

SMN | REPORTE FINAL

ESTADO DEL CLIMA EN ARGENTINA 2023

Imagen satelital del 27 al 29 de diciembre de 2023, luego de las intensas precipitaciones del 17 de diciembre, en el Delta del Paraná, Entre Ríos. Satélite Sentinel 2. Resolución espacial 10 m. Imagen RGB 12-8A-4. Procesado por el Servicio Meteorológico Nacional.

Editores

María de los Milagros Skansi
María Mercedes Poggi

Autores

María Mercedes Poggi

José Luis Stella

Karina Flores

Norma Garay

María de los Milagros Skansi

Silvana Carina Bolzi

Camila Córdoba Fradinger

Daniela D’Amen

Julián Goñi

David Eduardo Díaz

Laura Aldeco

Diana Domínguez

Alejandro Godoy

María Emilia Ruiz

Lino Condori

Gerardo Carbajal

Fernando Nollas

Julián Lell

Colaboradores

Giselle Marincovich
Hernán Veiga
Natalia Herrera
Svetlana Cherkasova

Revisora

Valentina Rabanal

Diseño Editorial

Damián Tobio
Guadalupe Cruz Díaz

Fecha de edición

Abril 2024

RESUMEN	3
Sección 1. INTRODUCCIÓN	4
Sección 2. TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN A NIVEL PAÍS	8
2.1 Temperatura	9
2.2 Precipitación	13
2.3 Principales anomalías climáticas	14
2.3.1 Temperatura estacional	14
2.3.2 Precipitación estacional	19
2.4 Eventos extremos	22
2.4.1 Eventos destacados y valores diarios extremos	22
2.4.2 Olas de calor	23
2.4.3 Olas de frío	24
2.4.4 Sequía	24
2.4.5 Precipitaciones intensas y tormentas	27
2.5 Temperatura en Antártida	28
Sección 3. FORZANTES DESTACADOS DE ESCALA ESTACIONAL Y SUBESTACIONAL	31
3.1 Estado de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS)	32
3.2 Estado del Dipolo del Océano Índico (DOI)	33
3.3 Estado de la Oscilación Antártica o Modo Anular Austral (SAM, AAO)	33
3.4 Estado de la Oscilación de Madden-Julian (MJO)	34
Sección 4. GASES DE EFECTO INVERNADERO Y REACTIVOS	35
4.1 Dióxido de carbono (CO ₂) y Metano (CH ₄)	36
4.2 Ozono (O ₃) superficial	38
Sección 5. MONITOREO DE LA CAPA DE OZONO Y LA RADIACIÓN SOLAR ULTRAVIOLETA	39
5.1 Capa de ozono	40
5.1.1 Evolución de ozono total	40
5.2 Agujero de Ozono	41
5.3 Radiación solar ultravioleta	42
5.3.1 Monitoreo del índice UV	43

Resumen

El presente reporte del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) realiza una evaluación de las condiciones climáticas que afectaron a la Argentina durante 2023.

- ↘ La temperatura media del país superó el promedio del período climático de referencia y situó al 2023 como el **año más cálido de toda la serie desde 1961**.
- ↘ La temperatura media anual fue más cálida que lo normal en todos los sitios de observación del sector antártico.
- ↘ Durante el verano de 2022/23, el país fue testigo de diez olas de calor, un hecho sin precedentes. **Entre noviembre 2022 y marzo de 2023, todos los meses registraron al menos un evento extremo de calor**. La ola de calor más relevante en intensidad y duración se observó tardía, durante gran parte del mes de marzo. Produjo un calor extremo sin precedentes sobre el este de Argentina, con varias localidades quebraron sus récords de temperatura y de demanda energética.
- ↘ La temporada invernal se caracterizó por la **falta de frío extremo** en la mayor parte del país.
- ↘ La precipitación a nivel país se mantuvo por debajo del promedio del período climático de referencia, y ubicó al 2023 en el **puesto 20 de los años más secos desde 1961**.
- ↘ El verano y el inicio del otoño fueron extremadamente secos en gran parte del este de Argentina. En el invierno se observaron importantes eventos de precipitaciones en la cordillera central y sur, y en el noroeste de la Patagonia. **Durante la primavera se presentaron eventos de lluvias intensas en el norte de la región Mesopotamia. Diciembre también registró lluvias y tormentas muy fuertes en forma generalizada en casi todo el centro y norte de Argentina**, incluyendo caída de granizo de gran tamaño, vientos muy fuertes, inundaciones repentinas con severos daños materiales y pérdida de vidas.
- ↘ Durante la primera mitad del año se agravaron las condiciones de sequía, principalmente en la región central. **En febrero y marzo, se observaron categorías de sequía extrema a excepcional en gran parte del centro-noreste del país, el noroeste de Patagonia y sur de Cuyo**. Esta situación persistió durante junio en el centro del país, especialmente en la zona núcleo. El noreste de Patagonia experimentó sequías desde abril hasta finales de agosto.
- ↘ Durante los primeros meses del 2023 se evidenció el final de La Niña, iniciada a finales del 2021. Terminado el invierno, se estableció la fase opuesta de esta oscilación, El Niño. El Dipolo del Océano Índico también estuvo activo entre agosto y diciembre, en su fase positiva. Ambos fenómenos impactan en el clima de Argentina, principalmente en las precipitaciones.
- ↘ **Los valores superficiales de dióxido de carbono y metano, dos de los principales gases de efecto invernadero antropogénico, continuaron en aumento durante 2023** en Ushuaia y Marambio.
- ↘ Durante la mayor parte de enero de 2023, Buenos Aires registró valores máximos del índice ultravioleta que superaron la categoría "extremadamente alta" de riesgo. A partir de este índice, se evidenció el pasaje del agujero de ozono sobre Ushuaia y Marambio hacia principios y finales de octubre, respectivamente. El tamaño del agujero de ozono de 2023 fue similar al de los últimos 3 años, y su evolución se vio afectada por procesos de enfriamiento y calentamiento estratosféricos.

Sección | 1

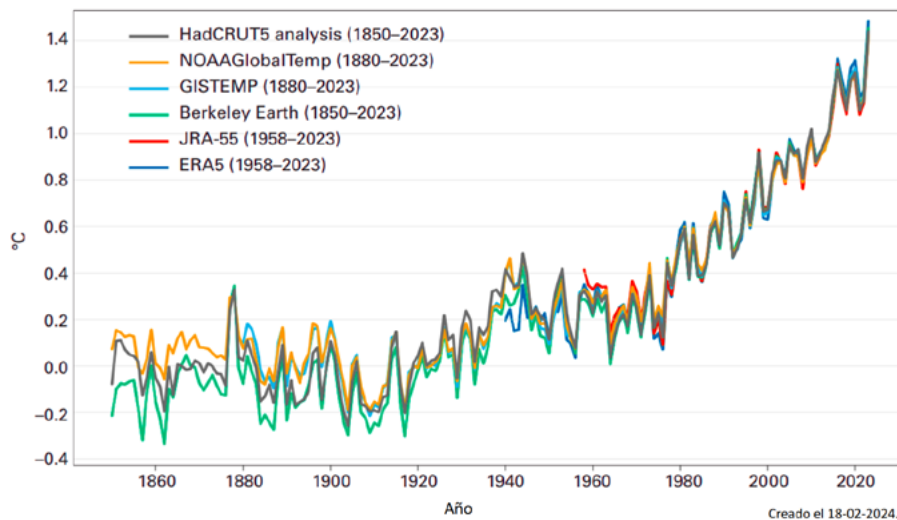
INTRODUCCIÓN

El **Reporte sobre el estado del clima en Argentina 2023** tiene como propósito principal resumir los comportamientos climáticos más relevantes ocurridos durante el último año. Proporciona una síntesis detallada de la evolución de las variables atmosféricas y ambientales monitoreadas por el SMN, además de incluir los eventos climáticos destacados durante todo el año.

Para Argentina, y de acuerdo a los datos oficiales, el año 2023 fue el año más cálido de toda la serie desde 1961, superando por amplio margen al récord anterior de 2017. A nivel mundial, el **Reporte sobre el estado del clima global 2023** de la Organización Meteorológica Mundial (OMM; OMM, 2024) confirmó que la temperatura media global cerca de la superficie en 2023 fue 1.45 °C (con un margen de incertidumbre de ± 0,12 °C) por encima del promedio de 1850-1900 (Figura 1.1). Esto convirtió al 2023 en el año más cálido a nivel mundial del registro de observación de 174 años, superando ampliamente los valores del 2016 y 2020, de 1.29 ± 0.12 °C y 1.27 ± 0.13 °C, respectivamente, por encima del promedio del período preindustrial. A su vez, de 2015 a 2023 se dieron los nueve años con temperaturas más altas. El valor global decadal promedio entre 2014 y 2023 fue de 1.20 ± 0.12 °C superior a la media de 1850-1900, siendo la temporada de 10 años más cálida registrada.

Según este reporte, también se observó un máximo histórico en el nivel medio global del mar durante 2023, y la tasa de aumento del nivel del mar en los últimos diez años (2014-2023) se duplicó desde la primera década del registro satelital (1993-2002). La extensión del hielo marino antártico alcanzó un mínimo histórico absoluto en febrero desde la era sate-

Figura 1.1: Anomalías de la temperatura media global anual desde 1850 a 2023, con respecto al valor medio 1850-1900, para seis conjuntos de datos internacionales consolidados por la OMM. Fuente: OMM.



Una mayor información se puede encontrar en el comunicado de prensa de la OMM: <https://wmo.int/es/news/media-centre/los-indicadores-del-cambio-climatico-alcanzaron-niveles-sin-precedentes-en-2023-omm>

Una mayor información se puede encontrar en: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/mlo.html>

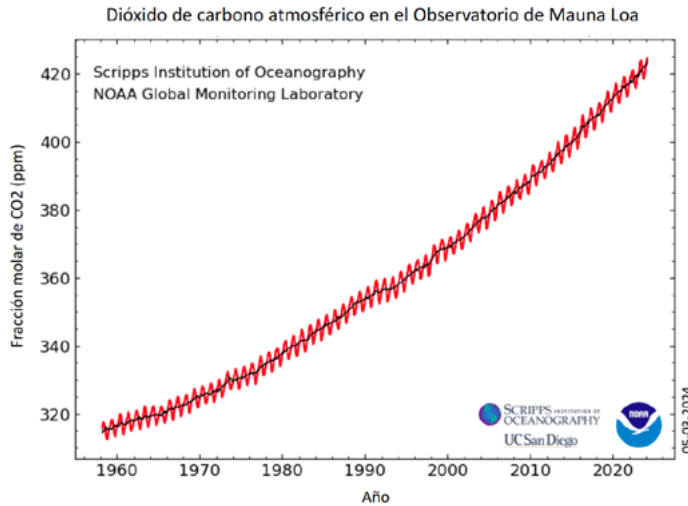
¹ ppm: Partes por millón.

² El Observatorio de Mauna Loa es un sitio de muestreo de referencia para el CO₂ y sus datos constituyen el registro más largo de mediciones directas de dicho gas en la atmósfera.

lital, y el valor más bajo para la época del año desde junio hasta principios de noviembre. Más aún, su extensión máxima al final del invierno fue inferior en 1 millón de km² a la del año récord anterior.

Las concentraciones de los tres principales gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano y óxido nítrico), responsables en su mayor parte del calentamiento terrestre, alcanzaron niveles récord en 2022, el último año en el que los valores globales consolidados están disponibles, desde 1984 (OMM, 2024). Sin embargo, los registros de ubicaciones específicas advirtieron que los niveles de estos gases continuaron aumentando en 2023. Según las mediciones del Laboratorio de Vigilancia Mundial de la Oficina Nacional de la Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés), las concentraciones medias de dióxido de carbono alcanzaron los 420.46 ppm¹ en noviembre de 2023 en el Observatorio de Mauna Loa², Hawaii, excediendo los 417.47 ppm de noviembre de 2022 (NOAA, 2023) (Figura 1.2).

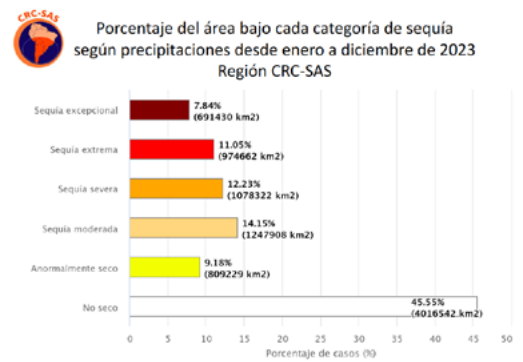
Figura 1.2. Fracción molar de la media mensual de CO2 en el Observatorio Mauna Loa, desde 1959 hasta el presente. Entre diciembre de 2022 y el 4 de julio de 2023, las mediciones corresponden a los Observatorios de Maunakea, debido a la erupción del volcán Mauna Loa. Las líneas rojas y negras representan los valores medios mensuales, centrados en la mitad de cada mes. Para la línea negra se aplicó una corrección del ciclo estacional medio. Fuente: NOAA.



Durante 2023 se observaron precipitaciones por debajo de lo normal en Argentina, ubicándolo en el puesto 20 de los años más secos desde 1961. En particular, la temporada de enero a octubre de 2023 se situó en el octavo lugar de los enero-octubres con menores lluvias (SMN, 2023a). Desde 2018, predominan anomalías negativas anuales de precipitación a nivel país, con el período de tres años 2020-2022 siendo el más deficitario en cuanto a precipitaciones desde 1961 (SMN, 2023 b). **A nivel regional, y para el intervalo de 12 meses** (enero a diciembre de 2023), **se registraron condiciones de sequía en el 54.45 % del área comprendida entre los 10 °S y los 46 °S**, un porcentaje similar al del 2022, según el Sistema de Información sobre Sequías para el sur de Sudamérica (SISSA), del Centro Regional del Clima para el sur de América del Sur (CRC-SAS) (Figura 1.3 der.). **El centro de Argentina y el noreste patagónico fueron algunas de las zonas más afectadas por la falta de lluvias en ese período** (Figura 1.3 izq.).

Más información en: <https://sisssa.crc-sas.org/monitoreo/estado-actual-de-la-sequia/>

Figura 1.3. Izq: Zonas del CRC-SAS bajo alguna categoría de sequía, según precipitaciones del 01-01-2023 al 31-12-2023. Der: Porcentaje de área bajo cada categoría de sequía en el dominio del CRC-SAS para el mismo período. Para los cálculos se considera el territorio comprendido entre los 10 °S y los 46 °S. Fuente: SISSA, CRC-SAS.



El reporte consta de cinco capítulos. En el capítulo 2 se presenta en abundante detalle la evolución de la temperatura y la precipitación durante 2023, poniendo énfasis tanto en los valores medios como en los extremos. Este capítulo incluye, además, una sección sobre la temperatura de la Antártida.

En el capítulo 3 se resume el estado de los fenómenos globales de gran escala que suelen tener algún impacto en el clima de ciertas regiones argentinas. Estos fenómenos, si bien no deben ser pensados como fuentes causales únicas de la situación climática local, son seguidos atentamente por su potencial predictivo.

En el capítulo 4 se presentan las observaciones relacionadas con las concentraciones de gases de efecto invernadero y reactivos. En general, estas mediciones no registran variaciones llamativas.

En el capítulo 5 se precisa la evolución no solo de la capa y del agujero de ozono, sino también de las mediciones de radiación ultravioleta. Esto es particularmente importante por sus implicaciones sanitarias en lo que respecta a enfermedades de la piel.

REFERENCIAS

NOAA, 2024. Earth System Research Laboratories, Global Monitoring Laboratory. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide [Laboratorios de Investigación del Sistema Terrestre, Laboratorio de Vigilancia Mundial. Tendencias del dióxido de carbono atmosférico].
<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>

OMM, 2024. WMO - No. 147. The State of Global Climate 2023. Report [El estado de clima global 2023. Reporte].
Repositorio de la OMM. <https://library.wmo.int/viewer/68835>

SMN, 2023a. Estado del Clima en Argentina 2023. Reporte preliminar. Repositorio institucional del SMN.
<https://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/2621>

SMN, 2023b. Estado del Clima en Argentina 2022. Reporte final. Repositorio institucional del SMN.
<https://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/2378>

Sección | 2

TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN A NIVEL PAÍS

2.1 Temperatura

De acuerdo a los datos oficiales, entre enero y diciembre de 2023 la anomalía de temperatura media estimada a nivel país fue de +0.83 °C con respecto al período climatológico de referencia 1991-2020 (Figura 2.1). **Este valor ubicó al 2023 como el año más cálido de toda la serie (1961-2023)**, superando por amplio margen al récord anterior de 2017 (+0.51 °C). Cabe destacar que, entre enero y agosto, el país experimentó en forma persistente condiciones de calor anómalo significativo. La tendencia de largo plazo muestra un aumento considerable de la temperatura nacional, especialmente durante las últimas dos décadas.

Figura 2.1. Anomalías de temperatura media en Argentina desde 1961 a 2023, con respecto al valor medio 1991-2020. En barras rojas se representan las anomalías positivas y en barras azules, las negativas.

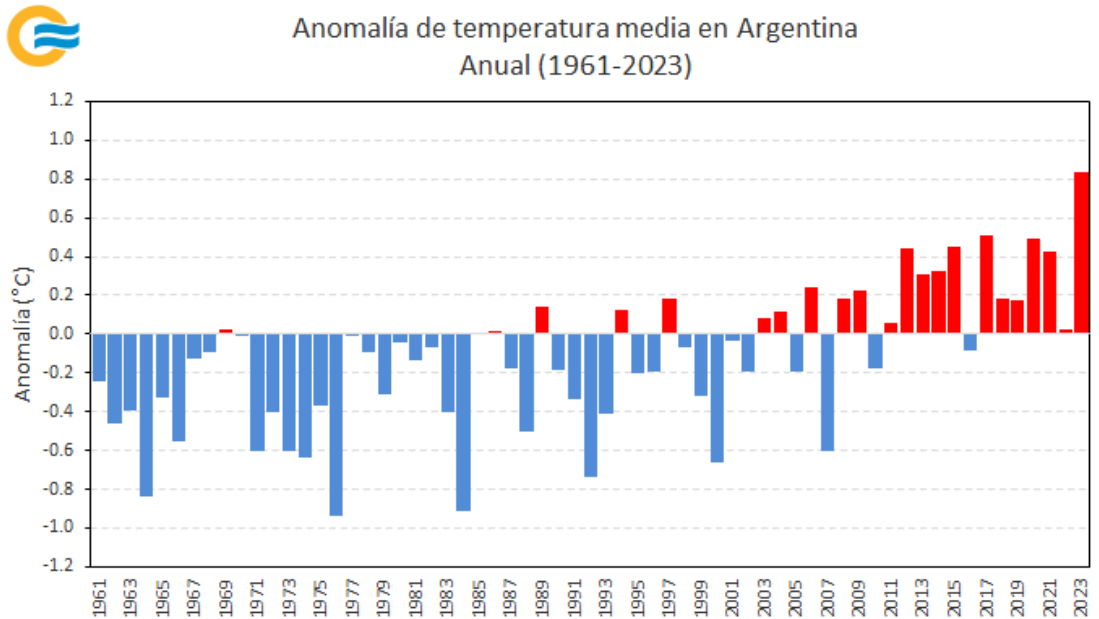
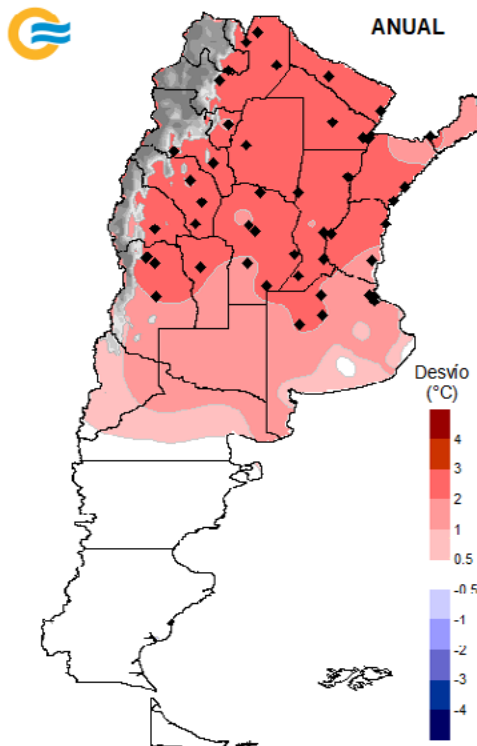


Figura 2.2. Desvío de temperatura media durante 2023, con respecto al valor medio 1991-2020. En rojo se indican las zonas con desvíos positivos. Las localidades señaladas en el mapa registraron el año más cálido del período 1961-2023.



