SMN | REPORTE PRELIMINAR

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

Servicio Meteorológico Nacional
Argentina

Ministerio de Defensa
Argentina

Editores
Maria de los Milagros Skansi
Ramón de Elía

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
Svetlana Cherkasova
Marcelo Fontana
Hernán Veiga

Revisora
María Mercedes Poggi

Fecha de edición
29 de octubre del 2021

Diseño editorial
Guadalupe Cruz Díaz

ÍNDICE

Sección 1 | INTRODUCCIÓN 4

Sección 2 | TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN A NIVEL PAÍS 7
2.1 | Temperatura 8
2.2 | Precipitación 10
2.3 | Principales anomalías climáticas 11
2.4 | Eventos extremos 16

Sección 3 | FORZANTES DE ESCALA ESTACIONAL Y SUB-ESTACIONAL DESTACADOS 23
3.1 | Estado de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) 24
3.2 | Estado del Dipolo del Océano Índico (DOI) 25
3.3 | Estado de la Oscilación Antártica o Modo Anular Austral (SAM, AAO) 25
3.4 | Estado de la Oscilación de Madden-Julian (MJO) 26

Sección 4 | GASES DE EFECTO INVERNADERO, REACTIVOS Y AEROSOLES 27
4. | Introducción 28
4.1 | Dióxido de carbono (CO2) 28
4.2 | Metano (CH4) 29
4.3 | Monóxido de carbono (CO) 29
4.4 | Ozono (O3) superficial 30
4.5 | Carbono negro (BC) 30

Sección 5 | MONITOREO DE LA CAPA DE OZONO Y DE LA RADIACIÓN SOLAR ULTRAVIOLETA 32
5.1 | Capa de ozono en la Argentina 33
5.2 | El agujero de ozono 35
5.3 | Índice solar ultravioleta 35

SMN Argentina
Ministerio de Defensa Argentina

Resumen

El presente informe realiza una evaluación de las condiciones climáticas que afectaron a la Argentina desde enero a septiembre de 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 más afectada por anomalías positivas fue la Patagonia. Las estaciones situadas en la Península Antártica y la Base Orcadas también registraron condiciones más cálidas que el promedio. Hasta el momento, **el 2021 se ubica como el séptimo año más caliente desde 1961**.

Varios episodios de calor y frío extremo tuvieron lugar en lo que va del 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, entre enero y septiembre de 2021 se registró un desvío negativo a nivel país. La mayor parte del oeste y sur de Patagonia presentó lluvias inferiores a lo normal, como así también el extremo noreste del país. 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. La falta de lluvias y condiciones de sequía extrema continuaron en el norte del Litoral y la cuenca del río Paraná, luego de un 2020 extremadamente seco. El río Paraná experimentó una bajante histórica sin precedentes desde 1944. Hasta el momento, el 2021 **es el octavo año más seco desde 1961**.

Análogo a lo ocurrido en el último cuatrimestre del 2020, el primer trimestre del 2021 estuvo modulado por la fase fría de El Niño-Oscilación del Sur o La Niña. Entre mediados de mayo y principios de agosto se desarrolló una fase negativa del Dipolo del Océano Índico. Ambos fenómenos están asociados a condiciones secas en el noreste argentino, área afectada por la sequía extrema.

Los registros de dióxido de carbono y metano muestran un incremento constante en el transcurso de los años. Siguiendo la tendencia mundial, ambos gases han aumentado su concentración a lo largo del 2021. Los valores medidos por el SMN fueron similares a los de otras instituciones del hemisferio sur.

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, levemente superiores en Mendoza e inferiores en Marambio.

Sección | 1

INTRODUCCIÓN

1. Introducción

El informe preliminar sobre el estado del clima en Argentina 2021 tiene por objetivo resumir los principales comportamientos del clima que tuvieron lugar en lo que va del año. Incluye, además, una síntesis de la evolución de las variables atmosféricas monitoreadas por el SMN. Si bien el informe definitivo será publicado a principios de 2022 y contemplará los eventos climáticos destacados de todo el 2021, mucha de la información aquí presentada puede ser útil y relevante para múltiples usuarios. Puede resultar de interés para quienes deseen evaluar cómo los factores meteorológicos ocurridos entre enero y septiembre los han impactado, condicionando sus actividades económicas, productivas, sociales, entre otras.

