

SMN | REPORTE

ESTADO DEL CLIMA EN ARGENTINA 2021

Foto: Uno de los brazos principales del río Paraná totalmente seco.
Fuente: Diario el País. Fotógrafo: Sebastián López Brach | Julio 2021

Editores

María de los Milagros Skansi
María Mercedes Poggi

Autores

María Mercedes Poggi

Karina Flores
Norma Garay
José Luis Stella
María de los Milagros Skansi

Laura Aldeco
Diana Dominguez
Alejandro Godoy

María Elena Barlasina
Lino Condori
Giselle Marincovich

Gerardo Carbajal
Fernando Nollas

Colaboradores

Camila Córdoba Fradinger
Carina Bolzi
Hernán Veiga
Marcelo Fontana
Natalia Herrera
Ramón de Elia
Svetlana Cherkasova

Revisor

Ramón de Elia

Diseño editorial

Guadalupe Cruz Díaz

ÍNDICE

RESUMEN

3

Sección 1 | INTRODUCCIÓN

5

Sección 2 | TEMPERATURAS, PRECIPITACIONES Y EVENTOS EXTREMOS

7

2.1 | Temperatura a nivel país

8

2.2 | Precipitación a nivel país

10

2.3 | Principales anomalías climáticas

11

2.4 | Eventos extremos

19

2.5 | Temperatura en la Antártida

26

Sección 3 | FORZANTES DE ESCALA ESTACIONAL Y SUB-ESTACIONAL DESTACADOS

30

3.1 | El Niño-Oscilación del Sur (ENOS)

30

3.2 | Dipolo del Océano Índico (DOI)

31

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

31

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

32

Sección 4 | GASES DE EFECTO INVERNADERO, REACTIVOS Y AEROSOLES

34

4.1 | Dióxido de carbono (CO₂)

34

4.2 | Metano (CH₄)

35

4.3 | Monóxido de carbono (CO)

35

4.4 | Ozono (O₃) superficial

36

4.5 | Carbono negro (BC)

37

Sección 5 | MONITOREO DE LA CAPA DE OZONO Y DE LA RADIACIÓN SOLAR ULTRAVIOLETA

38

5.1 | Capa de ozono

39

5.2 | Agujero de ozono

42

5.3 | Radiación solar ultravioleta (UV)

43

Fecha de edición

20 de marzo del 2022

Resumen

El presente informe realiza una evaluación de las condiciones climáticas que afectaron a la Argentina durante el 2021. De acuerdo con las mediciones, la temperatura media del país fue superior a lo normal con respecto al período climatológico de referencia. La región con mayores anomalías positivas fue la Patagonia, donde se quebró el récord histórico de calor anual. Para Argentina, el 2021 se ubica como el quinto año más caliente desde 1961. Las estaciones situadas en el sector antártico también registraron condiciones más cálidas que el promedio. Se observó el año más cálido en las bases Orcadas y Esperanza desde 1961.

Varios episodios de calor y frío extremo tuvieron lugar en 2021. Durante el verano, cuatro olas de calor afectaron al centro y sur de Argentina, y produjeron récords históricos de temperaturas máximas absolutas en Cipolletti, Maquinchao, El Bolsón y Paso de Indios. En el invierno, eventos de frío extremo impactaron en el centro y noreste. Ocasionaron temperaturas mínimas históricas en Villa María de Río Seco, Catamarca, Mercedes, Pres. Roque Sáenz Peña y Formosa.

Con respecto a las precipitaciones, en 2021 se registró un desvío negativo a nivel país. La mayor parte del centro-oeste y sur de Patagonia presentó lluvias inferiores a lo normal, como así también las provincias del norte, región del Litoral, norte y sur de Buenos Aires y parte del NOA. Las áreas más afectadas por el fenómeno de sequía fueron el noroeste de Patagonia, el noreste del país (Chaco, Misiones, Corrientes y Formosa) y la región de Cuyo. También se destacó el agravamiento de las categorías de sequía en toda la cordillera central y parte de Cuyo, debido a la falta de nevadas importantes en esa región durante el invierno. Las condiciones deficitarias de lluvias que prevalecieron en gran parte de la Cuenca del Plata desde finales del 2019 y que afectaron el norte y centro del país trajeron como consecuencia una bajante histórica del río Paraná sin precedentes desde 1944. Para Argentina, el 2021 es el decimotercer año más seco desde 1961.

El año 2021 comenzó con una fase fría del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur o La Niña, establecida a finales del 2020, que se mantuvo activa hasta el mes de marzo. Dicha fase reapareció en el último trimestre del año. La Niña y la fase negativa del Dipolo del Océano Índico ocurrida entre mediados de mayor y agosto pudieron haber favorecido las lluvias deficitarias observadas, agravando las condiciones secas en el área ya afectada por la sequía.

Los registros de dióxido de carbono y metano muestran un incremento constante en el transcurso de los años. Siguiendo la tendencia mundial, ambos gases aumentaron su concentración a lo largo del 2021, si bien los valores medidos por el SMN fueron menores a las concentraciones medias globales registradas por la Oficina Nacional de la Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés).

El inicio y la evolución del agujero de ozono fueron muy parecidos a los del 2020, año con uno de los agujeros más profundos y persistentes desde 1979. Con respecto a la radiación ultravioleta, los registros resultaron muy cercanos al promedio histórico en Buenos Aires y Ushuaia.

Sección | 1

INTRODUCCIÓN

1. Introducción

El Reporte del Estado del Clima en Argentina 2021 tiene por objetivo resumir los principales comportamientos del clima que tuvieron lugar en el transcurso del 2021. Incluye, además, una síntesis de la evolución de las variables atmosféricas monitoreadas por el SMN y contempla los eventos climáticos destacados de todo el año. La información presentada aquí puede ser útil y relevante para múltiples sectores y usuarios. Puede resultar de interés para quienes deseen no sólo conocer el estado de los factores meteorológicos ocurridos a lo largo del año, sino también evaluar cómo los han impactado, condicionando sus actividades económicas, productivas, sociales, entre otras.

Luego de un 2020 extremadamente cálido, el 2021 también presentó una temperatura media superior a lo normal a nivel país, ubicándose como el quinto año más cálido para Argentina desde 1961. A nivel global, si bien las temperaturas promedio se enfriaron temporalmente por los eventos La Niña de 2020-2022, el 2021 fue uno de los siete años más cálidos registrados, según seis conjuntos de datos internacionales líderes consolidados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). La temperatura global promedio fue de aproximadamente 1.11 (± 0.13)°C por encima de los niveles preindustriales (1850-1900) (Figura 1.1). Así, 2021 fue el séptimo año consecutivo (2015-2021) en que la temperatura global superó por más de 1°C los valores de referencia, de acuerdo con todos los conjuntos de datos recopilados por la OMM. Desde la década de 1980, cada década ha sido más cálida que la anterior y se espera que el calentamiento global y otras tendencias del cambio climático a largo plazo persistan como resultado de mediciones récord de gases de efecto invernadero.

Figura 1.1 | Anomalías de la temperatura global respecto al período 1850-1900 (°C) para seis conjuntos de datos internacionales consolidados por la OMM.

Un mayor detalle se puede encontrar en: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/2021-uno-de-los-siete-a%C3%B1os-m%C3%A1s-c%C3%A1lidos-jam%C3%A1s>

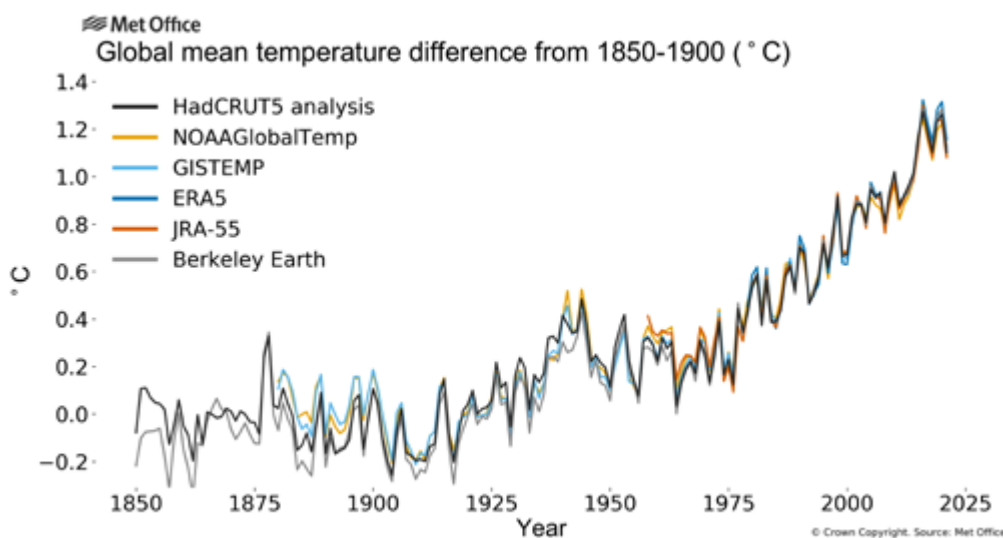
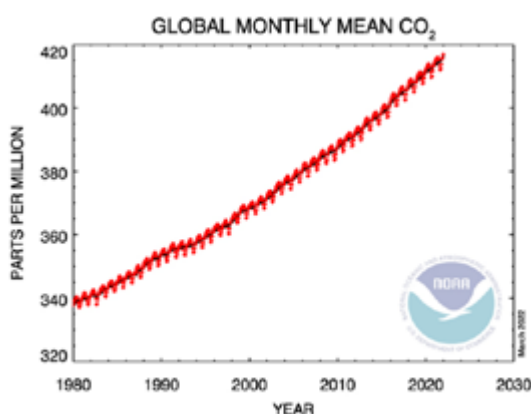


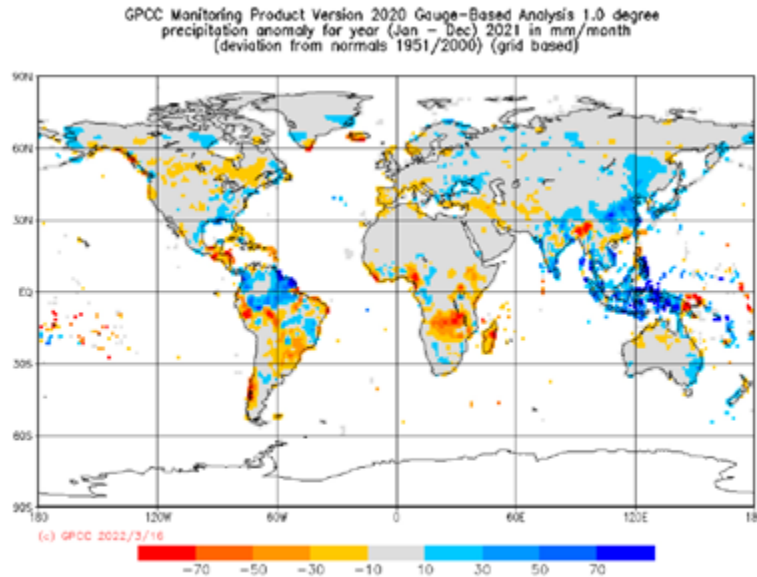
Figura 1.2 | Fracción molar de la media mensual de dióxido de carbono considerando un promedio global sobre los sitios de superficie marina, desde 1980 hasta diciembre de 2021. Las líneas rojas y negras representan los valores medios mensuales, centrados en la mitad de cada mes. Para la línea negra se eliminó el ciclo estacional medio mediante un tratamiento estadístico. Fuente: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html>.



Las concentraciones de los principales gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano y óxido nítrico), responsables en su mayor parte del calentamiento terrestre, siguieron aumentando en 2020 y la primera mitad del 2021, de acuerdo al último reporte de Unidos en Ciencias 2021 (OMM, 2021). Según el Reporte Anual del Clima Mundial del 2021 de la Oficina Nacional de la Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, 2022), en diciembre de 2021 las concentraciones medias de dióxido de carbono a nivel global alcanzaron los 416.87 ppm, superando los 414.14 ppm de diciembre de 2020 (Figura 1.2).

En cuanto a las precipitaciones, en el 2021 se observaron condiciones deficitarias a nivel país. Dicho año se posicionó en el puesto 13 de entre los más secos desde 1961. Esto es análogo a lo ocurrido en el 2020, uno de los años más secos registrados desde 1961 y el más seco desde 1995 (SMN, 2021). A nivel regional, el 2021 estuvo marcado por la sostenida y amplia sequía que comenzó a mediados de 2019 y afectó la Cuenca del Plata. Debido a su prolongada duración y severidad, dicha sequía ha impactado considerablemente en los ecosistemas, economías y poblaciones de la Cuenca (Neumann y otros, 2021).

Figura 1.3. Anomalías de precipitación para el año 2021 con respecto al período de referencia 1951-2000 (mm/mes). Fuente: Centro Mundial de Climatología de las Precipitaciones (GPCC, por sus siglas en inglés), Deutscher Wetterdienst, Alemania.



El reporte consta de 5 capítulos. En el **capítulo 2** se presenta en abundante detalle la evolución de la temperatura y la precipitación durante el 2021, 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, gases reactivos y partículas de aerosol. En general, estas mediciones no registran variaciones llamativas. En el **capítulo 5** se precisa la evolución no sólo 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.

SECCIÓN 1: Referencias

Naumann, G., G. Podesta, J. Marengo, J. Luterbacher, D. Bavera, C. Arias-Muñoz, P. Marinho Ferreira Barbosa, C. Cammalleri, L. Chamorro, L.A. Cuartas, A. De Jager, C. Escobar, C. Hidalgo, O.L. Leal De Moraes, N. McCormick, W. Maetens, D. Magni, D. Masante, M. Mazzeschi, M. Seluchi, M.M. Skansi, J. Spinoni and A. Toreti, 2021. El episodio de sequía extrema de 2019-2021 en la Cuenca del Plata, EUR 30833 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021, ISBN 978-92-76-41898-6, doi:10.2760/773, JRC126508. <https://sisssa.crc-sas.org/wp-content/uploads/2022/02/Informe-bajante-Parana-Espanol.pdf>

NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2021, published online January 2022, retrieved on March 15, 2022 from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202113>.

Organización Meteorológica Mundial, 2021. United in Science 2020: A multi-organization high-level compilation of the latest climate science information. WMO. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10794.

Servicio Meteorológico Nacional de Argentina, 2021. Estado del Clima en Argentina 2020. <http://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/1559>.

Publicaciones recomendadas

Organización Meteorológica Mundial 2021. El estado del clima en América Latina y el Caribe 2020 (OMM-Nº 1272).. State of the Climate in Latin America and the Caribbean 2020. WMO-No. 1272. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10877.

Organización Meteorológica Mundial, 2021. Estado del clima mundial en 2020 (OMM-Nº 1264). https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21987#.YjSWRurMI2w.

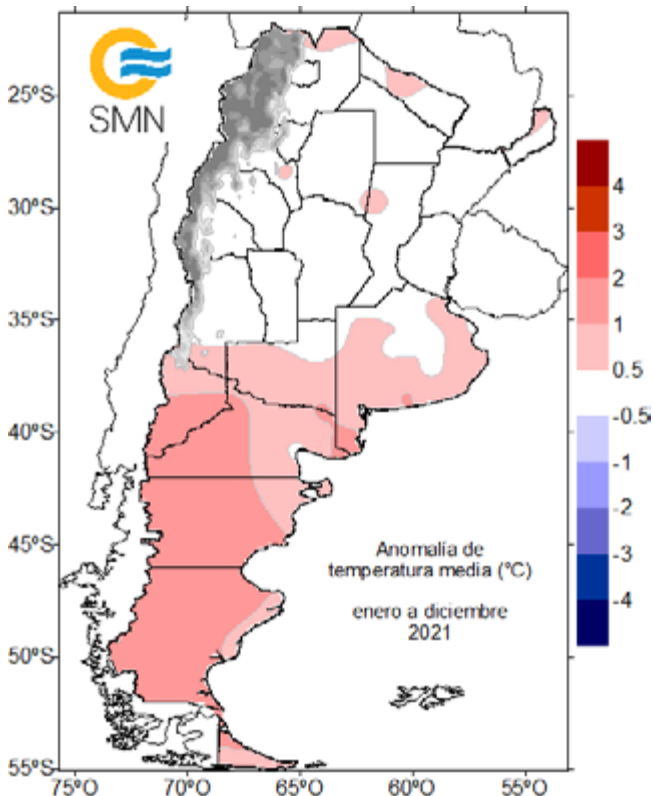
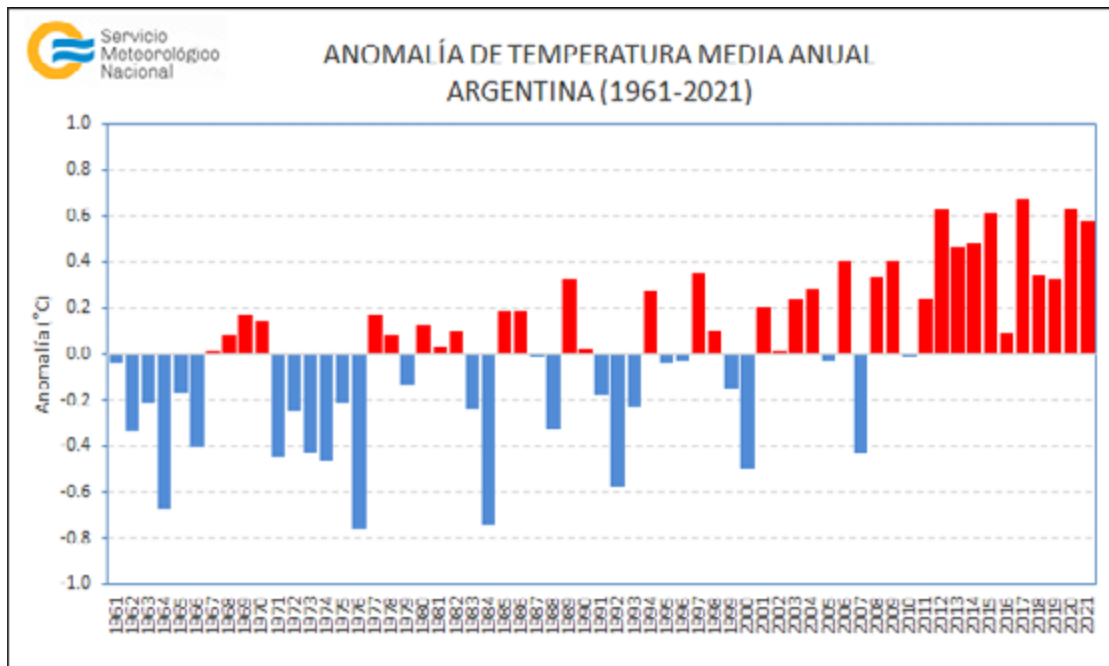
Sección | 2

TEMPERATURAS, PRECIPITACIONES y EVENTOS EXTREMOS

2.1 Temperatura a nivel país

De acuerdo a los datos oficiales observados entre enero y diciembre de 2021, la anomalía de temperatura media anual estimada a nivel país fue de +0.58°C con respecto al período climatológico de referencia 1981-2010. Este valor ubicó al **año 2021 como el quinto año más cálido desde 1961** (Figura 2.1). Cabe remarcar la notoria tendencia a registrar años más cálidos en las últimas décadas, siendo este año el undécimo consecutivo con anomalías positivas.

Figura 2.1. | Anomalías de temperatura media anual a nivel país desde 1961 a 2021 (°C).