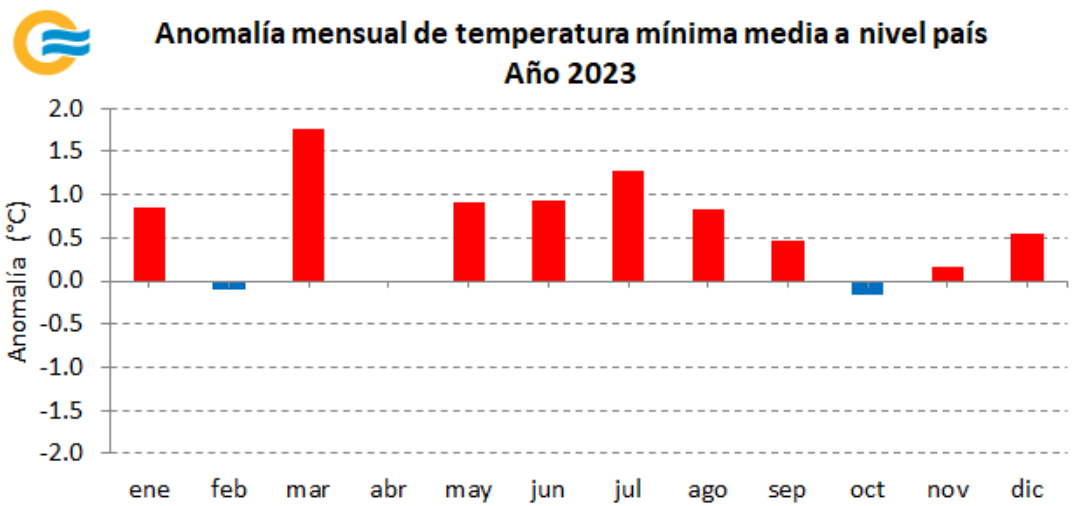
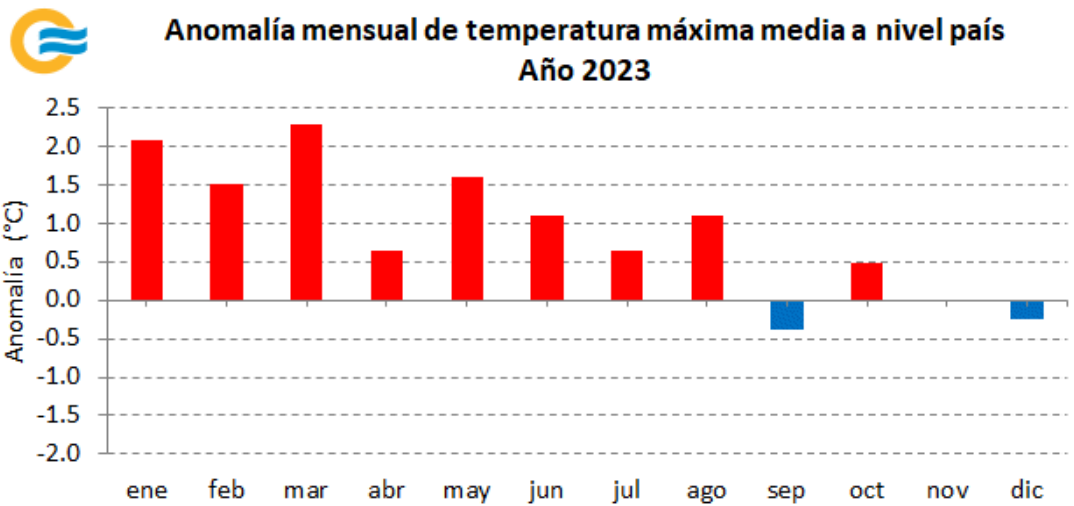
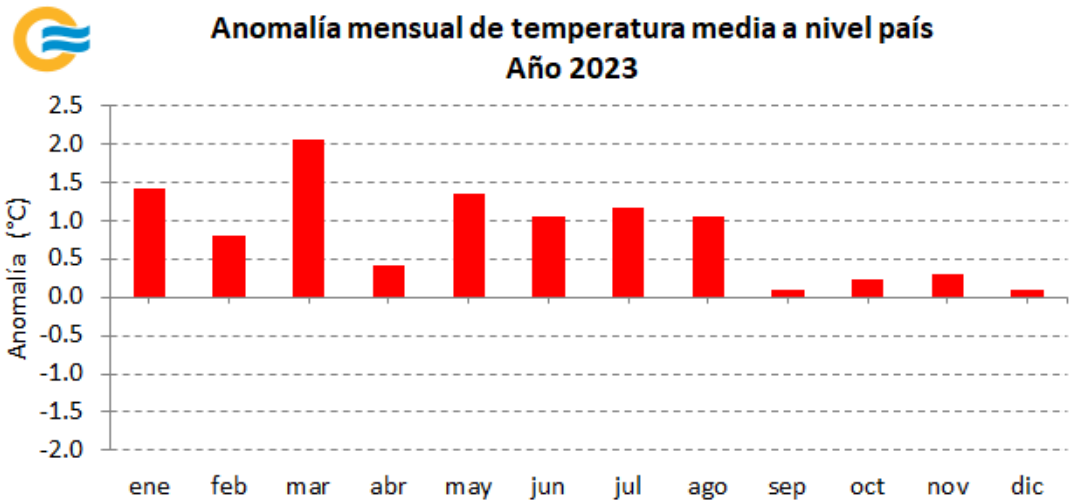
Durante el año 2023, gran parte de Argentina registró, en promedio, temperaturas por encima de lo normal, mayormente entre +0.5 °C y +2.0 °C (Figura 2.2). Más de 40 localidades sobre el centro y norte argentino registraron el año más cálido de toda la serie (Tabla 2.1). Todos los meses del año presentaron desvíos positivos, destacándose el excepcionalmente cálido e histórico marzo (Figura 2.3 arriba). Agosto marcó el décimo mes consecutivo con temperaturas por sobre lo normal a nivel país, hecho nunca antes visto. A su vez, el verano, otoño e invierno fueron de los más cálidos. Un otoño e invierno templados, observados al norte de 40 °S, fueron consistentes con el desarrollo de un nuevo evento El Niño. Con el inicio de la primavera austral, las temperaturas, en promedio, tendieron a moderarse, especialmente hacia el centro y sur del territorio nacional. Es por ello que, a nivel país, entre septiembre y diciembre se observó un valor estimado cercano a lo normal. Las temperaturas máxima y mínima media reflejaron un comportamiento mensual similar a la temperatura media (Figura 2.3 centro y abajo).

Tabla 2.1. Valores récord de temperatura media anual de 2023, junto con los máximos valores anteriores y el período de referencia considerado para cada localidad.

LOCALIDAD	TEMPERATURA MEDIA ANUAL - 2023	MÁXIMO VALOR ANTERIOR (°C)	PERÍODO DE REFERENCIA
Buenos Aires Obs.	19.2	18.8 (2017)	1961-2022
Catamarca	22.5	22.0 (2006)	1973-2022
Ceres	20.8	20.2 (2012)	1961-2022
Chamical	21.0	20.7 (2009)	1961-2022
Chepes	20.5	19.9 (1971)	1961-2022
Concordia	20.1	22.2 (1997)	1962-2022
Corrientes	22.6	18.2 (1980)	1961-2022
Córdoba Obs.	20.0	19.2 (1980)	1961-2022
Ezeiza	18.1	18.0 (2009)	1961-2022
Formosa	23.7	23.3 (1980)	1961-2022
Gualeguaychú	18.8	18.6 (2009)	1961-2022
Jujuy	20.8	19.8 (1969)	1961-2022
Junín	17.1	16.8 (1980)	1961-2022
La Rioja	21.2	21.2 (2012)	1961-2022
Laboulaye	17.4	17.1 (1970)	1961-2022
Las Lomitas	24.6	24.3 (2020)	1961-2022
Marcos Juárez	18.0	17.9 (1980)	1961-2022
Mendoza Aero	18.5	18.0 (1980)	1961-2022

LOCALIDAD	TEMPERATURA MEDIA ANUAL 2023	MÁXIMO VALOR ANTERIOR (°C)	PERÍODO DE REFERENCIA
Mendoza Obs.	18.5	17.0 (1989)	1961-2022
Monte Caseros	20.8	20.5 (2006)	1961-2022
Nueve de Julio	17.2	17.0 (1980)	1961-2022
Orán	23.4	22.5 (2012)	1961-2022
Paraná	19.7	19.0 (1997)	1961-2022
Paso de los Libres	21.2	20.6 (2012)	1961-2022
Pehuajó	16.7	16.5 (2015)	1961-2022
Pilar Obs., Córdoba	18.8	18.0 (1970)	1961-2022
Posadas	23.2	22.9 (2012)	1961-2022
Pres. Roque Sáenz Peña	22.8	22.6 (1997)	1961-2022
Reconquista	21.8	21.1 (2012)	1961-2022
Resistencia	22.7	22.3 (2014)	1965-2022
Rivadavia	24.5	24.4 (2020)	1961-2022
Rosario	18.9	18.5 (2017)	1961-2022
Río Cuarto	17.3	17.3 (1989)	1961-2022
Salta	18.4	17.7 (1997)	1961-2022
San Juan	19.1	18.7 (2009)	1961-2022
San Luis	18.9	18.6 (2020)	1961-2022
San Martín	18.3	17.7 (2020)	1961-2022
San Rafael	16.4	16.3 (2020)	1961-2022
Santiago del Estero	22.1	21.5 (1989)	1961-2022
Sauce Viejo	20.2	19.8 (2015)	1961-2022
Tartagal	23.3	22.3 (2013)	1961-2022
Tinogasta	20.5	20.1 (1997)	1961-2022
Tucumán	20.7	20.6 (2012)	1961-2022
Venado Tuerto	18.0	17.0 (2017)	1989-2022
Villa María de Río Seco	19.5	19.4 (1965)	1961-2022

Figura 2.3. Anomalías mensuales de temperatura media (arriba), máxima media (centro) y mínima media (abajo) a nivel país durante 2023, con respecto al valor medio 1991-2020. En barras rojas se representan las anomalías positivas y en barras azules, las negativas.



2.2 Precipitación

De acuerdo a los datos oficiales, entre enero y diciembre de 2023 Argentina registró un desvío estimado de -8.3 %, ubicándolo en el **puesto 20 de los años más secos desde 1961** (Figura 2.4). En gran parte del centro y sur del país prevalecieron lluvias por debajo de lo normal, especialmente sobre el noreste y sur de Patagonia, noroeste de Buenos Aires, gran parte de Córdoba y este de Cuyo (Figura 2.6). Por otro lado, los excesos estuvieron limitados al extremo oeste del NOA, zona cordillerana de Mendoza, noroeste de Patagonia y parte del extremo norte del Litoral.

A nivel mensual, la primera mitad del año se presentó mayormente deficitaria (Figura 2.5). **El verano y comienzo del otoño fueron extremadamente secos en gran parte del este de Argentina.** Luego del tercer año consecutivo de La Niña (2020-2023), asociada a la persistente y extrema sequía, junto con las altísimas temperaturas, se desencadenó una situación crítica para la región. La estación lluviosa en la zona andina central y sur fue muy notoria, con varios eventos de lluvias y nevadas intensas desde mayo hasta octubre. **Con el inicio de la primavera y la consolidación del fenómeno de El Niño, la región del Litoral comenzó a experimentar diversos impactos debido a precipitaciones intensas y recurrentes, que afectaron especialmente a Misiones y Corrientes.** Con el transcurso de los meses, de octubre a diciembre, este patrón anómalamente húmedo se extendió hacia el sur y oeste, consolidando aún más la señal de El Niño. Por ello, el área afectada por la sequía disminuyó gradualmente.

Figura 2.4. Anomalías porcentuales de precipitación a nivel país desde 1961 a 2023, con respecto al valor medio 1991-2020. En barras verdes se representan las anomalías positivas y en barras marrones, las negativas.

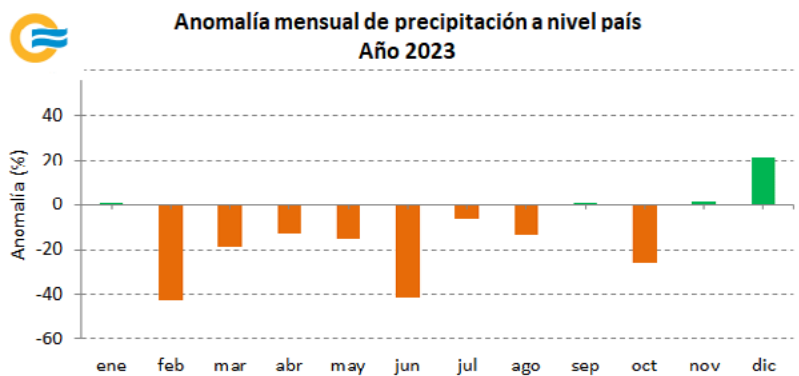
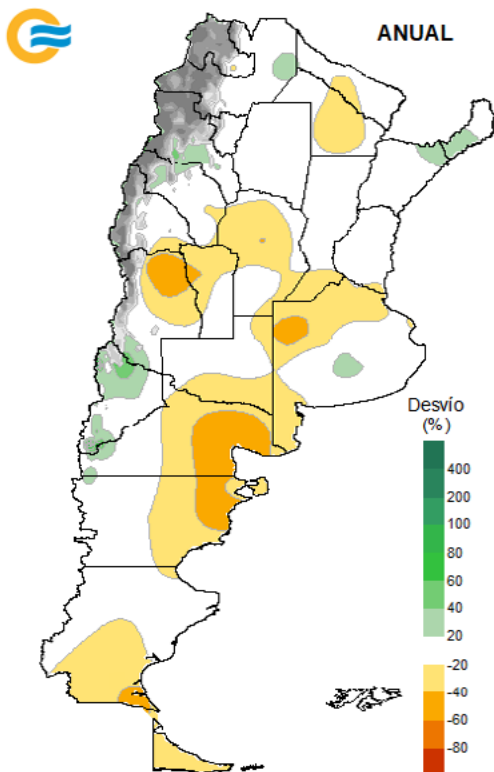
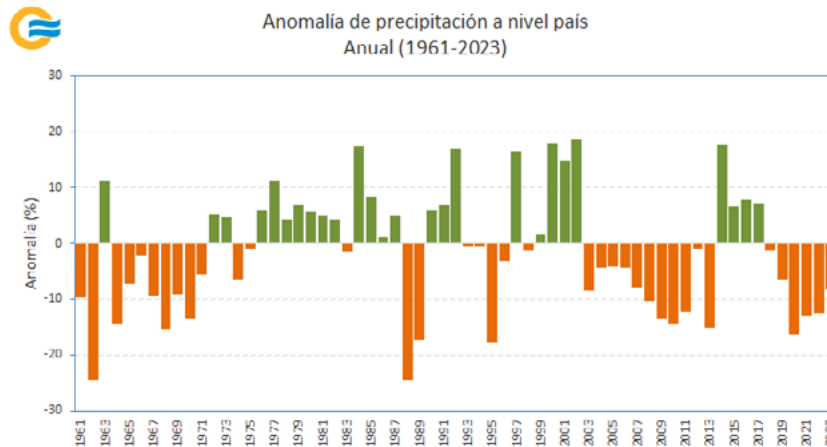


Figura 2.5. Anomalías porcentuales mensuales de precipitación a nivel país durante 2023, con respecto al valor medio 1991-2020. En barras verdes se representan las anomalías positivas y en barras marrones, las negativas.

Figura 2.6. Desvíos porcentuales de precipitación durante 2023, con respecto al valor medio 1991-2020. En verde se indican las zonas con desvíos positivos y en marrón, con desvíos negativos.

| 2.3 Principales anomalías climáticas

2.3.1 TEMPERATURA ESTACIONAL

Durante las tres primeras estaciones del año, las temperaturas medias exhibieron una mayor presencia de anomalías positivas. El **verano** (diciembre de 2022, enero y febrero de 2023) y el **otoño** (marzo, abril y mayo) se caracterizaron por temperaturas superiores a las normales en gran parte del territorio, con los mayores desvíos en el norte y el centro del mismo (Figura 2.7 arriba izq. y der.). Algo a destacar del verano fue la entrada inusual de aire muy frío a mediados del mes de febrero, tras una ola de calor, que provocó una disminución excepcional de las temperaturas para la época del año. De esta manera, a pocos días de quebrar récords de calor, decenas de localidades registraron marcas históricas de frío para el mes de febrero, llegando incluso a experimentar heladas muy tempranas. Más aún, durante el viernes 17 y la mañana del sábado 18, condiciones típicas de invierno se hicieron presentes en medio del **verano más cálido de la historia para Argentina**. Durante el otoño, también se registraron varios valores récord (Tabla 2.2). En el **invierno** (junio, julio y agosto), las anomalías positivas se ubicaron en el centro y norte del país, donde se superaron récords (Tabla 2.3), mientras que en el sur de la Patagonia se presentaron desvíos levemente negativos (Figura 2.7 abajo izq.). En la **primavera** (septiembre, octubre y noviembre), se observaron anomalías positivas en el norte argentino y en sectores de Cuyo, y desvíos negativos en la Patagonia (Figura 2.7 abajo izq.).

Figura 2.7. Desvíos de temperatura media de verano (arriba izq.), otoño (arriba der.), invierno (abajo izq.) y primavera (abajo der.) durante 2023, con respecto al valor medio 1991-2020. En rojo se indican las zonas con desvíos positivos y en azul, con desvíos negativos.

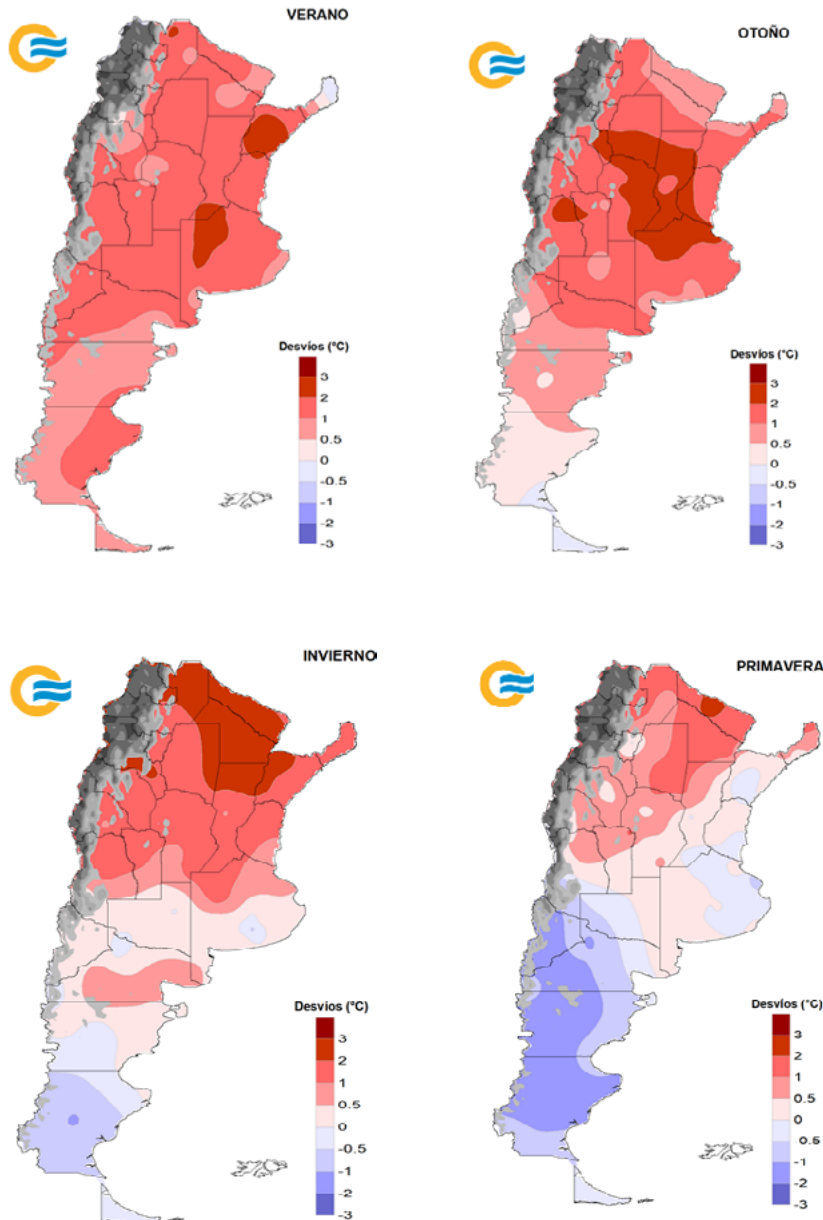


Tabla 2.2. Valores récord de temperatura media en el otoño de 2023, junto con los máximos valores anteriores y el período de referencia considerado para cada localidad.

LOCALIDAD	TEMPERATURA MEDIA OTOÑO DE 2023 (°C)	MÁXIMO VALOR ANTERIOR (°C)	PERÍODO DE REFERENCIA
Buenos Aires	20.6	20.1 (1980)	1961-2022
Catamarca	22.8	22.5 (2009)	1973-2022
Córdoba Observatorio	20.7	20.4 (2009)	1961-2022
Jujuy	20.3	19.8 (2018)	1961-2022
Junín	18.4	18.0 (1980)	1961-2022
Nueve de Julio	18.5	18.2 (1980)	1961-2022
Paraná	20.5	20.3 (1980)	1961-2022
Pilar Obs., Córdoba	19.5	19.4 (2009)	1961-2022
Rosario	20.0	19.7 (1980)	1961-2022
San Martín, Mendoza	18.4	18.3 (2009)	1961-2022
Villa de María	20.1	19.9 (1969)	1961-2022

Tabla 2.3. Valores récord de temperatura media en el invierno de 2023, junto con los máximos valores anteriores y el período de referencia considerado para cada localidad.