Luego de un 2020 extremadamente cálido, el segundo más cálido para Argentina desde 1961 (SMN, 2021), los primeros nueve meses del 2021 también presentaron una temperatura media superior a lo normal a nivel país. A nivel global, el último reporte de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) del Estado del Clima Mundial 2020 (OMM, 2021) estableció que la década 2011-2020 fue la más cálida registrada, siendo los últimos seis años los más calientes. La temperatura media global del 2020 resultó ser una de las más altas del período de observación, junto con las del 2016 y el 2019. Cabe destacar que el calor excepcional del 2020 ocurrió a pesar del desarrollo de La Niña a finales de año, evento que tiene un efecto de enfriamiento temporal. Con respecto al 2021, según el Reporte Global Climático para septiembre de 2021 de la Oficina Nacional de la Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, 2021), la temperatura global de la superficie de enero a septiembre fue la sexta más alta de todo su registro de 142 años (Figura 1.1). Más aún, es prácticamente seguro (> 99.0%) que el 2021 se ubique entre sus 10 años más cálidos.

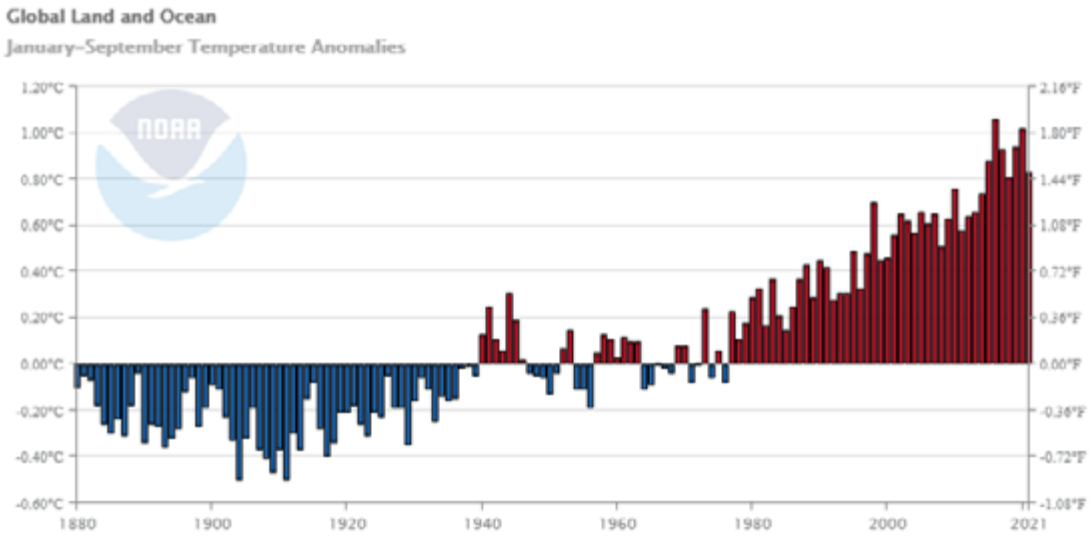


Figura 1.1 | Anomalías de la temperatura global de la superficie de enero a septiembre, con respecto al período 1901-2000 y desde 1880 hasta septiembre de 2021.
Datos: **https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202109.**

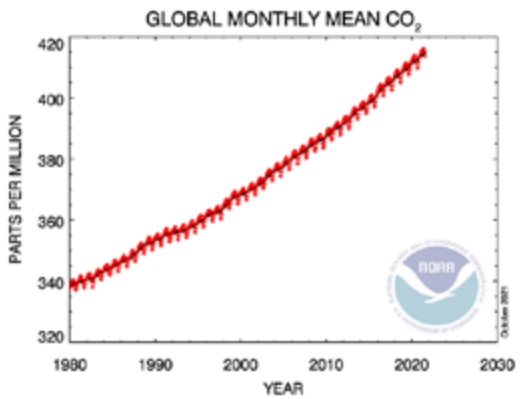


Figura 1.2 | Fracción molar de la media mensual de dióxido de carbono considerando un promedio global sobre los sitios de superficie marina, desde 1980 hasta el 5 de octubre de 2021. Las líneas rojas y negras representan los valores medios mensuales, centrados en la mitad de cada mes. Para la línea negra 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 nitroso), responsables en su mayor parte del calentamiento terrestre, siguieron aumentando en 2020 y la primera mitad del 2021, según el último reporte de Unidos en Ciencias 2021 (OMM, 2021). En julio de 2021, las concentraciones medias de dióxido de carbono a nivel global alcanzaron los 413.73 ppm en comparación con los 411.17 ppm de julio de 2020 (Figura 1.2).