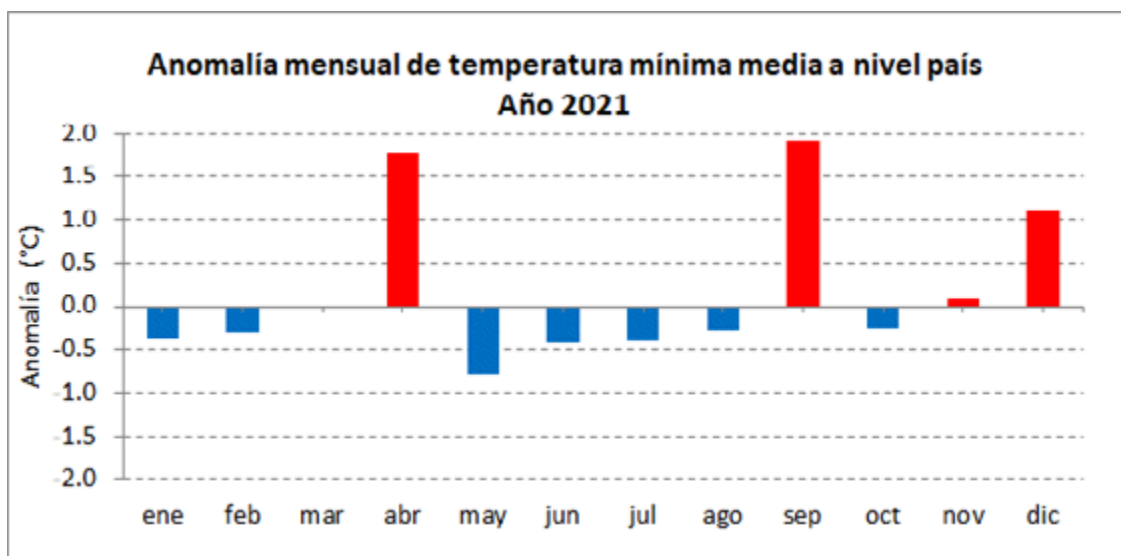
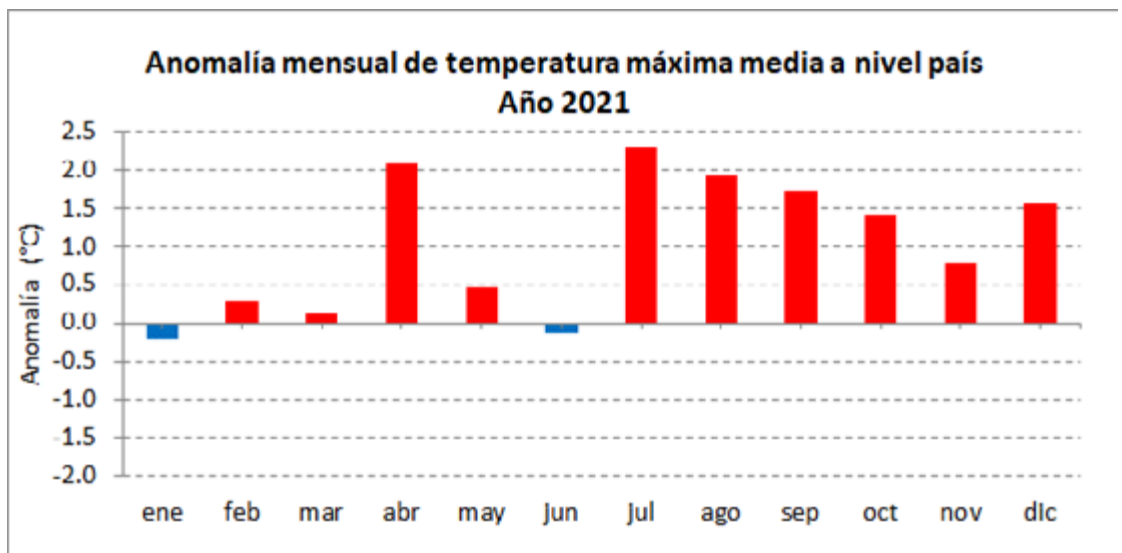
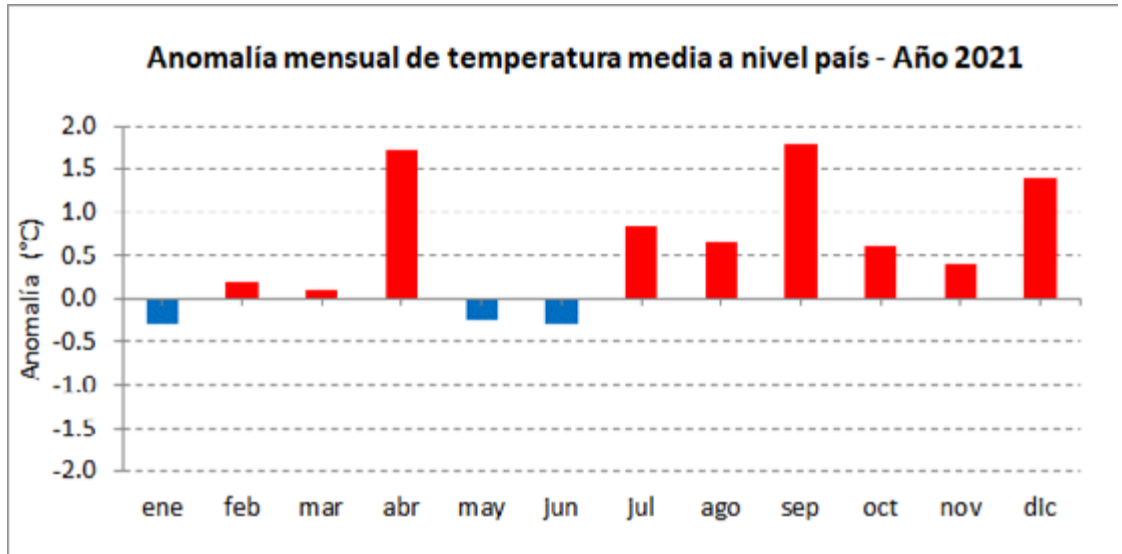


Al analizar el comportamiento de la temperatura media en las distintas regiones del país, durante el 2021 se destacó el desvío promedio en Patagonia (+1.1°C), región donde se quebró el récord histórico de calor anual, superando por varias décimas de grado al máximo anterior de 1998 (+0.77°C). En general, se registraron temperaturas entre 0.5°C y 2.0°C más altas que el promedio anual (Figura 2.2). Por otro lado, al norte de 35°S se observaron, en promedio, desvíos más próximos a lo normal (+/- 0.5°C).

Con respecto al análisis temporal, la primera mitad del año se presentó con predominio de temperaturas cercanas a lo normal a nivel país, a excepción del mes de abril, el cual fue extremadamente cálido. A partir de julio, las temperaturas tendieron a ser más altas de lo normal (Figura 2.3a). En cuanto a las temperaturas máximas y mínimas medias mensuales, se destacó el predominio de una mayor amplitud térmica a nivel país, evidenciándose en la magnitud de dichos desvíos, especialmente entre los meses de mayo y agosto (Figura 2.3b y 2.3c).

Figura 2.2. | Desvíos de la temperatura media respecto al valor normal 1981-2010 (°C).

Figura 2.3. | Anomalías mensuales de temperatura a nivel país (°C):
 a) media;
 b) máxima media;
 c) mínima media.



2.2 Precipitación a nivel país

De acuerdo a los datos observados de precipitación entre enero y diciembre de 2021, Argentina registró un desvío estimado de -13.3% a nivel país, ubicando al **2021 en el puesto 13 de los años más secos desde 1961** (Figura 2.4). La mayor parte del centro-oeste y sur de Patagonia presentó lluvias inferiores a la normal, como así también las provincias del norte, región del Litoral, norte y sur de Buenos Aires y parte del NOA. En cambio, sobre la franja central del país (en especial sobre Mendoza, San Luis y La Pampa) y en el este de Patagonia se observaron áreas con excesos de precipitación. En el resto del territorio las lluvias anuales estuvieron más cercanas a lo normalmente esperado (Figura 2.6). A nivel mensual, hubo un predominio de lluvias por debajo de las normales, principalmente durante el segundo semestre (Figura 2.5). El otoño (marzo-abril-mayo) fue más próximo al promedio, mientras que enero fue el mes anómalamente más lluvioso, en promedio, de todo el año.

Figura 2.4. | Anomalías porcentuales de precipitación anual a nivel país desde 1961 a 2021.

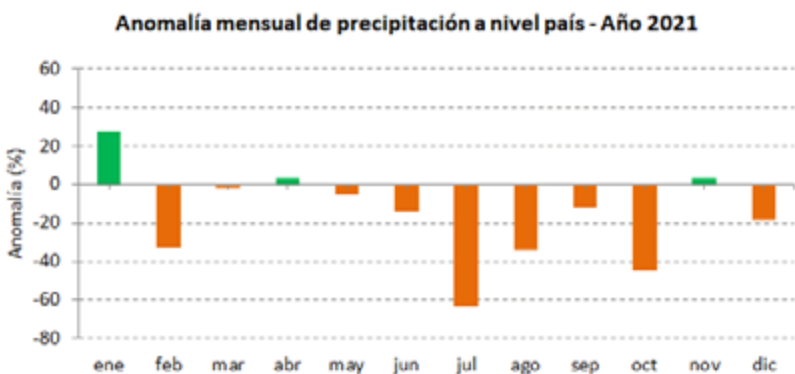
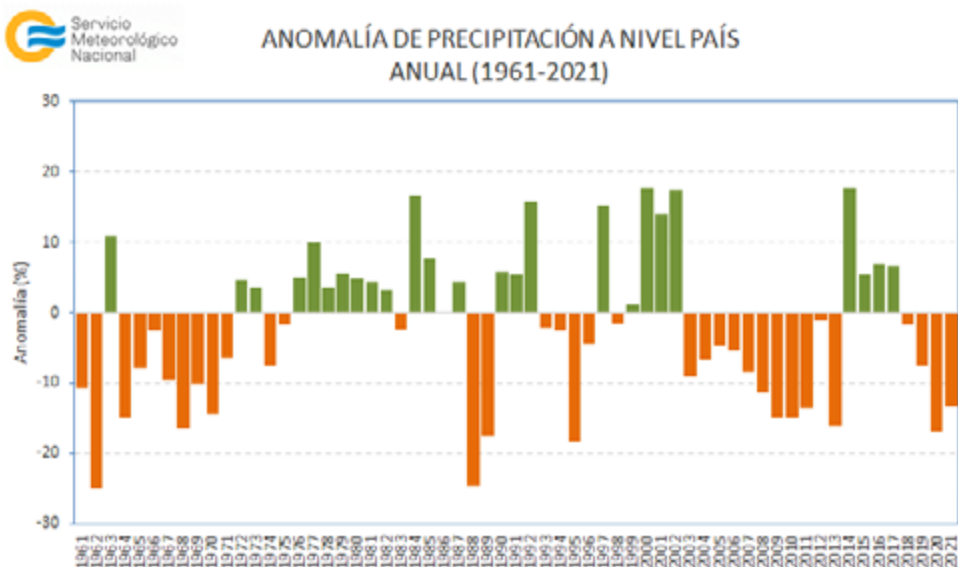
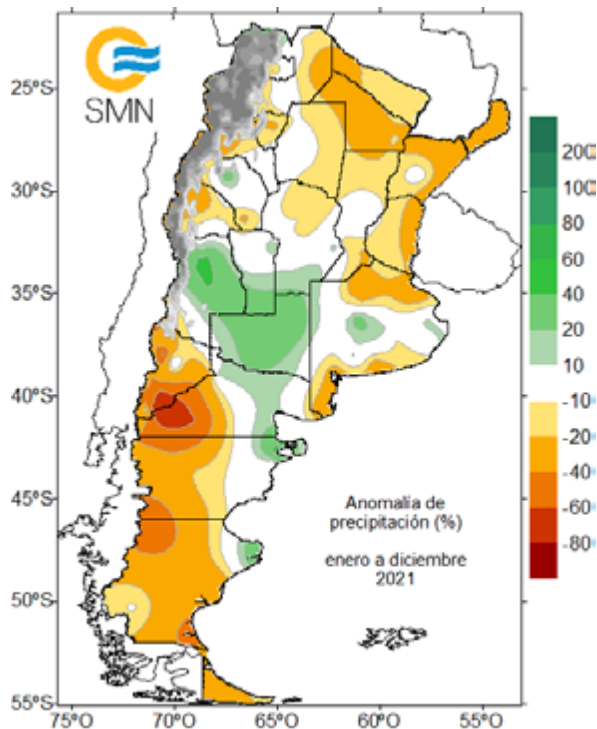


Figura 2.5. | Anomalías porcentuales mensuales de precipitación a nivel país.

Figura 2.6. | Desvío porcentual de la precipitación respecto al valor normal 1981-2010.



2.3 Principales anomalías climáticas

2.3.1 TEMPERATURA ESTACIONAL

El **verano (diciembre-enero-febrero) 2020-2021** se presentó anómalamente cálido en Patagonia y más próximo a lo normal o algo más frío hacia el centro y norte de Argentina (Figura 2.7 izq.). Las temperaturas máximas fueron más altas a lo esperado sobre el oeste y sur de Patagonia (entre +1°C y +2°C) (Figura 2.7 centro), registrándose varios valores récord (Tabla 2.1). Por su parte, las temperaturas mínimas se ubicaron por debajo de lo normal sobre el centro del país (Figura 2.7 der.).

A lo largo del verano, olas de calor afectaron al centro y sur de Argentina. Períodos anómalamente fríos también fueron frecuentes hacia el centro y norte del país, caracterizando a este verano con una notoria variabilidad subestacional. Esto se evidenció, por ejemplo, en los desvíos de la temperatura mínima de diciembre y de la temperatura máxima de febrero (Figura 2.8).

Figura 2.7. | Desvío de la temperatura media, máxima media y mínima media respecto al valor normal 1981-2010 para el verano 2020-2021 (°C).

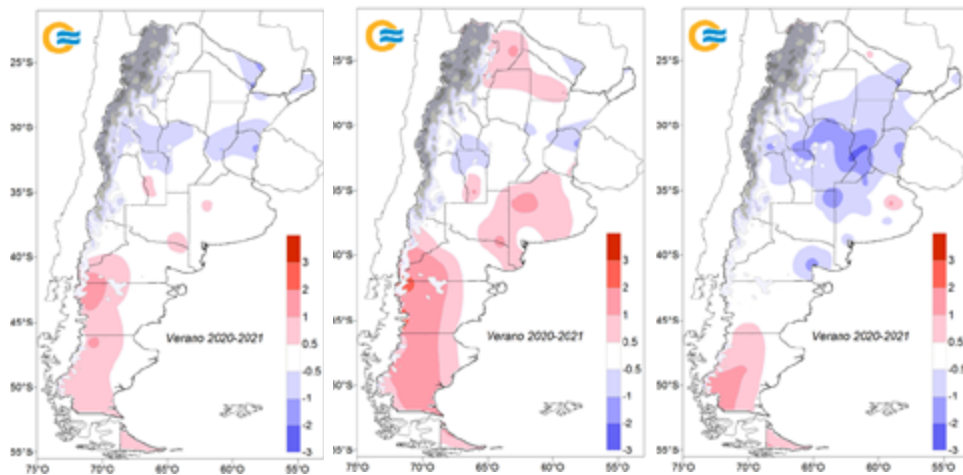


Figura 2.8. | Desvío de la temperatura mínima media para diciembre de 2020 y de la temperatura máxima media para febrero de 2021 respecto al valor normal 1981-2010 (°C).

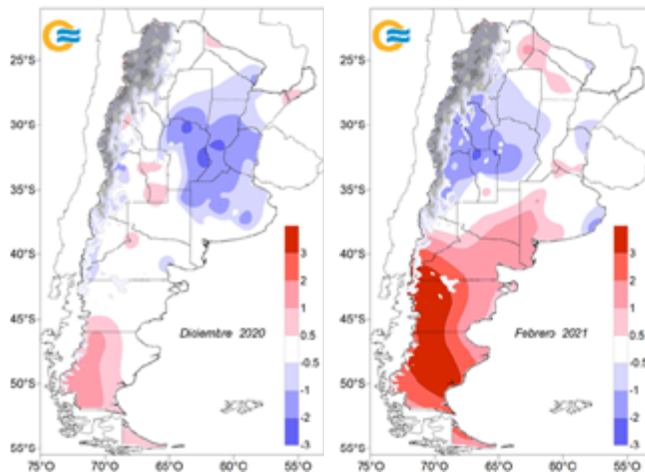


Tabla 2.1. | Valores récord de temperaturas máxima media y mínima media en el verano 2020-2021.

	LOCALIDAD	TEMPERATURA (°C)	RÉCORD ANTERIOR (°C) (Año)	PERÍODO DE REFERENCIA
MÁXIMA MEDIA MÁS ALTA	Esquel	23.2	22.9 (2001)	1961-2020
	El Calafate	19.7	19.6 (2011)	2000-2020
	Río Grande	16.8	16.7 (2001)	1961-2020
MÍNIMA MEDIA MÁS BAJA	Marcos Juárez	14.6	15.1 (2001)	1961-2020

El **otoño austral (marzo-abril-mayo)** fue anómalamente cálido sobre el centro y sur de Argentina, y más cercano a lo normal hacia el norte, con una moderada amplitud térmica media (Figura 2.9). Se registraron valores récord en varias localidades de Patagonia (Tabla 2.2). Se destacó el mes de abril, que se presentó extremadamente cálido en gran parte del territorio, con temperaturas máximas muy por encima de lo normal en la franja central (anomalías superiores a +3°C) (Figura 2.10 izq.). Durante mayo, por el contrario, la región del centro-este y noreste del país se vio afectada por temperaturas mínimas muy por debajo de los valores normales (Figura 2.10 der.).

Figura 2.9. | Desvío de la temperatura media, máxima media y mínima media respecto al valor normal 1981-2010 para el otoño 2021 (°C).

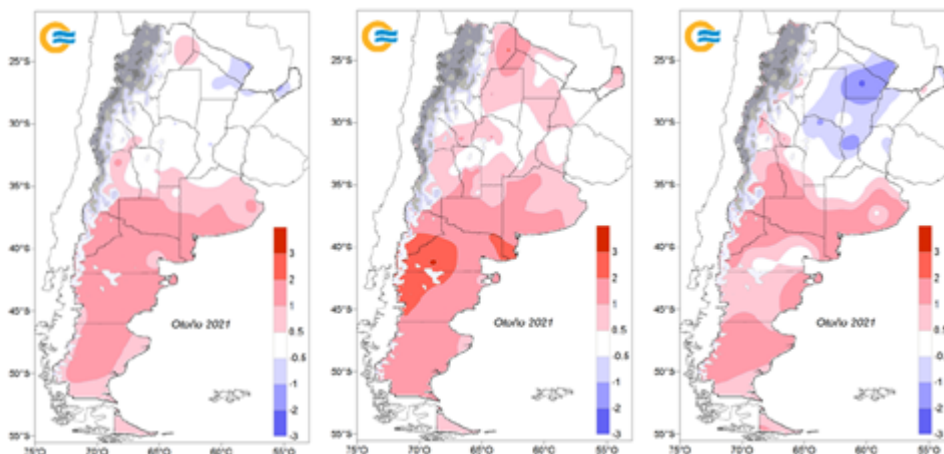


Figura 2.10. | Desvío de la temperatura máxima media para abril de 2021 y de la temperatura mínima media para mayo de 2021 respecto al valor normal 1981-2010 (°C).

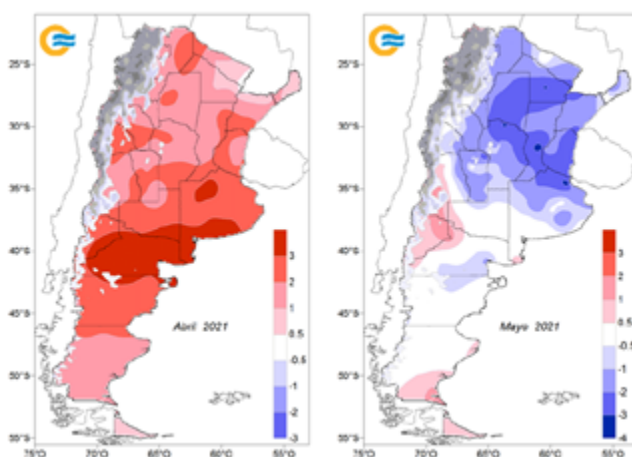


Tabla 2.2. | Valores récord de temperaturas máxima media y mínima media en el otoño 2021.

	LOCALIDAD	TEMPERATURA (°C)	RÉCORD ANTERIOR (°C) (Año)	PERÍODO DE REFERENCIA
MEDIA MÁS ALTA	Bariloche	10.1	9.7 (2015)	1961-2020
	Esquel	10.1	10.0 (2015)	1961-2020
MÁXIMA MEDIA MÁS ALTA	El Bolsón	19.4	18.8 (2016)	1961-2020*
	Bariloche	17.6	16.6 (2015)	1961-2020
	Esquel	17.2	16.2 (2020)	1961-2020
	Perito Moreno	15.9	15.4 (2020)	1988-2020

(*) Con interrupciones.

Durante el **invierno (junio-julio-agosto)** el sur del país continuó experimentando temperaturas anómalamente cálidas, situación destacada del año 2021 (Figura 2.11). Una notoria ausencia de entradas de aire frío contribuyó a que esta zona registrara una marcada persistencia de calor anómalo, como así también la falta de precipitaciones. Por el contrario, el centro y norte de Argentina se vio afectado por una alta variabilidad térmica, presentando períodos de frío y calor extremo, así como también una gran amplitud térmica (Figura 2.12). Esto se evidenció en la ocurrencia de temperaturas máximas superiores a lo normal y de temperaturas mínimas inferiores al promedio estacional.

Figura 2.11. | Desvío de la temperatura media, máxima media y mínima media respecto al valor normal 1981-2010 para el invierno 2021 (°C).

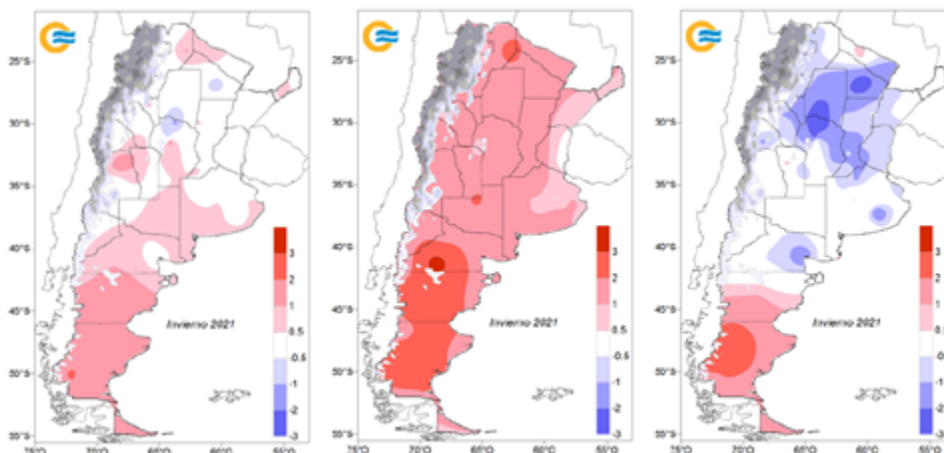
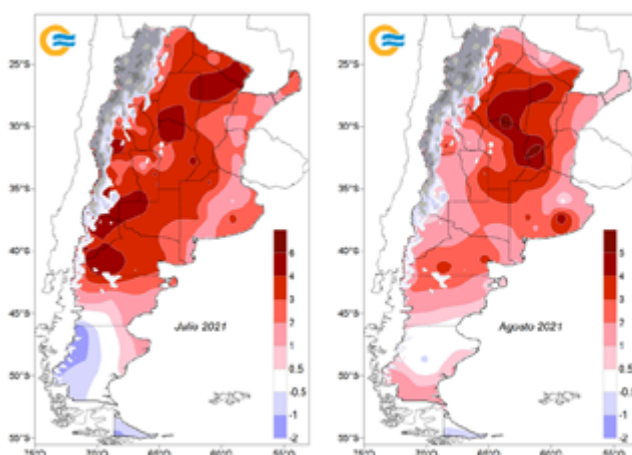


Figura 2.12. | Desvío de la amplitud térmica para julio y agosto de 2021 respecto al valor normal 1981-2010 (°C).



