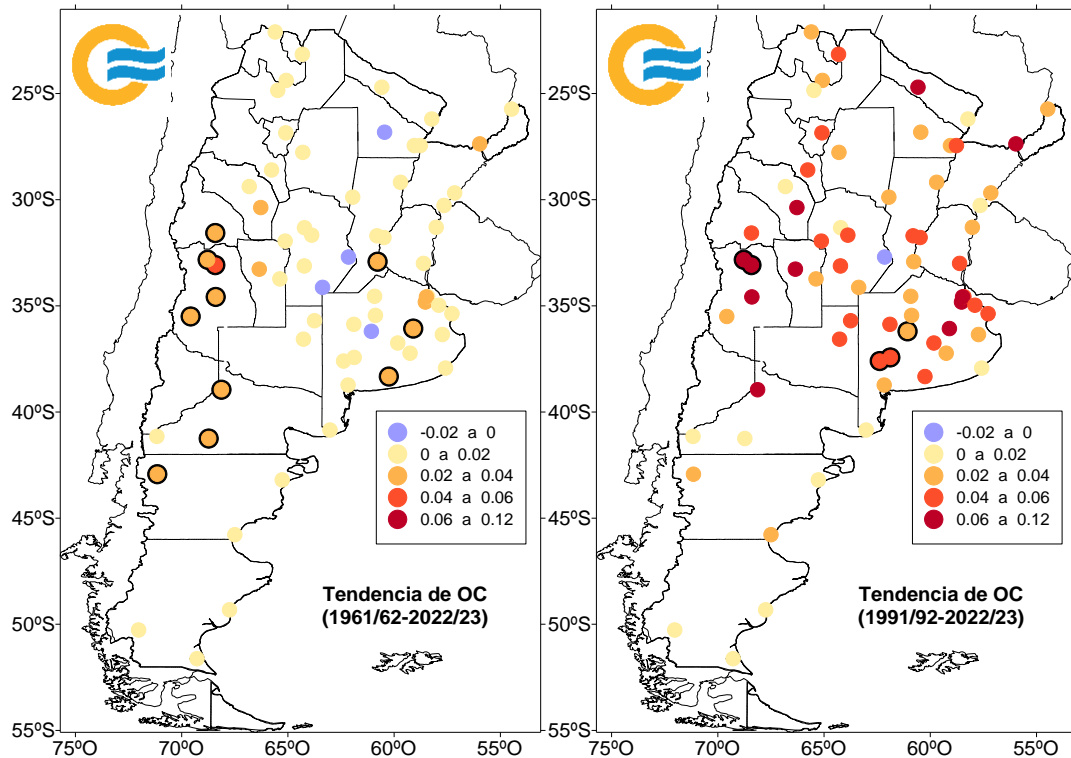


Fig. 12: Tendencia lineal de la cantidad de eventos de OC durante el período: 1961/62-2022/23 (izquierda), 1991/92-2022/23 (derecha). En las estaciones meteorológicas para las cuales la tendencia es estadísticamente significativa al 90% se muestra el círculo con un borde negro.

A fines de comparar qué ocurrió con los eventos de OC durante el período de estudio, en la Figura 12 se comparan las tendencias del período completo (Figura 12, izquierda) con las tendencias de las últimas décadas (Figura 12, derecha). El resultado de estas figuras es la variación lineal año a año de la cantidad de OC considerando todo el período (62 años) o considerando un período más corto (32 años) correspondiente a las últimas décadas. La tendencia de OC en el período 1991/92-2022/23 muestra que si bien se nota una tasa mayor de aumento de eventos de OC con respecto a los eventos del período completo -principalmente en la franja central de Argentina (que presentó los valores más altos, de un aumento de entre 0.04 y 0.12 eventos por año)- la significancia de esta tendencia se dio solamente en algunas estaciones meteorológicas de Cuyo, Centro Sur y Buenos Aires. Entonces lo que se esperaría bajo un escenario de aumento de la temperatura en las últimas décadas es que estas tendencias sean más intensas y más significativas que si consideramos el período completo. Se observa que sí son más intensas (salvo en Patagonia), y hasta en ciertos casos se revierte el signo de la tendencia (pasando de negativo a positivo), pero no se observa un aumento en la significancia de estas tendencias. La única estación meteorológica que mantuvo su tendencia negativa fue Marcos Juárez Aero en la región Centro Norte.

A nivel regional las tendencias de eventos de OC fueron positivas en todas las regiones. Para cada región se suman los eventos de OC de cada estación meteorológica que la compone. En la tabla I se pueden ver los valores de las tendencias y si fueron significativas. Solamente fueron significativas en Cuyo (al 99%), Patagonia (al 95%) y Centro Sur (al 90%). Las series temporales correspondientes se encuentran en el Apéndice 2 de la Sección 6.

Tabla I: Tendencias de los eventos de OC a nivel regional en el periodo 1961/62-2022/23. La tendencia está expresada en cantidad de OC en 62 años. Coeficiente de correlación es significativo: al 90% (*), al 95% (**), al 99% (***).