LOCALIDAD	TEMPERATURA MEDIA INVIERNO DE 2023 (°C)	MÁXIMO VALOR ANTERIOR (°C)	PERÍODO DE REFERENCIA
Catamarca	15.3	14.9 (2006)	1973-2022
Chilecito	12.7	12.4 (2006)	1989-2022
Corrientes	18.3	18.2 (2015)	1962-2022
Formosa	19.6	19.5 (2015)	1962-2022
Jujuy	15.4	14.7 (1968)	1961-2022
Las Lomitas	20.1	19.7 (2006)	1961-2022
Orán	18.1	17.3 (2006)	1961-2022
Paso de los Libres	16.4	16.3 (2015)	1961-2022
Pilar Obs., Córdoba	12.7	12.2 (2015)	1961-2022
Presidencia Roque Sáenz Peña	18.5	18.1 (1997)	1961-2022
Reconquista	17.0	16.8 (2015)	1961-2022
Resistencia	18.5	17.9 (2015)	1965-2022
Salta	13.1	12.8 (1986)	1961-2022
Santiago del Estero	15.7	15.3 (1965)	1961-2022
Tartagal	18.4	17.9 (1965)	1961-2022
Tucumán	14.9	14.8 (2015)	1961-2022

Las temperaturas máximas fueron predominantemente más cálidas tanto en verano como en otoño (Figura 2.8 izq. y centro izq.), con algunas localidades registrando valores récord (Tablas 2.4 y 2.5). En el invierno, se observaron anomalías positivas en el norte y centro del país, con desviaciones superiores a los +2 °C (Figura 2.8 centro der.), mientras que las anomalías negativas fueron leves en el sur de la Patagonia. Este trimestre, a su vez, presentó varios récords (Tabla 2.6). En la primavera, las anomalías positivas se dieron en el norte y centro del territorio, y las negativas, en la Patagonia (Figura 2.8 der.).

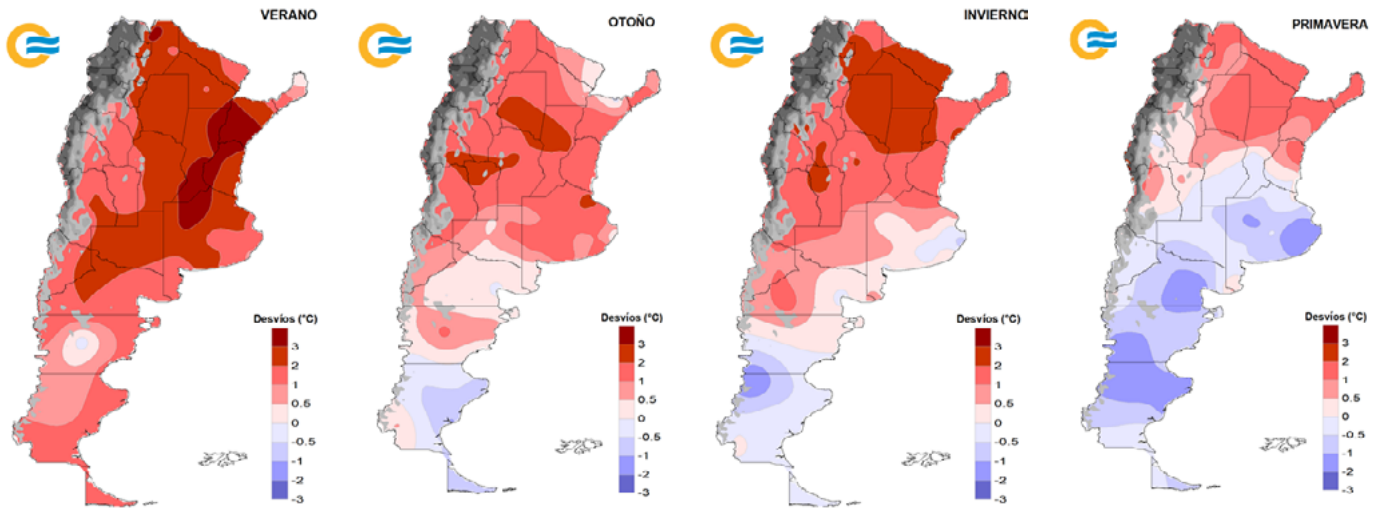


Figura 2.8. Desvíos de temperatura máxima media de verano (izq.), otoño (centro izq.), invierno (centro der.) y primavera (der.) durante 2023, con respecto al valor medio 1991-2020. En rojo se indican las zonas con desvíos positivos y en azul, con desvíos negativos.

Tabla 2.4. Valores récord de temperatura máxima media en el verano de 2022/23, junto con los máximos valores anteriores y el período de referencia considerado para cada localidad.

LOCALIDAD	TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA VERANO DE 2022/23 (°C)	MÁXIMO VALOR ANTERIOR (°C)	PERÍODO DE REFERENCIA
Bolívar	31.6	31.3 (2021/22)	1961-2022
Buenos Aires	31.2	31.0 (1987/88)	1961-2022
La Plata	30.7	30.1 (1987/88)	1961-2022
Neuquén	33.2	32.7 (2021/22)	1961-2022
Paraná	33.5	33.1 (1987/88)	1961-2022
Paso de los Libres	34.8	34.6 (2020/21)	1961-2022
Pehuajó	32.2	32.0 (2021/22)	1961-2022
San Rafael	32.9	32.6 (2016/17)	1961-2022

Tabla 2.5. Valores récord de temperatura máxima media en el otoño de 2023, junto con los máximos valores anteriores y el período de referencia considerado para cada localidad.

LOCALIDAD	TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA OTOÑO DE 2023 (°C)	MÁXIMO VALOR ANTERIOR (°C)	PERÍODO DE REFERENCIA
Buenos Aires	25.3	25.1 (2015)	1961-2022
Catamarca	30.0	29.7 (1967)	1973-2022
Chamical	27.9	27.8 (2006)	1961-2022
Junín	26.0	25.5 (2009)	1961-2022
La Plata	24.4	24.2 (2015)	1961-2022
Nueve De Julio	25.9	25.8 (2009)	1961-2022
Paraná	26.2	26.0 (2015)	1961-2022
Pehuajó	25.6	25.3 (2009)	1961-2022
Tucumán	27.1	27.0 (1967)	1961-2022

Tabla 2.6. Valores récord de temperatura máxima media en el invierno de 2023, junto con los máximos valores anteriores y el período de referencia considerado para cada localidad.

LOCALIDAD	TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA INVIERNO DE 2023 (°C)	MÁXIMO VALOR ANTERIOR (°C)	PERÍODO DE REFERENCIA
Catamarca	23.8	23.3 (2015)	1973-2022
Corrientes	24.5	24.3 (2006)	1962-2022
Jujuy	23.1	22.7 (2006)	1961-2022
La Quiaca	19.0	18.2 (2010)	1961-2022
Oberá	24.9	23.9 (1995)	1961-2022*
Paso de los Libres	22.1	21.9 (2001)	1961-2022
Presidencia Roque Sáenz Peña	26.0	25.4 (2006)	1961-2022
Reconquista	23.2	22.7 (2006)	1961-2022
Resistencia	25.2	24.8 (2020)	1965-2022
Salta	22.7	22.4 (1987)	1961-2022

* Período con interrupciones.

En cuanto a las temperaturas mínimas, el verano presentó temperaturas superiores o próximas a los valores medios en la mayoría del territorio nacional (Figura 2.9 izq.). En Comodoro Rivadavia y La Quiaca se superaron récords de temperaturas mínimas medias más altas (Tabla 2.7). En cuanto al otoño e invierno, en general, las temperaturas mínimas fueron más cálidas a las normales desde el norte de la Patagonia al norte del país, y normales o levemente frías en gran parte de la Patagonia (Figura 2.9 centro izq. y centro der.). En estos trimestres, algunas localidades también alcanzaron valores récord de temperaturas mínimas medias más altas (Tablas 2.8 y 2.9). **Una característica notable del invierno fue la gran diferencia térmica entre décadas de un mismo mes, no sólo en las temperaturas mínimas, sino también en las máximas, siendo en ocasiones de hasta 5 °C.** Para las temperaturas mínimas, las mayores diferencias se dieron en el mes de junio (Figura 2.10). Durante la primavera, las anomalías fueron positivas al norte de los 35 °S y negativas hacia el sur (Figura 2.9 der.).

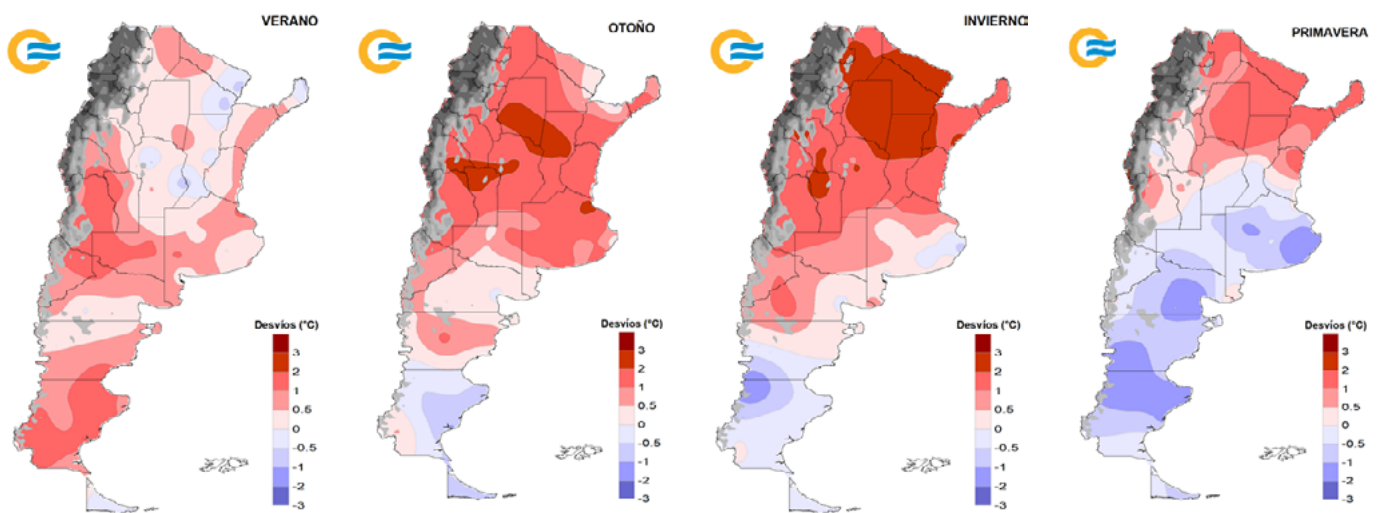


Figura 2.9. Desvíos de temperatura mínima de verano (izq.), otoño (centro izq.), invierno (centro der.) y primavera (der.) durante 2023, con respecto al valor medio 1991-2020. En rojo se indican las zonas con desvíos positivos y en azul, con desvíos negativos.

Figura 2.10. Desvíos de temperatura mínima de la primera década de junio (izq.) y la segunda década de junio (der.) durante 2023, con respecto al valor medio 1991-2020. En rojo se indican las zonas con desvíos positivos y en azul, con desvíos negativos.

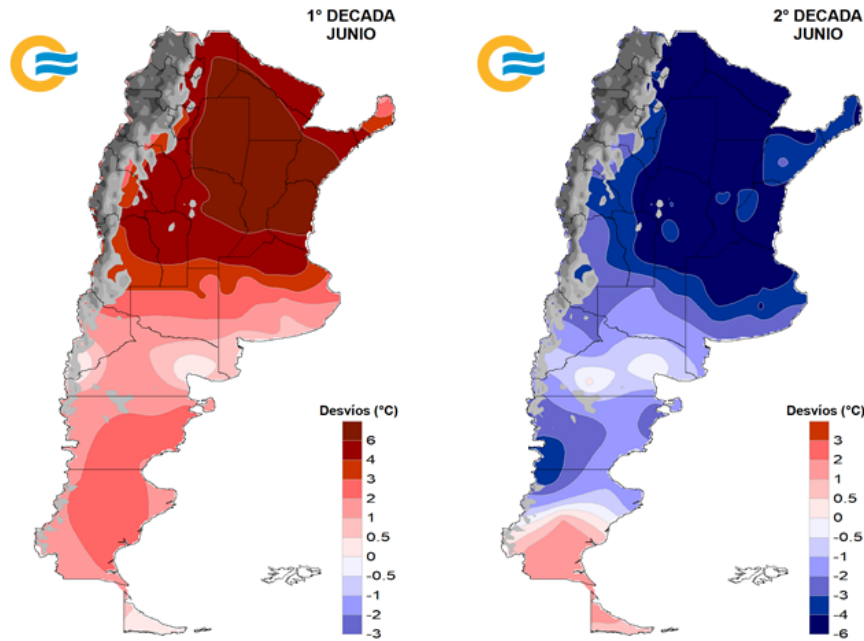


Tabla 2.7. Valores récord de temperatura mínima media en el verano de 2022/23, junto con los máximos valores anteriores y el período de referencia considerado para cada localidad.

LOCALIDAD	TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA VERANO DE 2022/23 (°C)	MÁXIMO VALOR ANTERIOR (°C)	PERÍODO DE REFERENCIA
Comodoro Rivadavia	14.2	14.0 (1982/83)	1961-2021
La Quiaca	7.1	7.0 (2019/20)	1961-2021

Tabla 2.8. Valores récord de temperatura mínima media en el otoño de 2023, junto con los máximos valores anteriores y el período de referencia considerado para cada localidad.

LOCALIDAD	TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA OTOÑO DE 2023 (°C)	MÁXIMO VALOR ANTERIOR (°C)	PERÍODO DE REFERENCIA
Córdoba Observatorio	15.7	14.8 (1980)	1961-2022
San Juan	13.1	13.0 (2009)	1961-2022
San Luis	14.0	13.6 (2015)	1961-2022

Tabla 2.9. Valores récord de temperatura mínima media en el invierno de 2023, junto con los máximos valores anteriores y el período de referencia considerado para cada localidad.

LOCALIDAD	TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA INVIERNO DE 2023 (°C)	MÁXIMO VALOR ANTERIOR (°C)	PERÍODO DE REFERENCIA
Iguazú	13.6	13.5 (2015)	1961-2022
Jujuy	9.7	9.0 (1968)	1961-2022
Mendoza	4.9	4.7 (2006)	1961-2022
Oberá	13.9	13.8 (2015)	1961-2022*
Orán	12.9	12.7 (2015)	1961-2022
Salta	5.9	5.8 (1965)	1961-2022
San Luis	7.4	7.1 (2015)	1961-2022
San Martín, Mendoza	4.7	4.5 (2006)	1961-2022

* Período con interrupciones.

2.3.2 PRECIPITACIÓN ESTACIONAL

Durante el **verano**, las precipitaciones fueron inferiores a los valores normales en la región norte y centro del país (Figura 2.11 izq.). Los mayores déficits se presentaron en Corrientes y este de Formosa, con valores que estuvieron más de 300 mm por debajo del promedio 1991-2020. Se destacaron las estaciones **Paso de los Libres** (provincia de Corrientes) y **Formosa** (provincia homónima), **para las cuales el verano 2022/2023 fue el más seco desde 1961** (Tabla 2.10). Asimismo, varias estaciones de la región central experimentaron el febrero más seco de su registro. Con respecto a Patagonia, el verano presentó lluvias dentro el rango normal, mientras que en La Rioja, Catamarca y San Luis se superaron levemente los valores normales.

En el **otoño**, las mayores precipitaciones ocurrieron en la zona central y norte, superándose los valores normales en el noroeste del país y en algunas estaciones puntuales, en su mayoría de las provincias de Buenos Aires y Santa Fe (Figura 2.11 centro izq.). Por otro lado, **varias localidades de la Patagonia**, incluyendo **Neuquén, San Antonio Oeste y Viedma**, entre otras, **registraron las precipitaciones acumuladas mínimas para el otoño desde 1961**.

En el **invierno** se observaron importantes eventos de precipitaciones, principalmente en forma de nieve, en el noroeste patagónico y sur de Cuyo (Figura 2.11 centro der.). En particular, la localidad de **Bariloche registró su invierno más lluvioso desde 1961**. Al mismo tiempo, la región centro-este del país mostró precipitaciones escasas, que no llegaron a superar los valores normales.

En la **primavera** continuó la ocurrencia de eventos de lluvia en la Patagonia, favoreciendo la recarga de los ríos y los embalses de la zona (Figura 2.11 der.), con valores de precipitación que superaron a los normales de la temporada en el noroeste de la región. En la zona central de Argentina prevalecieron, como todo el año, los déficits de lluvia, lo que agravó las condiciones de sequía, excepto en el centro de la provincia de Buenos Aires, donde los eventos registrados, principalmente en noviembre, dejaron precipitaciones ligeramente superiores a las normales. Lo más significativo de este trimestre fue la activación sucesiva de eventos de lluvias intensas en el norte de la región Mesopotamia, coherente con lo esperado durante El Niño. Las estaciones de Posadas y Oberá, en Misiones, registraron el **septiembre más lluvioso desde 1961**. Esto se debió principalmente a un evento del primer día del mes, donde la precipitación diaria alcanzó valores de 204 mm en Posadas, estableciendo un récord histórico en la serie, superando el máximo anterior de 1984. En la misma fecha, la **estación de Ituzaingó**, al norte de la provincia de Corrientes, **reportó 267 mm de precipitación en 24 h**, siendo la **precipitación diaria más alta para septiembre desde 1994**. En Oberá, al igual que **en septiembre**, también se **registraron récords de precipitación mensual en octubre y noviembre desde 1961**. De esta manera, **la localidad experimentó la primavera más lluviosa desde 1961** (Tabla 2.10).

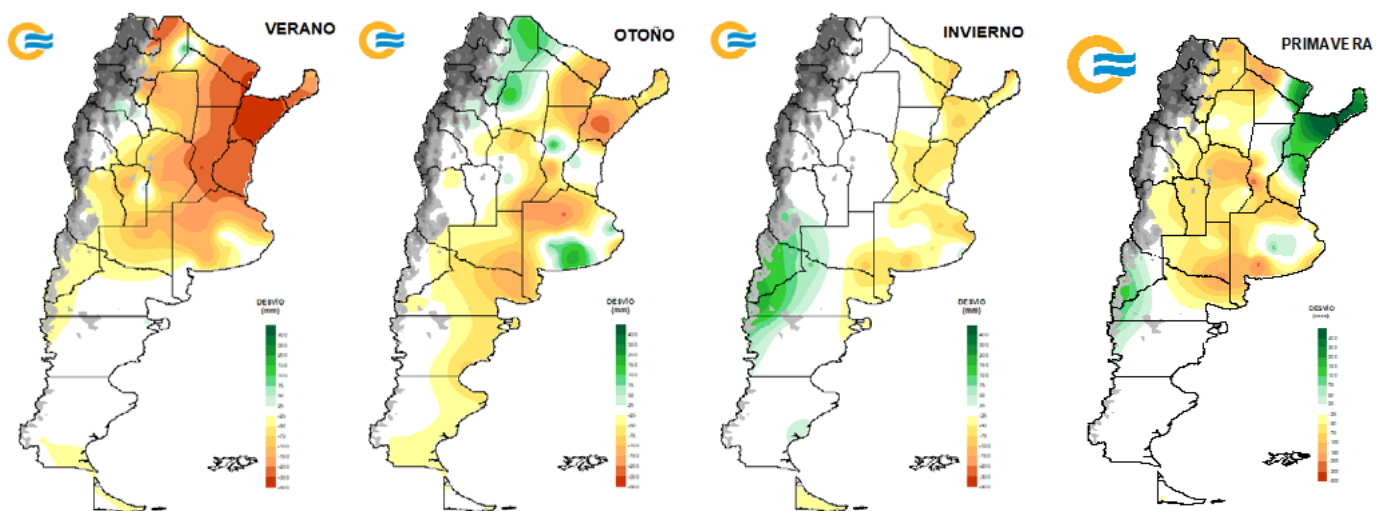


Figura 2.11. Desvíos de precipitación acumulada de verano (izq.), otoño (centro izq.), invierno (centro der.) y primavera (der.) durante 2023, con respecto al valor medio 1991-2020. En verde se indican las zonas con desvíos positivos y en marrón, con desvíos negativos.

Tabla 2.10. Valores récord de precipitación acumulada estacional durante 2023 junto con los máximos o mínimos valores anteriores, según el caso. En la mayoría de las localidades, el período de referencia considerado es 1961-2023.