La **primavera (septiembre-octubre-noviembre)** presentó temperaturas medias y máximas medias más cálidas que las normales en gran parte del país. En el caso de las temperaturas mínimas, los valores fueron cercanos a los valores medios en el centro del territorio, mientras que en el resto del mismo fueron superiores (Figura 2.13). El mes de septiembre fue el que presentó los mayores apartamientos positivos (valores superiores a los +3°C) (Figura 2.14), posicionándolo como **el segundo septiembre más cálido a nivel país desde 1961**. En varias localidades se superaron récords (Tabla 2.3).

Figura 2.13 | Desvío de la temperatura media, máxima media y mínima media respecto al valor normal 1981-2010 para la primavera 2021 (°C).

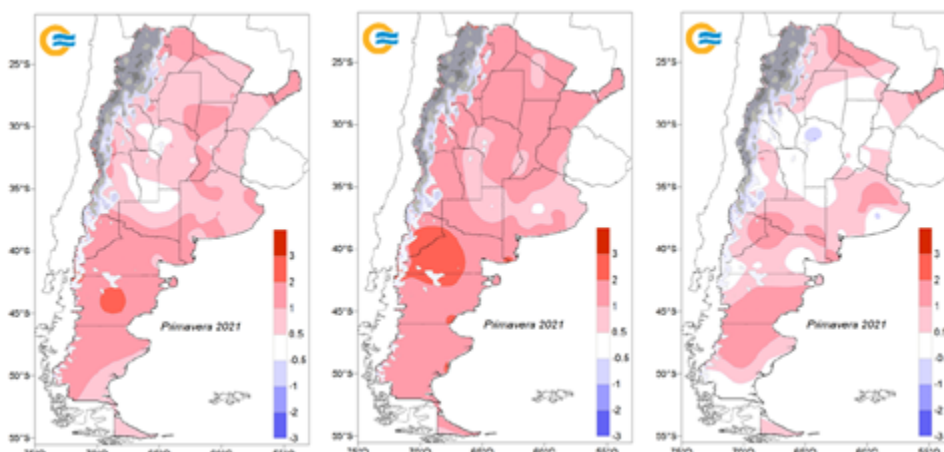


Figura 2.14. | Desvío de la temperatura media y mínima mínima media para septiembre de 2021 respecto al valor normal 1981-2010 (°C).

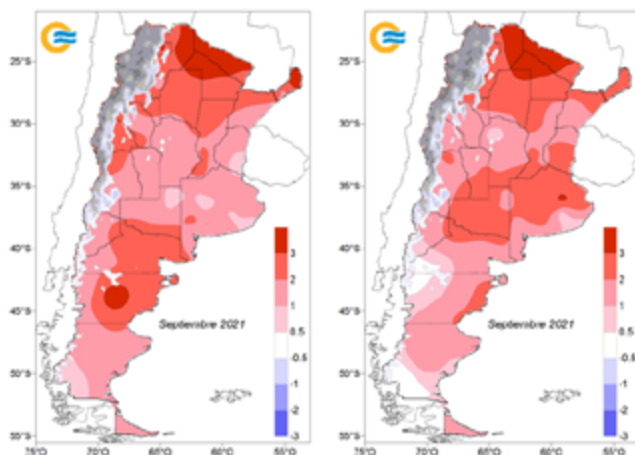


Tabla 2.3. | Valores récord de temperatura máxima media y mínima media en la primavera de 2021.

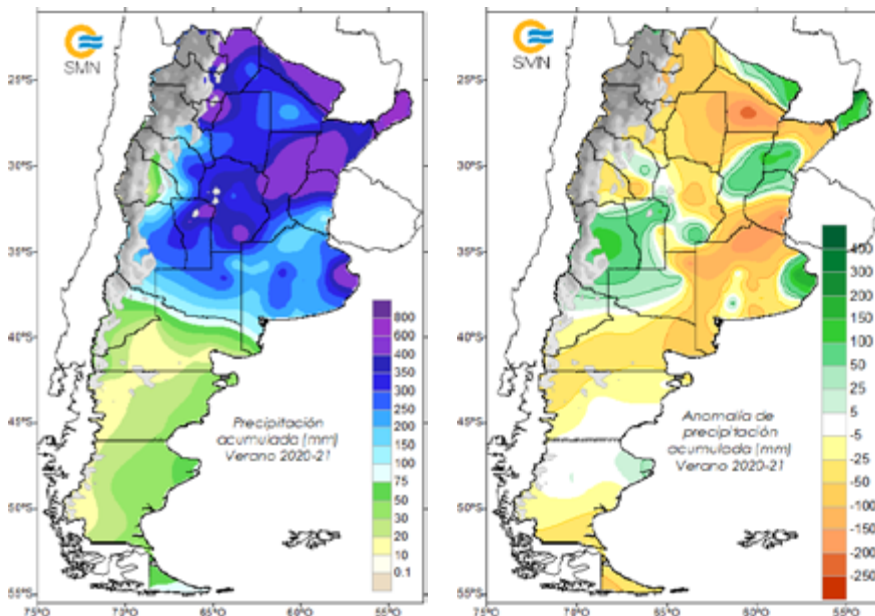
	LOCALIDAD	TEMPERATURA (°C)	RÉCORD ANTERIOR (°C) (Año)	PERÍODO DE REFERENCIA
MEDIA MÁS ALTA	Nueve de Julio	17.9	17.8 (1977)	1961-2020
	Punta Indio	17.3	17.1 (2008)	1961-2020
	Neuquén	17.3	16.9 (2008)	1961-2020
	Comodoro Rivadavia	14.7	14.4 (1996)	1961-2020
	Paso de Indios	14.0	12.9 (2012)	1968-2020*
	El Bolsón	12.8	11.7 (2012)	1978-2020*
	Perito Moreno	10.1	10.1 (2016)	1961-2020*
MÁXIMA MEDIA MÁS ALTA	Reconquista	28.2	28.1 (2003)	1961-2020
	Monte Caseros	27.0	26.8 (1977)	1961-2020
	Comodoro Rivadavia	20.9	20.6 (2020)	1961-2020
	Maquinchao	19.8	19.3 (2020)	1961-2020
	El Bolsón	19.5	19.3 (2012)	1978-2020*
	San Julián	18.6	18.5 (2020)	1961-2020
	Esquel	16.4	16.3 (2016)	1961-2020
	Río Gallegos	16.4	16.4 (2016)	1988-2020
	El Calafate	14.9	14.8 (2016)	2000-2020
MÍNIMA MEDIA MÁS ALTA	Neuquén	9.7	9.4 (1999)	1961-2020
	Comodoro Rivadavia	9.0	8.9 (1971)	1961-2020
	Perito Moreno	4.9	4.7 (2017)	1961-2020*

(*) Con interrupciones.

2.3.2 PRECIPITACIÓN ESTACIONAL

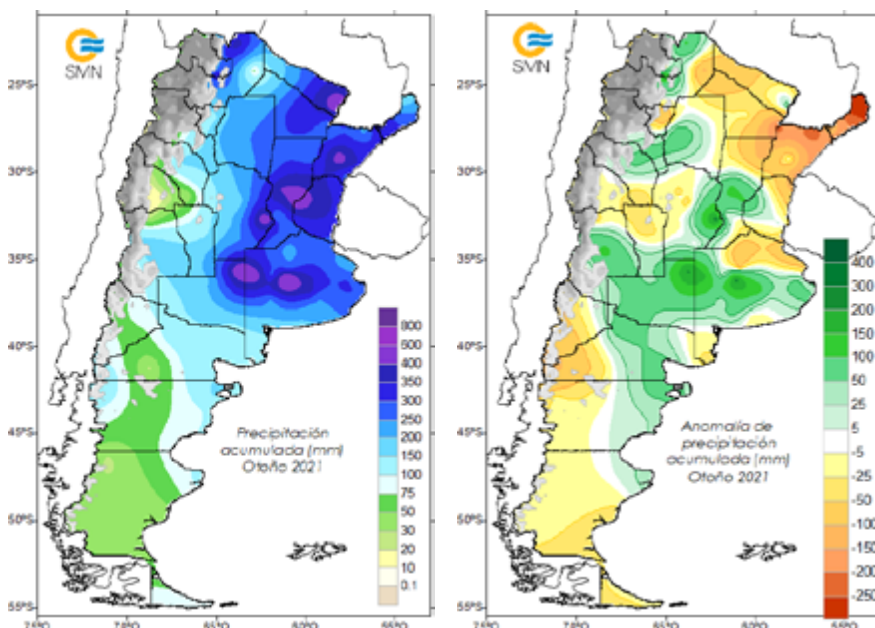
El **verano 2020-2021** se caracterizó por eventos de lluvias que dejaron valores significativos de precipitación acumulada (Figura 2.15 izq.), principalmente durante el mes de enero. A lo largo de todo el trimestre las precipitaciones acumuladas superaron los valores normales (1981-2010) en las regiones del centro-oeste (provincias de Mendoza y San Luis), al este de la provincia de Buenos Aires, y en el centro y norte de la Mesopotamia (Figura 2.15 der.). En el resto del país prevalecieron los déficits de precipitaciones.

Figura 2.15 | Precipitación acumulada y anomalía respecto al valor normal 1981-2010 para el verano 2020-2021 (mm).



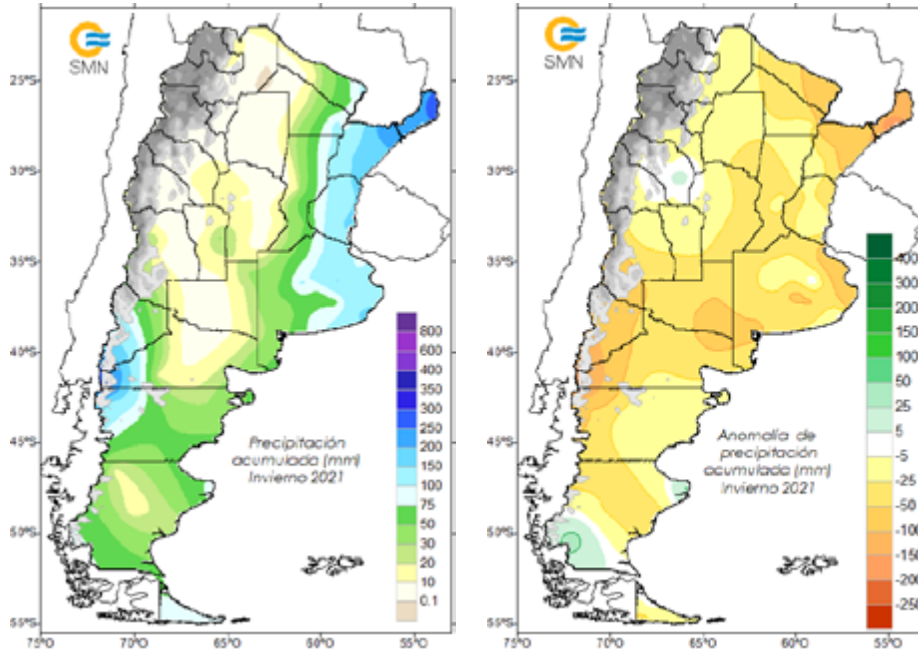
Durante el **otoño** las mayores precipitaciones acumuladas se registraron en una amplia región del centro-este del país (Figura 2.16 izq.). Se destacaron los valores superiores a 400 mm en el centro de Buenos Aires, noreste de La Pampa, sudoeste de Córdoba y centro de Santa Fe. En estas regiones las precipitaciones superaron los valores normales (1981-2021) para el trimestre (Figura 2.16 der.). Asimismo, se observaron precipitaciones superiores a las normales en el resto de la provincia de La Pampa, centro y sur de Mendoza y noreste de Patagonia. En cuanto a los déficits, la región norte de la Mesopotamia mostró importantes valores inferiores a los normales (250 mm por debajo de la precipitación normal para el trimestre), un cambio notable respecto a lo ocurrido en el trimestre anterior. En el oeste y sur de la Patagonia también ocurrieron precipitaciones inferiores a los valores normales, así como en el centro-norte del país.

Figura 2.16 | Precipitación acumulada y anomalía respecto al valor normal 1981-2010 para para el otoño 2020-2021 (mm).



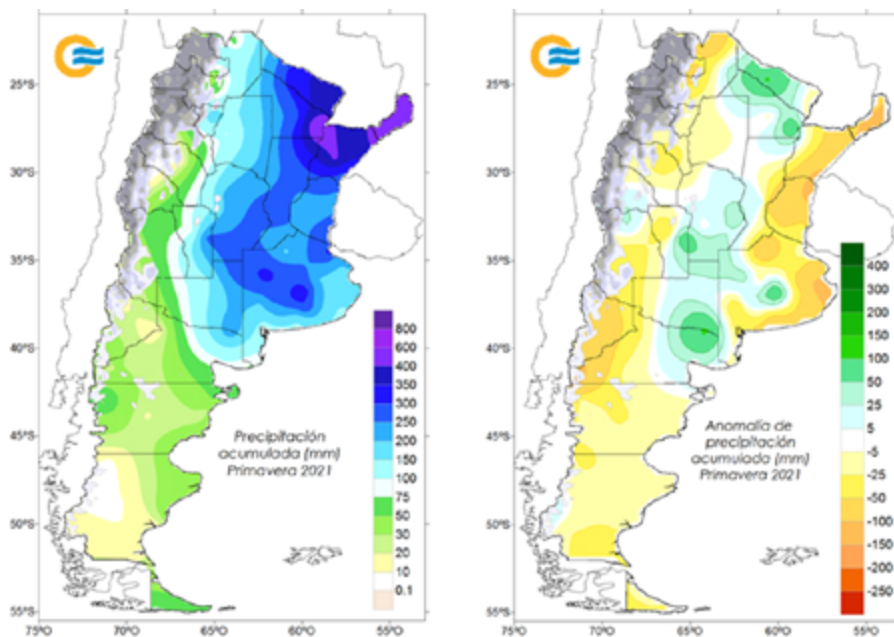
En el **invierno** las precipitaciones fueron escasas. Los mayores valores de precipitación acumulada se registraron en el noroeste de Patagonia y en el noreste de la Mesopotamia (Figura 2.17 izq.). Aun así, los déficits de precipitación abarcaron todo el territorio, con excepción de algunas estaciones localizadas en el sudoeste de Patagonia, noreste de Santa Cruz y la provincia de La Rioja (Figura 2.17 der.).

Figura 2.17 | Precipitación acumulada y anomalía respecto al valor normal 1981-2010 para el invierno 2021 (mm).



La **primavera** se caracterizó por la ocurrencia de lluvias importantes en el centro y norte del país. Se destacó, por ejemplo, el centro de la provincia de Buenos Aires, donde las precipitaciones acumuladas superaron hasta 150 mm los valores climatológicos (1981-2010) (Figura 2.18 izq.). También sobresalieron las precipitaciones superiores a las normales en las provincias de La Pampa, Córdoba, norte de Mendoza, oeste de Corrientes, Chaco y Formosa (Figura 2.18 der.). En el resto del país prevalecieron leves déficits, los cuales fueron más significativos en la provincia de Misiones y en la cordillera de Neuquén.

Figura 2.18 | Precipitación acumulada y anomalía respecto al valor normal 1981-2010 para la primavera de 2021 (mm).



De acuerdo a las mediciones de las estaciones meteorológicas, durante el año 2021 se registraron récords históricos de precipitación acumulada en 24 horas para cada mes (Tabla 2.4), de precipitación acumulada mensual máxima (Tabla 2.5) y de precipitación acumulada mensual y anual mínima (Tabla 2.6).

Tabla 2.4 | Estaciones que alcanzaron registros históricos de precipitación acumulada diaria durante el 2021.

MES	LOCALIDAD	PRECIPITACIÓN ACUMULADA MÁXIMA EN 24 H. (MM) (Fecha)	RÉCORD MÁXIMO ANTERIOR (MM) (Fecha)	INICIO DE PERÍODO DE REFERENCIA
Enero	Coronel Pringles	113.0 (05-01-2021)	68.0 (16-01-2001)	07-09-1993
	Dolores*	276.0 (05-01-2021)	135.0 (28-01-1990)	03-01-1931
	Oberá	140.0 (26-01-2021)	137.0 (02-01-2014)	12-06-1990
	Santa Rosa De Conlara	82.0 (28-01-2021)	69.0 (25-01-2008)	20-12-2001
Abril	Cipolletti	90.0 (20-04-2021)	87.0 (06-04-2014)	05-10-1978
	Marcos Juárez*	224.5 (08-04-2021)	93.0 (30-04-1991)	01-07-1952
	San Rafael	81.0 (20-04-2021)	58.0 (12-04-2002)	12-01-1956
Julio	El Calafate	21.0 (02-07-2021)	17.0 (06-07-2021)	10-12-2000
Septiembre	Villa Gesell	90.0 (08-09-2021)	86.0 (27-09-1976)	01-09-1976
Noviembre	Olavarría	64.0 (27-11-2021)	63.0 (17-11-2003)	02-11-1987
	San Juan	34.0 (09-11-2021)	28.2 (29-11-1976)	07-11-1966
Diciembre	Santa Cruz	38.0 (11-12-2021)	29.0 (26-12-1993)	02-01-1959

(*) También es el valor máximo de precipitación diaria registrada en todo el período de referencia.

Tabla 2.5. Estaciones que alcanzaron registros históricos de precipitación acumulada mensual máxima durante el 2021.

MES	LOCALIDAD	PRECIPITACIÓN ACUMULADA MENSUAL (MM)	RÉCORD MÁXIMO ANTERIOR (MM) (Año)	INICIO DE PERÍODO DE REFERENCIA
Enero	Bernardo de Irigoyen	391.4	367.9 (2018)	11-01-1984
	Dolores	345.8	274.6 (1971)	03-01-1931
	Iguazú	487.0	458.0 (1990)	03-01-1961
	San Luis	260.0	212.6 (1983)	03-01-1931
	Sunchales	393.5	331.5 (2017)	01-03-2009
Abril	Marcos Juárez	281.5	253.9 (1991)	01-07-1952
	San Rafael	99.0	92.1 (1982)	12-01-1956
Julio	El Calafate	46.1	42.2 (2006)	10-12-2000
Septiembre	Azul	168.3	164.5 (2017)	16-12-1994
	Olavarría	162.4	135.3 (1998)	02-11-1987
Noviembre	San Antonio Oeste	67.7	67.5 (1992)	02-06-1988
	San Juan	34.0	32.0 (2007)	07-11-1996

Tabla 2.6. Estaciones que alcanzaron registros históricos de precipitación acumulada mensual y anual mínima durante el 2021 (solo se muestran los casos más significativos).

MES	LOCALIDAD	PRECIPITACIÓN ACUMULADA MENSUAL (MM)	RÉCORD MÁXIMO ANTERIOR (MM) (Año)	INICIO DE PERÍODO DE REFERENCIA
Febrero	Bernardo de Irigoyen	16.5	22 (2005)	11-01-1984
	Coronel Pringles	11.5	15 (2019)	07-09-1993
	General Pico	7.8	14.9 (1957)	03-01-1956
	Pehuajó	15.1	18.8 (2019)	01-10-1958
Abril	Chapelco	3.0	3.7 (2010)	01-01-1991
Julio	Corrientes	< 0.1	3.0 (2005)	01-11-1961
Octubre	Pcia. Roque Sáenz Peña	27.0	39 (2009)	10-10-1998
Diciembre	Ceres	3.5	14.9 (1967)	02-01-1928
	Concordia	4.5	21 (1986)	13-09-1962
	El Palomar	2.8	15.7 (2008)	02-01-1956
	El Trébol	20.2	26.8 (2011)	02-11-1989
	Ezeiza	11.3	12.7 (1956)	02-01-1956
	Iguazú	10.5	24.5 (1985)	03-01-1961
	Las Lomitas	8.0	13 (1971)	04-01-1956
	Oberá	7.0	56.5 (1992)	12-06-1990
	Ushuaia	9.7	14.1 (2006)	01-09-1990
Récord mínimo de precipitación acumulada anual	Jujuy (Universidad)	747.4	764 (2017)	17-07-1987
	Junín	644.3	682.6 (1960)	01-08-1958

2.4 Eventos extremos

La Figura 2.19 resume los eventos meteorológicos más destacados del año 2021. En las siguientes secciones se hace una descripción más detallada de dichos eventos.

2.4.1 EVENTOS DESTACADOS Y VALORES DIARIOS EXTREMOS

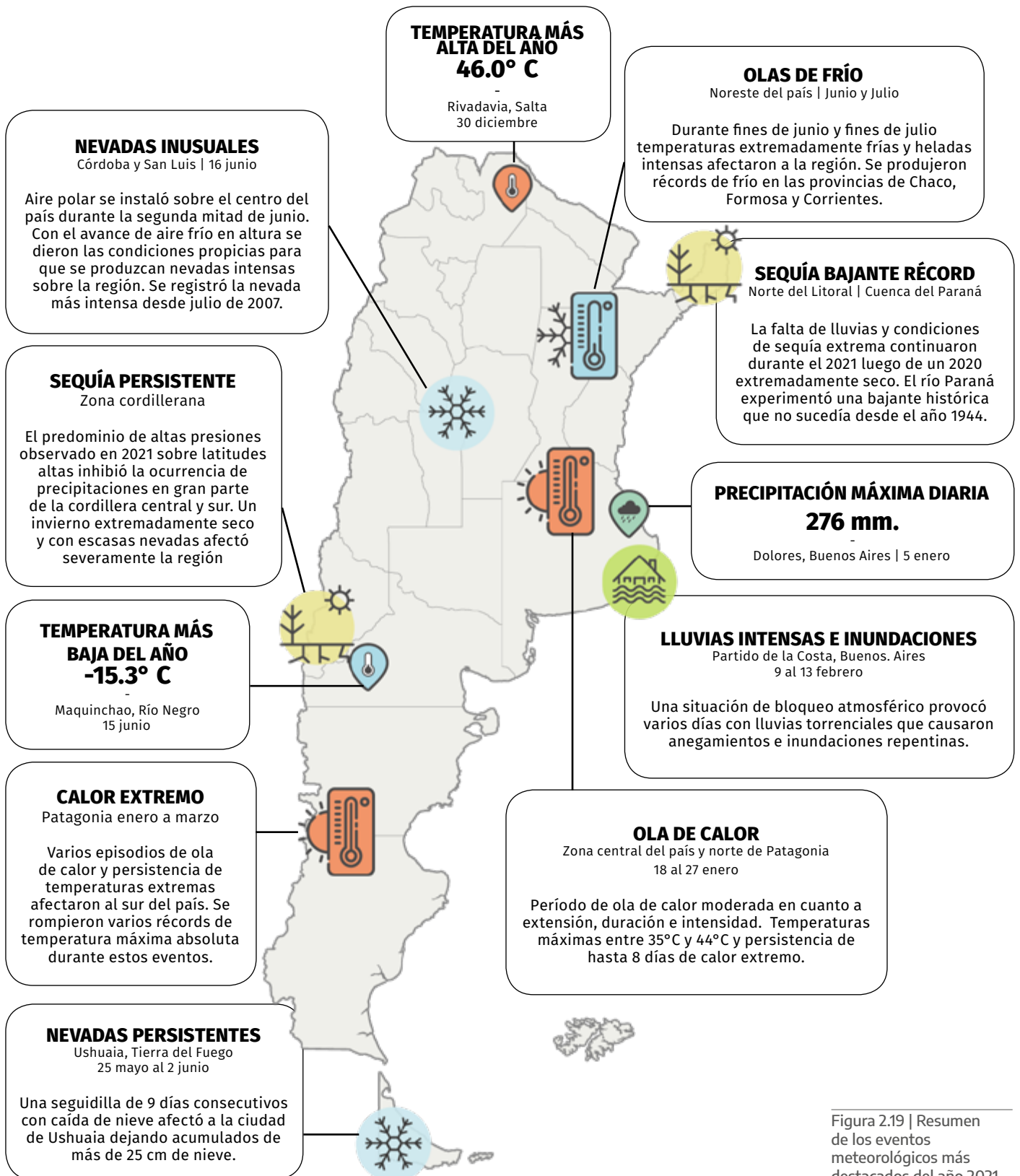


Figura 2.19 | Resumen de los eventos meteorológicos más destacados del año 2021 en Argentina.