Región	Tendencia de OC	Coeficiente de correlación
Litoral Norte	6.05	0.09
Litoral Sur	5.19	0.12
Norte	1.51	0.03
Noroeste	6.55	0.18
Cuyo	10.38	0.37***
Centro Norte	1.96	0.02
Centro Sur	6.87	0.24*
Buenos Aires	10.09	0.14
Patagonia	7.93	0.32**

4.5 Los eventos de OC más duraderos

La Tabla II muestra los 10 eventos de OC más duraderos en el período 1961/62-2022/23. Notar que de los 10 eventos de OC, 9 se dieron en los últimos 20 años, y que 7 de ellos se iniciaron en el mes de enero. La mayoría de los eventos se dieron en el Litoral Norte y en el Litoral Sur.

Tabla II: Lista de los 10 eventos más duraderos del periodo 1961/62-2022/23.

N° OMM	Estación	Duración (días)	Fecha inicio	Fecha fin
87374	Paraná Aero	16	15/12/2013	30/12/2013
87178	Posadas Aero	14	13/01/2022	26/01/2022
87155	Resistencia Aero	13	14/01/2022	26/01/2022
87162	Formosa Aero	13	14/01/2022	26/01/2022
87166	Corrientes Aero	13	30/01/2014	11/02/2014
87166	Corrientes Aero	13	14/01/2022	26/01/2022
87155	Resistencia Aero	12	31/01/2014	11/02/2014
87178	Posadas Aero	12	01/02/2014	12/02/2014
87904	El Calafate	12	18/12/1984	29/12/1984
87097	Iguazú Aero	11	15/01/2022	25/01/2022

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se analizan las Olas de Calor (OC) de Argentina ocurridas en los semestres cálidos octubre-marzo del período de estudio 1961/62-2022/23 (62 años). Se trabajó tanto a nivel local con 68 estaciones

meteorológicas (para cada estación meteorológica) como a nivel regional, agrupando las 68 estaciones meteorológicas en 9 regiones: Litoral Norte, Litoral Sur, Norte, Noroeste, Cuyo, Centro Norte, Centro Sur, Buenos Aires y Patagonia. Primero se analizaron los valores umbrales (percentil 90) para cada estación meteorológica, que son los valores a partir de los cuales se considera que una temperatura es extrema. Se encuentra una distribución lógica de temperaturas, alcanzando los valores más altos hacia el norte del país y los más bajos hacia el sur del país y zonas de altura mayor a 1500 msnm.

Al analizar la frecuencia total de las OC en todo período de estudio, se tuvieron entre 10 y 73 eventos. Lo que implica que en promedio se tuvieron entre 0.16 y 1.18 eventos por año. La menor cantidad de OC (entre 10 y 30) se dio principalmente en el noroeste del país, en el este de la Patagonia y en el este de Buenos Aires, con un promedio de menos de 1 ola de calor por cada 2 semestres cálidos. La mayor cantidad de OC (entre 50 y 70) se dio en las regiones Litoral Sur, norte de Buenos Aires, sur del Noroeste y Cuyo. Esto implica un promedio de una OC por semestre cálido. Sin embargo, al analizar las series temporales de cada estación meteorológica hubo semestres cálidos que no tuvieron OC y otros en donde hubo hasta 7 OC.

Al analizar la frecuencia total de OC en temperatura máxima -OC (TX)- y en temperatura mínima -OC (TN)-, se observó una mayor cantidad de eventos de OC cuando consideramos solamente la temperatura máxima principalmente en Buenos Aires y en el noroeste de la Patagonia, con un promedio de entre 2 y 3 eventos por semestre cálido. La menor cantidad de eventos de OC (TX) ocurrió en el este de la Patagonia, con un promedio de 1 a 1.5 casos por semestre cálido. En el caso de eventos de OC (TN) la mayor ocurrencia se dio en Cuyo y en el centro-este del país, con un promedio de entre 2.5 y 3 casos por semestre cálido. La menor cantidad de casos se dio en la Patagonia, con un promedio de 1 a 1.5 casos por semestre cálido. En líneas generales, tanto para OC (TX) como para OC (TN), en promedio para todo el país hay por lo menos 1 evento en cada semestre cálido, llegando en algunas regiones a casi 3 eventos.

A nivel regional se analizó la distribución mensual normalizada de las OC. En todas las regiones -salvo en el Noroeste- enero fue el mes que presentó la mayor cantidad de eventos de OC. Para el Noroeste el mes con mayor frecuencia fue diciembre, seguido por enero. Febrero fue el segundo mes con mayor frecuencia para Litoral Norte, Centro Sur, Buenos Aires y Patagonia. En cambio para Litoral Sur, Norte, Cuyo y Centro Norte el segundo mes con mayor frecuencia fue diciembre. En octubre no hubo eventos para las regiones Litoral Sur, Buenos Aires, Centro Sur y Patagonia.