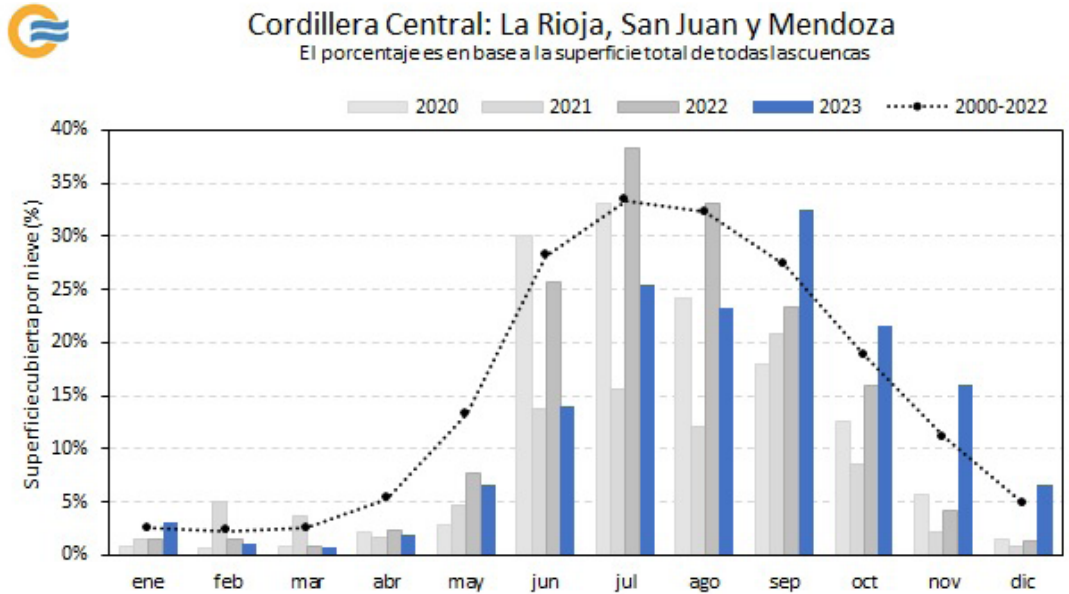
ESTACIÓN DEL AÑO	LOCALIDAD	PRECIPITACIÓN ESTACIONAL (mm)	MÁXIMO O MÍNIMO VALOR ANTERIOR, SEGÚN EL TIPO DE RÉCORD (mm)	TIPO DE RÉCORD: PRECIPITACIÓN MÁXIMA O MÍNIMA
VERANO DE 2022/2023	Formosa	146.3	153 (2021/2022)	Mínima
	Paso de los Libre	109.9	129.2 (2021/2022)	Mínima
OTOÑO DE 2023	Santiago del Estero	287.2	280.6 (1982)	Máxima
	Neuquén	3.2	4.7 (1963)	Mínima
	San Antonio Oeste	11.3	16 (2009)	Mínima
	Viedma*	16.1	19.6 (2009)	Mínima
	Trelew	1.5	4.3 (1996)	Mínima
	Puerto Madryn**	6	11.5 (2011)	Mínima
INVIERNO DE 2023	Bariloche	619	610.8 (1971)	Máxima
PRIMAVERA DE 2023	Las Lomitas	42.5	60.5 (2012)	Mínima
	Bahía Blanca	53	97.5 (2016)	Mínima
	Oberá	1590	1060.1 (1997)	Máxima

* Período de referencia: 1971-2023.

** Período de referencia: 1993-2023.

En la región cordillerana de Cuyo, las precipitaciones en forma de nieve a partir de la primavera dejaron importantes acumulados debido a algunas nevadas significativas, lo cual mejoró el caudal de los ríos, la humedad del suelo, la recarga de los acuíferos, entre otros. En los años anteriores, el promedio de cobertura de nieve en la primavera estuvo por debajo de la media del período 2000-2020. Analizando el período frío (abril a octubre) en la región, y en base a los datos del Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA-CONICET), se observó que los valores de cobertura nieve no superaron al promedio histórico de referencia 2000-2022 entre abril y agosto de 2023, pero sí lo hicieron en los meses de septiembre y octubre (Figura 2.12). Esto mismo ocurrió en noviembre y diciembre.

Figura 2.12: Porcentajes medios mensuales de superficie cubierta por nieve en la cordillera central de los Andes durante 2023, mostrado en barras azules. En barras grises se indican los valores del 2022, 2021 y 2020. En línea punteada se representan los valores del período 2000-2022. Fuente de datos: Observatorio Regional de la Nieve, IANIGLA. La cobertura espacial de nieve se estima a partir del sensor MODIS a bordo de los satélites TERRA y AQUA.



Con respecto a las cuencas hidrográficas de la región de los Andes Central, y considerando el período frío, las nevadas de 2023 fueron superiores en las subcuencas de Mendoza en comparación con los últimos tres años (Figura 2.13 der.). En la cuenca del río San Juan hubo una mayor cobertura nívea hacia fines de la temporada, pero, en promedio, fue inferior a la del año pasado. La cobertura de la cuenca del río Jachal fue la más deficitaria a lo largo de todos los meses y de los últimos años. La cobertura de la cuenca del río Malargüe fue superadora a partir del mes de mayo y los valores de la temporada sobrepasaron ampliamente a los de 2020, 2021 y 2022. Con respecto al valor del período de referencia 2000-2022, las cuencas de los ríos Jachal, San Juan y Mendoza presentaron porcentajes de cobertura de nieve anómalos negativos del 79 %, 47 % y 3 %, respectivamente, mientras que el resto de las cuencas hacia el sur mostraron desvíos positivos (Figura 2.13 izq.). El valor más destacado fue el de la cuenca del río Malargüe, con una anomalía positiva del 43 %.

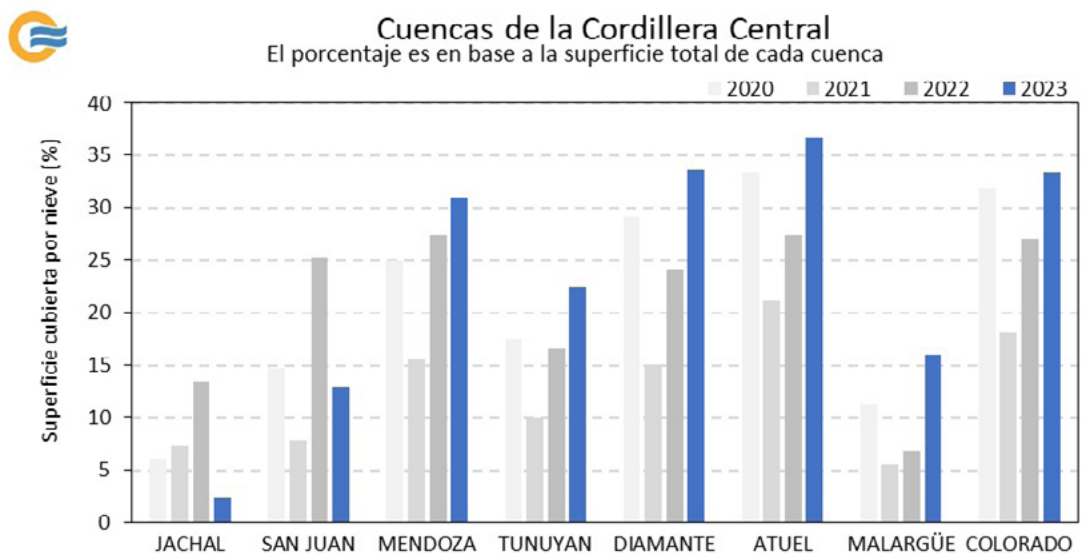
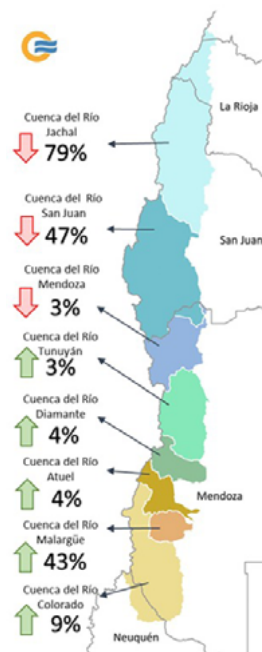


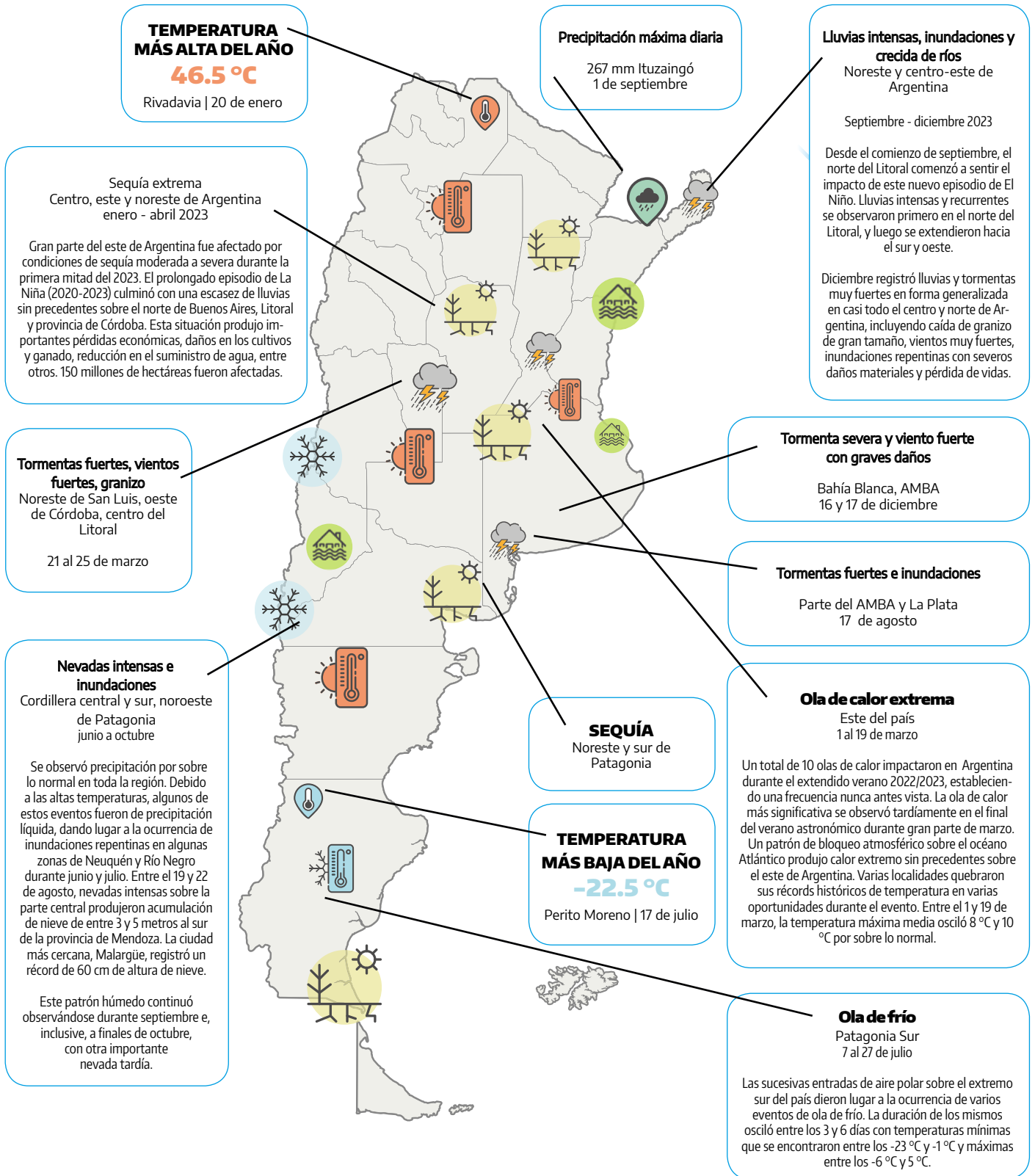
Figura 2.13: Izq. Porcentajes anómalos de cobertura de nieve durante el período frío de 2023 en las cuencas hidrográficas de la cordillera central de los Andes, con respecto al valor medio 2000-2022. Der.: Porcentajes medios de superficie cubierta por nieve durante el período frío de 2023 en las cuencas hidrográficas de la cordillera central de los Andes, mostrado en barras azules. En barras grises se indican los valores del 2022, 2021 y 2020. Fuente de datos: Observatorio Regional de la Nieve, IANIGLA. La cobertura espacial de nieve se estima a partir del sensor MODIS a bordo de los satélites TERRA y AQUA.

2.4 Eventos extremos

Figura 2.14. Resumen de los eventos meteorológicos más destacados en Argentina durante el 2023.

La Figura 2.14 resume los eventos meteorológicos más destacados durante el año 2023. En las siguientes secciones se hace una descripción más detallada de dichos eventos.

2.4.1 EVENTOS DESTACADOS Y VALORES DIARIOS EXTREMOS



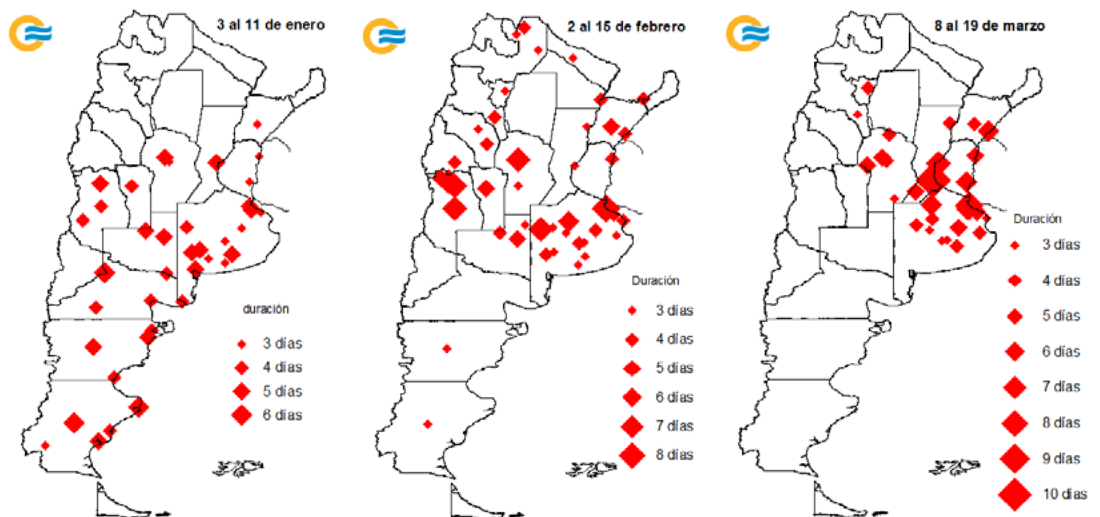
2.4.2 OLAS DE CALOR

¹ Un evento de ola de calor se define cuando las temperaturas máximas y mínimas superan o igualan, durante al menos tres días consecutivos y en forma simultánea, ciertos valores umbrales que dependen de cada localidad (percentil 90 del semestre cálido octubre-marzo). Los umbrales se encuentran en: <https://www.smn.gob.ar/estadisticas>.

Diez olas de calor¹ impactaron en Argentina durante el extendido verano 2022/2023, estableciendo una frecuencia sin precedentes. Entre noviembre 2022 y marzo 2023, todos los meses registraron al menos un evento extremo de calor. Los más significativos durante el 2023 tuvieron lugar entre el 3 y 11 de enero sobre el centro y sur del país, mientras que los observados entre el 2 y 15 de febrero afectaron al centro y norte argentino. Los dos eventos consecutivos ocurridos entre el 28 de febrero y 19 de marzo impactaron principalmente al centro-este del territorio.

La ola de calor de enero se destacó por su extensión territorial y persistencia en Patagonia, alcanzando una duración de seis días en Neuquén, Gobernador Gregores y Puerto Deseado (Figura 2.15 izq.). La ola de calor de febrero, además de duradera y extensa, vino acompañada por temperaturas que superaron los récords históricos en algunas localidades, como, por ejemplo, en El Bolsón (38.5 °C, el 4 de febrero), Pehuajó (40.6 °C, el 12 de febrero), Dolores (40.3 °C, el 12 de febrero) y La Plata (39.5 °C, el 12 de febrero) (Figura 2.15 centro). La ola de calor más relevante en cuanto a intensidad y duración se registró tardíamente en el final del verano astronómico durante gran parte del mes de marzo (Figura 2.15 der.). Un patrón de bloqueo atmosférico sobre el océano Atlántico produjo calor extremo sin precedentes sobre el este de Argentina. **La persistencia de noches y tardes agobiantes establecieron nuevos récords históricos para un mes de marzo. Varias localidades quebraron sus récords de temperatura en varias oportunidades durante el evento.** Entre el 1 y 19 de marzo, la temperatura máxima media osciló entre 8 °C y 10 °C por sobre lo normal. Algunos de los valores más destacados se registraron en Nueve de Julio (40.0 °C, el 2 de marzo), Coronel Suárez (38.0 °C, el 2 de marzo), Bahía Blanca (39.2 °C, el 3 de marzo), Santa Rosa (40.7 °C, el 3 de marzo), Gualeguaychú (40.5 °C, el 11 de marzo), Junín (39.4 °C, el 11 de marzo), Rosario (39.0 °C, el 11 de marzo), Buenos Aires (38.9 °C, el 11 de marzo), entre otros. La máxima duración del evento se registró en la ciudad de Rosario, con diez días de duración, y en Ezeiza y Aeroparque, con ocho días. Asociado a este evento, el 11 de marzo se estableció un récord histórico de demanda de energía eléctrica para un fin de semana, alcanzando los 27.203 Megavatios (MW), según el informe de la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (Cammesa). Posteriormente, el lunes 13 de marzo se marcó otro hito, esta vez para un día hábil, al registrar un consumo de energía que alcanzó los 29.089 MW. Luego de ese pico de consumo de demanda energética, cerca de 185 mil usuarios del área metropolitana de Buenos Aires quedaron sin energía eléctrica.

Figura 2.15. Olas de calor más significativas ocurridas entre enero y marzo de 2023. El tamaño de los rombos rojos indica la duración de los eventos.



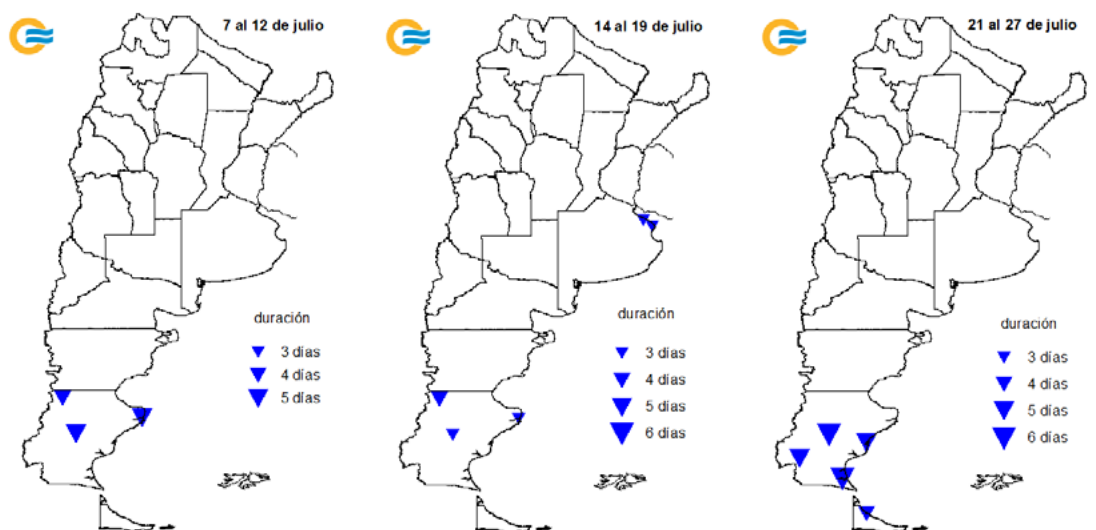
2.4.3 OLAS DE FRÍO

²Un evento de ola de frío se define cuando las temperaturas máximas y mínimas igualan o son inferiores, por lo menos durante tres días consecutivos y en forma simultánea, ciertos valores que dependen de cada localidad (percentil 10 del semestre frío abril-agosto). Los umbrales se encuentran en: <https://www.smn.gov.ar/estadisticas>

En general, **la temporada invernal 2023 se caracterizó por la ausencia de frío extremo en gran parte del país.** Sólo el extremo sur de Patagonia se vio afectado por sucesivas entradas de aire polar durante julio, que dieron lugar a la ocurrencia de tres períodos con ola de frío².

El primer evento, que tuvo lugar entre los días 7 y 12 de julio, afectó a algunas localidades de la provincia de Santa Cruz (Figura 2.16 izq.). Por ejemplo, Gobernador Gregores registró temperaturas entre -10 °C y 1 °C por cinco días consecutivos. El segundo evento impactó en esos mismos lugares y, de forma aislada, también se observó en La Plata y Punta Indio, Buenos Aires (Figura 2.16 centro). Durante este episodio, que transcurrió entre el 14 y el 19 de julio, la localidad de Perito Moreno experimentó la temperatura mínima más baja del año a nivel país, alcanzando los -22.5 °C el día 17. La tercera ola de frío, que se extendió entre el 21 y el 27 de julio, afectó a gran parte de Santa Cruz y Tierra del Fuego, con temperaturas que oscilaron aproximadamente entre los -15 °C y 2 °C (Figura 2.16 der.).