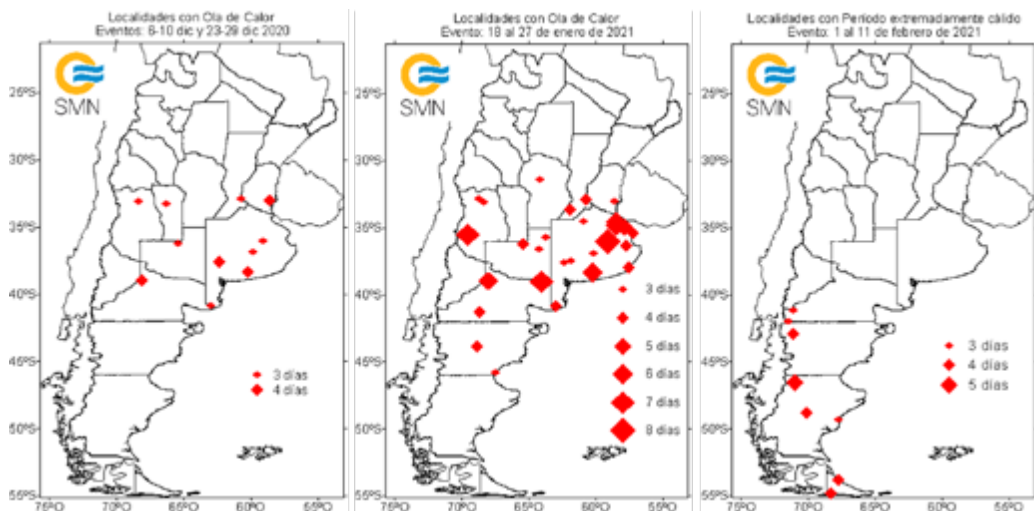
2.4.2 OLAS DE CALOR

Durante el verano 2020-2021 algunos episodios de olas de calor afectaron al centro y sur de Argentina. En diciembre hubo dos períodos en donde algunas localidades registraron olas de calor, si bien éstas fueron de corta duración (Figura 2.20 izq.). Se destacaron las temperaturas máximas altas de los últimos días de diciembre sobre el centro del país.

Durante enero tuvo lugar la ola de calor más significativa del verano (Figura 2.20 centro), generando un calor extremo durante varios días en una amplia región de la zona central y norte de Patagonia. Dentro de este período se rompió el récord histórico de temperatura máxima absoluta en Cipolletti (43.8°C el día 22) y Maquinchao (38.9°C el día 22). La máxima duración de este fenómeno ocurrió en las localidades de Las Flores (8 días), Malargüe y Río Colorado (7 días).

El último evento de ola de calor que afectó especialmente al oeste y sur de Patagonia se registró durante la primera quincena de febrero (Figura 2.20 der.). Un anticiclón de bloqueo sobre el océano Atlántico sur causó la persistencia de buen tiempo y de altas temperaturas en Patagonia. Las temperaturas máximas oscilaron entre 26°C (Río Grande) y 41.6°C (San Antonio Oeste). En gran parte de la región se superaron los 35°C. Las temperaturas alcanzadas en las localidades de El Bolsón (38.2°C el día 5) y Paso de Indios (38.5°C el día 4) rompieron los récords históricos de ambas localidades.

Figura 2.20 | Ocurrencia de olas de calor durante el verano 2020-2021.

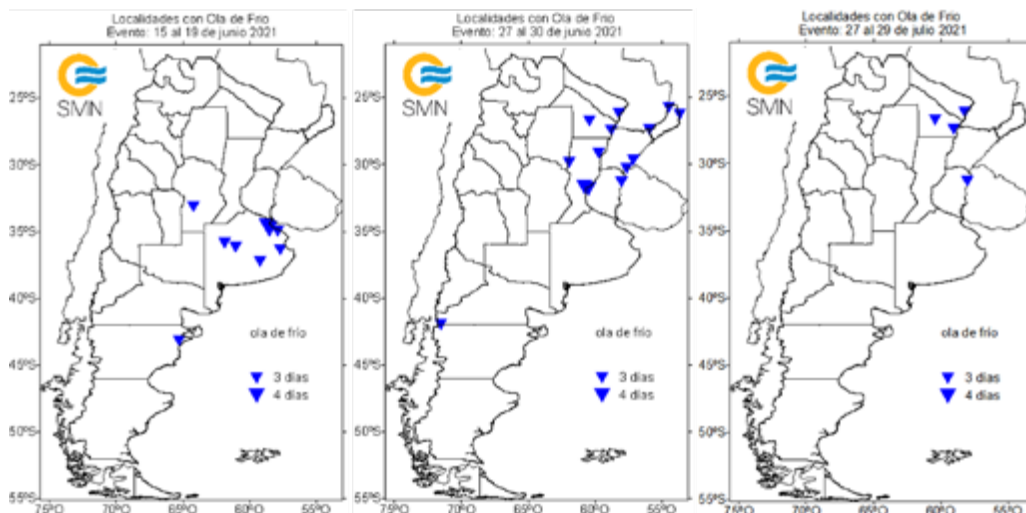


2.4.3 OLAS DE FRÍO Y NEVADAS

Durante el invierno 2021 varios episodios de frío extremo impactaron en el centro y noreste de Argentina. Las dos primeras olas de frío ocurrieron durante la segunda mitad de junio y se originaron debido a dos potentes ingresos de aire polar (Figura 2.21 izq. y centro). El primer evento tuvo lugar entre los días 15 y 21 de junio, afectando al centro-este del país. En ese período se produjeron temperaturas máximas muy bajas en todo el centro y norte del país, y nevadas intensas en las provincias de Córdoba, Cuyo y NOA. La ola de frío tuvo hasta 4 días de duración sobre la zona del Gran Buenos Aires. El segundo evento afectó en forma más generalizada a la región del Litoral, en donde la duración de la ola de frío osciló entre los 3 y 4 días. Se registraron récords de temperatura mínima más baja en Villa María de Río Seco (-9.0°C el día 30), Catamarca (-6.2°C el día 28) y Mercedes (-2.5°C el día 29). También se destacó la persistencia de temperaturas máximas muy bajas sobre el sur del Litoral y noreste de Buenos Aires. La ciudad de Buenos Aires no tenía una seguidilla de tardes tan frías desde julio de 2007. Algunas nevadas inusuales se observaron sobre localidades del sur de Santa Fe y noroeste de Buenos Aires.

Un tercer evento de frío extremo volvió a afectar al extremo noreste y norte del país durante los últimos días de julio (Figura 2.21 der.). Entre los días 27 y 31 de julio las temperaturas en promedio se ubicaron entre 5°C y 8°C por debajo de la media. Heladas intensas acontecieron en el norte del país, con récords de frío en las provincias de Chaco (-7.4°C en Pres. Roque Sáenz Peña el día 29), Formosa (-2.5°C en Formosa el día 29) y Corrientes (-3.0°C en Mercedes el día 29). La masa de aire polar alcanzó latitudes muy bajas provocando nevadas históricas sobre el sur de Brasil.

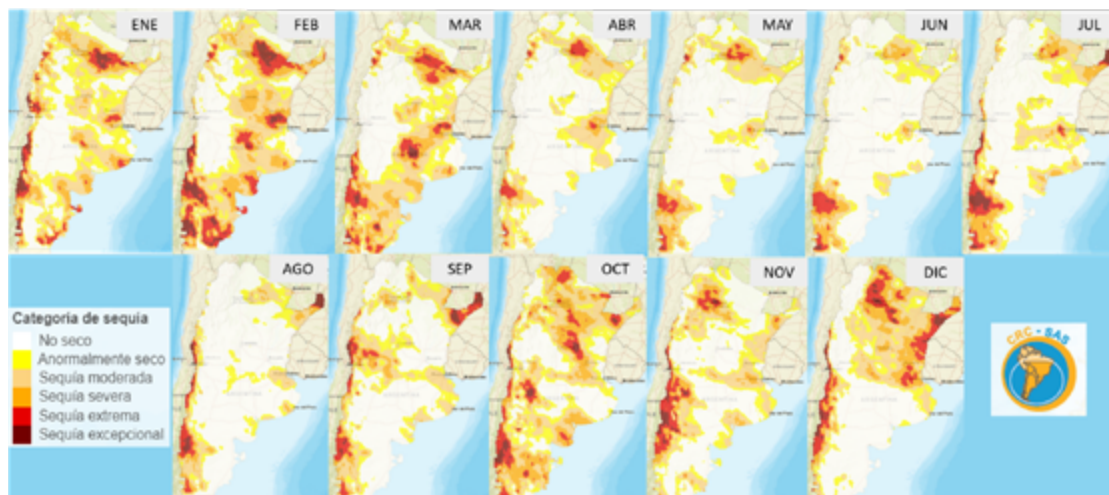
Figura 2.21 | Ocurrencia de olas de frío durante el invierno 2021.



2.4.4 SEQUÍA

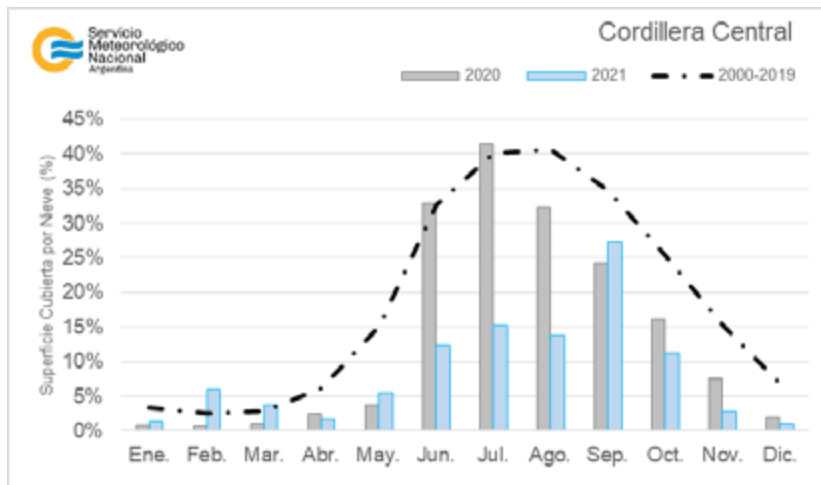
Entre los meses de enero y marzo de 2021 gran parte del país estuvo afectado por el fenómeno de sequía, de acuerdo al índice de Precipitación Estandarizado (OMM, 2012) para la escala de 6 meses (IPE 6) (Figura 2.22). El IPE 6 se calcula mediante el producto CHIRPS (por las iniciales de su nombre en inglés, Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data, Funk y otros, 2015), el cual estima valores de precipitación acumulada hasta los 46°S combinando información satelital y mediciones in situ. Por otra parte, las categorías de sequía del IPE 6 se establecen de acuerdo a las especificaciones del US Drought Monitor (más información de este producto en <https://sisa.crc-sas.org/monitoreo/estado-actual-de-la-sequia/>). Las regiones de Argentina más perjudicadas por este fenómeno fueron el norte de Patagonia, la provincia de Chaco, el sur de Formosa, el norte de La Pampa y sur de Córdoba, y el sur de Entre Ríos y noroeste de la provincia de Buenos Aires. Entre abril y junio se produjo una clara mejora en la situación, principalmente en el centro del país y el este de Patagonia, debido a las precipitaciones de otoño descritas anteriormente. Entre julio y septiembre se mantuvieron las condiciones de sequía severa a excepcional en el noroeste de Patagonia, con pocos cambios. Al mismo tiempo, se extendió el área de sequía excepcional en Misiones, abarcando en julio a toda la provincia y llegando incluso hasta el norte de Corrientes.

Figura 2.22 | Evolución del índice IPE 6 entre enero y diciembre de 2021, calculado a fin de cada mes mediante el producto CHIRPS. Fuente: SISA/CRC SAS.



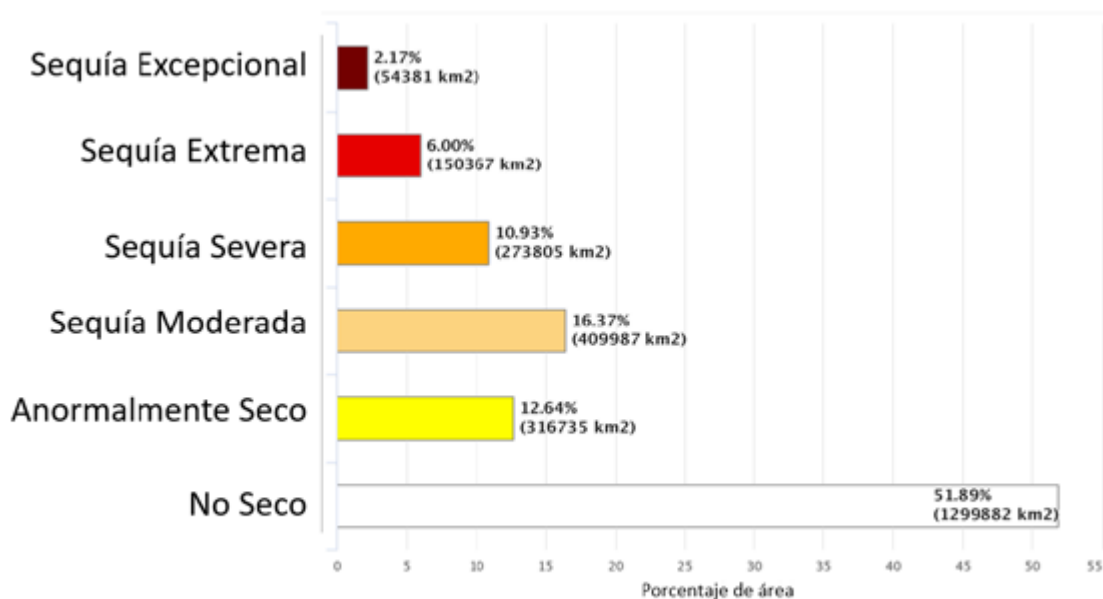
Entre julio y diciembre también se destacó el agravamiento de las categorías de sequía en toda la cordillera central y parte de Cuyo a causa de la falta de nevadas importantes en esa región durante el invierno. El porcentaje de coberturas de nieve en la cordillera central entre abril y agosto fue muy inferior al promedio del período 2000-2019 y a los valores medidos en el 2020 (Figura 2.23). En septiembre se registraron nevadas tardías importantes que determinaron una cobertura nival mayor que la del año pasado, aunque aún menor que la media histórica. En los últimos meses del año las nevadas continuaron con escasez, siendo muy inferiores a los valores del promedio de los últimos 20 años e inferiores a los observados en el 2020.

Figura 2.23 | Evolución de la cobertura nival en la cordillera central para el año 2020 y 2021, en barras grises y celestes, respectivamente. En línea punteada negra se representa la media histórica del período 2000-2019. Fuente: Observatorio Regional de la Nieve, IANIGLA.



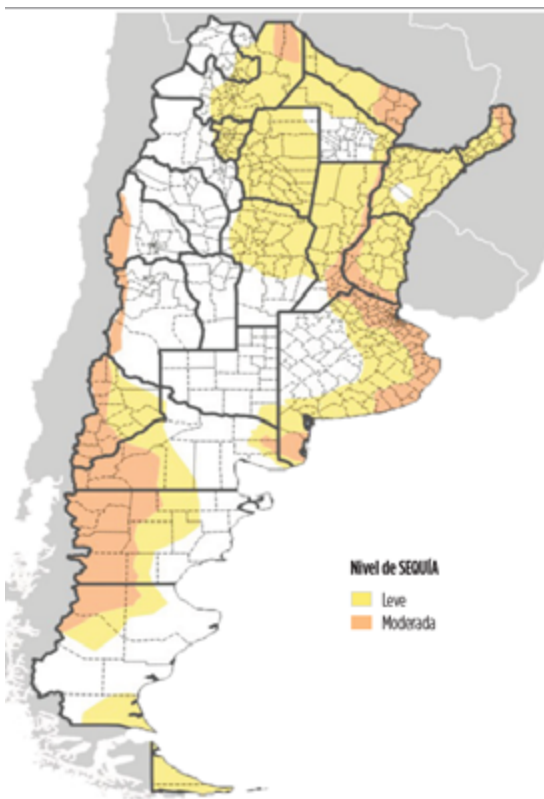
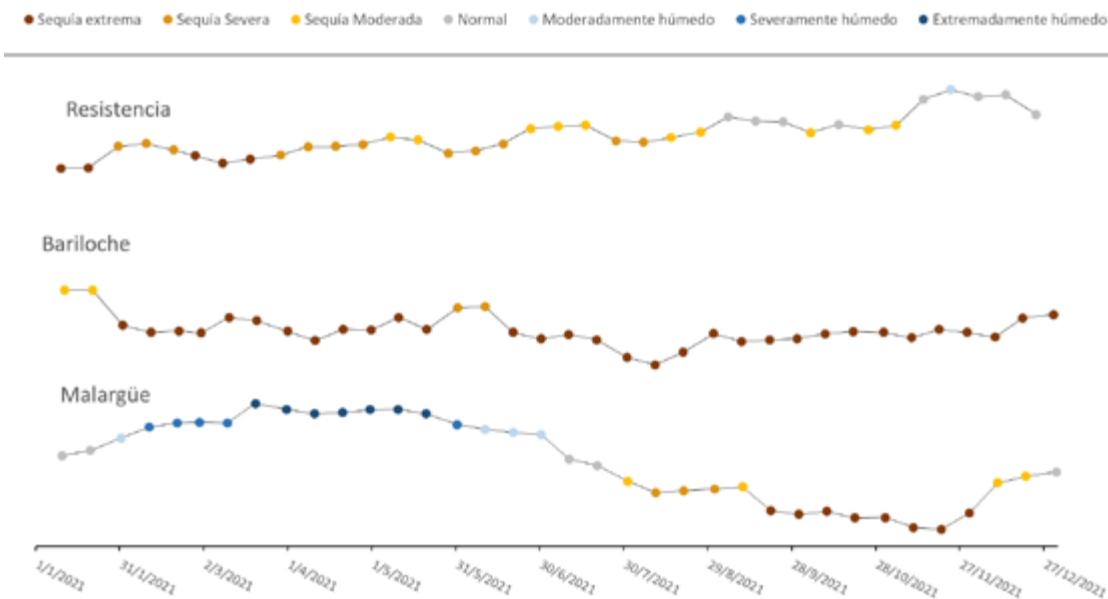
En el período entre enero a diciembre de 2021, el 48% del área nacional al norte de los 46°S se encontró comprendido en alguna categoría de sequía, de acuerdo al IPE 12 del producto CHIRPS (Figura 2.24). Dentro del área comprometida, aproximadamente 72 millones de hectáreas estuvieron afectadas por sequías leves y moderadas, mientras que 20 millones de hectáreas por sequías excepcionales y extremas.

Figura 2.24 | Porcentaje de área de Argentina al norte de los 46°S bajo cada categoría de sequía, de acuerdo al índice IPE 12 calculado a partir del producto CHIRPS y el período de enero a diciembre de 2021. Fuente: SISSA/CRC SAS.



Como se mencionó anteriormente, las áreas más afectadas por el fenómeno de sequía fueron el noroeste de Patagonia, el noreste del país (Chaco, Misiones, Corrientes y Formosa) y la región de Cuyo. En la Figura 2.25 se muestra la evolución del IPE 6 para una estación de cada zona: Malargüe en Cuyo, Resistencia en Chaco y Bariloche en Patagonia. Los índices fueron calculados en base a datos de precipitación in-situ y cada 10 días, desde el 10 de enero hasta el 31 de diciembre. En Resistencia se registraron las categorías de sequía extrema a moderada durante gran parte del año, con mejoras hacia la normalidad a partir de septiembre y condiciones normales de humedad para fin de año (Figura 2.25 arriba). Bariloche, por su parte, presentó la categoría de sequía extrema desde febrero (Figura 2.25 centro). En Malargüe las condiciones de humedad estuvieron por encima de lo normal durante el otoño y hasta mediados del invierno (Figura 2.25 abajo). A partir de julio se observó un empeoramiento de la situación, estableciéndose las categorías de sequía moderada, severa y extrema, y finalizando el 2021 con condiciones de sequía moderada a condiciones normales.

Figura 2.25 | Evolución cada 10 días del IPE 6 para Resistencia (arriba), Bariloche (centro) y Malargüe (abajo). Fuente: Adaptado de SISSA/CRC SAS.