También se analizó distribución normalizada de la duración de los eventos de OC. En general para casi todas las regiones se observa mayor cantidad de eventos de menor duración y a medida que aumenta la duración del evento disminuye la frecuencia observada. Se destaca el Litoral Norte como la región que tiene más eventos de OC que duran 10 o más días. Las otras regiones que presentan eventos de OC de más de 7 días son Litoral Sur, Centro Norte, Norte, Cuyo, Noroeste, Buenos Aires y Patagonia. La región Centro Sur no presentó nunca eventos de más de 7 días de duración.

A nivel regional el Litoral Sur presentó la mayor cantidad de eventos de OC normalizado, seguido por Cuyo, Litoral Norte, Norte, Buenos Aires, Noroeste, Centro Sur, Centro Norte, y por último Patagonia. En promedio ninguna región llega a presentar una OC por cada semestre cálido. Patagonia fue la región con menor cantidad de eventos, presentando en promedio 1 evento de OC cada 2 años.

A nivel local se analizó la duración media de las OC. Los valores más bajos (entre 3 y 3.5 días) se dieron en el este de la Patagonia y sudeste de Buenos Aires. Los valores más altos, de entre 4 y 5 días, se observaron principalmente en Litoral Norte y sur de Cuyo. La duración de las OC (TX) y OC (TN) presentaron en general áreas más grandes de eventos de duración de entre 4 y 5 días. Los eventos más duraderos de entre 4.5 y 5 días se observaron principalmente en el Litoral Norte.

A nivel local se analizaron las tendencias lineales de la cantidad de eventos de OC, OC (TX) y OC (TN). Los eventos de OC presentan en general tendencias positivas. Solamente 4 estaciones meteorológicas presentaron tendencias levemente negativas. Las estaciones meteorológicas que presentaron tendencias positivas y significativas en eventos de OC se ubicaron principalmente en Cuyo, noroeste de Patagonia, sur del Litoral Sur y centro de Buenos Aires, con valores que indican que hubo un incremento de entre 1 y 2 eventos de OC en el período. Las tendencias de los eventos de OC (TX) y OC (TN) presentan en general mayores valores que las de OC, llegando a alcanzar más fácilmente incrementos de 4 y hasta 6 días en el período. En las tendencias de OC (TX) se encuentran algunas estaciones con tendencias negativas, principalmente en la provincia de Córdoba, asociado a la disminución de la temperatura máxima de verano. Las zonas de Cuyo y noroeste de la Patagonia presentan los mayores valores. En las tendencias de OC (TN) solamente dos estaciones presentaron tendencia negativa. Las tendencias positivas de entre 2 y 6 eventos de OC (TN) abarcaron mayor parte del país. La significancia de estas tendencias se dio principalmente en el Noroeste, Cuyo, Buenos Aires, noroeste de Patagonia y en algunas zonas del Litoral.

A fines de evaluar si las tendencias están muy influenciadas por el calentamiento observado de las últimas décadas, se compararon las tendencias lineales de los eventos de OC durante dos períodos: 1961/62-2022/23 (62 años) y 1991/92-2022/23 (32 años). La tendencia de OC en el período 1991/92-2022/23 muestra que si bien se nota una tasa mayor de aumento de eventos de OC con respecto a los eventos del período completo (salvo en Patagonia)- principalmente en la franja central de Argentina (que presentó los valores más altos, de un aumento de entre 0.04 y 0.12 eventos por año)- la significancia de esta tendencia se dio solamente en algunas estaciones meteorológicas de Cuyo, Centro Sur y Buenos Aires.

A nivel regional las tendencias de eventos de OC fueron positivas en todas las regiones. Solamente fueron significativas en Cuyo (al 99%), Patagonia (al 95%) y Centro Sur (al 90%).