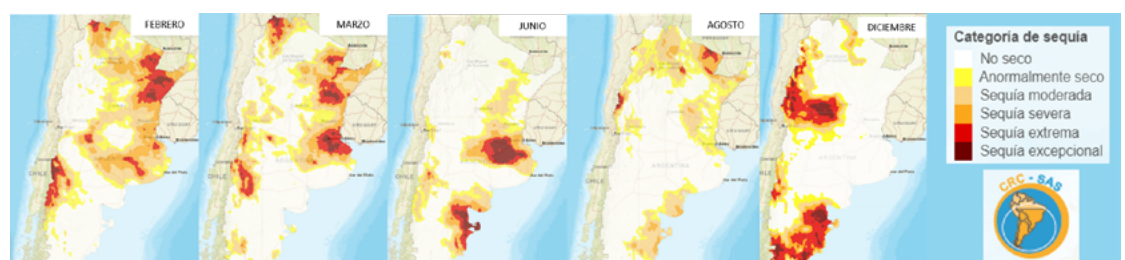
Figura 2.16. Olas de frío ocurridas durante el invierno de 2023. Con el tamaño de los rombos azules se indica la duración de los eventos.



2.4.4 SEQUÍA

Desde 2019 se observó el avance de un proceso de sequía que afectó a distintas regiones del país. Durante 2023, estas condiciones se vieron profundizadas principalmente en la primera mitad del año y en la región central, consistente con la evolución de las precipitaciones a lo largo del año. **Entre febrero y marzo, y de acuerdo a estimaciones de lluvia que combinan datos satelitales con mediciones in situ, gran parte de la región central y noreste del país presentaron condiciones de sequía extrema a excepcional, al igual que el noroeste de Patagonia y sur de Cuyo** (Figura 2.17). A partir de junio, coincidente con el fin de la fase fría de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y la activación de varios eventos de lluvia en el centro de la Cuenca del Plata, se comenzó a registrar una mejora de la situación de la sequía en Mesopotamia. Sin embargo, estas mejoras no alcanzaron al centro del país, dejando a la zona núcleo (noroeste de provincia de Buenos Aires y alrededores) con condiciones de sequías excepcionales. Por otro lado, **desde abril, el noreste de Patagonia comenzó a manifestar condiciones de sequía**, que se profundizaron y alcanzaron las categorías de extrema y excepcional en el mes de diciembre. En el **último trimestre del año** fue notorio el mejoramiento de las condiciones de sequía en la región central y este, y el **empeoramiento en el centro oeste y cordillera de Cuyo y NOA.**

Figura 2.17. Evolución de las categorías de sequía durante 2023, de acuerdo a precipitaciones estimadas por el producto CHIRPS (Funk y otros, 2015) para la escala de tres meses. Se muestran los campos de febrero, marzo, junio, agosto y diciembre. En marrón se indican las zonas afectadas por alguna categoría de sequía, establecida de acuerdo a las especificaciones del US Drought Monitor. Fuente: SISSA/CRC-SAS. Más información de este producto en: <https://sissa.crc-sas.org/monitoreo/estado-actual-de-la-sequia/>



Cabe destacar que, en la evolución de las condiciones de sequía previamente descrita, el enfoque se limita exclusivamente a la componente atmosférica, la cual se representa a través de las anomalías de lluvia. Sin embargo, la sequía es un fenómeno más complejo, que requiere el análisis de diferentes indicadores para un correcto diagnóstico. En la Mesa Nacional de Monitoreo de Sequía, integrada por diferentes instituciones nacionales, se analizan distintos indicadores agronómicos e hidrológicos para caracterizar la severidad del fenómeno. Sus informes se publican mensualmente y se acompañan de mapas de riesgo de sequía, categorizada en tres niveles: leve, moderada y severa. De acuerdo con estos reportes, los primeros meses del año mostraron las condiciones más críticas en lo que respecta a impactos y alcance del fenómeno (Figura 2.18). En febrero, un total de 173.626.316 hectáreas estaban bajo alguna categoría de sequía, con 55.068.163 hectáreas en sequía severa (Figura 2.19). Hacia marzo, se observó una reducción del área afectada, sobre todo en la región central del país, aunque, al mismo tiempo, se hizo notorio un empeoramiento en las categorías de sequía en el sur de Patagonia. Con respecto a los impactos durante estos meses, las olas de calor registradas, junto con la falta de agua, afectaron negativamente los cultivos de soja, maíz, girasol, algodón, sorgo, frutales y producción hortícola. Hacia julio, el área con sequía severa quedó restringida en el noroeste de Buenos Aires y se mantuvo casi sin cambios hasta octubre. Entre dos y tres millones de hectáreas de sequía severa se localizaron en esta región, de gran valor productivo agrícola. Allí, tanto los índices de vegetación como el agua almacenada en el suelo alcanzaron valores muy inferiores a los normales entre agosto y octubre, repercutiendo fuertemente en las actividades agropecuarias de la zona. Los mayores impactos asociados a la sequía se reflejaron en rendimientos sumamente bajos, así como en condiciones desfavorables para la actividad ganadera y un aumento del endeudamiento entre los productores de la zona.

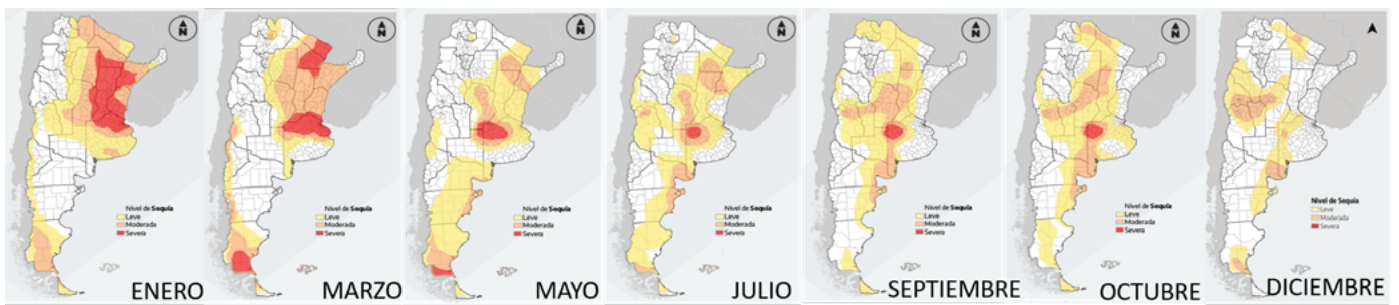


Figura 2.18. Evolución de las regiones de sequía durante 2023, de acuerdo a la Mesa Nacional de Monitoreo de Sequías. Fuente: https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/d_ed/sequia/

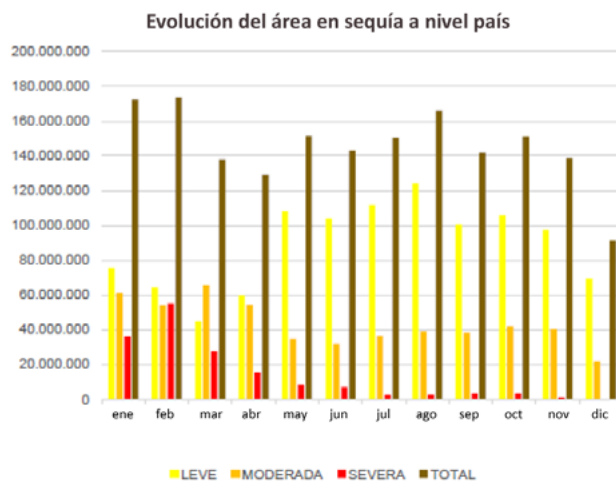


Figura 2.19. Evolución mensual de las hectáreas afectadas por cada categoría de sequías y el total del área en sequía. Fuente: Mesa Nacional de Monitoreo de Sequías.

Con respecto a la situación de **los principales ríos de la Cuenca del Plata, los niveles hidrométricos se mantuvieron en aguas medias a bajas durante gran parte del año**, si bien, a partir de agosto, comenzaron a mostrar signos de mejoras. Tal es así que, **en octubre, los ríos de dicha cuenca en Argentina alcanzaron valores cercanos a los niveles de alerta y evacuación**. El río Uruguay mostró valores con oscilaciones y repuntes, mientras que el Paraná fue afectado por crecidas provenientes del río Iguazú y de la alta cuenca del río Paraná. En diciembre, por las precipitaciones registradas en la Mesopotamia, se favorecieron la crecida y el desborde de ríos y arroyos internos, así como inundaciones y anegamientos temporarios.

A lo largo del 2023, las provincias con mayor número de focos de calor fueron Formosa y Corrientes (Figura 2.20). Cabe destacar que las cantidades focos de calor pueden ser utilizados para estimar el número de focos de incendio, teniendo en cuenta que no todos los focos de calor se traducen en incendios activos y que la ocurrencia de sequías puede propiciar la aparición de incendios descontrolados en extensas áreas, ya sea por causas naturales o antrópicas.

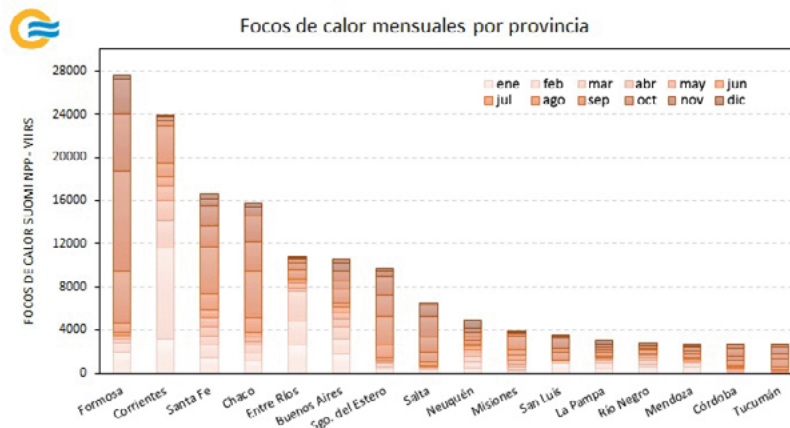


Figura 2.20. Cantidad de focos de calor en provincias con registros superiores a los dos mil durante 2023. Esta información es generada por el Sistema de Información sobre Incendios para la Gestión de Recursos (FIRMS, por sus siglas en inglés) de la NASA (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov>) y se obtiene a partir de las anomalías termales de calidad media-alta del sensor VIIRS del satélite Suomi-NPP.

Considerando la evolución mensual a lo largo de 2023, la cantidad de focos de calor en mayo superó el rango de valores medios del período de referencia 2012-2022; a partir de junio, se observó lo contrario. Los picos más altos de registros se dieron en febrero y agosto (Figura 2.21), coincidente con la situación crítica de sequía. En el transcurso del año, se contabilizaron 153625 focos de calor, varios de los cuales se transformaron en incendios activos. Es relevante destacar lo ocurrido en octubre en Córdoba, donde los incendios se propagaron rápidamente y afectaron zonas pobladas. Según productos satelitales, se estima que las áreas quemadas abarcaron aproximadamente 3860 hectáreas.

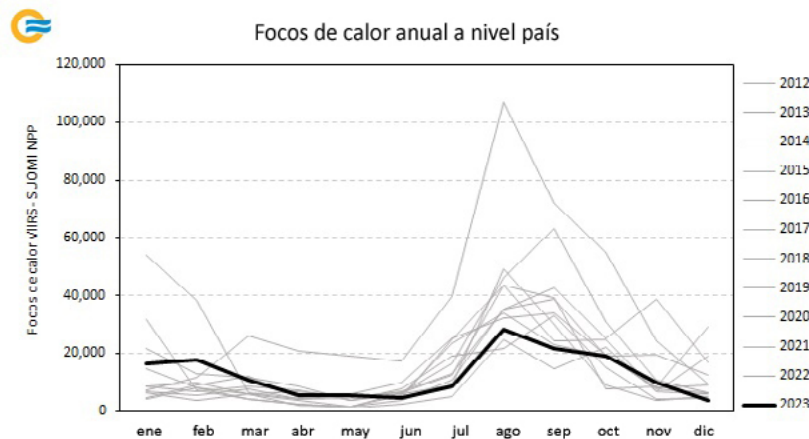


Figura 2.21. Evolución mensual de los focos de calor durante año 2023, comparada con los años 2012 a 2022.

2.4.5 PRECIPITACIONES INTENSAS Y TORMENTAS

Las precipitaciones descritas en la sección 2.3.2 generaron diversos impactos en el territorio. **Desde principios del mes de septiembre, varias localidades del norte de Corrientes y sur de Misiones fueron de las más afectadas, experimentando anegamientos en viviendas, voladura de techos, caída de árboles, corte en el suministro de electricidad, cierre de pasos internacionales, inhabilitación de puentes y puertos, entre otros impactos.** El desborde de los ríos provocó evacuaciones en las provincias de Entre Ríos y Corrientes. El evento mencionado en la localidad de Ituzaingó (sección 2.3.2) y las lluvias acumuladas en la capital provincial de Corrientes generaron inundaciones, obligando a las autoridades a evacuar a la población de sus viviendas. En Chaco se registraron familias evacuadas como producto del aumento del nivel del río Paraná en Barranqueras, Puerto Vilelas e Isla del Cerrito, donde se declaró la emergencia hidrometeorológica por 90 días. En la costa del río Paraná, la situación se volvió igualmente crítica, repercutiendo no solo en los habitantes de las ciudades, sino también a los productores agropecuarios, quienes tuvieron que trasladar su ganado hacia áreas más elevadas.

En la segunda mitad de noviembre también se generaron numerosos eventos de tormentas intensas que ocasionaron inconvenientes en las provincias de la Mesopotamia. Como consecuencia, se reportaron impactos tales como anegamientos de calles, destrozos de árboles, voladuras de techos de viviendas, daños en postes de luz y líneas de transmisión eléctrica, e interrupciones en puentes y rutas en ciudades como Goya, Mercedes, Paraná, Santa Fe y Resistencia, entre otras. Las crecidas fluviales en distintos ríos de la región agravaron la problemática situación en las cuencas argentinas. A causa del incremento en los caudales de estos cursos, se produjeron evacuaciones en la provincia de Corrientes, así como en Chaco, por el nivel del río Paraná. A su vez, para esa misma época, se observó un aumento en el nivel del río Uruguay, obligando la evacuación de 1000 habitantes de la localidad misionera de El Soberbio.

Durante los días 16 y 17 de diciembre, un evento meteorológico severo, caracterizado por lluvias intensas, granizo, fuertes vientos y actividad eléctrica, avanzó por la provincia de Buenos Aires hasta alcanzar la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Generó, a su paso, impactos significativos en diversas localidades. Los efectos fueron diversos, desde calles anegadas hasta voladura de techos, caída de árboles, postes y cartelería urbana, cortes en el suministro eléctrico y de agua potable, desborde de cloacas, daños en estructuras, viviendas y vehículos, interrupción de los servicios de transporte, población herida y evacuación de familias. La ciudad de Bahía Blanca, al sur de la provincia de Buenos Aires, fue uno de los sitios más afectados. Datos oficiales dan cuenta de ráfagas de viento de 155 km/h, que causaron el colapso de estructuras edilicias y provocaron la muerte de 13 personas y numerosos heridos.

2.5 Temperatura en Antártida

La temperatura media en el 2023 fue más cálida que lo normal en todos los sitios de observación del sector antártico (Figura 2.22), con la mayor anomalía positiva de +1.7 °C correspondiendo a la base Belgrano II.

Las anomalías mensuales durante 2023 fueron mayormente positivas en todas las estaciones antárticas, con excepción de algunos meses aislados, especialmente septiembre y octubre, que se caracterizaron por presentar desvíos negativos, salvo en Belgrano II (Figura 2.23). Las mayores anomalías positivas se registraron en Belgrano II, con +6.6 °C en el mes de abril, y en San Martín, con +6.1 °C en julio. Las mayores desviaciones negativas se observaron en Orcadas, con -3.7 °C en septiembre, y en Marambio, con -3.1 °C en octubre. Es para destacar que, después de 34 meses (octubre de 2020), las estaciones en la península presentaron simultáneamente anomalías de temperatura negativas.

Figura 2.22. Anomalías de temperatura media anual para las bases Orcadas, Carlini, Esperanza, Marambio, San Martín y Belgrano II durante 2023, con respecto al valor medio 1991-2020. En barras rojas se representan las anomalías positivas.

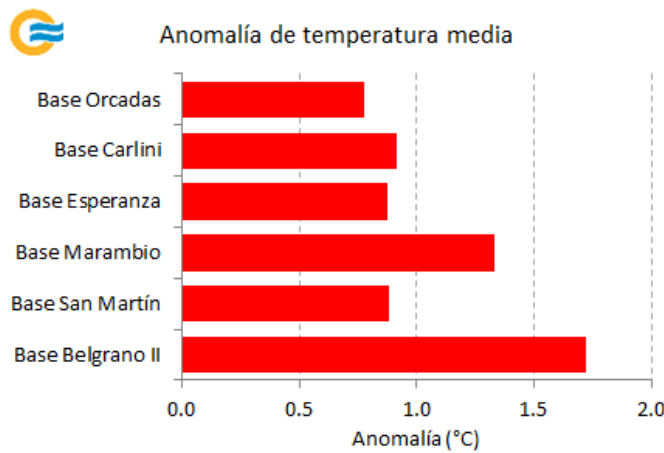
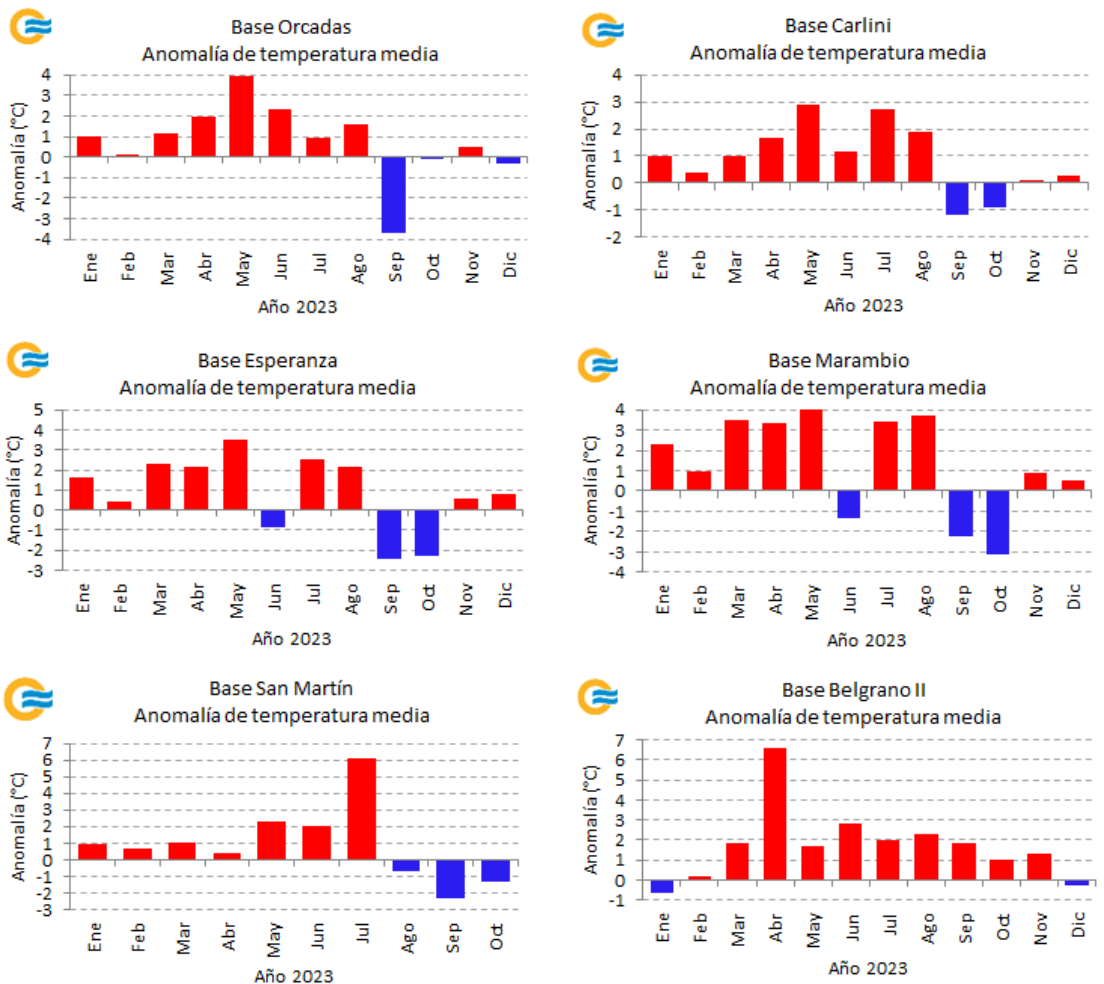
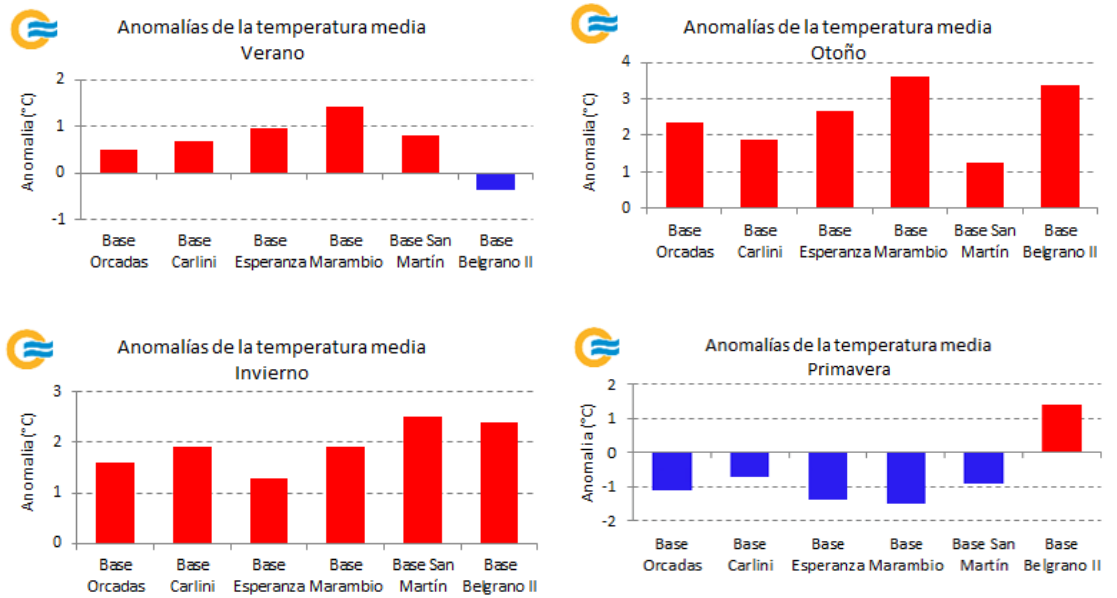


Figura 2.23. Anomalías mensuales de temperatura media para las bases Orcadas (arriba der.), Carlini (arriba centro), Esperanza (centro izq.), Marambio (centro der.), San Martín (abajo izq) y Belgrano II (abajo der.) durante 2023, con respecto al valor medio 1991-2020. En barras rojas se representan las anomalías positivas y en barras azules, las negativas.