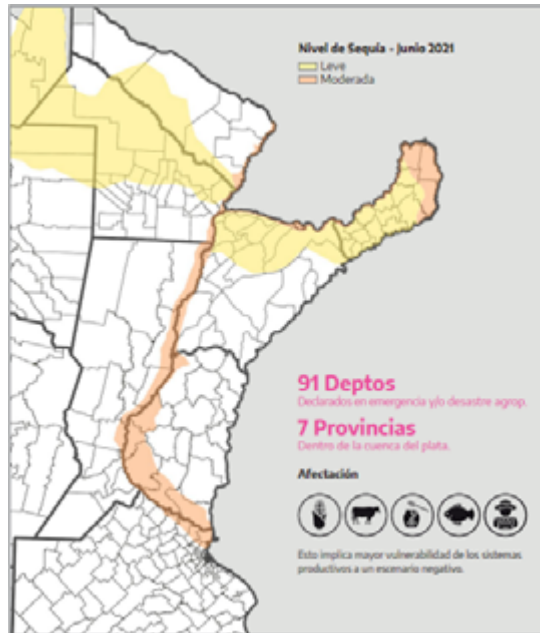


Los informes mensuales elaborados por la Mesa Nacional de Monitoreo de Sequías presentaron el estado y la evolución de la sequía en las distintas regiones de Argentina, junto con los impactos y los factores de riesgo asociados. Según dichos informes, diciembre de 2021 fue el mes con mayor afectación a nivel nacional, con 149.362.787 hectáreas incluidas en alguna categoría seca (Figura 2.26). Considerando únicamente las áreas con sequía moderada, 7.192.087 cabezas de stock bovinos y 3.016.796 hectáreas de cultivos estuvieron en riesgo, siendo los de la soja, el maíz y el girasol los más perjudicados. Se observó una afectación generalizada en los cultivos de verano principalmente en Entre Ríos, el norte y este de Buenos Aires y el centro de Santa Fe. En Misiones el maíz se vio seriamente comprometido. Hacia el noreste del país, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) también reportó una merma en el crecimiento de forrajes y unas expectativas de rendimiento por debajo del promedio en los cultivos de Entre Ríos, norte de Buenos Aires, este de Chaco y Formosa, así como de Tucumán. Por otra parte, las cuencas de nacientes cordilleranas transitaban una situación crítica durante el último mes del año, con dificultades para el abastecimiento productivo en Neuquén, Río Negro y San Juan.

Figura 2.26. | Áreas de Argentina afectadas por sequías leves y moderadas. Figura del Informe de Sequía elaborado por la Mesa Nacional de Monitoreo de Sequías para diciembre de 2021.

Las condiciones deficitarias de lluvias que prevalecieron en gran parte de la Cuenca del Plata desde finales del año 2019 y que afectaron el norte y centro del país trajeron como consecuencia una fuerte bajante hidrológica del río Paraná a lo largo de todo su cauce. Se alcanzaron caudales mínimos históricos, siendo la bajante más pronunciada desde el año 1944. Debido a esta situación se declaró, en el mes de julio y a nivel nacional, la “Emergencia Hídrica” por el plazo de 180 días (Decreto 482/2021).

Figura 2.27 | Áreas de Argentina dentro de la Cuenca del Plata afectadas por sequías leves y moderadas. Figura Informe de la Bajante del Río Paraná elaborado por la Mesa Nacional de Monitoreo de Sequías para junio de 2021.



Los informes situacionales de la bajante del río Paraná elaborados por la Mesa Nacional de Monitoreo de Sequías entre junio y septiembre de 2021 indicaron que junio y julio fueron los meses con mayor afectación. En dichos meses 7 provincias dentro de la Cuenca del Plata estuvieron comprometidas y en 91 departamentos se declaró la emergencia y/o desastre agropecuario (Figura 2.27 para el mes de junio). Durante diciembre se intensificaron las condiciones en comparación con las de noviembre y se alcanzaron alturas mínimas récord e históricas en varios puertos.

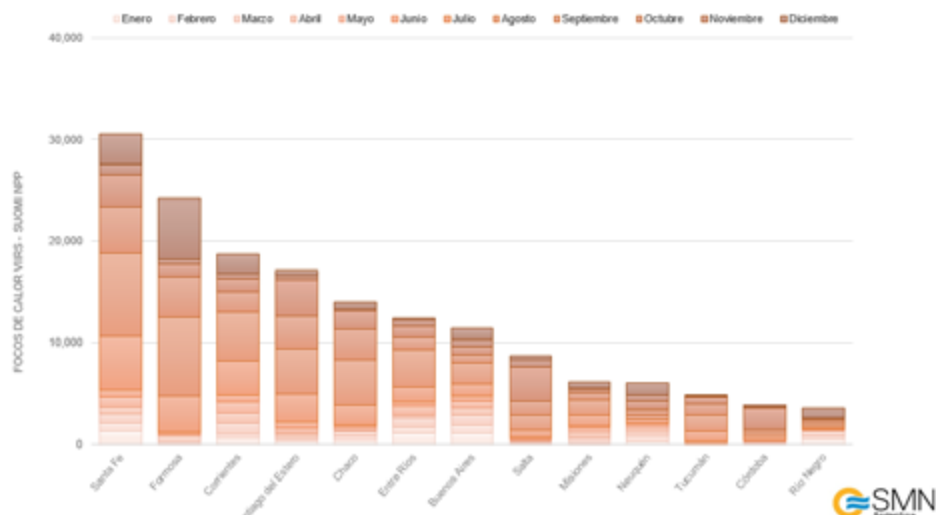
La bajante del río Paraná impactó en los sistemas productivos y en la vida de las comunidades rurales. Generó problemas en el acceso al agua, la ganadería y la agricultura, principalmente la familiar.

Todos los informes de la Mesa Nacional de Sequías se pueden encontrar en: <http://repositorio.smn.gov.ar/handle/20.500.12160/1801> y en https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/d_eda/sequia/

Dentro de la actividad agropecuaria, las mayores consecuencias se identificaron en la pesca artesanal por las disminuciones en las capturas, los daños en las embarcaciones, el deterioro de las herramientas de trabajo, el bloqueo de las vías navegables y el incremento de los costos de traslado. Asimismo, la bajante repercutió fuertemente en los costos de transporte y logística de productos de exportación, debido a la imposibilidad de completar la carga total por parte de los buques y a la ralentización de los ritmos de embarques y almacenajes.

La sequía también promovió condiciones aptas para la generación de incendios en gran parte del territorio nacional durante 2021. Las provincias con mayor cantidad de focos de calor a lo largo del año fueron 13, principalmente en el norte y noreste del país, siendo Santa Fe y Formosa las más afectadas (Figura 2.28). Cabe destacar que los focos de calor pueden ser utilizados para estimar el número de focos de incendio y se obtienen a partir de las anomalías termales de calidad media-alta del sensor VIIRS del satélite Suomi-NPP, con una resolución espacial de 375 m. Esta información es generada por el Fire Information for Resource Management System (FIRMS) de la NASA (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov>).

Figura 2.28 | Estimación de focos de calor discriminados por provincias, entre enero y diciembre de 2021.



Con respecto a la cantidad de focos de calor mensuales del 2021, ésta disminuyó en relación al año 2020 (Figura 2.29), año con el mayor número de focos desde el 2000. Se observó un pico en el mes de agosto, con aproximadamente 43000 focos. Los registros del 2021, sin embargo, se situaron dentro de los valores medios, tomando como referencia el período 2012-2019.

Figura 2.29 | Evolución mensual de los focos de calor para el año 2021, comparada con los años 2012 a 2020.

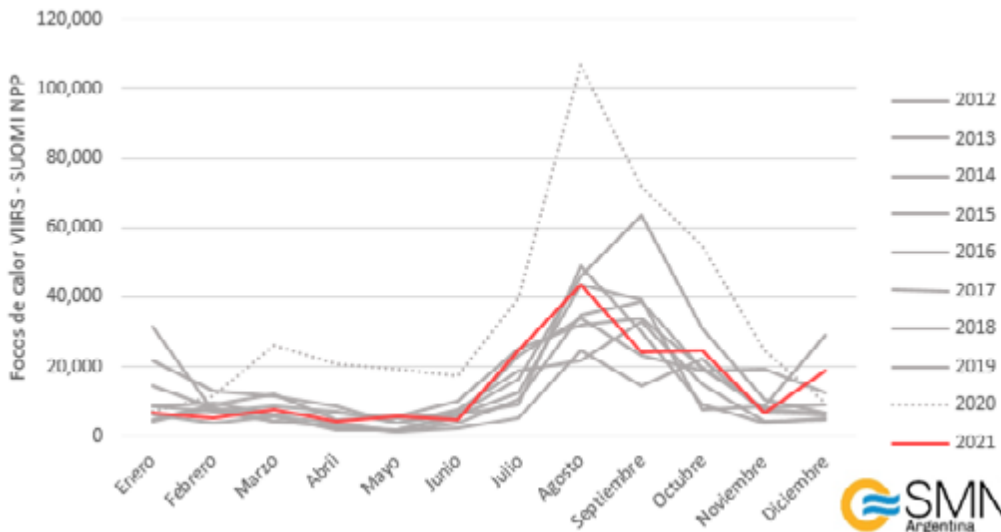
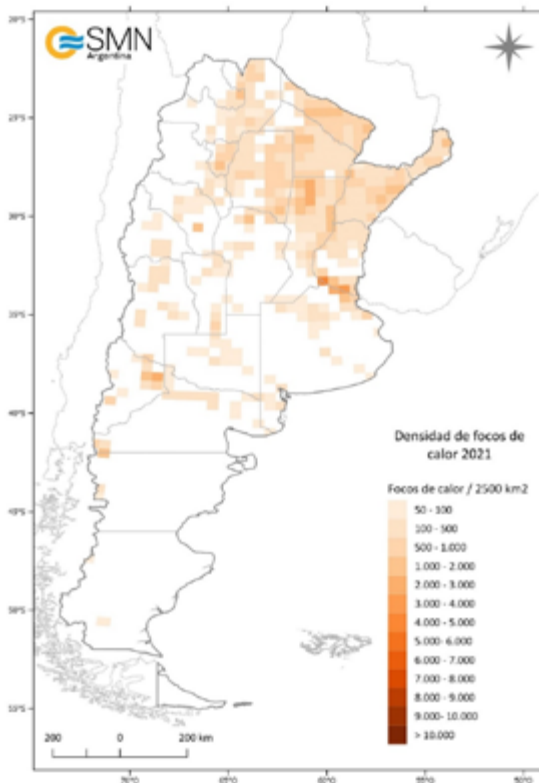


Figura 2.30 | Focos de calor observados en 2021 (resolución 50 km x 50 km). Fuente de datos: Fire Information for Resource Management System.



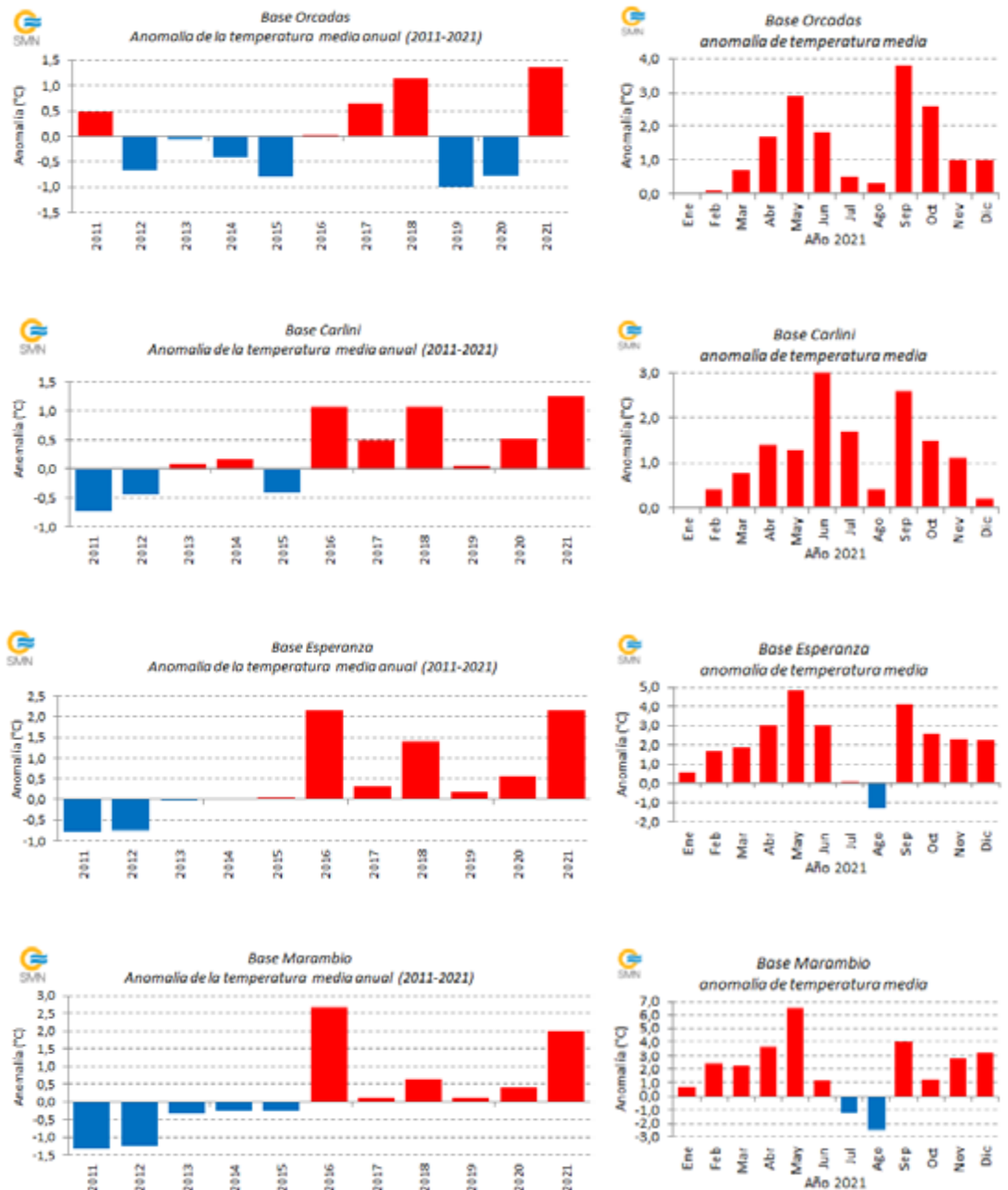
Utilizando un algoritmo de detección de los focos de calor e integrando la densidad de estos a escala anual en una cuadrícula de 50 km x 50 km (2500 km²), se observó que los incendios afectaron a gran parte del noreste argentino, el delta del río Paraná y las provincias de Neuquén y Río Negro (Figura 2.30).

Según la información suministrada por el Servicio Nacional del Manejo del Fuego dentro del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (<https://www.argentina.gob.ar/ambiente/manejo-del-fuego>), hacia fines de 2021 la región patagónica, la zona del Delta, el sudeste de Buenos Aires y el extremo noreste del país atravesaron su temporada de incendios, con temperaturas mayores al promedio y precipitaciones deficitarias. El índice de combustible disponible (BUI, por sus siglas en inglés) superó los valores medios históricos en algunas estaciones de referencia, lo cual favoreció a la generación de focos de incendios.

2.5 Temperatura en Antártida

En el año 2021, las temperaturas medias anuales fueron más cálidas que las normales en todas las bases del sector antártico, siendo la base Esperanza la que presentó el mayor desvío, con +2.2°C (Figura 2.31 izq.). La misma situación se observó en las temperaturas máximas y mínimas medias anuales. Se destacaron diversos registros que superaron o fueron muy próximos a los máximos anteriores (Tabla 2.7). En particular, **los valores de temperatura media, máxima y mínima media anual de la base Orcadas resultaron ser los más altos desde 1961. Las temperaturas media anual y mínima media anual también fueron las más cálidas desde 1961 en la base Esperanza.** Por otro lado, en la base San Martín se registró la mayor temperatura mínima media anual desde 1976. A nivel mensual, predominaron los meses con anomalías térmicas positivas, con el máximo valor de +6.5°C en Marambio durante mayo (Figura 2.31 der.).

Figura 2.31 | Anomalías de la temperatura media anual para las bases Orcadas, Carlini, Esperanza, Marambio, San Martín y Belgrano II (izq.), con sus respectivas anomalías mensuales para el 2021 (der.) (°C).



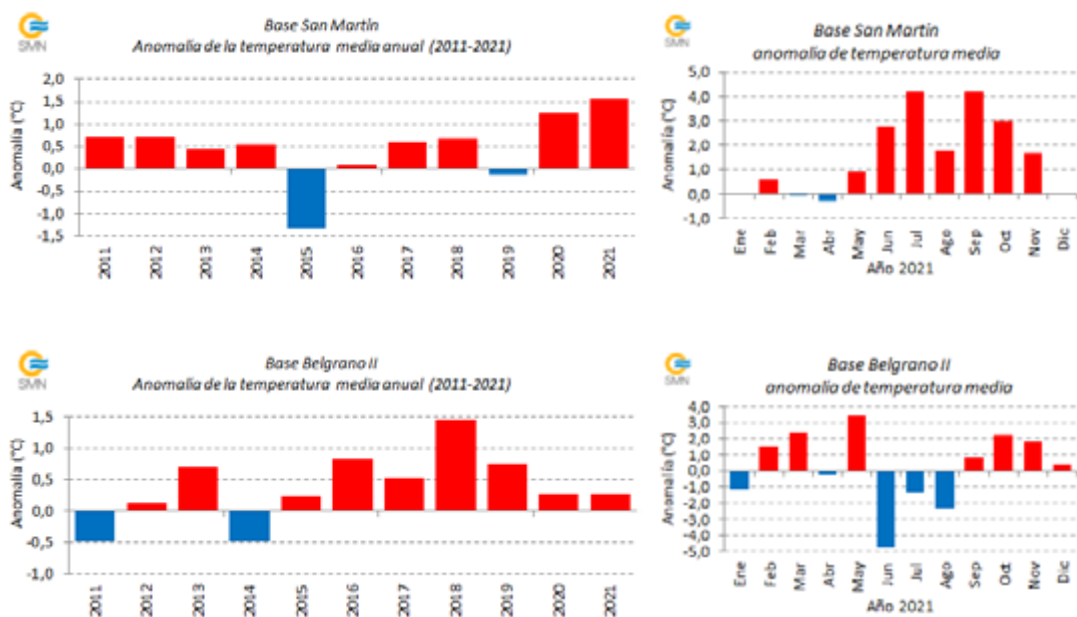


Tabla 2.7. | Valores récord o próximos de temperaturas media, máxima media y mínima media en el año 2021.

BASE	TEMPERATURA	VALOR DEL AÑO 2021 (°C) (ANOMALÍA (°C))	VALOR ANTERIOR (°C) (Año)	PUESTO EN LA SERIE	PERÍODO DE REFERENCIA
Orcadas	Media	-1.7 (+1.4)	-1.7 (1989)	Primero	1961-2021
	Máxima media	1.0 (+1.3)	0.9 (1999 y 2018)	Primero	
	Mínima media	-3.8 (+2.1)	-3.8 (1989)	Primero	
Carlini	Media	-0.6 (+1.2)	-0.5 (1989)	Segundo	1985-2021
	Máxima media	1.7 (+1.2)	1.8 (2008)	Segundo	
	Mínima media	-2.6 (+1.5)	-2.5 (2016)	Segundo	
Esperanza	Media	-2.5 (+2.2)	-2.5 (2016)	Primero	1961-2021
	Máxima media	-1.0 (+1.8)	-1.1 (2016)	Segundo	
	Mínima media	-6.0 (+2.1)	-6.2 (1999)	Primero	
Marambio	Máxima media	-2.1 (+2.4)	-1.3 (2016)	Segundo	1971-2021
San Martín	Máxima media	0.8 (+2.1)	0.0 (1998 y 2001)	Primero	1976-2021

En Carlini también se superaron varios récords de temperaturas máximas absolutas en febrero, abril y mayo de 2021 (Tabla 2.8). Lo mismo sucedió en Esperanza en el mes de diciembre.

Tabla 2.8 | Valores récord de temperatura máxima absoluta en el año 2021.

BASE	MES	TEMPERATURA MÁXIMA ABSOLUTA (°C) (Fecha)	RÉCORD ANTERIOR (°C) (Fecha)	PERÍODO DE REFERENCIA
Carlini	Febrero	12.0 (11-02-2021)	10.4 (01-02-2002)	1985-2021
	Abril	9.6 (14-04-2021)	8.7 (06-04-2003)	
	Mayo	7.7 (11-05-2021)	7.2 (08-05-2014)	
Esperanza	Diciembre	14.6 (18-12-2021)	14.6 (01-12-1985)	1961-2021

Analizando la evolución estacional, durante el **verano y el otoño** las anomalías de la temperatura media y máxima media fueron positivas en todas las bases antárticas (Figura 2.32 izq. y centro para el otoño). Este mismo comportamiento se observó en la temperatura mínima media, salvo en San Martín y Belgrano II (Figura 2.32 der. para el otoño). En la primera estación se registraron desvíos negativos en ambas épocas del año, mientras que en la segunda, sólo en el verano. Cabe destacar que las mayores anomalías, tanto positivas como negativas, se presentaron en el período otoñal.



Figura 2.32 | Anomalías de la temperatura media, máxima media y mínima media para las bases Esperanza, Orcadas, Carlini, Belgrano II, Marambio y San Martín y Belgrano II durante el otoño 2021 (°C).

En el **invierno** se dio la ruptura del predominio de temperaturas superiores a las normales, siendo más notorio en las temperaturas mínimas medias. Los mayores apartamientos negativos se produjeron en Belgrano II. Por otro lado, en Orcadas y Carlini se mantuvieron temperaturas por encima del promedio (Figura 2.33).