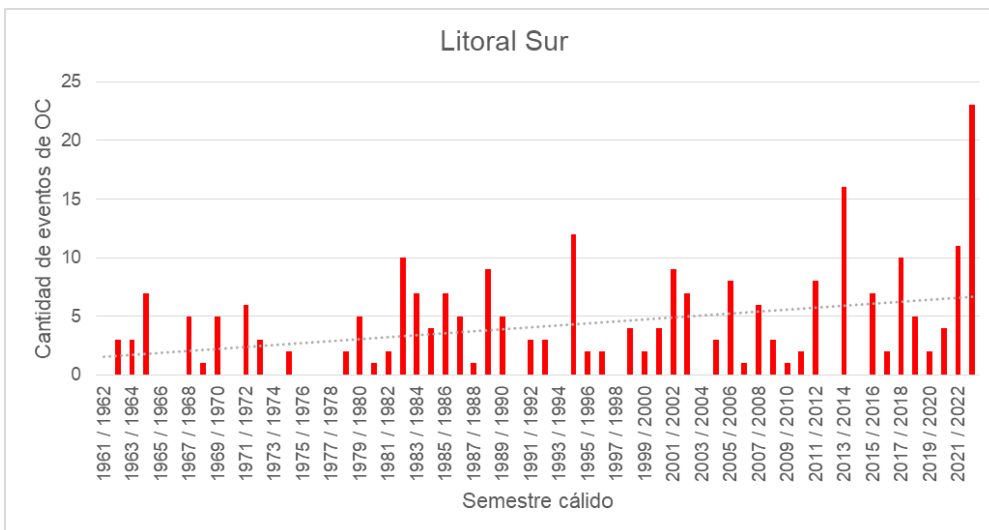
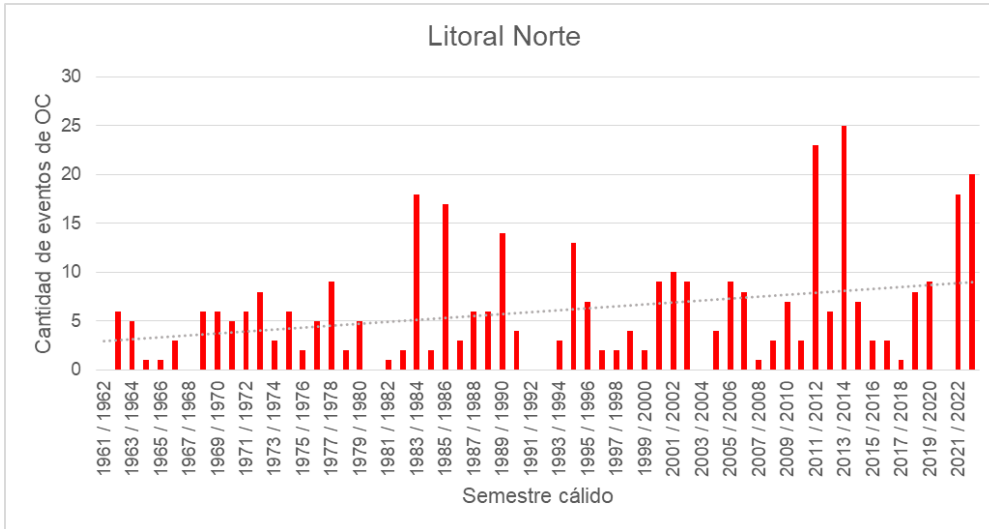
Los 10 eventos de OC más duraderos en el periodo 1961/62-2022/23, se dieron principalmente en los últimos 20 años y se iniciaron en el mes de enero. La mayoría de estos eventos se dieron en el Litoral Norte y en el Litoral Sur.