En cuanto a las precipitaciones, en lo que va del 2021 se observaron condiciones deficitarias a nivel país. Esto es análogo a lo ocurrido en el 2020, uno de los años más secos registrados desde 1961 y el más seco desde 1995. El 2020 estuvo marcado por una sostenida y amplia sequía que afectó a gran parte de Sudamérica (Figura 1.3) y aún continúa.

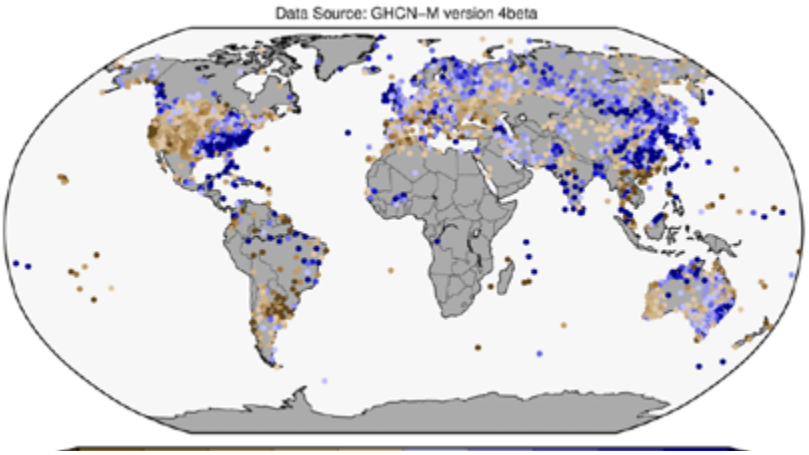


Figura 1.3. Anomalías de precipitación para el año 2020 con respecto al período de referencia 1961-1990. Fuente: **https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013.**

El reporte consta de 5 capítulos. En el capítulo 2 se presenta en abundante detalle la evolución, durante lo que va del año y en todo el país, de la temperatura y la precipitación, 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 resumen 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 discuten 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 presentan la evolución de la capa y el agujero de ozono, y las observaciones de radiación ultravioleta, particularmente importantes por sus implicaciones sanitarias en lo que respecta a enfermedades de la piel.

SECCIÓN 1: Referencias

NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate, 2021. Global Climate Report for September 2021, published online October 2021, retrieved on October 21, 2021 from https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202109.

Organización Meteorológica Mundial, 2021. State of the Climate in Latin America and the Caribbean 2020. WMO-No. 1272. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10764

Organización Meteorológica Mundial, 2021. State of the Global Climate 2020. WMO-No. 1264. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10618

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

Sección | 2

TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN A NIVEL PAÍS

| 2.1 Temperatura

De acuerdo a los datos oficiales preliminares, entre enero y septiembre de 2021 la anomalía de temperatura media estimada a nivel país fue de +0.5°C con respecto al período climatológico de referencia 1981-2010. Este valor ubica, de momento, al año 2021 como el séptimo año más cálido desde 1961 (Figura 2.1). Cabe remarcar la notoria tendencia a registrar años más cálidos en las últimas décadas.