Figura 2.33 | Anomalías de la temperatura media, máxima media y mínima media para las bases Esperanza, Orcadas, Carlini, Belgrano II, Marambio y San Martín y Belgrano II durante el invierno 2021 (°C)

Durante la **primavera** nuevamente predominaron las temperaturas más cálidas que las normales. El mayor apartamiento fue de +3.6°C en la Base Orcadas en la temperatura mínima media, seguido por el valor de +3.1°C en la Base San Martín en la temperatura máxima media (Figura 2.34).



Figura 2.34 | Anomalías de la temperatura media, máxima media y mínima media para las bases Esperanza, Orcadas, Carlini, Belgrano II, Marambio y San Martín y Belgrano II durante la primavera 2021.

SECCIÓN 2: Referencias

Funk, C. y otros, 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. Scientific Data, 2: 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>.

Organización Meteorológica Mundial, 2012. Índice normalizado de precipitación: Guía del usuario. M. Svoboda, M. Hayes and D. Wood. OMM-1090. Ginebra, Suiza. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7769

Sección | 3

FORZANTES DE ESCALA ESTACIONAL Y SUB-ESTACIONAL DESTACADOS

| 3. Forzantes de escala estacional y sub-estacional destacados

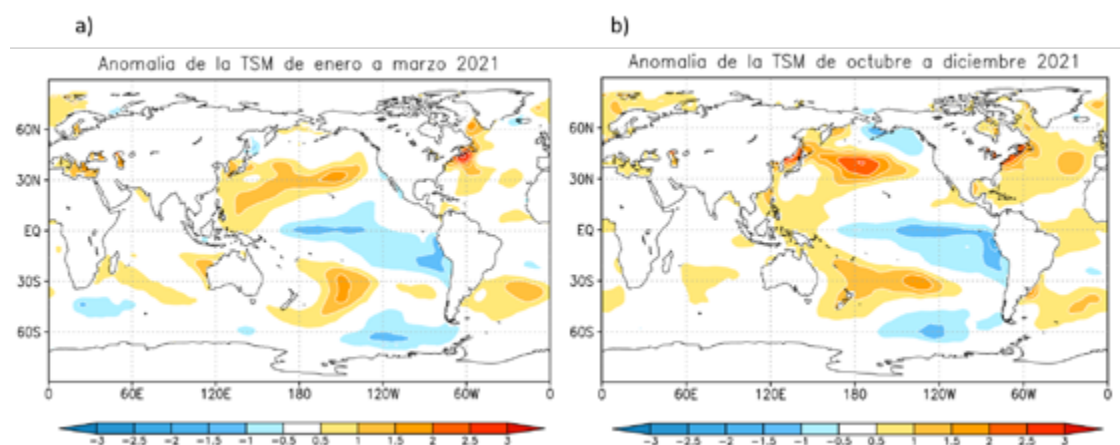
Las variaciones del clima en la Argentina tienen cierta relación con fenómenos que ocurren mucho más allá de su territorio. El más conocido es el El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), uno de los patrones más importantes de la variabilidad climática interanual, cuyos impactos pueden durar desde varios meses a pocos años. Existen otras oscilaciones que pueden desarrollarse 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), 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), todos activos durante el 2021. Cabe destacar que, si bien el estado y la evolución de estos fenómenos pueden favorecer ciertas condiciones atmosféricas, no las determinan en su totalidad.

| 3.1 El Niño-Oscilación del Sur (ENOS)

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

El año 2021 comenzó con una fase fría del fenómeno ENOS o La Niña, establecida a finales del 2020, que se mantuvo activa hasta el mes de marzo. Las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) en el trimestre enero-febrero-marzo 2021 fueron negativas en el océano Pacífico ecuatorial alrededor y al este de la longitud 180°, asociadas a La Niña (Figura 3.1 izq.). Luego, hasta septiembre de 2021, se desarrollaron condiciones neutrales del fenómeno, si bien la TSM en el océano Pacífico ecuatorial tuvo una tendencia a mantener temperaturas levemente inferiores a las normales pero con mucha variabilidad, tal como se preveía en los pronósticos. A partir de octubre el enfriamiento en la región Niño 3.4 se intensificó, dando lugar a un nuevo evento La Niña. En el último trimestre de 2021 predominaron las anomalías negativas de TSM alrededor y al este de la longitud 180° (Figura 3.1 der.). Debido a la relación existente entre las fases del fenómeno y la precipitación en la región sur de la Cuenca del Plata, el evento La Niña pudo haber favorecido las lluvias deficitarias observadas, agravando las condiciones secas en el área ya afectada por la sequía.

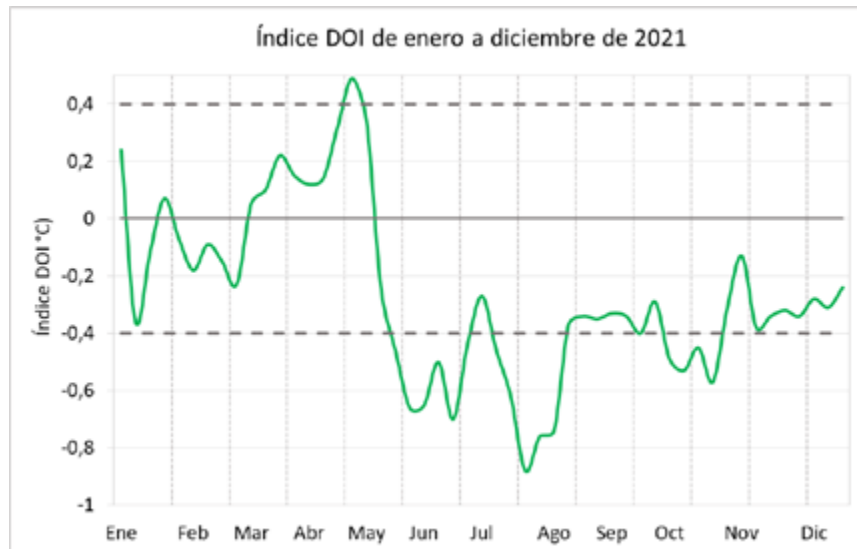
Figura 3.1 | Anomalía de TSM como promedio de 90 días (°C) desde el 01 de enero hasta el 31 de marzo de 2021 (izq.) y desde el 01 de octubre hasta el 31 de diciembre de 2021 (der.). Fuente: NOAA/ESRL.



3.2 Dipolo del Océano Índico (DOI)

Desde enero hasta mediados de mayo de 2021 el Dipolo del Océano Índico (DOI) permaneció en la fase neutral. El índice tuvo valores positivos sostenidos entre mediados de marzo y de mayo, con un pico de +0.49 durante la última semana de abril (Figura 3.2). Entre mitad de mayo y principios de agosto (a excepción de una semana entre junio y julio), el índice indicó una fase negativa, manteniéndose la misma hasta agosto inclusive. Durante el resto del año el DOI presentó valores negativos pero dentro del rango de neutralidad. Si bien la mayor teleconexión en el sur de Sudamérica ocurre durante la primavera austral, el estado del DOI en los meses previos pudo haber agravado las condiciones secas en el noreste argentino, dado que la fase negativa del fenómeno tiende a inhibir las precipitaciones en dicha región.

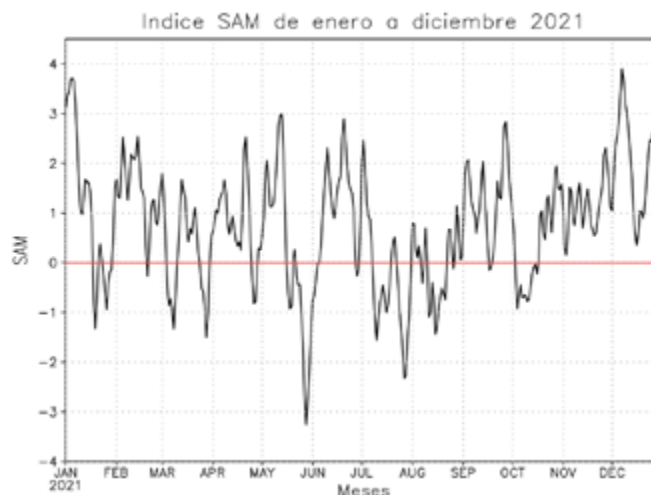
Figura 3.2. | Evolución del índice DOI semanal desde el 4 de enero hasta el 26 de diciembre de 2021. Para determinar una fase positiva (negativa) del DOI el índice debe ser superior (inferior) a +0.4 (-0.4) durante 8 semanas. Fuente de datos: Bureau of Meteorology Australia.



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

Durante la mayor parte del 2021 el índice diario de la Oscilación Antártica (SAM o AAO, por sus siglas en inglés) indicó el predominio de la fase positiva del fenómeno (Figura 3.3). Las fases negativas de la SAM se presentaron en períodos más cortos: durante el primer cuatrimestre del año (salvo entre mayo y junio, donde se registró una fase negativa intensa), y entre julio y principios de septiembre, donde esta fase tuvo mayor predominancia. En Argentina, cada una de estas fases puede tener correlación con la temperatura y la precipitación, dependiendo del mes del año y de la región.

Figura 3.3. | Evolución del índice diario SAM desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre de 2021. Fuente de datos: CPC/NOAA.

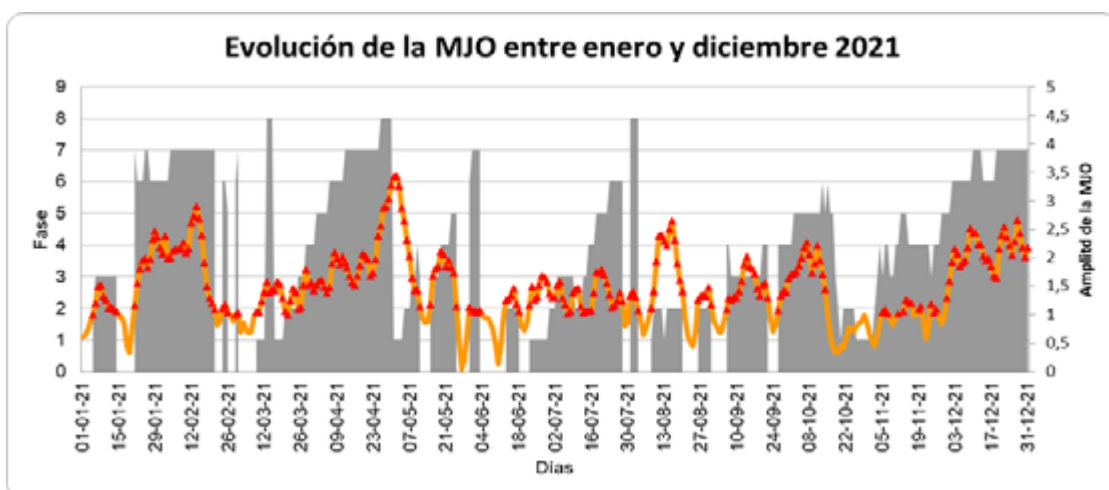


3.4 Estado de la Oscilación de Madden-Julian (MJO)

La Oscilación de Madden-Julian, conocida por MJO (por sus siglas en inglés), es el patrón principal de variabilidad climática en los trópicos con períodos entre 20 y 70 días. La MJO 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 septiembre del 2021 se registraron varios eventos de la MJO (Figura 3.4), algunos de los cuales generaron impactos en Argentina. Entre el 21 de enero y el 21 de febrero de 2021 se desarrolló un evento intenso de MJO, presentando una señal significativa. En ese período se observó precipitación por debajo de lo normal en varias localidades del centro y sur del territorio. Esto condice con el comportamiento esperado para el verano que indica que, cuando la MJO se encuentra en las fases 6 a 7, se reducen las chances de eventos de precipitación intensa en la Patagonia. En el otoño se destacó un evento moderado que dio la vuelta al globo entre el 9 de marzo y el 30 de abril, y favoreció la ocurrencia de lluvias por encima de lo normal en la región pampeana entre el 27 de marzo y el 10 de abril. Durante el fin de la primavera de 2021 e inicio del verano de 2022 se desarrolló un evento de MJO que propició el déficit de lluvias en la región del NEA durante el mes de diciembre, en fase con la señal de La Niña. En el resto del año se registraron otros eventos de MJO pero su señal no fue coherente con el patrón de precipitación y temperatura esperado en Argentina, indicando la influencia de otros forzantes atmosféricos.

Figura 3.4 | Evolución de la MJO entre enero y diciembre de 2021. 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 triángulos rojos indican los días donde la amplitud de la oscilación es significativa (mayor a 1). Fuente de datos: Bureau of Meteorology, Australia.



SECCIÓN 3: Publicaciones recomendadas

Revista Meteoros - Año 9 N° 4. Nota: "Oscilaciones, el Mundo en Movimiento". P. 52

<http://repositorio.smn.gov.ar/bitstream/handle/20.500.12160/1188/MET09-4.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sección | 4

GASES DE EFECTO INVERNADERO, REACTIVOS Y AEROSOLES

4.0 Gases de efecto invernadero, reactivos y aerosoles

Los gases de efecto invernadero (GEI), los gases reactivos (GR) y los aerosoles son compuestos de la atmósfera de origen natural y antropogénicos. En particular, los GEI absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro electromagnético, provocando el 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 la retención de calor que producen, dando lugar al fenómeno de calentamiento global con sus consecuencias asociadas. Los principales GEI naturales y antropogénicos son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃) superficial, mientras que el monóxido de carbono (CO) es considerado GR. En cuanto a los aerosoles, pequeñas variaciones de las propiedades químicas y físicas de los mismos generan mecanismos de retroalimentación significativos, con repercusiones complejas y combinadas que van desde la contaminación local del aire y los efectos adversos sobre la salud (OMS, 2021) hasta el clima mundial (IPCC, 2013). De entre ellos, se destaca el carbono negro (BC, por sus siglas en inglés), el único aerosol que contribuye al aumento de la temperatura global por su eficiencia para absorber la luz y calentar su entorno, con un impacto en el clima que es entre 460 a 1.500 veces más fuerte que el del CO₂.

En respuesta al calentamiento global y al cambio climático, la OMM dirige diversos programas de monitoreo de GEI y otros componentes atmosféricos para coordinar acciones de reducción de emisiones. En particular, se distingue el Programa de Vigilancia Atmosférica Global (VAG), que dispone a nivel mundial las observaciones de GEI, GR, aerosoles y ozono estratosférico y troposférico. Este programa se desarrolla en Argentina a partir de la década del 90, situando puntos de monitoreo en estaciones dependientes del SMN. Detalles de los mismos se pueden consultar en la sección 4 del Reporte del Estado del Clima en Argentina 2020 (SMN, 2021).

4.1 Dióxido de Carbono (CO₂)

El CO₂ es el GEI antropogénico más significativo por su larga vida en la atmósfera. La concentración de CO₂ registra un aumento sostenido cada año, con ciclos anuales bien marcados dominados por el crecimiento de la vegetación en el hemisferio norte. Esto se observó en las mediciones continuas de CO₂ de 2021 en VAG Ushuaia (Figura 4.1) y Marambio (Figura 4.2). A lo largo del año se advirtió un incremento gradual de las concentraciones medias de CO₂, llegando a valores de 413 ppm durante los meses de septiembre, octubre y noviembre en ambas estaciones meteorológicas. Estos valores fueron menores a las concentraciones medias globales registradas por la NOAA a través de su programa Global Monitoring Division of NOAA/Earth System Research Laboratory, que alcanzaron los 415 ppm de CO₂ en noviembre del 2021.

Figura 4.1. | Mediciones continuas de las fracciones molares de CO₂ registradas en la estación VAG Ushuaia durante el año 2021 (ppm). Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.

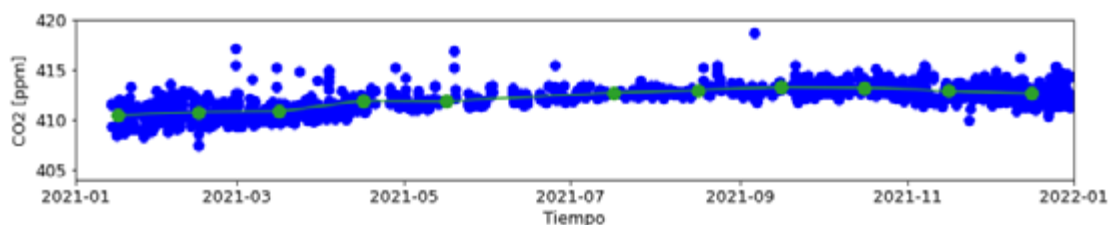
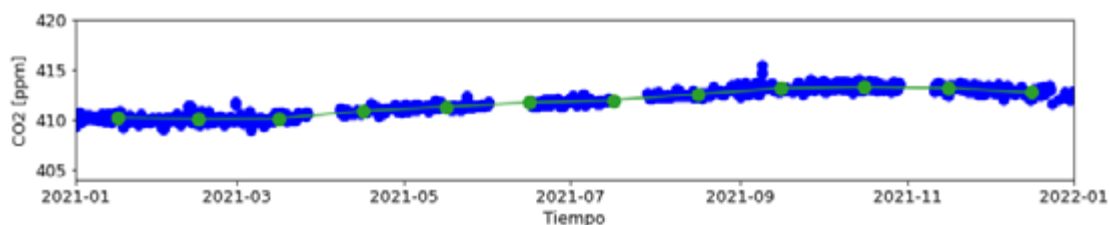


Figura 4.2. | Mediciones continuas de las fracciones molares de CO₂ registradas en la estación Marambio durante el año 2021 (ppm), en acuerdo con el Instituto Meteorológico Finlandés. Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.



4.2 Metano (CH₄)

El CH₄ es un GEI muy potente, con una eficiencia en el calentamiento global 28 veces superior a la del CO₂ y con un tiempo de residencia de aproximadamente 10 años. El efecto neto de su tiempo de residencia relativamente corto y su mayor absorción de energía hacen que dicho gas sea el segundo GEI de origen antropogénico en importancia. Sus principales emisores son las actividades agropecuarias y, de manera natural, los pantanos y humedales. En zonas del Ártico y la Antártida, el proceso de deshielo también produce una liberación de gran cantidad de CH₄ a la atmósfera. Al igual que el CO₂, la concentración de CH₄ tiene un incremento año con año y sus variaciones interanuales dependen de factores como el transporte y la mezcla a nivel global. En el hemisferio sur, los ciclos estacionales de la concentración sufren bajas en sus valores a finales del verano y otoño. Esto se advirtió durante el 2021 tanto en Ushuaia (Figura 4.3) como en Marambio (Figura 4.4). Las concentraciones mínimas se registraron en febrero, con un valor medio de 1816 ppb en Ushuaia, y en marzo, con 1815 ppb en Marambio. Los máximos de CH₄ se observaron durante los meses de septiembre y octubre, llegando a valores medios mensuales de 1860 ppb en ambas estaciones meteorológicas. Las concentraciones medidas en octubre del 2021 fueron inferiores a las obtenidas a nivel global que, según el programa Global Monitoring Division of NOAA/Earth System Research Laboratory, alcanzaron los 1907 ppb.

Figura 4.3. | Mediciones continuas de las fracciones molares de CH₄ registradas en la estación VAG Ushuaia durante el año 2021 (ppb). Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.

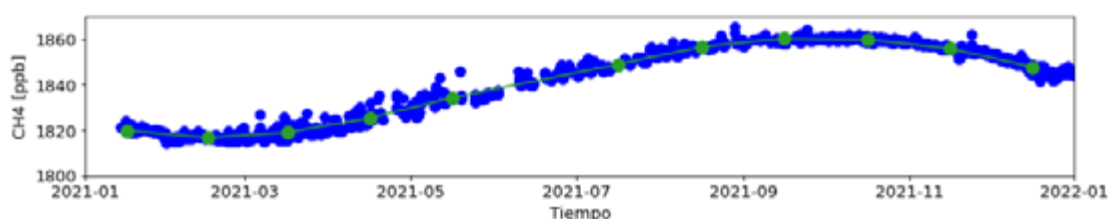
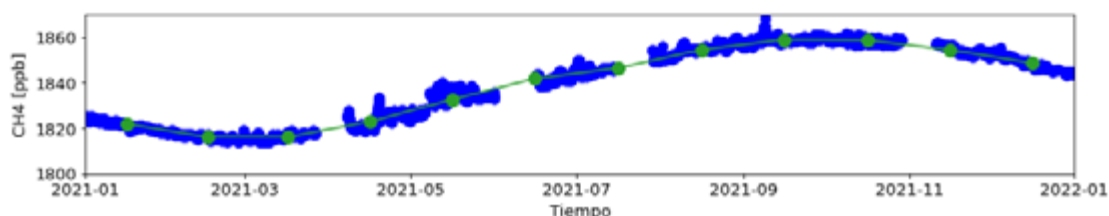


Figura 4.4. | Mediciones continuas de las fracciones molares de CH₄ registradas en la estación Marambio durante el año 2021 (ppb), en acuerdo con el Instituto Meteorológico Finlandés. Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.



4.3 Monóxido de Carbono (CO)

El CO es un gas reactivo de origen natural y antropogénico. Se produce naturalmente debido a la emisión de volcanes, incendios o tormentas eléctricas, y, en mayor medida, por la degradación atmosférica del CH₄. Por otra parte, el aporte antropogénico lo realiza la combustión incompleta de los combustibles fósiles. En 2021, las mínimas concentraciones medias de CO en Ushuaia (Figura 4.5) y Marambio (Figura 4.6) se registraron durante marzo, con valores de 38 ppb y 41 ppb, respectivamente. En septiembre y octubre, por el contrario, se alcanzaron las máximas concentraciones medias, con valores de 56 ppb en Ushuaia y de 58 ppb en Marambio.

Figura 4.5. | Mediciones continuas de las fracciones molares de CO registradas en la estación VAG Ushuaia durante el año 2021 (ppb). Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.