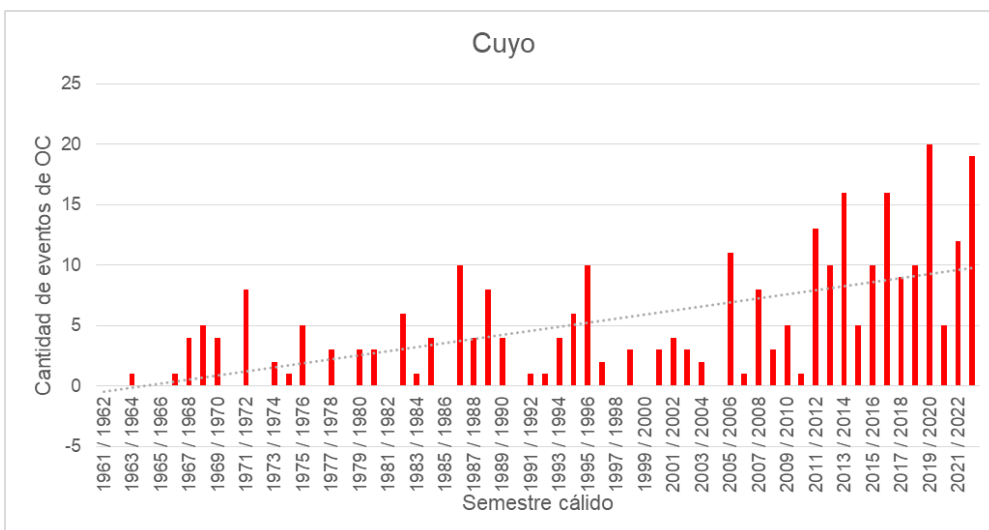
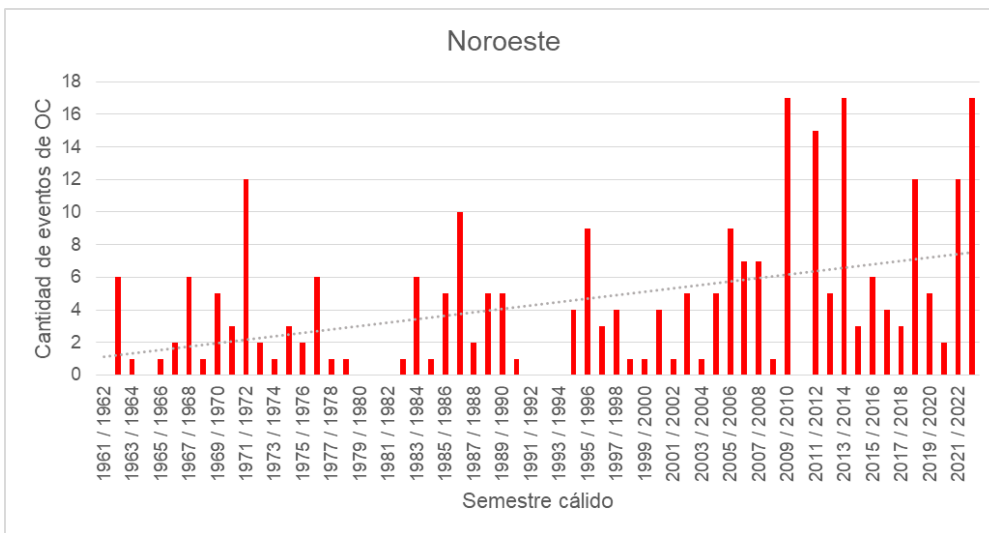
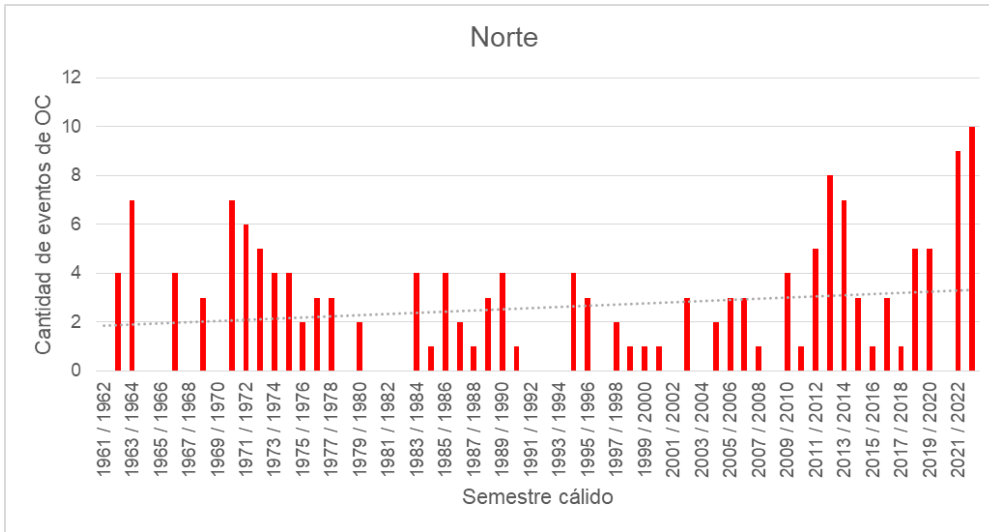
6. APÉNDICE 1: Estaciones meteorológicas utilizadas