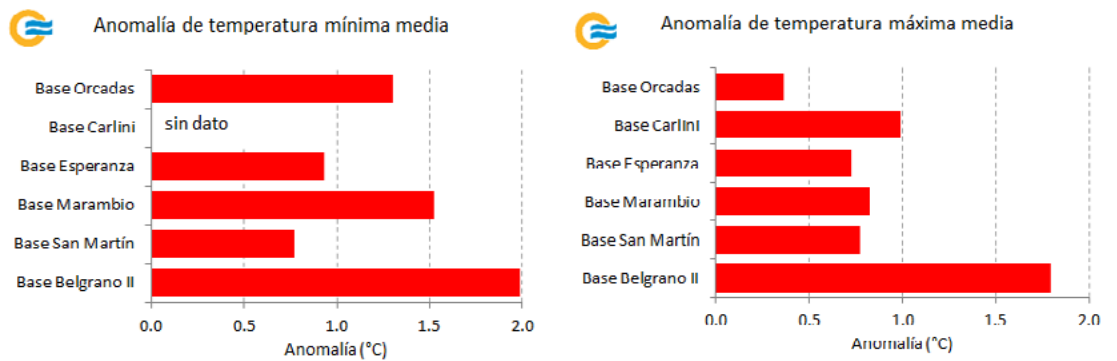
Consecuentemente, las anomalías estacionales desde verano hasta invierno mostraron, en su mayoría, valores positivos, a excepción de la base Belgrano II durante el verano, donde se observó un desvío levemente negativo (Figura 2.24 arriba izq.). El otoño exhibió, en general, las mayores desviaciones, con valores próximos o superiores a los +2.0 °C, destacándose una máxima anomalía de +3.6 °C en la estación Marambio (Figura 2.24 arriba der.). Para el invierno, las anomalías fueron positivas en todas las bases antárticas (Figura 2.24 abajo izq.). Contrariamente, durante la primavera, las anomalías fueron mayormente negativas, excepto en Belgrano II, que mantuvo valores positivos (Figura 2.24 abajo der.).

Figura 2.24. Anomalías de temperatura media de verano (arriba izq.), otoño (arriba der.), invierno (abajo der.) y primavera (abajo der.) para las bases Orcadas, Carlini, Esperanza, Marambio, San Martín y Belgrano II durante 2023, con respecto al valor medio 1991-2020. En barras rojas se representan las anomalías positivas y en barras azules, las negativas.



Al igual que la temperatura media anual, las temperaturas máximas y mínimas medias anuales también fueron más cálidas que lo normal en todas las estaciones argentinas del sector antártico (Figura 2.25). Las mayores anomalías se registraron en Belgrano II, con +2.0 °C en la mínima y +1.8 °C en la máxima. Tanto mensual como estacionalmente, el comportamiento de estas variables fue similar al de la temperatura media. En general, las mayores anomalías se observaron en la temperatura mínima.

Figura 2.25. Anomalías de temperatura máxima media anual (izq.) y mínima media anual (der.) para las bases Orcadas, Carlini, Esperanza, Marambio, San Martín y Belgrano II durante 2023, con respecto al valor medio 1991-2020. En barras rojas se representan las anomalías positivas.



En la escala anual, se alcanzaron valores récords en la base Belgrano II (Tabla 2.9). Más aún, mensual y estacionalmente, durante 2023 se destacaron diversos registros que superaron o igualaron a los máximos anteriores (Tabla 2.10).

Tabla 2.9. Valores récord de diversos parámetros de temperaturas anuales durante 2023 en la base Belgrano II, junto con los máximos valores anteriores y el período de referencia considerado.

BASE	PARÁMETRO	TEMPERATURA Y ANOMALÍA (°C)	MÁXIMO ANTERIOR Y ANOMALÍA (°C)	PERÍODO DE REFERENCIA
BELGRANO 2	Media	-11.5 (+1.7)	-11.9 (+1.3 en 2010)	
	Máxima media	-8.0 (+1.8)	-8.6 (+1.2 en 2010)	1981-2022
	Mínima media	-15.4 (+2.0)	-16.0 (+1.6 en 2018)	

Tabla 2.10. Valores récord de diversos parámetros de temperaturas mensuales o estacionales durante 2023 en las bases antárticas, junto con los máximos valores anteriores y el período de referencia considerado para cada base.

BASE	MES O ESTACIÓN DEL AÑO	PARÁMETRO	TEMPERATURA Y ANOMALÍA (°C)	MÁXIMO ANTERIOR Y ANOMALÍA (°C)	PERÍODO DE REFERENCIA
Carlini	Abril	Máxima absoluta	9.0 (3 de abril)	8.7 (6/04/2003)	1985-2022
	Mayo	Media	0.1 (+2.9)	-0.3 (+2.5 en 1999)	
		Máxima media	2.5 (+2.9)	1.9 (+2.3 en 2001)	
		Mínima media	-2.1 (+3.2)	-2.4 (+2.9 en 1999)	
		Máxima absoluta	1.5 (25 de mayo)	0.5 (30/04/2009)	
	Julio	Mínima más alta	1.5 (2 de julio)	0.9 (17/07/2003)	
Otoño	Máxima media	2.8 (+1.7)	2.6 (+1.5 en 1999)		
Belgrano II	Abril	Media	-9.8 (+6.6)	-12.9 (+3.5 en 2020)	1981-2022
		Máxima media	-6.8 (+6.4)	-10.6 (+2.6 en 2016)	
		Mínima media	-13.7 (+6.8)	-16.1 (+4.4 en 2018)	
		Máxima absoluta	1.5 (25 de abril)	0.5 (30/04/2009)	
	Mínima más alta	-4.3 (25 de abril)	-6.0 (4/04/2015)		
Otoño	Máxima media	-8.7 (+3.4)	-9.0 (+3.1 en 2018)	1981-2022	
	Primavera	Mínima media	-15.4 (+2.3)	-15.7 (+2.0 en 2017)	
Orcadas	Mayo	Mínima media	-3.2 (+4.9)	-3.2 (+4.9 en 1982)	1961-2022
San Martín	Mayo	Mínima absoluta más alta	4.2 (23 de mayo)	4.1 (15/05/1989)	1976-2022

REFERENCIA

Funk, C., y otros, 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes [Las amenazas climáticas de precipitaciones a partir de radiación infrarroja y estaciones: un nuevo registro ambiental para el seguimiento de extremos]. Scientific Data, 2: 150066.

Sección | 3

FORZANTES DESTACADOS DE ESCALA ESTACIONAL Y SUBESTACIONAL

Las variaciones del clima en la Argentina tienen cierta relación con fenómenos que ocurren mucho más allá de su territorio. El más conocido es El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), uno de los patrones más importantes de la variabilidad climática interanual, cuyos impactos pueden durar desde varios meses a pocos años. Existen otras oscilaciones que se desarrollan simultáneamente en distintas escalas de tiempo y que, a su vez, pueden potenciar o inhibir el comportamiento de las precipitaciones, así como modular las temperaturas en el país. Entre ellas se destacan el Dipolo del Océano Índico (DOI o IOD, por sus siglas en inglés), la Oscilación Antártica o Modo Anular Austral (AAO o SAM, por sus siglas en inglés) y la Oscilación de Madden-Julian (MJO, por sus siglas en inglés), todas activas durante 2023. Cabe destacar que, si bien el estado, la evolución y la interacción de estos fenómenos pueden favorecer ciertas condiciones atmosféricas, no las determinan en su totalidad.

| 3.1 Estado de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS)

Los primeros meses del año 2023 mostraron la etapa final de la fase fría del fenómeno ENOS o La Niña, establecida a finales del 2021 y que se mantuvo activa durante todo el año 2022. Las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) durante enero y febrero de 2023 fueron negativas en el océano Pacífico ecuatorial alrededor y al este de la longitud 180°, asociadas al remanente de La Niña. En marzo, la TSM comenzó a aumentar de forma sostenida, primero en el océano Pacífico este, cerca de la costa Sudamericana, y luego el calentamiento se extendió hacia la región Niño 3.4. A fines del invierno, la atmósfera comenzó a acoplar su circulación al calentamiento, **estableciéndose la fase positiva del ENOS o El Niño** (Figura 3.1). Durante la primavera, el ENOS continuó intensificándose, alcanzando características de Niño “fuerte”, de acuerdo con el Índice Oceánico del ENOS (ONI, por sus siglas en inglés). **Debido a la relación existente entre las fases del fenómeno y la precipitación en la región sur de la Cuenca del Plata y en la zona húmeda del país, El Niño pudo haber favorecido la ocurrencia de las lluvias observadas durante la primavera y el primer mes del verano 2023/2024.**

Una mayor información del fenómeno y sus impactos en Argentina se puede encontrar en: https://www.smn.gob.ar/enos_que_es

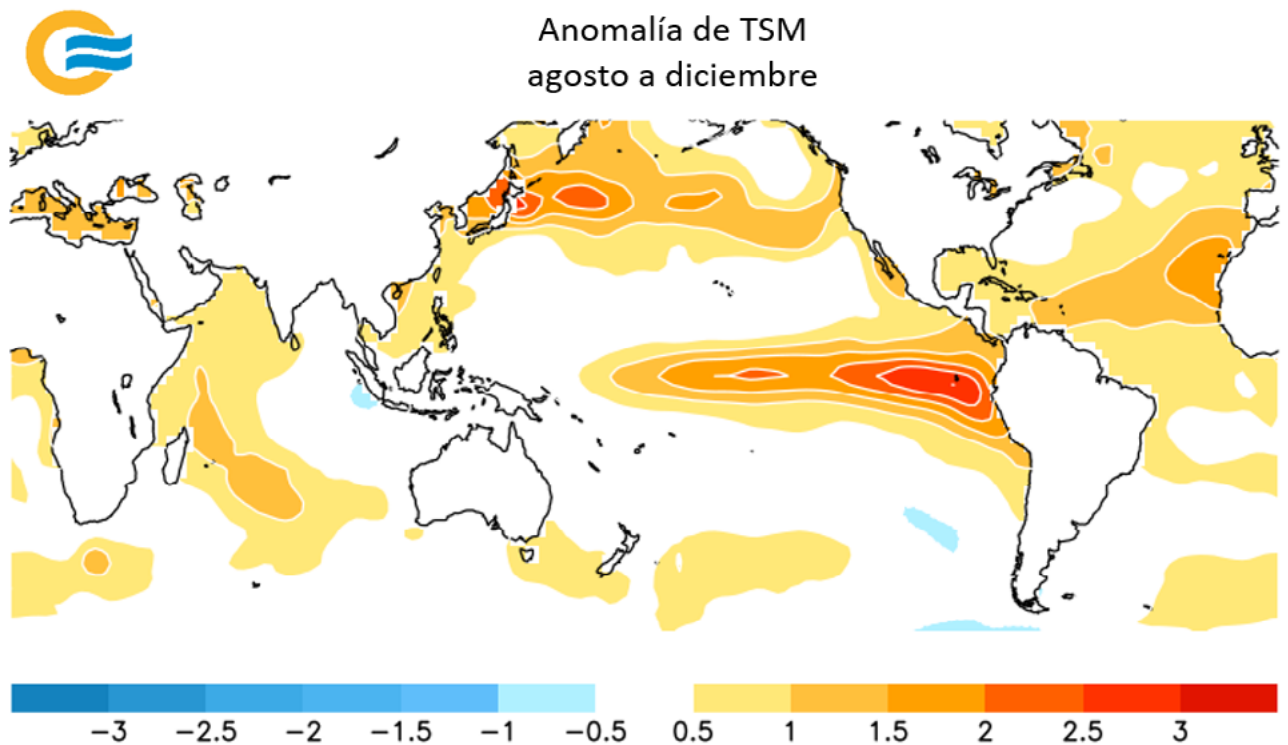
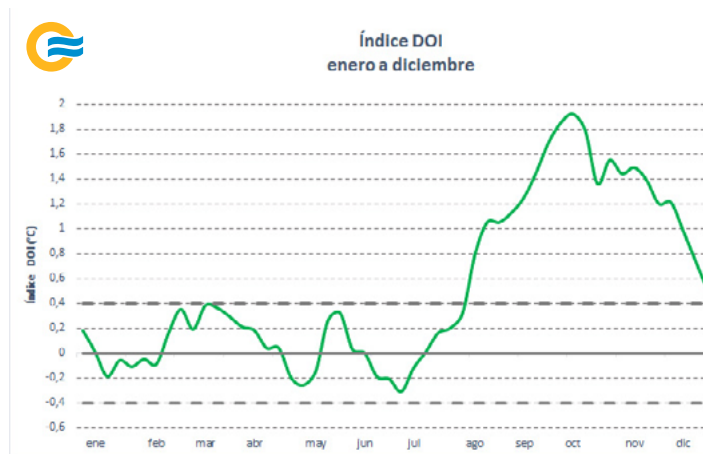


Figura 3.1. Promedio de anomalía de TSM entre el 1 de agosto y el 31 de diciembre de 2023. Fuente de datos: NOAA/ESRL. Graficado por el SMN.

| 3.2 Estado del Dipolo del Océano Índico (DOI)

Desde enero hasta mediados de agosto de 2023, el DOI permaneció neutral (Figura 3.2). A partir del 14 de agosto, **el índice alcanzó valores acordes a una fase positiva** (valores superiores a 0.4 °C), **manteniéndose hasta los últimos días de diciembre inclusive**. Dado que la mayor teleconexión en el sur de Sudamérica ocurre durante la primavera austral, con la fase positiva del DOI tendiendo a favorecer las precipitaciones por encima de lo normal en el Litoral, en el centro y sur de Córdoba, y parte de Cuyo, este estado del fenómeno pudo haber acentuado las condiciones húmedas en el noreste del país observadas en los últimos meses del año.

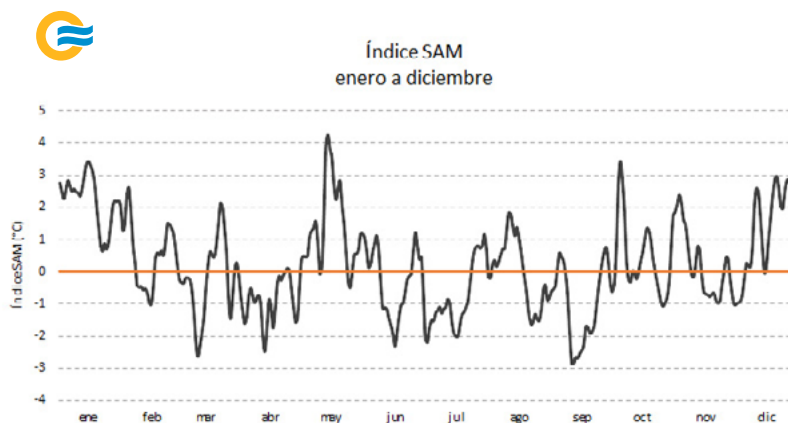
Figura 3.2. Evolución semanal del índice DOI durante 2023. Para determinar una fase positiva (negativa) del DOI, el índice debe ser superior (inferior) a +0.4 °C (-0.4 °C) durante ocho semanas consecutivas. Fuente de datos: Bureau of Meteorology, Australia. Graficado por el SMN.



| 3.3 Estado de la Oscilación Antártica o Modo Anular Austral (SAM, AAO)

Durante gran parte del 2023, el índice diario de la SAM indicó el predominio de la fase negativa del fenómeno, principalmente durante el otoño e invierno (Figura 3.3). Las fases positivas se presentaron, en general, en períodos más cortos, excepto las que sucedieron en enero, parte de febrero, mayo y agosto, que fueron más duraderas e intensas. Durante la primavera e inicio del verano también hubo predominio de la fase positiva. En Argentina, la SAM en fase negativa tiende a generar condiciones menos estables en el centro y norte de Argentina, al favorecer la penetración de frentes fríos hacia latitudes medias. Por este motivo, se la asocia a anomalías negativas de temperatura y a mayores precipitaciones en dichas latitudes.

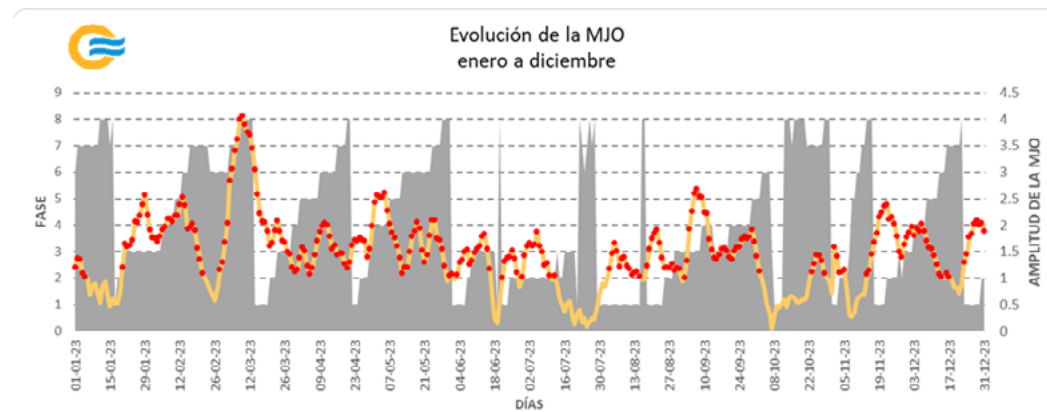
Figura 3.3. Evolución del índice diario SAM durante 2023. Fuente de datos: CPC/NOAA. Graficado por el SMN.



3.4 Estado de la Oscilación de Madden-Julian (MJO)

La MJO es el patrón principal de variabilidad climática en los trópicos, con períodos entre 20 y 70 días. Induce anomalías en la lluvia y en la circulación atmosférica de la banda tropical a medida que avanza hacia el este, tardando entre 30 y 60 días. Entre enero y octubre del 2023 se registraron varios eventos de la MJO (Figura 3.4), algunos de los cuales generaron impactos en Argentina. **Entre el 28 de febrero y el 26 de marzo de 2023 se desarrolló un evento intenso, que presentó una señal significativa.** Asimismo, ocurrió un evento moderado entre el 6 de abril y el 10 de mayo. En ambos períodos se observó precipitación por debajo de lo normal en varias localidades del norte del Litoral y norte argentino. Esto condice con el comportamiento esperado para el otoño que indica que, cuando la MJO se encuentra en las fases 7 y 8, se reducen las chances de episodios de precipitación intensa en el norte del país. En el invierno se desarrolló un evento de MJO entre el 4 y el 31 de agosto. Sin embargo, su señal se vio inhibida por la influencia de otros forzantes subestacionales. También se identificaron dos eventos en la primavera e inicio del verano 2023/2024, entre el 3 de septiembre y el 2 de octubre, y entre el 18 de noviembre y 19 de diciembre. En ambos casos, los impactos en la lluvia y la temperatura no fueron coherentes con la señal de la MJO, posiblemente por la presencia de la fase cálida del ENOS.

Figura 3.4. Evolución de la MJO durante 2023. El sombreado indica la fase del fenómeno (eje de la izquierda), mientras que la curva naranja, la amplitud del mismo (eje de la derecha). Los puntos rojos indican los días en que la amplitud de la oscilación es significativa (mayor a 1). Fuente de datos: Bureau of Meteorology, Australia. Graficado por el SMN.



BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

SMN, 2017. Oscilaciones, el Mundo en Movimiento. Revista Meteoros - Año 9 No 4, p. 52-61. Repositorio institucional del SMN. <http://repositorio.smn.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12160/1188/MET09-4.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sección | 4

GASES DE EFECTO INVERNADERO Y REACTIVOS

Los gases de efecto invernadero (GEI), gases reactivos (GR) y aerosoles son compuestos de la atmósfera de origen natural y antropogénico. En particular, los GEI absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro electromagnético, lo que provoca el llamado “efecto invernadero”, que existe de forma natural en la atmósfera y mantiene la temperatura necesaria para la vida en el planeta. Sin embargo, cuando las concentraciones de estos gases aumentan de manera significativa, producto de las actividades del hombre, también lo hace su retención de calor, lo que da lugar a un incremento de la temperatura terrestre. Los principales GEI naturales y antropogénicos son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O). También el vapor de agua y el ozono (O₃) superficial son considerados GEI, mientras que el monóxido de carbono (CO) es considerado GR.

Argentina, a través del SMN, integra el programa de Vigilancia Atmosférica Global (VAG) desde la década del 90, impulsado por la OMM. La misión de este programa se centra en coordinar observaciones sistemáticas de alta calidad de la composición fisicoquímica de la atmósfera y su conexión con el clima y el tiempo, para detectar tendencias y cambios en la atmósfera.

| 4.1 Dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄)

En las estaciones Ushuaia y Marambio se monitorean in situ dos especies de GEI: CO₂ y CH₄. El CO₂ es el GEI antropogénico más importante en la atmósfera por su largo tiempo de permanencia. En cambio, el CH₄ tiene un tiempo de residencia mucho menor -aproximadamente 10 años- pero con una eficiencia en el calentamiento global 28 veces superior a la del CO₂. Actualmente, la mitad del CO₂ emitido por actividades humanas permanece en la atmósfera.

Tanto en Ushuaia como en Marambio, las fracciones molares superficiales observadas, para parcelas atmosféricas libre de la influencia directa de la actividad humana, continuaron en aumento durante 2023 (Figuras 4.1 y 4.2). En ambas estaciones, los valores máximos de la fracción molar media mensual se incrementaron respecto de los años anteriores (Tabla 4.1).

Figura 4.1. Fracciones molar de CO₂ registradas durante 2023 para las estaciones Ushuaia (arriba) y Marambio (abajo). Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los rojos, a los promedios mensuales.

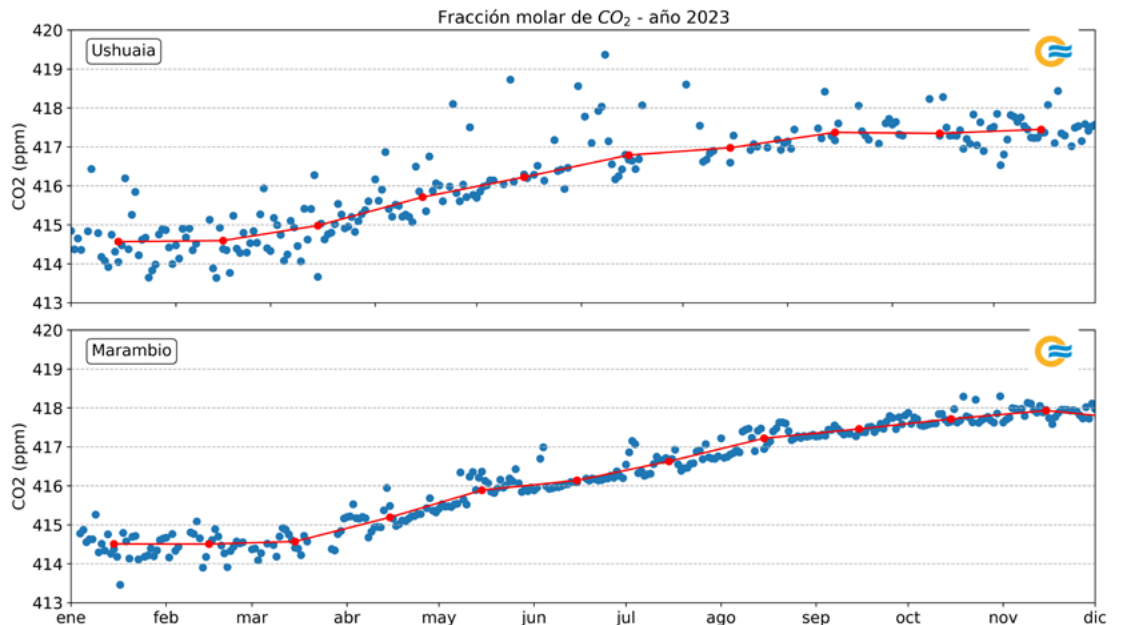


Figura 4.2. Fracciones molar de CH₄ registradas durante 2023 para las estaciones Ushuaia (arriba) y Marambio (abajo). Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y la línea roja, a los promedios mensuales.

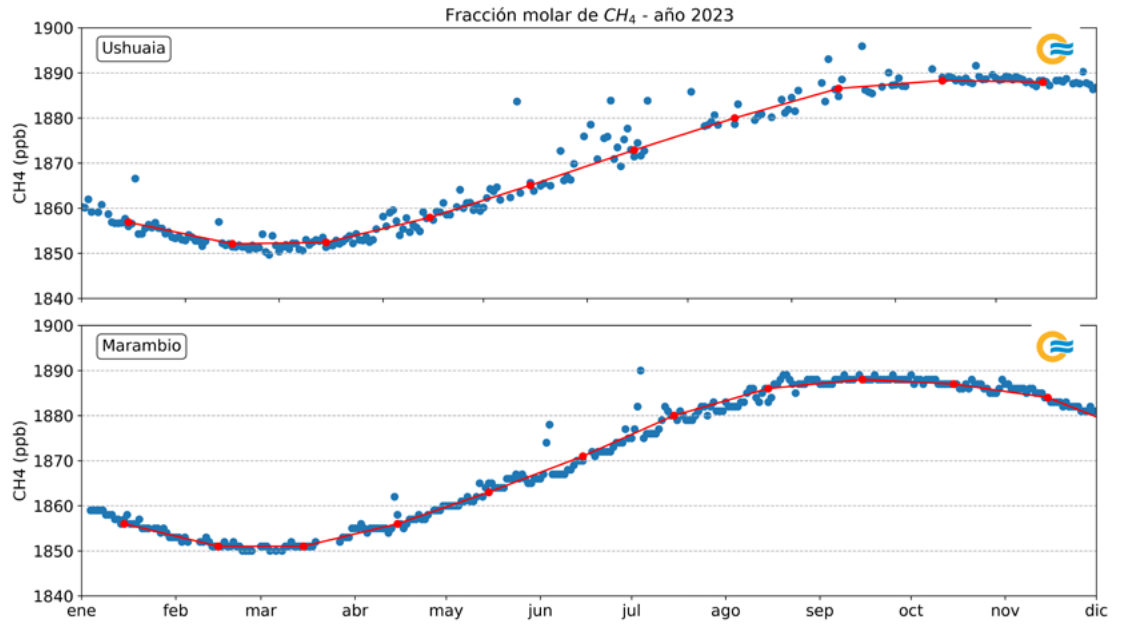


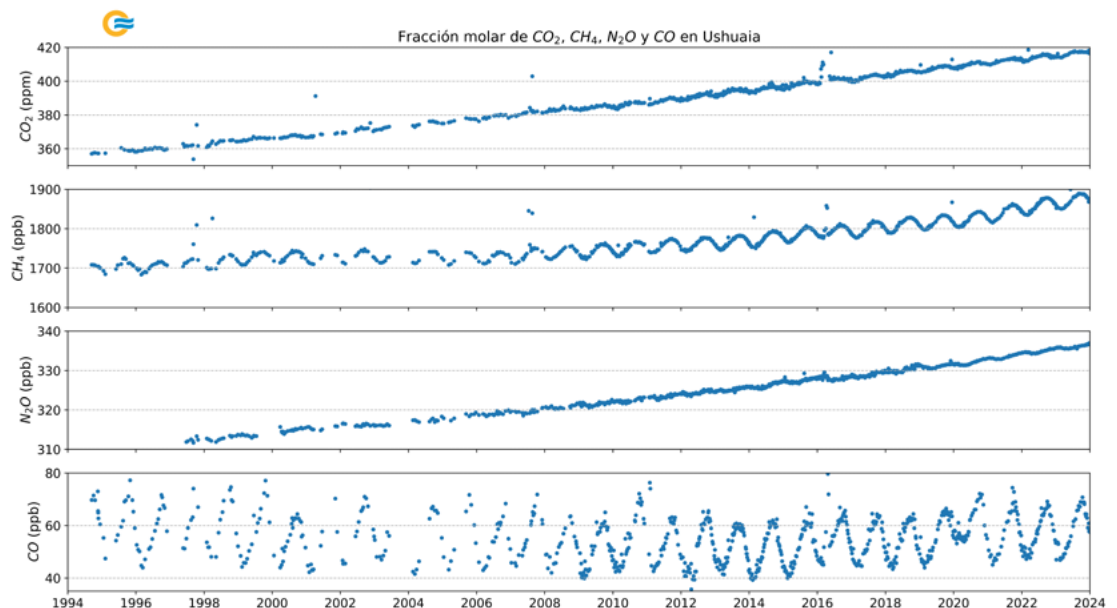
Tabla 4.1. Valores máximos de la fracción molar media mensual registrada en los últimos tres años en las estaciones Ushuaia y Marambio.

¹ppb: Partes por billón.

AÑO	CO ₂ (ppm)		CH ₄ (ppb ¹)	
	Ushuaia	Marambio	Ushuaia	Marambio
2021	413.3	413.3	1816.6	1858.9
2022	415.7	415.7	1836.3	1877.3
2023	417.5	417.7	1852.1	1887.8

Las variaciones interanuales de los gases traza que componen la atmósfera dependen de distintos factores, desde el transporte hasta eventos de origen natural. En la estación Ushuaia, desde 1994, se llevan a cabo mediciones discontinuas con flask, como parte de un proyecto colaborativo con la NOAA (Lan y otros, 2024) (Figura 4.3). Series temporales como estas proporcionan un contexto para el estudio de eventos específicos, permitiendo identificar tendencias, patrones estacionales o cambios a largo plazo.

Figura 4.3. Mediciones de fracciones molares de CO₂, CH₄, N₂O y CO en la estación Ushuaia y en el período 1994–2023, a través del proyecto de mediciones discontinuas con flask de la NOAA. Cada punto representa una medición individual.

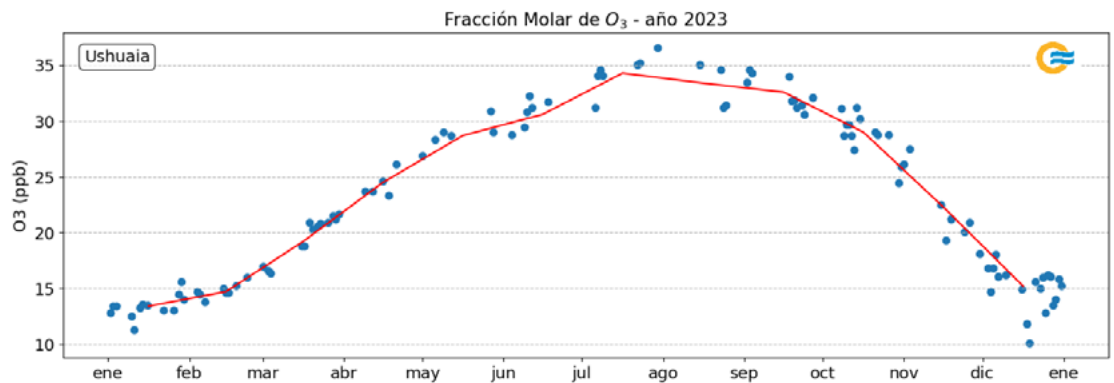


4.2 Ozono (O₃) superficial

El O₃ superficial es una sustancia oxidante que no se emite directamente a la atmósfera, sino que se produce a partir de reacciones con el óxido de nitrógeno (NO₂) y otras sustancias que forman el smog urbano. Contribuye a generar un calentamiento en la superficie de la Tierra, al igual que el CO₂, CH₄ y N₂O.

El O₃ superficial, en la estación de Ushuaia, exhibe ciclos estacionales con máximos en invierno y mínimos en verano. Esto se debe a que, durante otoño e invierno, dominan los procesos de transporte de O₃ y la disminución de la luz solar deja de ser poco a poco un factor en el proceso de destrucción. Al iniciar la primavera, por el contrario, los procesos radiativos se hacen presentes y generan las reacciones fotoquímicas que producen la remoción del gas. Durante todo el 2023, se observó un ciclo estacional de O₃ superficial marcado en Ushuaia (Figura 4.4). En particular, durante el mes de julio, se registró un máximo de 36.6 ppb, superando el valor máximo alcanzado en 2022, de 35.5 ppb.

Figura 4.4. Mediciones continuas de las fracciones molares de O₃ superficial registradas en la estación Ushuaia durante 2023. Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y la línea roja, al promedio mensual.



REFERENCIAS

Lan, X., P. Tans y K. W. Thoning, 2024. Trends in globally-averaged CO₂ determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements [Tendencias del CO₂ medio mundial determinadas a partir de las mediciones del Laboratorio de Vigilancia Mundial de la NOAA]. Versión 2024-03 NOAA/GML. <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html>.

Sección | 5

MONITOREO DE LA CAPA DE OZONO Y LA RADIACIÓN SOLAR ULTRAVIOLETA

5.1 Capa de ozono

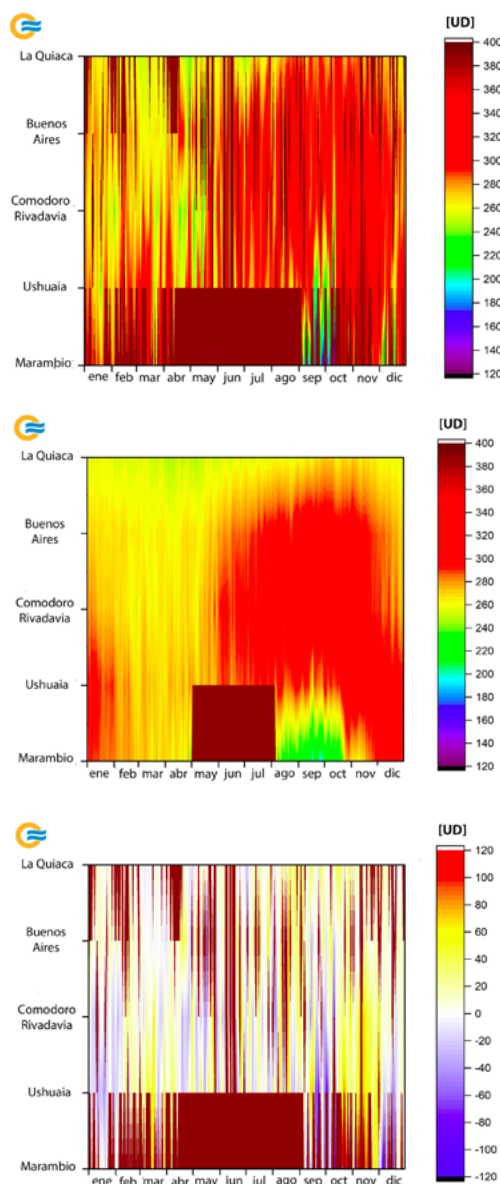
La capa de ozono en la estratósfera actúa como un filtro de la radiación solar ultravioleta (UV). Su función es vital debido a que un ligero aumento de este tipo de radiación puede afectar nocivamente a la salud humana, los ecosistemas y algunos materiales en la superficie terrestre. Dicha capa sufre un proceso de degradación desde el inicio de la década del 80 y, año a año, da origen al agujero de ozono, sobre todo en la Antártida. Esto es debido principalmente a la presencia de sustancias como los clorofluorocarbonos (CFC's), que son responsables directos de la destrucción del ozono estratosférico (Molina y Rowland, 1974). En la actualidad, el uso de estas y otras sustancias están reguladas por el Protocolo de Montreal (PNUMA, 2019). A su vez, dado que el ozono genera un calentamiento por la energía liberada durante la fotodisociación, su agotamiento contribuyó al enfriamiento de la estratósfera inferior. Esto ha causado cambios en la circulación estival del hemisferio sur en las últimas décadas, con consiguientes efectos en las temperaturas, las precipitaciones y los océanos (OMM, 2018).

Una mayor información sobre la medición de ozono a partir de espectrofotómetros se puede encontrar en OMM (2008) y en Carbajal y otros (2012).

¹UD: Espesor óptico de 0.001 mm de ozono a temperatura y presión estándar.

En Argentina, se monitorea la evolución e intensidad de la capa de ozono con cinco espectrofotómetros Dobson, ubicados en La Quiaca, Buenos Aires, Comodoro Rivadavia, VAG Ushuaia y la estación antártica Marambio. Dichos instrumentos miden las cantidades de ozono total, o el espesor total de la columna del gas sobre los sitios, en unidades Dobson (UD)¹.

5.1.1 EVOLUCIÓN DE OZONO TOTAL



La observación y el monitoreo en los puntos de medición de ozono se realizaron de manera continua durante 2023, salvo en algunos sitios que presentaron faltantes de datos. Uno de estos casos fue la base antártica Marambio, donde durante la noche polar invernal (de abril a agosto) se suspenden los registros debido a las condiciones meteorológicas adversas para el instrumento y para los operadores.

De enero a diciembre de 2023, la evolución diaria de ozono total en estaciones con espectrofotómetro Dobson reflejó el ciclo anual del campo medio del período de referencia 1994-2022 (Figura 5.1 arriba y centro). Sin embargo, el campo de anomalías reveló un gran déficit de ozono en enero para Comodoro Rivadavia y Ushuaia, y una pequeña ganancia en La Quiaca y Buenos Aires, entre 10 y 20 UD (Figura 5.1 abajo). Hacia mediados de abril, las estaciones (exceptuando Marambio, por el cese de mediciones) mostraron un déficit de ozono, una situación detectada por el consenso de instrumentos satelitales y posiblemente asociada a una circulación estratosférica debilitada.

Durante los días de invierno, se observó un transporte de ozono desde La Quiaca, que alcanzó por momentos a Ushuaia, donde es muy probable que haya encontrado una barrera en el vórtice polar, que hasta ese momento estaba fortalecido. Al inicio de la primavera, y reanudadas las mediciones en Marambio, el agujero de ozono alcanzó a la ciudad

Figura 5.1. Arriba: Evolución diaria de ozono total en los cinco sitios de medición durante 2023. Centro: Evolución media diaria de ozono total en los puntos de medición, considerando el período de referencia 1994-2022. Abajo: Anomalías diarias de ozono total durante 2023, con respecto al valor medio 1994-2022. En colores amarillos y rojos se representan las anomalías positivas y en colores azules, las negativas. Las unidades de medición son UD. En todos los gráficos, los datos faltantes se indican con color marrón.

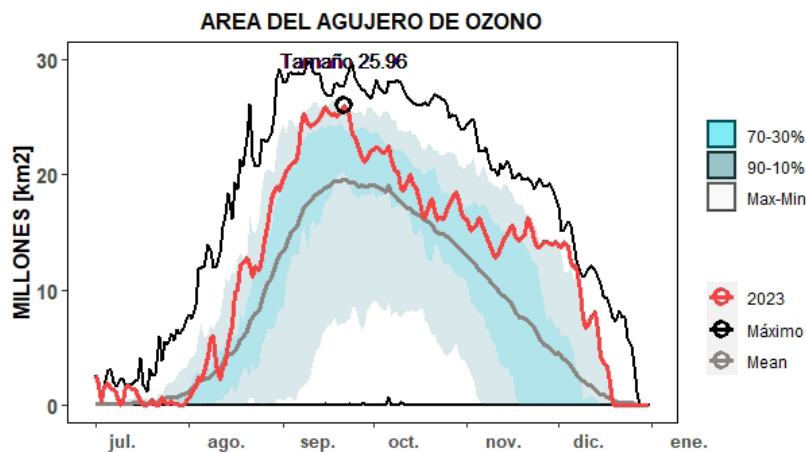
de Ushuaia durante septiembre. A finales del mismo mes, se produjo un evento de calentamiento súbito estratosférico, que perturbó al vórtice polar y debilitó al agujero de ozono, reduciendo su tamaño. Durante noviembre, en Marambio, la estratósfera se enfrió porque la actividad de las ondas atmosféricas disminuyó, haciendo que el vórtice polar y el agujero de ozono se extendieran en el tiempo, hasta diciembre. En tanto, el transporte de ozono desde el trópico se intensificó rumbo a latitudes medias (hacia Ushuaia, Comodoro Rivadavia y Buenos Aires).

La evolución de los promedios mensuales de ozono mostró un comportamiento similar al de los datos diarios. Se registró un aumento en los valores de La Quiaca y Buenos Aires durante enero, y de Ushuaia y Marambio de febrero a abril. Se evidenció un incremento en el transporte de ozono desde La Quiaca durante el invierno, y la influencia del agujero de ozono sobre Ushuaia y Marambio en septiembre y octubre.