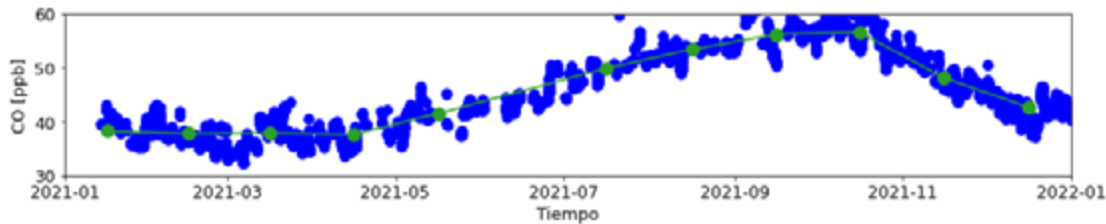
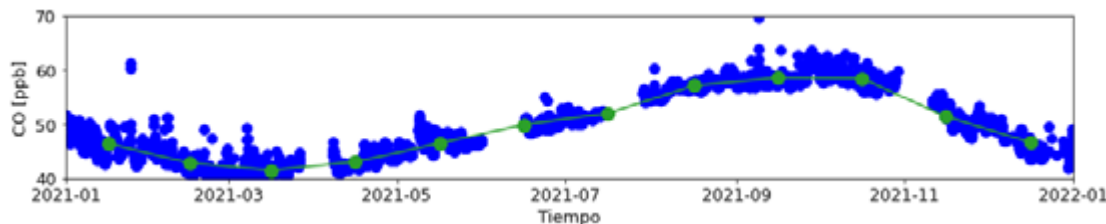


Figura 4.6. | Mediciones continuas de las fracciones molares de CO registradas en la estación Marambio durante el año 2021 (ppb), en acuerdo con el Instituto Meteorológico Finlandés. Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.



4.4 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 NO2 y otras sustancias que forman el smog urbano. El O3 superficial para las estaciones de Marambio y Ushuaia presenta ciclos estacionales con máximos en invierno y mínimos en verano. Esto se debe a que, durante el otoño e invierno, la luz solar deja de ser paulatinamente un factor en el proceso de destrucción del O3 y dominan los procesos de transporte. Por el contrario, al iniciar la primavera, los procesos radiativos se hacen presentes y generan las reacciones fotoquímicas que producen la destrucción del gas. En particular, en los registros de Marambio de primavera también se observan pérdidas repentinas y considerables de O3 en la capa límite polar, las cuales se asocian a la presencia de bromo. Este fenómeno se ha reportado principalmente en zonas costeras de la Antártida (Wessel y otros, 1998). Durante el 2021 se registraron ciclos estacionales de O3 superficial tanto en Ushuaia (Figura 4.7) como en Marambio (Figura 4.8). Se presentaron concentraciones promedio mínimas en enero y máximas en agosto, con valores de 13 ppb y 32 ppb en Ushuaia, y de 12 ppb y 30 ppb en Marambio.

Figura 4.7. | Mediciones continuas de las fracciones molares de O3 superficial registradas en la estación VAG Ushuaia durante el año 2021 (ppb). Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.

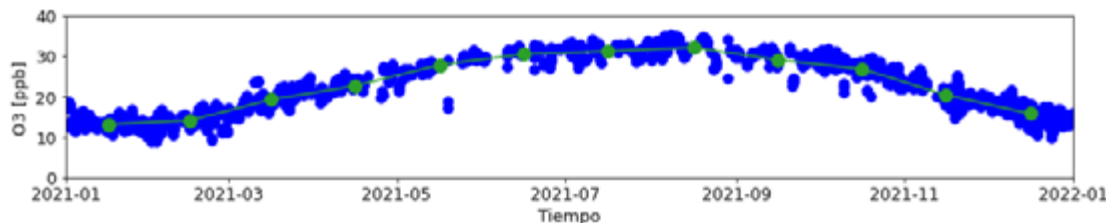
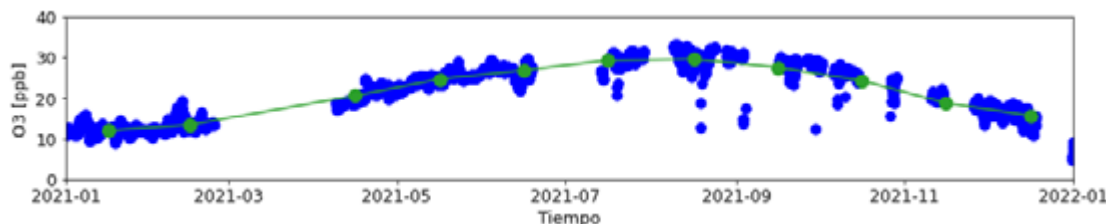


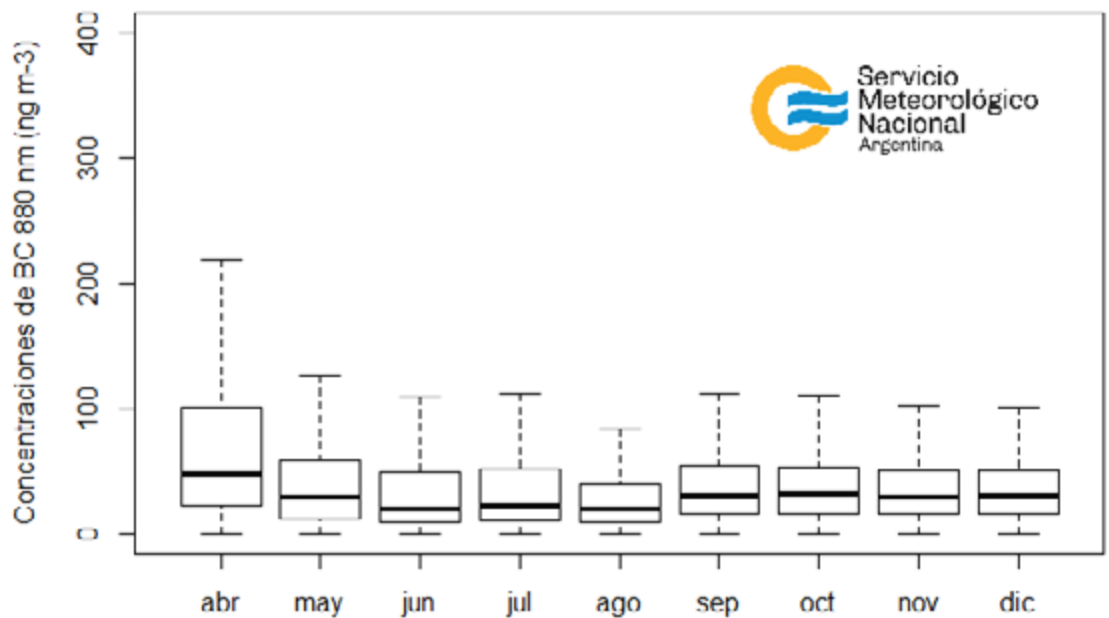
Figura 4.8. | Mediciones continuas de las fracciones molares de O3 superficial registradas en la estación Marambio durante el año 2021 (ppb). Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.



4.5 Carbono Negro (BC)

El BC se forma por la combustión incompleta de combustibles fósiles, madera y otros. Es un contaminante climático de corta duración por su tiempo de residencia en la atmósfera. Durante su corto período de tiempo, el BC puede tener importantes impactos directos e indirectos en el clima, la criosfera, la agricultura y la salud humana. Al depositarse sobre hielo o nieve, favorece el proceso de derretimiento, es por ello que las regiones polares y glaciares son particularmente vulnerables a este tipo de aerosol. Durante el 2021, el 75% de las mediciones de concentración de BC en 880 nm estuvieron por debajo de los 100 ng/m³ en la estación VAG Ushuaia (Figura 4.9). Los datos se obtuvieron a partir de un aethalometer AE33 (<http://hdl.handle.net/20.500.12160/1756>) y bajo condiciones de fondo, es decir, de viento sin efecto antropogénico directo. Cabe destacar que las concentraciones registradas en 2021 fueron muy bajas en relación a la zona de medición y a sus condiciones de fondo.

Figura 4.9. Concentración de BC en 880 nm (ng/m³) registradas en la estación VAG Ushuaia durante el año 2021.



SECCIÓN 4: Referencias

IPCC, 2013. Boucher, O., D. Randall, P. Artaxo, C. Bretherton, G. Feingold, P. Forster, V.-M. Kerminen, Y. Kondo, H. Liao, U. Lohmann, P. Rasch, S.K. Satheesh, S. Sherwood, B. Stevens and X.Y. Zhang, 2013. Clouds and Aerosols. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Organización Mundial de la Salud, 2021. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Servicio Meteorológico Nacional de Argentina, 2021. Estado del Clima en Argentina 2020. <http://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/1559>

Wessel, S., S. Aoki, P. Winkler, R. Weller, A. Herber, H. Gernandt and O. Schrems, 1998. Tropospheric ozone depletion in Polar regions A comparison of observations in the Arctic and Antarctic. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 50(1), 34-50.

Sección | 5

MONITOREO DE LA CAPA DE OZONO Y DE LA RADIACIÓN SOLAR ULTRAVIOLETA

5.1 Capa de ozono

La capa de ozono en la estratosfera actúa como un filtro de la radiación ultravioleta (UV). Su función es vital debido a que un ligero aumento de la radiación UV puede afectar nocivamente a los ecosistemas vivos y algunos materiales en la superficie terrestre. Dicha capa sufre un proceso de degradación desde inicio de los años 80's, originando año a año el agujero de ozono sobre todo en la Antártida. Esto es debido principalmente a la presencia de sustancias como los clorofluorocarbonos (CFC's), cuya disociación fotolítica produce una cantidad considerable de átomos de cloro que son directamente responsables de la destrucción de ozono estratosférico (Molina y Rowland, 1974). En la actualidad, el uso de esta y otras sustancias están reguladas por el Protocolo de Montreal (UNEP, 2019). Dado que el ozono genera un calentamiento por la energía que libera durante su fotodisociación, su agotamiento ha contribuido al enfriamiento de la estratósfera inferior. Además, 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).

¹ UD: se define como el espesor óptico de 0.001 mm de ozono a temperatura y presión estándar.

En la Argentina existen cinco espectrofotómetros Dobson que miden las cantidades de ozono total o el espesor total de la columna del gas sobre un determinado sitio, en unidades Dobson (UD)¹. Dichos instrumentos monitorean la evolución e intensidad de la capa de ozono sobre el país y están ubicados en el Observatorio La Quiaca, Observatorio Central Buenos Aires, Comodoro Rivadavia, Ushuaia y Marambio. Una mayor información se puede encontrar en el Manual de Operación de los Espectrofotómetros Dobson (OMM, 2008) y en Carbajal y otros (2012).

5.1.1 OBSERVATORIO LA QUIACA

Desde enero a diciembre de 2021 los valores de ozono diario y mensual en La Quiaca estuvieron por encima del promedio del período 2014-2020. Durante todo el año se registraron valores superiores o, en ocasiones, muy cercanos a los máximos diarios, sobre todo en el segundo semestre del año (Figura 5.1 izq.).

A partir de abril, los valores mensuales de ozono se encontraron por encima de los máximos históricos (Figura 5.1 centro). Para septiembre no se obtuvieron datos debido a un desperfecto en el instrumento. Las máximas anomalías o los desvíos más altos respecto a las medias mensuales fueron en junio y agosto, con valores de +25UD y +24UD, respectivamente. Todas las anomalías positivas pudieron deberse a la presencia de parcelas de aire ricas en ozono en la estratósfera y a un alto transporte de ozono estratosférico sobre la estación meteorológica durante todo el año. Cualitativamente, los resultados son muy consistentes con las mediciones de las estaciones Buenos Aires y Comodoro Rivadavia, en donde hasta finales del invierno predominan los procesos de transporte y en primavera inicia la prevalencia de los procesos fotoquímicos.

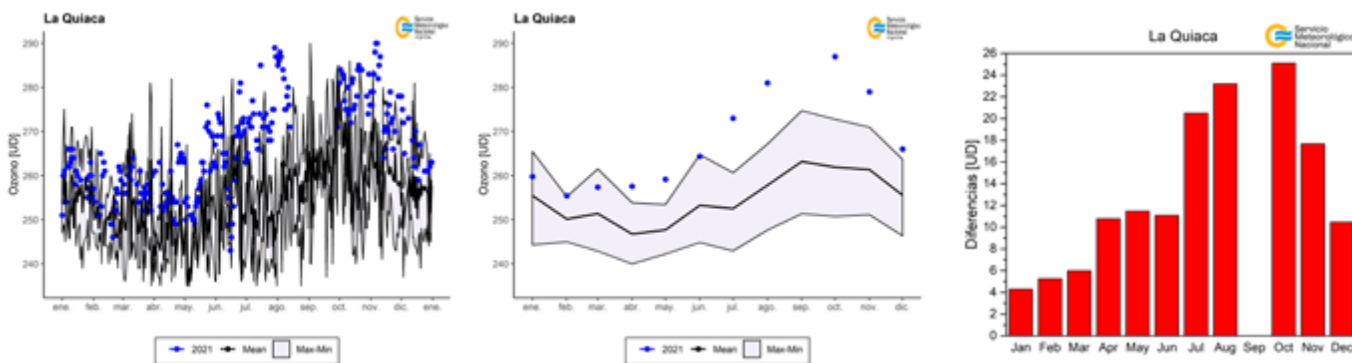


Figura 5.1. Evolución diaria (izq.) y media mensual (centro) de ozono total (en UD) en el Observatorio La Quiaca durante el año 2021, en puntos azules. Las líneas negras denotan el valor medio y los máximos y mínimos históricos diarios y mensuales, según el caso. En barras rojas y azules, anomalías mensuales positivas y negativas, respectivamente, de ozono total (en UD) durante el año 2021 (der.).

5.1.2 OBSERVATORIO CENTRAL BUENOS AIRES

El Observatorio Central Buenos Aires tiene la segunda serie más larga de observaciones de ozono de Sudamérica, desde 1964 a 2021. Durante todo el 2021 los valores diarios de la columna total de ozono oscilaron alrededor de la media del período 1977-2020 (Figura 5.2 izq.). En muy pocos casos éstos superaron los máximos históricos, lo que pudo deberse a la variabilidad del transporte de ozono desde el Ecuador hacia los polos.

Los meses de febrero, marzo, junio, agosto, septiembre y octubre presentaron valores mensuales de ozono por encima del promedio, con desvíos entre +1 y +16 UD (Figura 5.2 centro y der.). Por el contrario, en los meses restantes, las anomalías fueron de entre -1 UD y -11 UD. Esto sugiere que, sobre la estación, se produjo un mayor pasaje de parcelas ricas en ozono que con déficit, pero muy cercano a la normalidad.

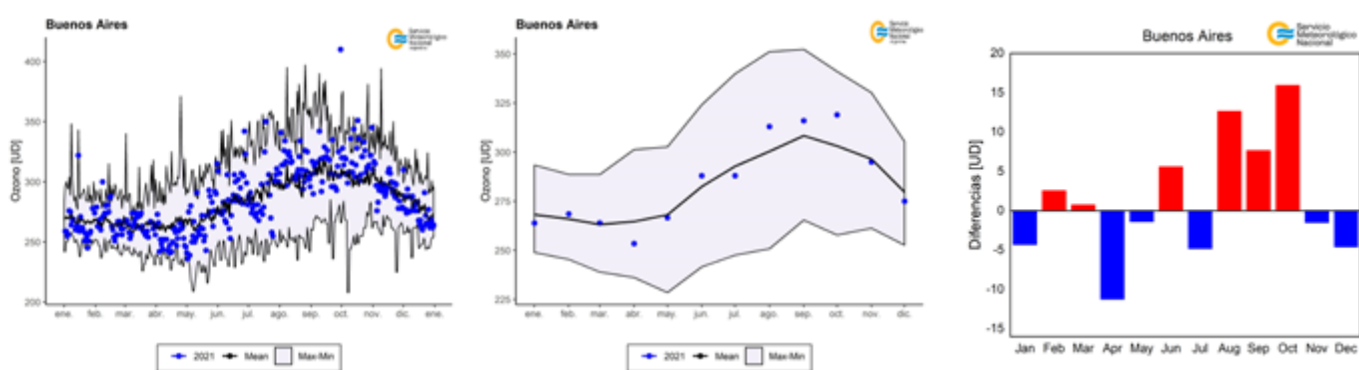


Figura 5.2. | Evolución diaria (izq.) y media mensual (centro) de ozono total (en UD) en el Observatorio Central Buenos Aires durante el año 2021, en puntos azules. Las líneas negras denotan el valor medio y los máximos y mínimos históricos diarios y mensuales, según el caso. En barras rojas y azules, anomalías mensuales positivas y negativas, respectivamente, de ozono total (en UD) durante el año 2021 (der.).

5.1.3 ESTACIÓN COMODORO RIVADAVIA

En Comodoro Rivadavia, la medición diaria de la columna total de ozono osciló alrededor de la media del período 1996-2020, aunque la mayoría de las veces fue inferior a ésta (Figura 5.3 izq.). En muy pocos casos se superaron los máximos y mínimos históricos, que pudieron deberse al pasaje de masas ricas y pobres en ozono por encima de la estación, respectivamente.

Los datos mensuales se caracterizaron por presentar valores por debajo del promedio histórico (Figura 5.3 centro), indicando un año con parcelas estratosféricas muy pobres de ozono respecto a su normalidad. Los meses de febrero y julio registraron las mayores anomalías negativas, de -23 UD y -26 UD, respectivamente (Figura 5.3 der.).

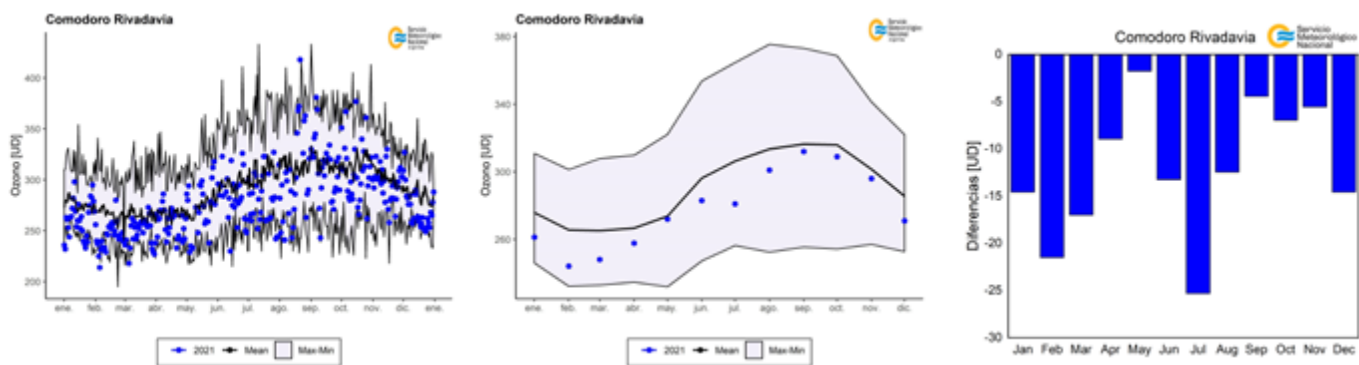


Figura 5.3. | Evolución diaria (izq.) y media mensual (centro) de ozono total (en UD) en la estación Comodoro Rivadavia durante el año 2021, en puntos azules. Las líneas negras denotan el valor medio y los máximos y mínimos históricos diarios y mensuales, según el caso. En barras rojas y azules, anomalías mensuales positivas y negativas, respectivamente, de ozono total (en UD) durante el año 2021 (der.).

5.1.4 ESTACIÓN VIGILANCIA ATMOSFÉRICA GLOBAL (VAG) USHUAIA

Los datos diarios de la columna total de ozono oscilaron alrededor de la media del período 1995-2020, coincidiendo, en casos puntuales, con los máximos y mínimos históricos (Figura 5.4 izq.). Los datos mensuales fueron similares al promedio y no se observaron valores extremos (Figura 5.4 centro). Esto tal vez se debe a que el pasaje del agujero de ozono por la ciudad de Ushuaia fue durante sólo un día.

En la estación de Ushuaia predominaron las anomalías mensuales negativas de ozono total (Figura 5.4 centro y der.). Septiembre fue el único mes con desvíos positivos respecto a sus promedios históricos, con +10 UD. Diciembre, por el contrario, presentó la mayor anomalía negativa de -13 UD.

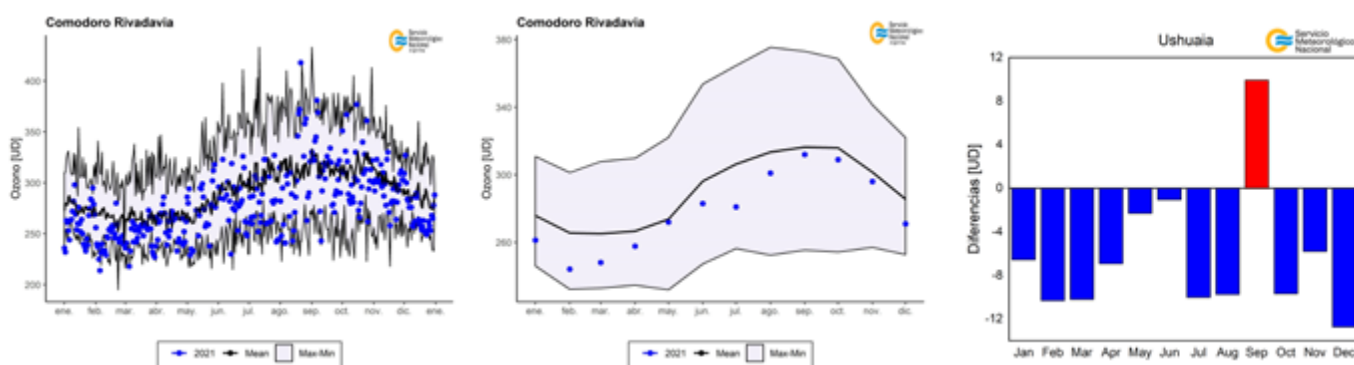


Figura 5.4. | Evolución diaria (izq.) y media mensual (centro) de ozono total (en UD) en la estación VAG Ushuaia durante el año 2021, en puntos azules. Las líneas negras denotan el valor medio y los máximos y mínimos históricos diarios y mensuales, según el caso. En barras rojas y azules, anomalías mensuales positivas y negativas, respectivamente, de ozono total (en UD) durante el año 2021 (der.).