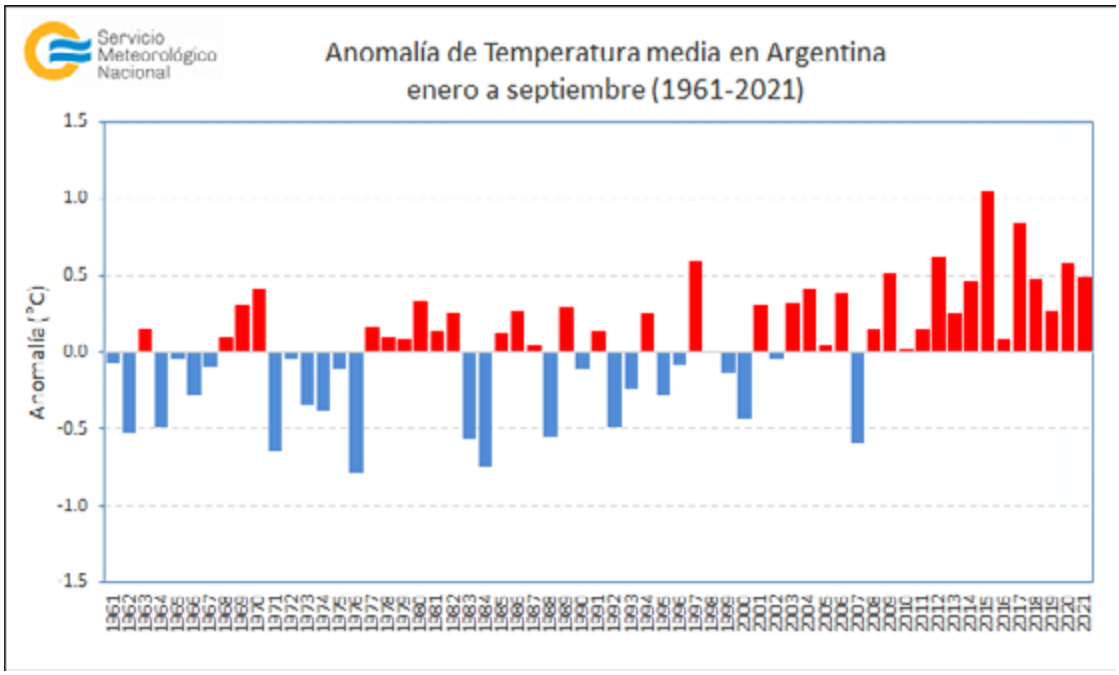
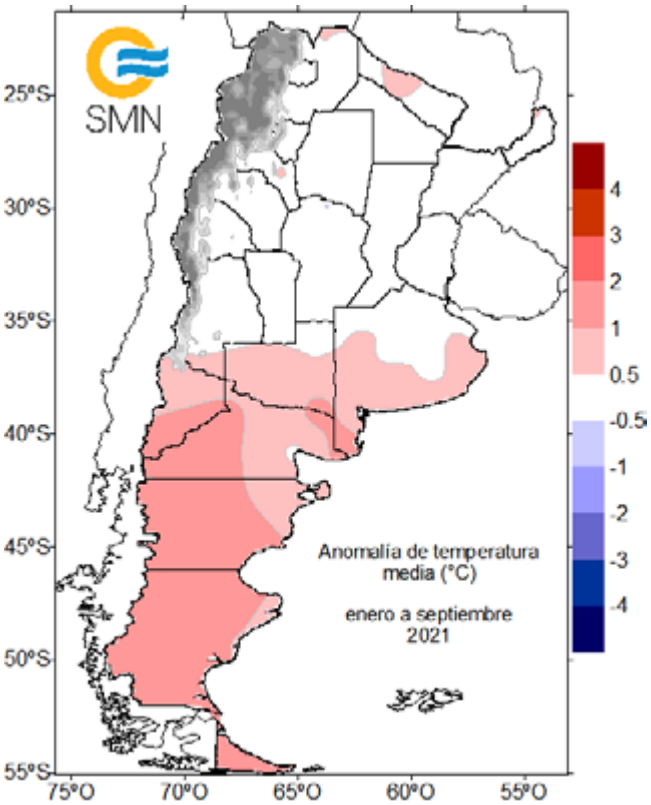


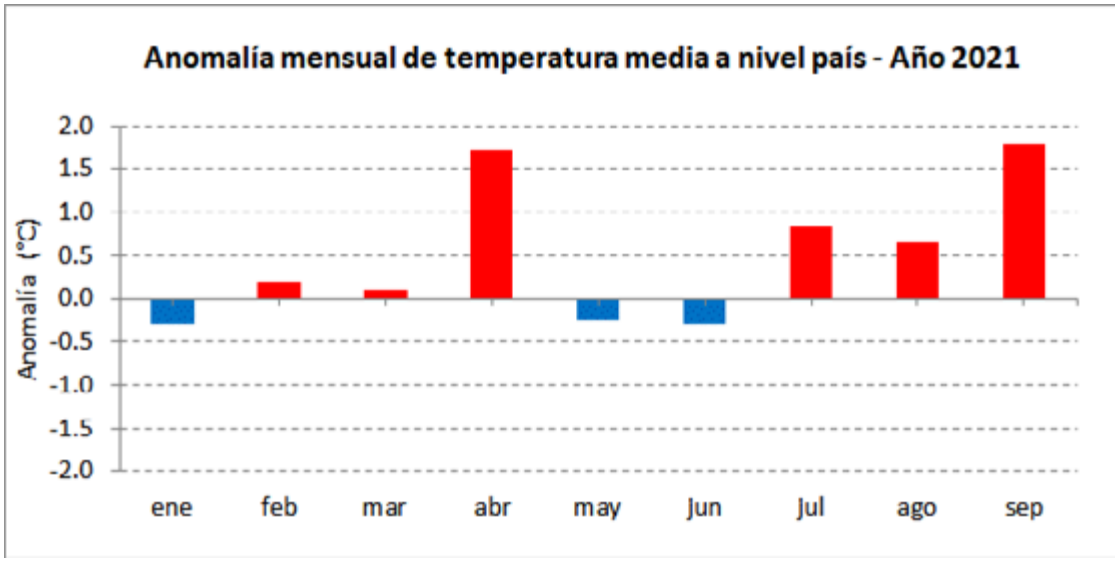
Figura 2.1. | Anomalías de la temperatura media en la Argentina (enero a septiembre) (°C).