5.2 Agujero de ozono

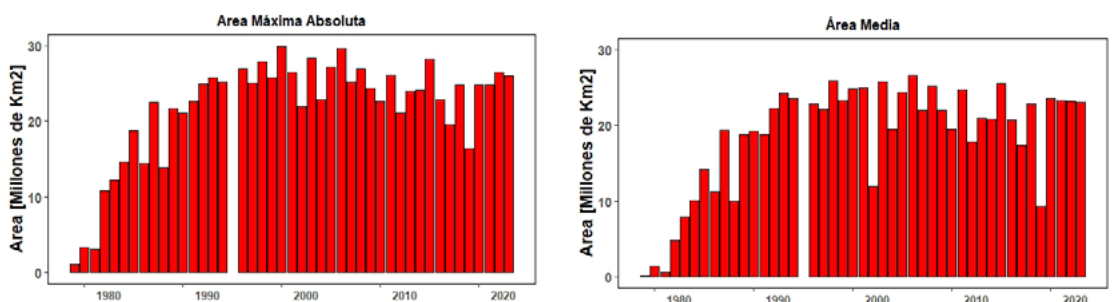
La evolución del agujero de ozono para el 2023 se vio afectada por procesos de enfriamiento y calentamiento estratosféricos (Figura 5.2). Durante la primera parte del año, y hasta mediados de septiembre, la estratósfera presentó temperaturas por debajo de la media del período 1979-2022, incluyendo la formación del vórtice polar en el invierno, consecuencia del vapor de agua remanente emitido por el volcán Huma Tonga en 2022 (Janusz y Agnieszka, 2024; Santee y otros, 2024). Esta situación condujo a una producción de nubes estratosféricas polares tempranas, que coincidió con el inicio de la destrucción del ozono para esas fechas. Dio lugar a **un agujero de ozono que ocupó el lugar 13 del ranking desde 1979 hasta 2023, cuyo tamaño máximo se presentó el 21 de septiembre y fue de aproximadamente 26 millones de km²**. A finales de septiembre ocurrió un calentamiento súbito estratosférico, no muy importante, ocasionado por una fuerte actividad de ondas atmosféricas, que perturbaron al vórtice polar antártico y permitieron la entrada de energía en forma de calor. Esto redujo rápidamente las nubes estratosféricas polares e inhibió la destrucción del ozono en la estratósfera.

Figura 5.2: Evolución del área del agujero de ozono (millones de km²) durante 2023, en línea roja. La línea gris representa el promedio del período 1979-2023 y la línea negra, el máximo histórico. El área sombreada en celeste abarca los valores entre los percentiles 30 y 70, mientras que el área sombreada en gris, los valores entre los percentiles 10 y 90. Fuente: de datos: NASA.



Del 7 de septiembre al 13 de octubre, el promedio de agujero de ozono fue de aproximadamente 23 millones de km², el puesto 17 del ranking de la media de agujero de ozono para el período 1979-2023 (Figura 5.2). Cabe destacar **en los últimos 4 años el agujero de ozono se mantuvo casi constante en tamaño** y no se observó un crecimiento o una disminución significativa (Figura 5.3).

Figura 5.3. Izq.: Área máxima del agujero de ozono para el año 2023. Der.: Área media del agujero de Ozono para el período 1979 a 2023, considerando las fechas del 7 de septiembre al 13 de octubre.



| 5.3 Radiación solar ultravioleta

La radiación solar que alcanza la superficie terrestre comprende longitudes de onda que pertenecen al espectro infrarrojo, visible y UV. Si bien el porcentaje de radiación UV que llega a la superficie es mucho menor que el correspondiente a las restantes longitudes de onda, la influencia que ejerce sobre diversos mecanismos biológicos la vuelve tan importante como las demás. Este tipo de radiación puede afectar de manera nociva a los ecosistemas y su presencia está directamente asociada con la concentración de ozono local. Entre sus consecuencias más notorias, se destaca su estrecha relación con el incremento de incidencia de cáncer de piel en la población.

El parámetro más estudiado de la radiación solar UV, por sus implicancias biológicas, es la irradiancia solar UV eritémica, que se obtiene en base a la irradiancia solar y la respuesta de acción eritémica de la piel definida por McKinlay y Diffey (1987). A partir de ella, es posible obtener el índice UV, utilizado para cuantificar los niveles de radiación solar UV y el riesgo asociado. Este índice presenta una escala numérica de colores y riesgo estandarizadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2002) (Figura 5.4).

Figura 5.4. Escala de categorías de riesgo para los distintos intervalos de valores del índice UV. Fuente: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42459/9241590076.pdf>

CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN	INTERVALO DE VALORES DEL IUV
BAJA	< 2
MODERADA	3 A 5
ALTA	6 A 7
MUY ALTA	8 A 10
EXTREMADAMENTE ALTA	11+

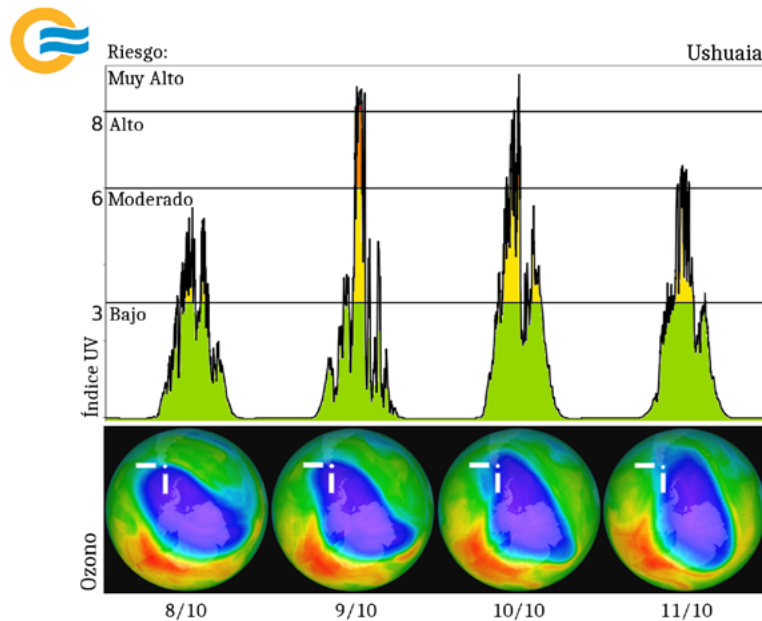
Los niveles de intensidad de radiación UV que alcanzan la superficie dependen de múltiples parámetros, como el ozono, la nubosidad, la altura sobre el nivel del mar, la época del año y la presencia de aerosoles en la atmósfera, entre otros. Dada la extensión geográfica del territorio argentino y su variada orografía, es esperable que se presenten distintos valores de intensidad a lo largo del país.

Las estaciones de Buenos Aires, Mendoza, Ushuaia y Marambio son las que disponen de un mayor número de mediciones de radiación UV en los últimos años. A pesar de poseer un registro minutal extenso, dos de estos sitios no cuentan con series completas a partir de enero de 2023, debido a la realización de un proceso de intercomparación de radiómetros UV llevado a finales de 2022, siguiendo un proceso similar al presentado en Nollas y otros (2019).

5.2.1 MONITOREO DE ÍNDICE UV

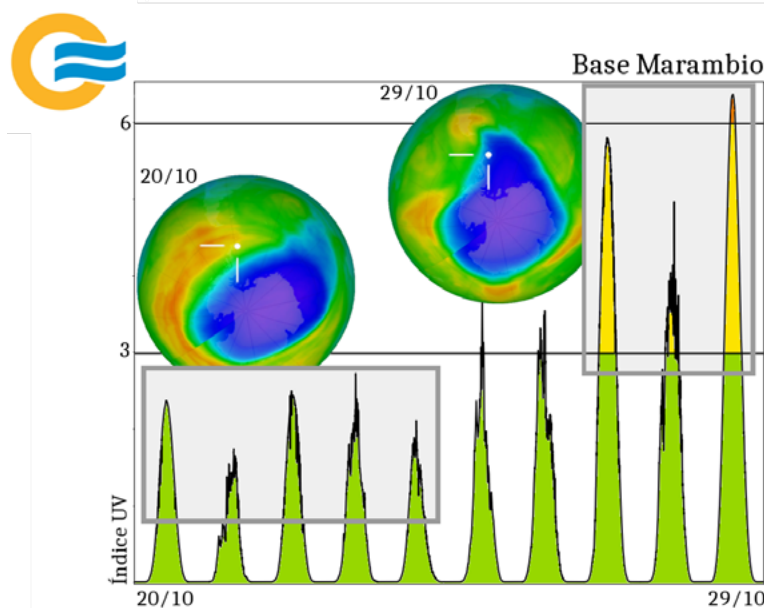
El ozono estratosférico desempeña un papel crucial como atenuador de la radiación solar UV, por lo que resulta relevante analizar los niveles de índice UV durante el paso del agujero de ozono en Ushuaia y Marambio. En la VAG Ushuaia, durante los días 8, 9, 10 y 11 de octubre, se registraron niveles de índice UV con riesgo “moderado”, “alto” y “muy alto” cerca del mediodía solar (13 h). En particular, se mantuvieron niveles de riesgo “alto” y “muy alto” durante al menos una hora en los días 9, 10 y 11, superando incluso el índice UV 8 (riesgo “muy alto”) el 9 y 10 de octubre. Esto estuvo asociado al pasaje del agujero de ozono sobre la Isla Grande de Tierra del Fuego, que abarcó también la provincia de Santa Cruz y el sur de Chubut el 10 de octubre (Figura 5.5). Como referencia, para las mismas fechas y en ese sitio, y bajo condiciones normales de ozono, el riesgo debería ser “bajo” a “moderado” (índice UV cercano a 4) en horas del mediodía.

Figura 5.5. Arriba: Valores de índice UV en la estación Ushuaia entre el 8 y el 11 de octubre de 2023, con identificación de los rangos de las categorías de exposición: “bajo” (verde), “moderado” (amarillo), “alto” (naranja) y “muy alto” (rojo). Abajo: Pasaje del agujero de ozono sobre el sur de la Patagonia para el mismo período. La región azul indica la extensión del agujero de ozono (< 220 UD). Fuente de datos: NASA, <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>. Graficado por el SMN.



Entre el 20 y 29 de octubre, las mediciones obtenidas en Marambio mostraron un incremento considerable del índice UV, cercano al 150 %, asociado al pasaje del agujero de ozono (Figura 5.6). La presencia del agujero de ozono sobre dicha estación durante estas fechas, esperable para la época del año, y su ausencia entre los días 20 y 24 de octubre reflejaron el impacto del fenómeno en lo que respecta a la atenuación de la radiación UV, perjudicial para la piel y los ojos cuando no se cuenta con la protección adecuada: en el intervalo de tiempo observado, el nivel de riesgo por este tipo de radiación pasó de “bajo” a “alto”.

Figura 5.6. Valores de índice UV en la base Marambio entre el 20 y el 29 de octubre de 2023, con identificación de los rangos de las categorías de exposición: “bajo” (verde), “moderado” (amarillo) y “alto” (naranja). El pasaje del agujero de ozono sobre la península antártica incrementa el nivel de riesgo desde “bajo” (20 a 24 de octubre) a “alto” (27 a 29 de octubre). Para los días 20 y 29 se incluyen imágenes satelitales que muestran el estado inicial sin presencia del agujero de ozono y con presencia del mismo, respectivamente. La región en azul indica la extensión del agujero de ozono (< 220 UD). Fuente de datos: NASA, <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>. Graficado por el SMN.



El riesgo ante la exposición a la radiación solar se evalúa a partir de los valores de índice UV registrados diariamente en un determinado sitio. Por lo tanto, se puede utilizar el máximo valor alcanzado en un día para estudiar el comportamiento de este parámetro, o bien analizar la cantidad de días por mes que se superan ciertos niveles de riesgo. Durante enero de 2023, en Buenos Aires, ciudad con una alta densidad poblacional, se contabilizaron 26 días en los que el máximo valor de índice UV superó el umbral de 11, establecido como “extremadamente alto”, superando el promedio del período de referencia 2013-2022 (Figura 5.7 arriba). Asimismo, en diciembre hubo una menor cantidad de días que superaron todos los umbrales, en relación a valores históricos. Por otro lado, en Marambio, se registró un número muy reducido de días en los que el máximo del índice superó el nivel de 3 entre febrero y septiembre, aumentando considerablemente en octubre producto del paso del agujero de ozono (Figura 5.7 centro arriba). En este sitio, la mayoría de los meses de 2023 presentaron una mayor cantidad de días con índice UV por encima de 1, en comparación con la media histórica. En el caso de Mendoza, a partir de septiembre la cantidad de días que excedieron los umbrales de 6, 8 y 11 fue mayor a los valores históricos (Figura 5.7 centro abajo). En Ushuaia, y en términos generales, se observó que la cantidad de días con índices UV máximos mayores a 1, 3 y 6 se mantuvo en niveles similares al promedio de referencia (Figura 5.7 abajo).



Cantidad de días que superan el valor de índice UV en Buenos Aires
Año 2023

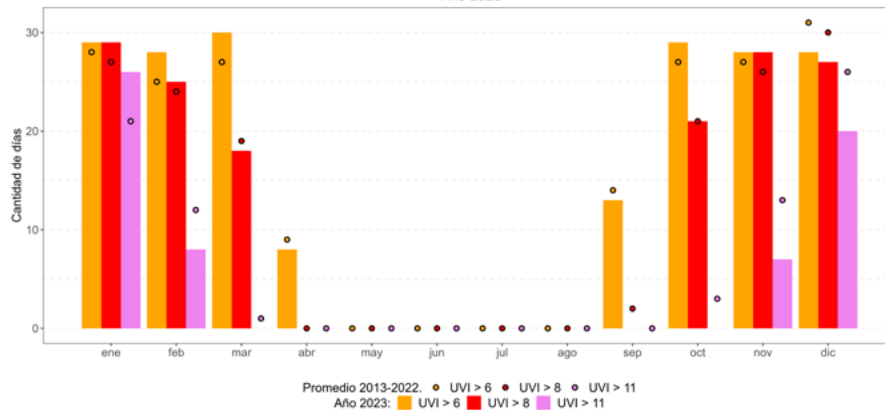
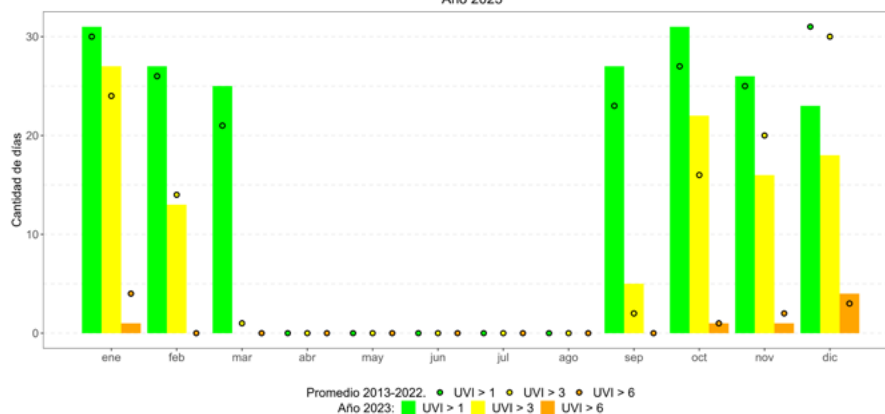
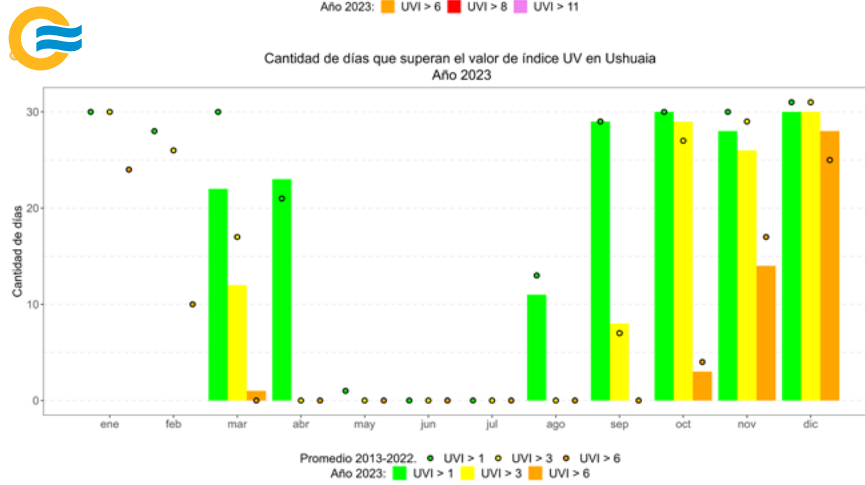
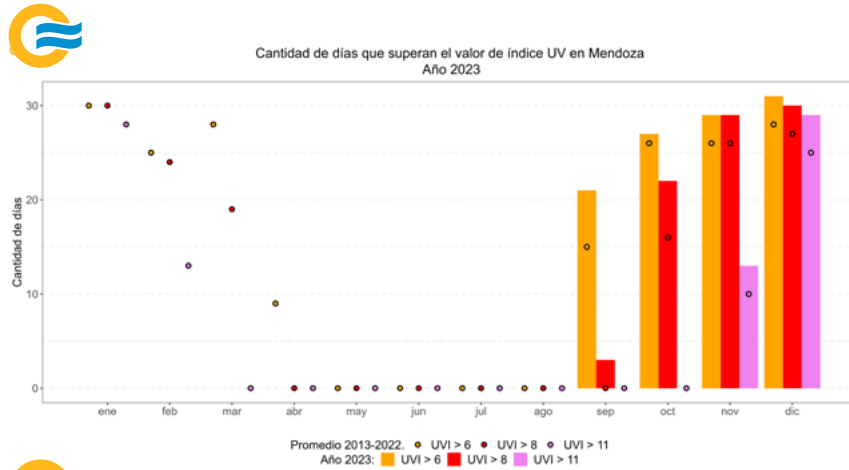


Figura 5.5. Cantidad de días en los que el máximo diario del índice UV superó los umbrales de las categorías de exposición para las estaciones Buenos Aires (arriba), Marambio (centro arriba), Mendoza (centro abajo) y Ushuaia (abajo). Con puntos se indica la cantidad de días promedio en los que se superaron los umbrales en el período 2013-2022. En Mendoza y Ushuaia no hay datos los primeros meses del año dado que sus sensores participaron en una campaña de intercomparación y calibración.



Cantidad de días que superan el valor de índice UV en Marambio
Año 2023





REFERENCIAS

Carbajal Benítez, G., M. Cupeiro, R. Sánchez, J. D. Agüero, M. E. Barlasina y F. Nollas, 2012. Caracterización de la columna total de ozono medido con el espectrofotómetro Dobson en cuatro estaciones en la Argentina. E-ICES9, ISBN 978-987-1323-36-4.

Janusz, K. y C. Agnieszka, 2024. Signs of Slowing Recovery of Antarctic Ozone Hole in Recent Late Winter-Early Spring Seasons (2020–2023) [Signos de una recuperación lenta del agujero de ozono antártico en las temporadas recientes de fin de invierno y principios de primavera (2020–2023)]. Atmosphere 2024, 15, 80. <https://doi.org/10.3390/atmos15010080>.

McKinlay, A. F., y B. L. Diffey, 1987. A Reference Action Spectrum for Ultraviolet Introduced Erythema in Human Skin. Human Exposure to Ultraviolet Radiation: Risks and Regulations [Un espectro de acción de referencia para el eritema producido por la radiación ultravioleta en la piel humana. Exposición humana a la radiación ultravioleta: Riesgos y Regulaciones]. Elsevier Science, p. 83-87.

Molina, M. J., y F. S. Rowland, 1974. Stratospheric sink for Chlorofluoromethanes: Chlorine atom-catalysed destruction of ozone [Sumidero estratosférico de clorofluorometanos: Destrucción del ozono catalizada por átomos de cloro]. Nature, 249.

Nollas, F., E. Luccini, G. Carbajal Benítez, F. Orte, E. Wolfram, G. Hülsen y J. Gröbner, 2019. Report of the Fifth Erythemal UV Radiometers Inter-comparison [Informe de la quinta intercomparación de radiómetros UV eritemicos]. GAW Report No. 243.

OMS, 2002. Global Solar UV Index: A Practical Guide [Índice de radiación solar UV global: Guía práctica]. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42459/9241590076.pdf>

OMM, 2008. Operation Handbook - Ozone Observation with a Dobson Spectrophotometer [Manual de funcionamiento - Observación del ozono con un espectrofotómetro Dobson]. GAW Report No. 183.

OMM, 2018. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018 [Evaluación científica sobre el agotamiento de la capa de ozono: 2018]. Global Ozone Research and Monitoring Project - Report No. 58. <https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-05/SAP-2018-Assessment-report.pdf>

Programa de las Naciones Unidas del Medio Ambiente (PNUMA), 2019. Manual del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono. Decimotercera edición. ISBN 978-9966-076-61-8. <https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-06/MP-Handbook-2019-Spanish.pdf>

Santee, M. L., G. L. Manney, A. Lambert, L. Millan, N. J. Livesey, M. C. Pitts, L. Froidevaux, W. G. Read y R. Fuller, 2024. The Influence of Stratospheric Hydration from the Hunga Eruption on Chemical Processing in the 2023 Antarctic Vortex [La influencia de la hidratación estratosférica a partir de la erupción de Hunga en el procesamiento químico en el vórtice antártico de 2023]. ESS. DOI: 10.22541/essoar.170542085.55151307/v1.

SMN | REPORTE FINAL

ESTADO DEL CLIMA EN ARGENTINA 2023