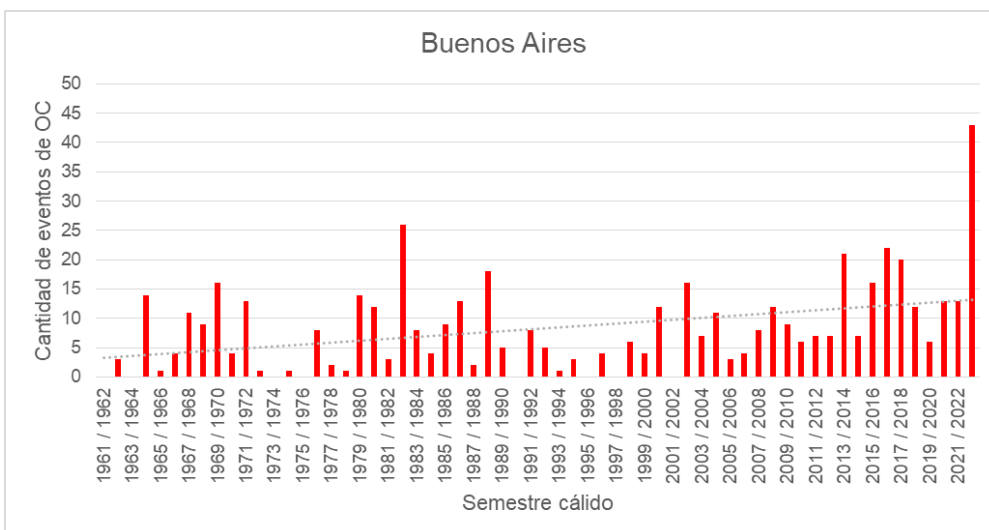
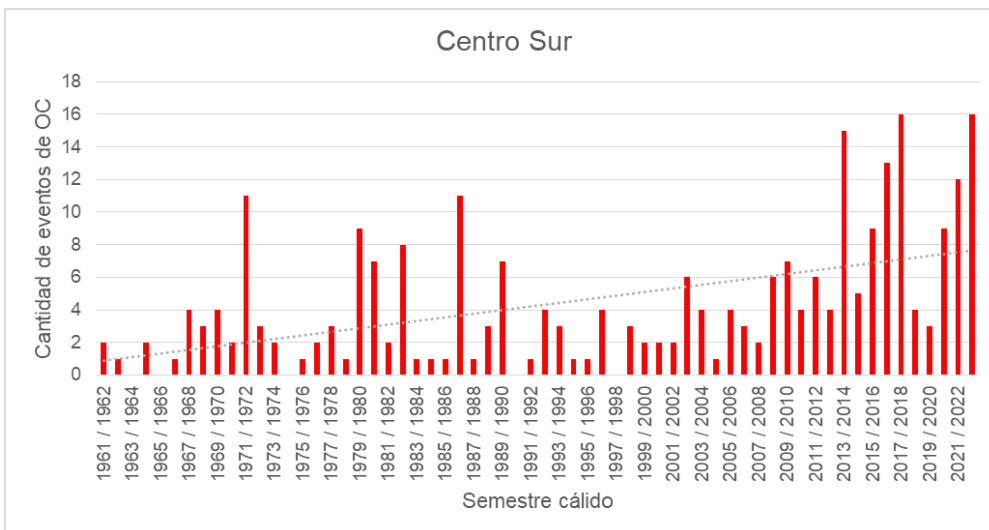
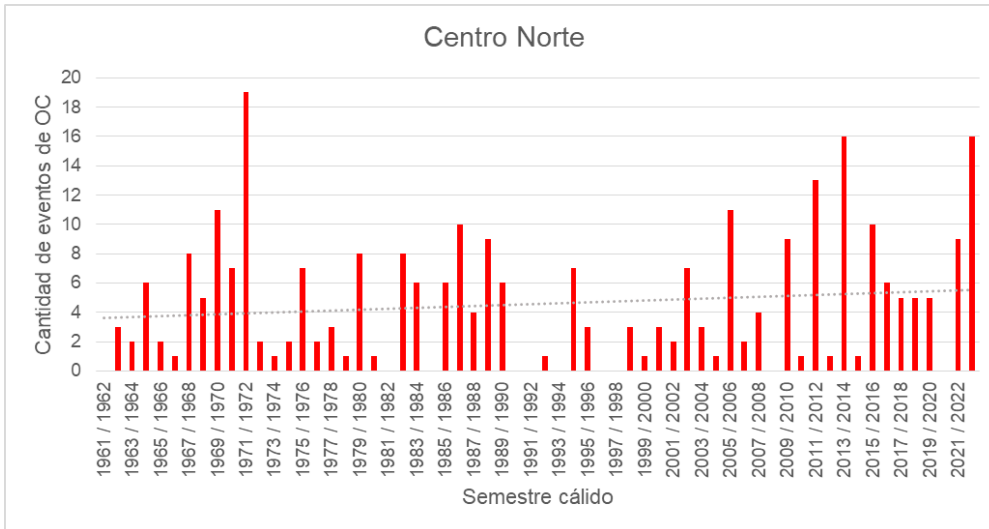
Región	N° OMM	Localidad	Provincia	Longitud	Latitud	P90 (TX)	P90 (TN)
Litoral Norte	87097	Iguazú Aero	Misiones	-54.47	-25.73	34.9	21.9
	87155	Resistencia Aero	Chaco	-59.05	-27.45	36.2	23.4
	87162	Formosa Aero	Formosa	-58.23	-26.20	37.0	24.3
	87166	Corrientes Aero	Corrientes	-58.77	-27.45	35.9	23.4
	87178	Posadas Aero	Misiones	-55.97	-27.37	35.5	23.4
	87270	Reconquista Aero	Santa Fe	-59.70	-29.18	35.3	22.8
	87289	Paso de los Libres Aero	Corrientes	-57.15	-29.68	35.0	22.2
	87393	Monte Caseros Aero	Corrientes	-57.65	-30.27	34.9	22.3
Litoral Sur	87371	Sauce Viejo Aero	Santa Fe	-60.81	-31.70	34.6	22.0
	87374	Paraná Aero	Entre Ríos	-60.48	-31.78	33.7	21.0
	87395	Concordia Aero	Entre Ríos	-58.02	-31.30	34.6	21.5
	87480	Rosario Aero	Santa Fe	-60.78	-32.92	33.4	20.5
	87497	Gualeguaychú Aero	Entre Ríos	-58.62	-33.00	34.1	20.7
Norte	87016	Orán Aero	Salta	-64.32	-23.15	37.2	23.0
	87078	Las Lomitas	Formosa	-60.58	-24.70	39.0	24.6
	87129	Santiago Del Estero Aero	Santiago del Estero	-64.30	-27.77	38.3	23.0
	87148	P. Roque Saenz Peña Aero	Chaco	-60.45	-26.82	37.2	24.1
Noroeste	87007	La Quiaca Obs	Jujuy	-65.60	-22.10	23.9	8.7
	87046	Jujuy Aero	Jujuy	-65.08	-24.38	34.5	20.0
	87047	Salta Aero	Salta	-65.48	-24.85	31.8	18.2
	87121	Tucumán Aero	Tucumán	-65.10	-26.85	35.2	22.0
	87217	La Rioja Aero	La Rioja	-66.82	-29.38	38.7	23.5
	87222	Catamarca Aero	Catamarca	-65.77	-28.60	37.6	24.5
	87320	Chamical Aero	La Rioja	-66.28	-30.37	37.0	22.9
Cuyo	87311	San Juan Aero	San Juan	-68.42	-31.57	37.4	21.3
	87416	San Martín (Mza)	Mendoza	-68.42	-33.08	35.0	19.4
	87418	Mendoza Aero	Mendoza	-68.78	-32.83	35.0	20.6
	87436	San Luis Aero	San Luis	-66.35	-33.27	34.2	20.3
	87506	Malargüe Aero	Mendoza	-69.58	-35.50	30.6	13.1
	87509	San Rafael Aero	Mendoza	-68.40	-34.58	34.0	17.3
Centro Norte	87257	Ceres Aero	Santa Fe	-61.95	-29.88	35.6	21.5
	87328	Villa Dolores Aero	Córdoba	-65.13	-31.95	35.6	20.8
	87344	Córdoba Aero	Córdoba	-64.22	-31.32	33.4	19.5
	87349	Pilar Obs	Córdoba	-63.88	-31.67	33.5	19.9
	87448	Villa Reynolds Aero	San Luis	-65.38	-33.73	35.0	17.9
	87453	Río Cuarto Aero	Córdoba	-64.23	-33.12	32.9	19.6
	87467	Marcos Juárez Aero	Córdoba	-62.15	-32.70	34.2	19.7
	87534	Laboulaye Aero	Córdoba	-63.37	-34.13	34.2	19.0