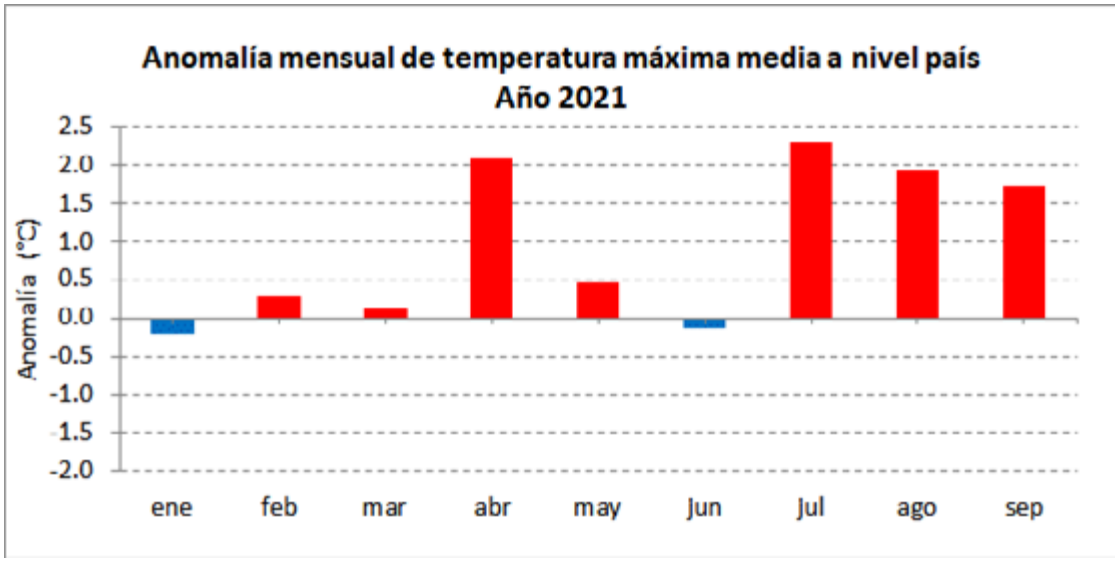


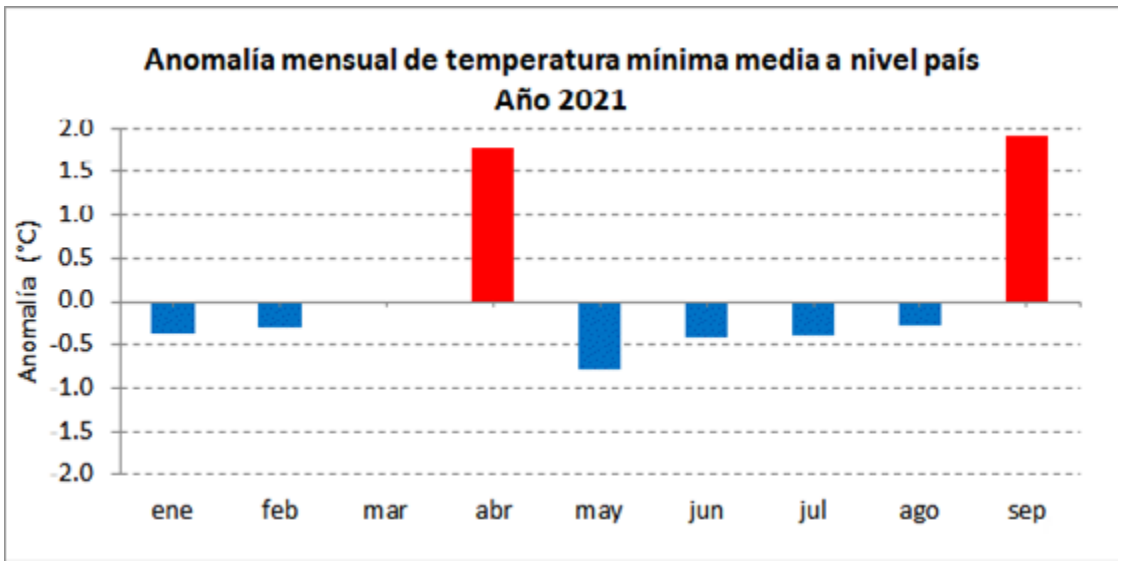
Entre enero y septiembre de 2021 la Patagonia fue la región más afectada por anomalías positivas de temperatura media (entre +0.5°C y +2.0°C) (Figura 2.2). Por otro lado, al norte de 35°S se observaron, al momento, desvíos dentro del rango normal (+/- 0.5°C). De acuerdo al análisis mensual, la primera 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 con respecto al valor medio 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 preliminares, entre enero y septiembre de 2021 Argentina registró un desvío estimado de –14.7% a nivel país, ubicando al año 2021* como el octavo año más seco desde 1961 (Figura 2.4). La mayor parte del oeste y sur de Patagonia presentó lluvias inferiores a la normal, como así también el extremo noreste del país. 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. Las lluvias dentro del rango normal se ubicaron sobre una amplia zona del país (Figura 2.6).