5.1.5 ESTACIÓN MARAMBIO

Las mediciones diarias de ozono total de los primeros 4 meses del año oscilaron alrededor de la media con respecto al período 1987-2020, con poca variación (Figura 5.5 izq.). En muy pocos casos se alcanzaron los máximos y mínimos históricos. Durante los meses de noche polar, que inicia a mediados de abril o principios de mayo, no se realizan mediciones por las características del instrumento y las condiciones meteorológicas adversas, por lo que la cantidad insuficiente de registros impide formular conclusiones.

Las mediciones mensuales en Marambio para los primeros 4 meses del año presentaron valores cercanos al promedio histórico del período 1987-2020 (Figura 5.5 centro). Se observaron poca variación en las anomalías, siendo el menor valor de -9 UD en el mes de febrero y el mayor, de +8 UD (Figura 5.5 der.). A partir de septiembre, si bien se retomaron las mediciones diarias, éstas fueron escasas, no pudiéndose calcular los promedios mensuales.

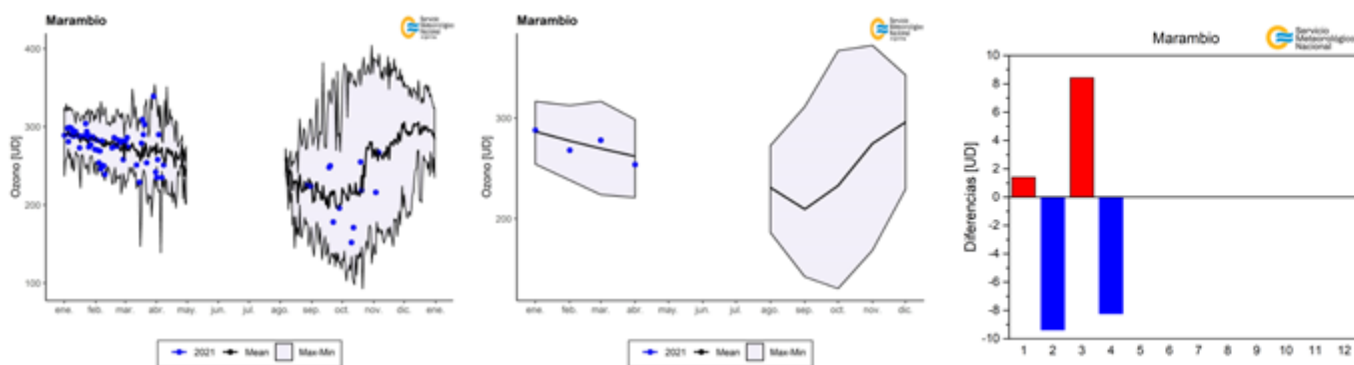


Figura 5.5. | Evolución diaria (izq.) y media mensual (centro) de ozono total (en UD) en la estación Marambio durante el año 2021, en puntos azules. Las líneas negras denotan el valor medio y los máximos y mínimos históricos diarios y mensuales, según el caso. En barras rojas y azules, anomalías mensuales positivas y negativas, respectivamente, de ozono total (en UD) durante el año 2021 (der.).

5.2 Agujero de ozono

A lo largo de septiembre, el agujero de ozono se desarrolla y crece, pero en el intervalo del 7 de septiembre al 13 de octubre puede alcanzar su tamaño máximo. En el año 2021, el inicio y la evolución del agujero de ozono fueron muy parecidos a los del 2020 (Figura 5.6 arriba izq.), año con uno de los agujeros más profundos y persistentes registrados desde 1979 (Carbajal y otros, 2020). El déficit de ozono también resultó muy comparable con el del año pasado (Figura 5.6 arriba der.). Dicho déficit se determina como el ozono faltante para cubrir los 220 UD, el umbral considerado por acuerdo científico internacional para definir al agujero de ozono.

El área máxima del agujero de ozono del 2021 fue de 24.8 millones de km², ocupando el puesto 18 entre las más grandes desde 1979 (Figura 5.6 abajo izq.). Por su parte, el área promedio entre el 7 de septiembre al 13 de octubre alcanzó los 23.3 millones de km², posicionándose en el puesto 14 del registro (Figura 5.6 abajo der.). El agujero de ozono se cerró el día 23 de diciembre, siendo el segundo en cerrar tardíamente, después del año 2020.

Una mayor información de la evolución del agujero de ozono sobre la Antártida durante el 2021 se puede encontrar en Carbajal y otros (2021).

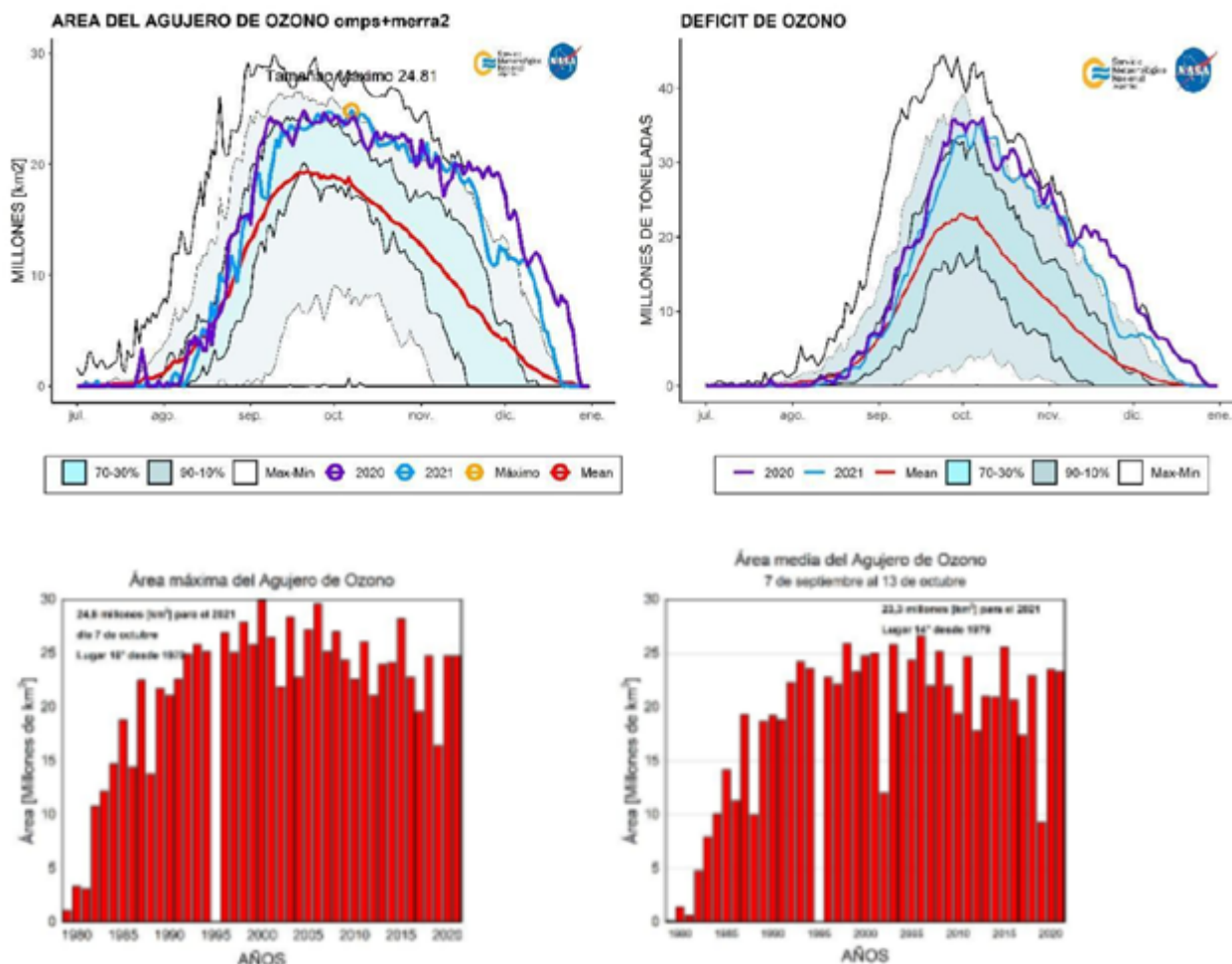


Figura 5.6. | Evolución del área del agujero de ozono (millones de km²) (arriba izq.) y del déficit de masa de ozono (millones de toneladas) (arriba der.) para el año 2020 y 2021, en líneas violeta y celeste, respectivamente. Las líneas rojas representan los promedios del período 1979-2021. El área sombreada en celeste abarca los valores entre los percentiles 30 y 70, mientras que el área sombreada en azul, los valores entre los percentiles 10 y 90. Las líneas externas en negro son los máximos y mínimos históricos del período 1979-2021. En barras rojas, área máxima de agujero de ozono (abajo izq.) y área media del agujero de ozono entre el 7 de septiembre y el 13 de octubre (abajo der.), ambos desde 1979. Fuente de datos: NASA.

5.3 Radiación solar ultravioleta (UV)

La radiación solar que alcanza la superficie comprende longitudes de onda que pertenecen al espectro de radiación infrarrojo, visible y ultravioleta (UV), la cual se divide en UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) y UVC (100-280 nm). Si bien el porcentaje de radiación UV que alcanza la superficie es mucho menor que las restantes longitudes de onda, su capacidad de influir en cuestiones biológicas la vuelve tan importante como las demás. Este tipo de radiación se encuentra en estrecha relación con el incremento de incidencia de cáncer de piel en la población y está directamente asociado con la concentración de ozono local.

Figura 5.7 | Escala de categorías para los distintos índices UV. Fuente: <https://www.who.int/uv/publications/en/UVIGuide.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 +

El parámetro más estudiado de la radiación solar UV es, por sus implicancias biológicas, la irradiancia solar UV eritémica, que se obtiene en base a la irradiancia solar y a la respuesta de acción eritémica de la piel definida por McKinlay y Diffey (1987). A partir de la irradiancia solar UV eritémica es posible obtener el índice UV (UVI, por sus siglas en inglés), el cual es utilizado para cuantificar los niveles de radiación solar UV y el riesgo asociado para su difusión a la población. Este índice presenta una escala numérica de colores y riesgo estandarizada por la Organización Mundial de la Salud en el año 2002 (OMS, 2002) (Figura 5.7).

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, los aerosoles, entre otros. Dada la extensión geográfica del territorio nacional y su variada orografía, es esperable que se presenten distintos valores de intensidad de radiación UV en las diferentes regiones de Argentina.

Actualmente el SMN monitorea los niveles de radiación solar en 11 estaciones dentro del país. Por inconvenientes técnicos, sólo en 4 de ellas fue posible contar con una cantidad considerable de datos en el 2021: Buenos Aires, Mendoza, Ushuaia y Marambio. Dichas estaciones presentan períodos históricos de mediciones de aproximadamente 20 años, aunque en algunos casos con interrupciones (Tabla 5.1). En Nollas y otros (2019) se detalla el proceso de calibración de los radiómetros utilizados por el SMN y las características del instrumental utilizado en cada sitio.

Tabla 5.1 | Años incluidos dentro del período histórico de mediciones de radiación UV.

Sitio	Años
Mendoza	1999-2020
Buenos Aires	1995-2002; 2005-2020
Ushuaia	1998-2001; 2004-2006; 2008-2020
Marambio	1998-2020

5.3.1 MONITOREO DEL ÍNDICE UV DURANTE 2021

Durante 2021 los promedios mensuales del índice UV máximo diario estuvieron relativamente cercanos al promedio histórico en Buenos Aires (Figura 5.8 arriba der.) y Ushuaia (Figura 5.8 abajo izq.). Los valores de Mendoza fueron levemente superiores a su media histórica e igualaron al máximo histórico en el primer y último mes del año (Figura 5.8 arriba izq.), lo que podría estar relacionado con la campaña de calibración que se realizó durante 2018 (Nollas y otros, 2019) y con el cambio de radiómetro luego de dicha calibración. Por último, los valores de Marambio se encontraron por debajo de la media mensual del período de referencia para todos los meses del

Figura 5.8. | Promedios mensuales de índice UV máximo diario junto con los valores históricos disponibles para Mendoza (arriba izq.), Buenos Aires (arriba der.), Ushuaia (abajo izq.) y Marambio (abajo der.).

año, presentando incluso un valor muy bajo en enero (Figura 5.8 abajo der.). Esto podría estar indicando la necesidad de calibrar el radiómetro UV de dicha estación. Cabe destacar que el comportamiento mensual histórico del índice UV en Marambio es diferente al del resto de los sitios, ya que se observan marcadas diferencias entre la primera mitad del año y la segunda. Dichas diferencias se deben al pasaje del agujero de ozono, evento íntimamente asociado con el incremento de la radiación solar ultravioleta que alcanza a la superficie. En Ushuaia se advierte un efecto similar, aunque atenuado, con una pendiente más empinada en el aumento del índice UV entre los meses de agosto y octubre.

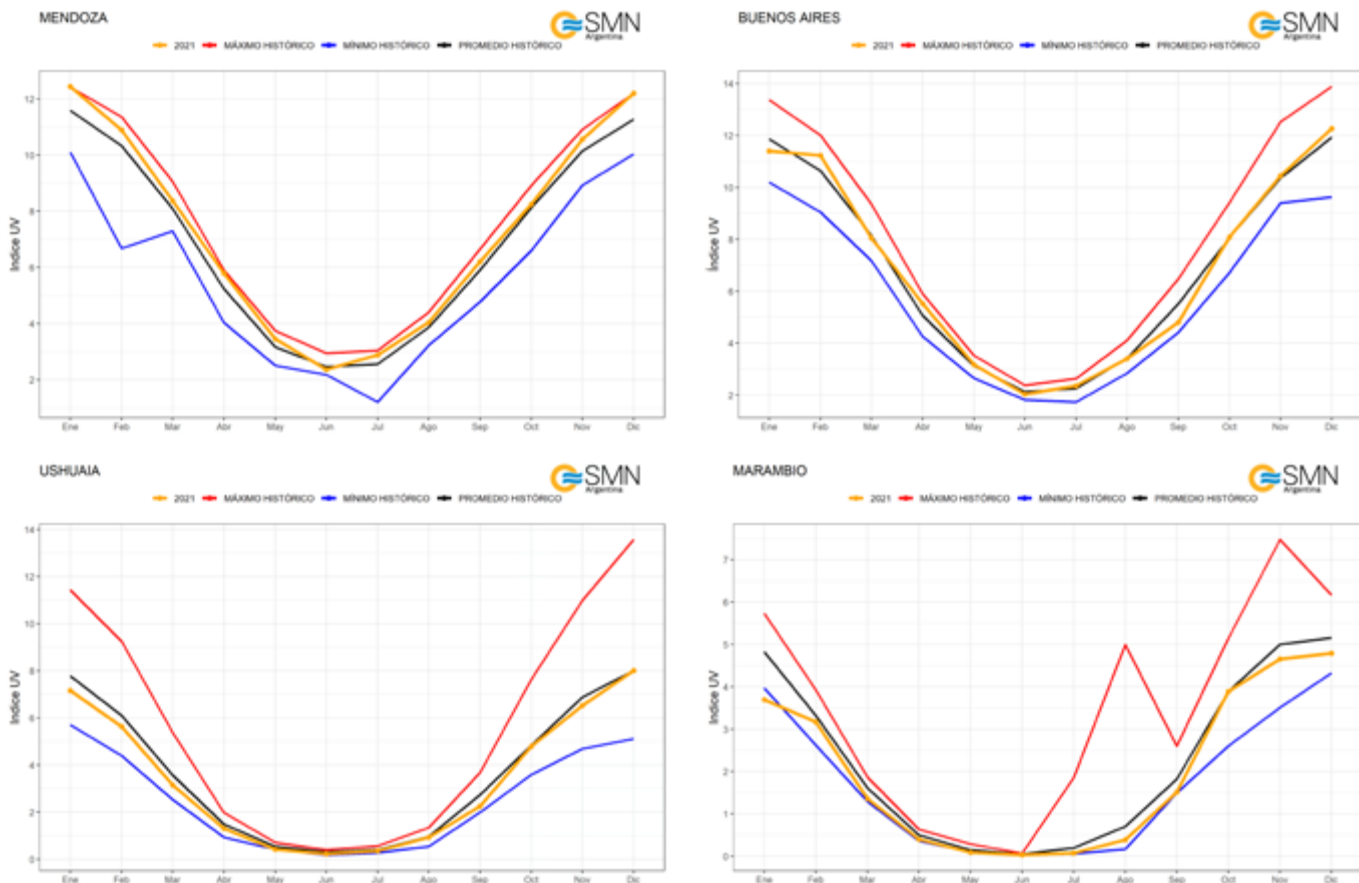
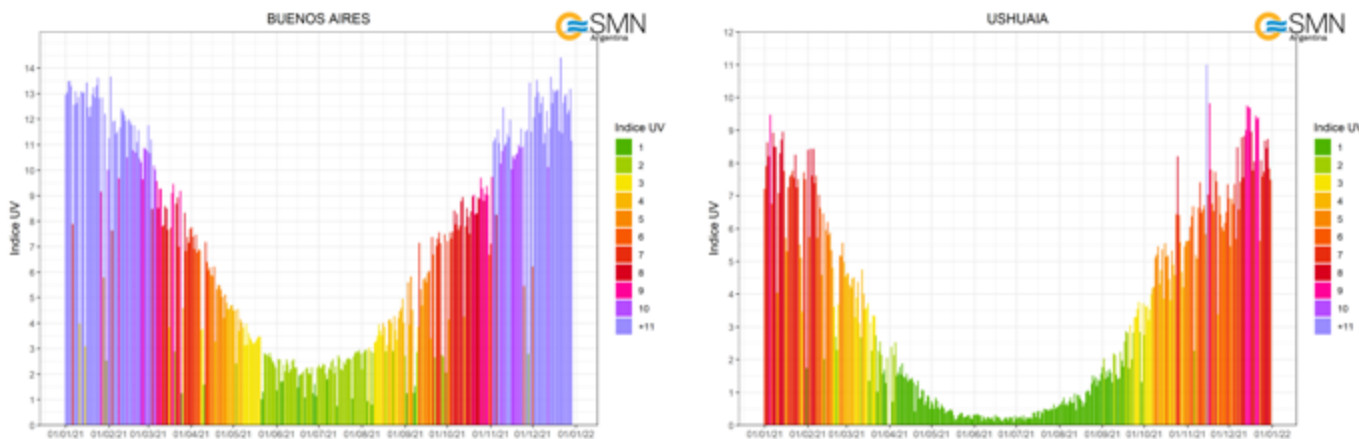


Figura 5.9 | Índice UV máximo diario medido en Buenos Aires (arriba) y Ushuaia (abajo) durante el año 2021.

Como era de esperarse, los máximos diarios del índice UV en Buenos Aires y Ushuaia presentaron un comportamiento estacional durante el 2021, con mayores valores en el verano austral (Figura 5.9). Asimismo, se observó que los valores del índice UV máximo diario disminuyeron tanto en verano como en invierno a medida que la latitud del sitio se aleja del Ecuador. En Ushuaia se registró un pico correspondiente al día 15-11-2021, asociado con el pasaje del agujero de ozono por dicha ciudad.



SECCIÓN 5: 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.

Carbajal Benitez, G., F. Orte, E. Luccini., E. Wolfram, F. Nollas, M.E. Barlasina y H. Ochoa, 2020. Temporada del Agujero de Ozono 2020. Repositorio Institucional del SMN. <http://hdl.handle.net/20.500.12160/1421>.

Carbajal Benítez, G., F. Orte, E. Wolfram, E. Luccini, F. Nollas, M.E. Barlasina y H. Ochoa, 2021. Temporada del Agujero de Ozono 2021. Boletín 1. Repositorio Institucional del SMN. <http://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/1683>.

McKinlay, A. F., and B. L. Diffey, 1987. A reference action spectrum for ultraviolet introduced erythema in human skin, in Human Exposure to Ultraviolet Radiation: Risks and Regulations, edited by W. R. Passchier and B. M. F. Bosnjakovich, pp. 83– 87, Elsevier Sci., New York.

Molina, M. J., and F. S. Rowland, 1974. Stratospheric sink for Chlorofluoromethanes: Chlorine atom-catalysed destruction of ozone. Nature, 249.

Nollas, F., E. Luccini, G. Carbajal, F. Orte., E. Wolfram, G. Hülsen and J. Gröbner, 2019. Report of the Fifth Erythemal UV Radiometers Intercomparison (Buenos Aires, Argentina, 2018). GAW report No.243, May 2019. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20791#.XN6kuyBKgdV
Organización Mundial de la Salud, 2002. Global Solar UV Index: A Practical Guide 2002. <https://www.who.int/uv/publications/en/UVIGuide.pdf>.

Organización Meteorológica Mundial, 2008. Operation Handbook – Ozone Observation with a Dobson Spectrophotometer, GAW Report 183, World Meteorological Organization (WMO).

Organización Meteorológica Mundial, 2018. Executive Summary: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018, World Meteorological Organization, Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 58, 67 pp., Geneva, Switzerland.

UNEP, 2019. Handbook for the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. United Nations Environment Programme Nairobi, Kenya.

Publicaciones recomendadas

Carbajal Benítez, G., and H. R. Estévez Pérez, 2021. Characterization of total ozone column of two measuring stations in the north, and south hemisphere of America. Quadrennial Ozone Symposium of the International Ozone Commission (QOS2021) <http://qos2021.yonsei.ac.kr/>.

Carbajal Benítez, G., H. R. Estévez Pérez, E. Luccini, F. Orte, H. Ochoa, E. Wolfram, M. E. Barlasina, L. Condori y F. Nollas, 2021. Pattern analysis of seven total ozone column measuring stations in the center, southern of South America and Antarctica. Quadrennial Ozone Symposium of the International Ozone Commission (QOS2021) <http://qos2021.yonsei.ac.kr/>.

Carbajal Benítez, G., H. R. Estévez Pérez, H. Ochoa, y M. E. Barlasina, 2021. Dos eventos atípicos del agujero de ozono sobre la Antártida y su impacto en la radiación UV (2019 y 2020). Centro Internacional de Ciencias de la Tierra (E-ICES 16) <https://icesuncuyo.wixsite.com/e-ices16>.

SMN | INFORME
ESTADO DEL CLIMA
EN ARGENTINA 2021



Ministerio de Defensa
Argentina