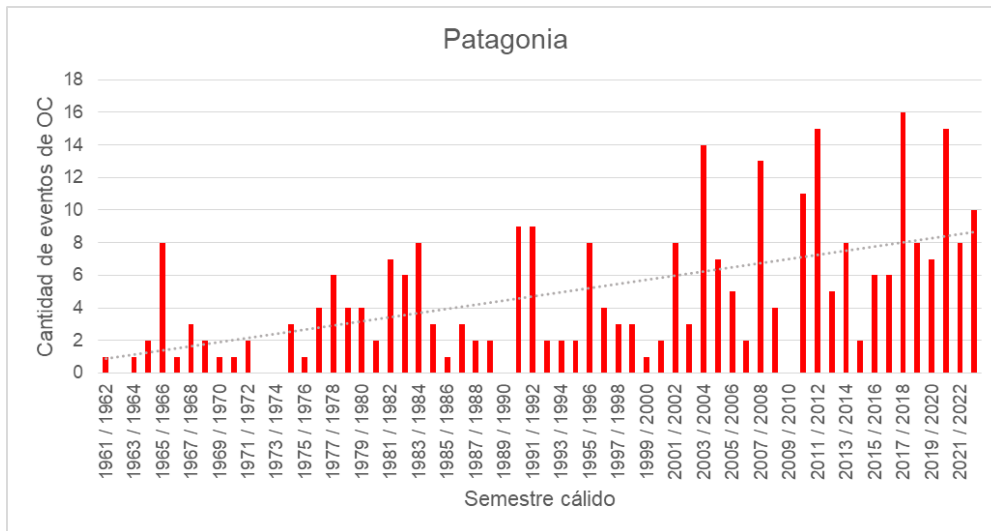
Centro Sur	87532	General Pico Aero	La Pampa	-63.75	-35.70	34.2	19.4
	87544	Pehuajó Aero	Buenos Aires	-61.90	-35.87	32.7	18.6
	87623	Santa Rosa Aero	La Pampa	-64.27	-36.57	34.5	18.6
	87637	Coronel Suárez Aero	Buenos Aires	-61.88	-37.43	31.8	16.6
	87679	Pigüé Aero	Buenos Aires	-62.38	-37.60	31.6	16.8
	87688	Tres Arroyos Aero	Buenos Aires	-60.25	-38.33	32.5	17.8
	87750	Bahía Blanca Aero	Buenos Aires	-62.17	-38.73	34.2	19.0
Buenos Aires	87548	Junín Aero	Buenos Aires	-60.92	-34.55	32.9	18.9
	87550	Nueve De Julio	Buenos Aires	-60.88	-35.45	33.2	19.0
	87563	Las Flores Aero	Buenos Aires	-59.10	-36.07	32.2	17.8
	87576	Ezeiza Aero	Buenos Aires	-58.53	-34.82	32.5	20.0
	87582	Aeroparque	Capital Federal	-58.42	-34.57	30.4	22.5
	87585	Buenos Aires	Capital Federal	-58.48	-34.58	32.3	22.0
	87593	La Plata Aero	Buenos Aires	-57.90	-34.97	31.1	20.1
	87596	Punta Indio B.N.	Buenos Aires	-57.28	-35.37	30.5	20.4
	87640	Bolívar Aero	Buenos Aires	-61.07	-36.20	32.6	18.0
	87641	Azul Aero	Buenos Aires	-59.83	-36.75	31.8	17.0
	87645	Tandil Aero	Buenos Aires	-59.25	-37.23	30.6	16.8
	87648	Dolores Aero	Buenos Aires	-57.73	-36.35	31.4	18.5
	87692	Mar del Plata Aero	Buenos Aires	-57.58	-37.93	30.5	17.7
Patagonia	87715	Neuquén Aero	Neuquén	-68.13	-38.95	34.4	17.6
	87765	Bariloche Aero	Río Negro	-71.17	-41.15	26.6	10.1
	87774	Maquinchao	Río Negro	-68.73	-41.25	29.9	11.8
	87791	Viedma Aero	Río Negro	-63.02	-40.85	33.5	18.0
	87803	Esquel Aero	Chubut	-71.15	-42.93	25.7	10.5
	87828	Trelew Aero	Chubut	-65.27	-43.20	32.8	16.3
	87860	Comodoro Rivadavia Aero	Chubut	-67.50	-45.78	29.5	16.0
	87904	El Calafate	Santa Cruz	-72.03	-50.27	21.8	10.0
	87909	San Julián Aero	Santa Cruz	-67.75	-49.32	26.8	12.2
	87925	Río Gallegos Aero	Santa Cruz	-69.28	-51.62	23.0	10.0