A nivel mensual, hubo un predominio de lluvias por debajo de las normales, principalmente en los meses de invierno (Figura 2.5). El otoño (marzo-abril-mayo) fue más próximo al promedio, mientras que enero, el mes más lluvioso en lo que va del 2021.

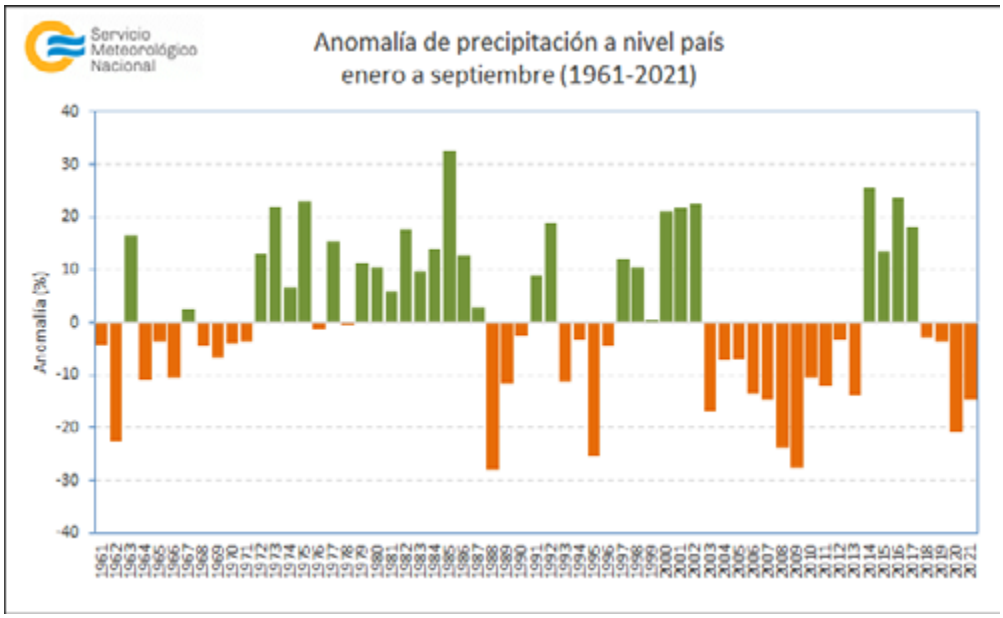


Figura 2.4. | Anomalías porcentuales de precipitación a nivel país desde 1961 a 2021, considerando los meses de enero a septiembre.

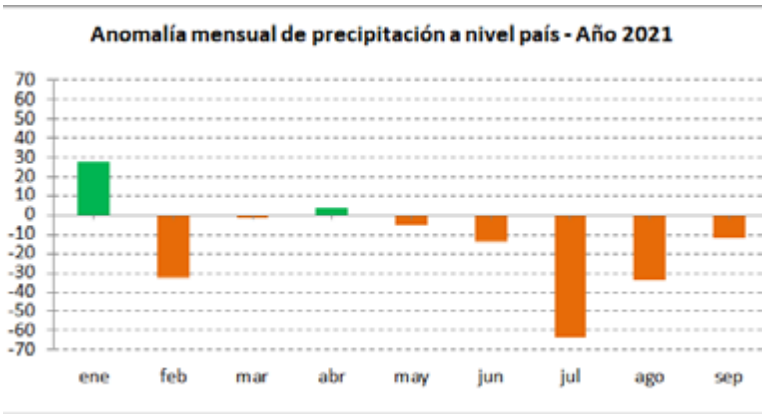


Figura 2.5. | Anomalías porcentuales mensuales de precipitación a nivel país.

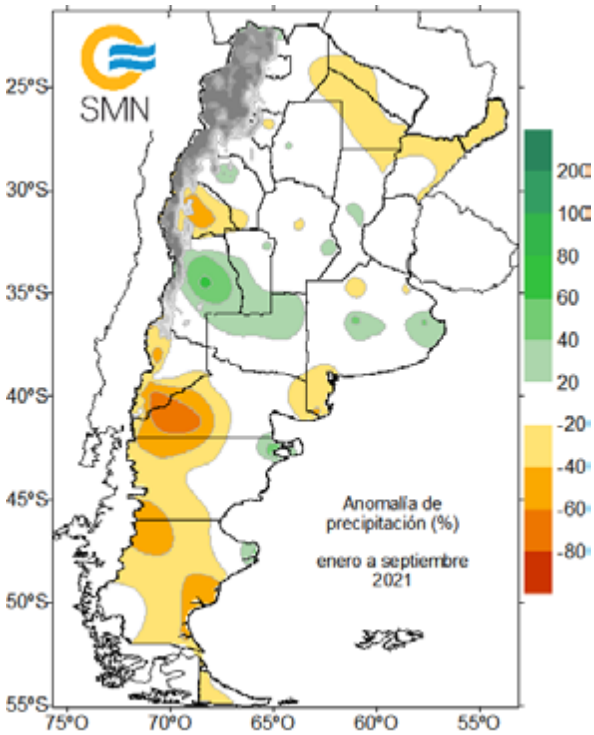


Figura 2.6. | Desvío porcentual de la precipitación con respecto al valor medio 1981-2010.

| 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. Como ejemplos, se pueden observar los desvíos de la temperatura máxima de febrero y la temperatura mínima de diciembre (Figura 2.8).

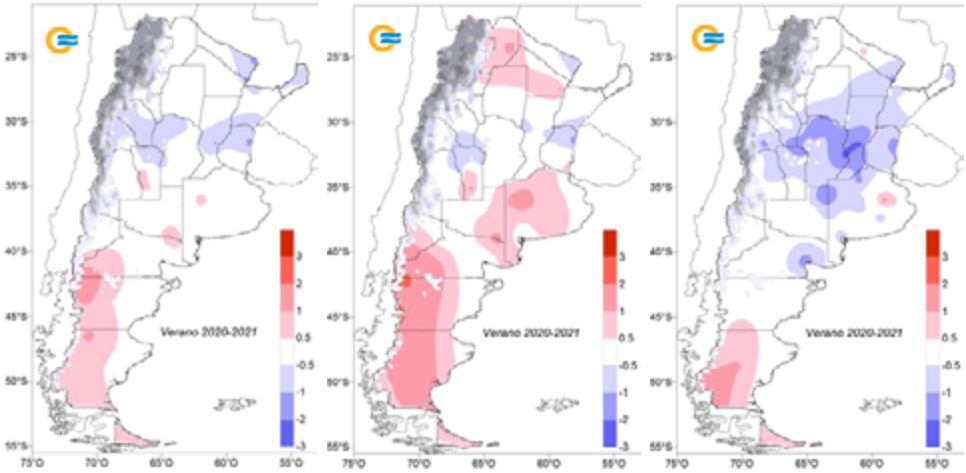


Figura 2.7. | Desvío de la temperatura media, máxima media y mínima media respecto al valor normal 1981-20210 para el verano 2020-2021 (°C).