7. APÉNDICE 2: Series temporales de eventos de OC









8. REFERENCIAS

Ballester, J., Quijal-Zamorano, M., Méndez Turrubiates, R.F. et al., 2023: Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022. *Nat Med* 29, 1857–1866. <https://doi.org/10.1038/s41591-023-02419-z>

Bitencourt, D.P., M.V. Fuentes, A.E. Franke, R.B. Silveira and M.P.A. Alves, 2019: The climatology of cold and heat waves in Brazil from 1961 to 2016. *International Journal of Climatology*, 40, 2464–2478. <https://doi.org/10.1002/joc.6345>

Ceccherini, G., S. Russo, I. Ameztoy, C. Patricia Romero and C. Carmona-Moreno, 2016: Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: the case of South America. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(3), 821–831. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-821-2016>.

Chesini F., N. Herrera, M. Skansi, C. G. Morinigo, S. Fontán, F. Savoy, E. de Titto, 2021: Mortality risk during heat waves in the summer 2013-2014 in 18 provinces of Argentina. *Ecological study. Cien Saude Colet [periódico na internet] (2021/Ago). Disponible en: http://www.cienciaesaudecoletiva.com.br/artigos/mortalityrisk-during-heat-waves-in-the-summer-20132014-in-18-provinces-of-argentina-ecologicalstudy/18174?id=18174&id=18174.*

Feron, S., R.R. Cordero, A. Damiani, P.J. Llanillo, J. Jorquera, E. Sepulveda, V. Asencio, D. Laroze, F. Labbe, J. Carrasco and G. Torres, 2019: Observations and projections of heat waves in South America. *Scientific Reports*, 9(8173), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44614-4>.

Geirinhas, J.L., A. Russo, R. Libonati, P.M. Sousa, D.G. Miralles and R.M. Trigo, 2021: Recent increasing frequency of compound summer drought and heatwaves in southeast Brazil. *Environmental Research Letters*, 16, 1–10. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe0eb>.

IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge

University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.

Piticar, A., 2018: Changes in heat waves in Chile. *Global and Planetary Change*, 169, 234–246. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.08.007>.

Rusticucci, M., J. Kyselý, G. Almeida and O. Lhotka, 2016: Longterm 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>.

Simões dos Reis, N.C., N.T. Boiaski and S.E.T. Ferraz, 2019: Characterization and spatial coverage of heat waves in subtropical Brazil. *Atmosphere*, 10(284), 2–15. <https://doi.org/10.3390/atmos10050284>.

Skansi, M.M., M. Brunet, J. Sigró, E. Aguilar, J. Andrés, A. Groening, O.J. Bentancur, Y. Rosa, C. Geier, R.L. Correa Amaya, H. Jácome, A.M. Ramos, C.O. Rojas, A.M. Pasten, S. Sallons Mitro, C. Villaroel Jiménez, R. Martínez, L.V. Alexander and P.D. Jones, 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>.

World Meteorological Organization (WMO), 2009: Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. WMO/TD-No. 1500. 55pp. Data climate. Geneva: World Meteorological Organization. <https://library.wmo.int/idurl/4/48826>

World Meteorological Organization (WMO), 2015: Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development. WMO-No. 1142. 140 pp. Geneva: World Meteorological Organization. <https://library.wmo.int/idurl/4/54600>

Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía (rdelia@smn.gob.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gob.ar) o Martin Rugna (mrugna@smn.gob.ar) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo (macevedo@smn.gov.ar).