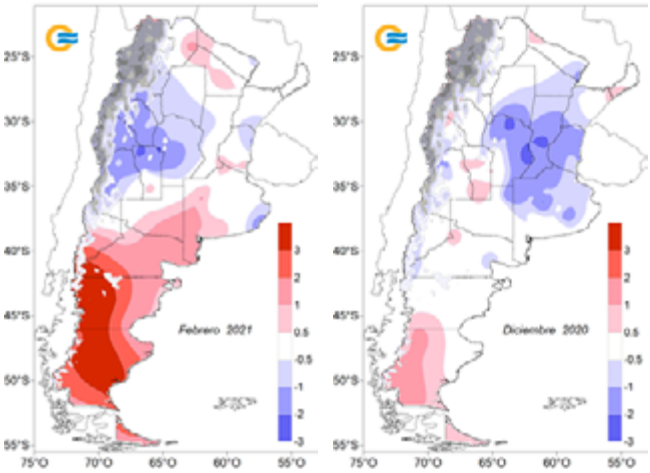


Figura 2.8. | Desvío de la temperatura máxima media para febrero de 2021 y de la temperatura mínima media para diciembre de 2020 respecto al valor normal 1981-2010 (°C).

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

	LOCALIDAD	TEMPERATURA (°C)	RÉCORD ANTERIOR (°C)	PERÍODO
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.).

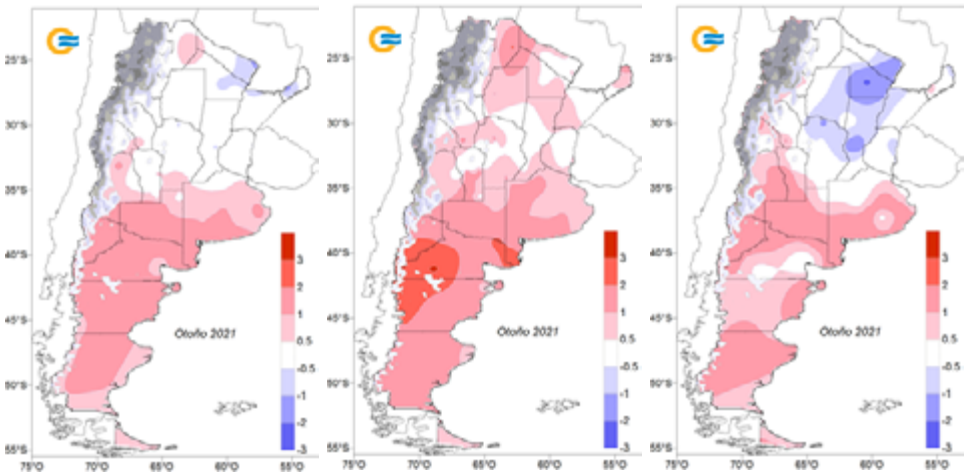


Figura 2.9. | Desvío de la temperatura media, máxima media y mínima media respecto al valor normal 1981-20210 para el otoño 2021 (°C).

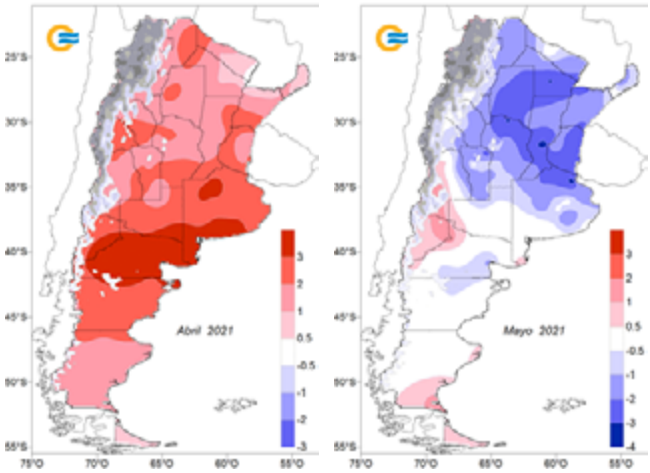


Figura 2.10. | Desvío de la temperatura máxima media para abril de 2021 y de la temperatura mínima media para mayo de 2021 respecto al valor normal 1981-2010 (°C).

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

	LOCALIDAD	TEMPERATURA (°C)	RÉCORD ANTERIOR (°C)	PERÍODO
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

Durante el invierno (junio-julio-agosto) el sur del país continuó experimentando temperaturas anómalamente cálidas, situación destacada de este año (Figura 2.11). Una notoria ausencia de entradas de aire frío contribuyó a que esta zona registre una marcada persistencia de calor anómalo y 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 temperaturas mínimas inferiores en el promedio estacional.

Durante septiembre se observaron anomalías positivas de temperatura en forma generalizada en todo el territorio nacional. Solamente tres frentes fríos débiles lograron alcanzar el centro argentino. La ausencia de frío resultó muy notoria, posicionando a septiembre de 2021 como el segundo más cálido a nivel país desde 1961.

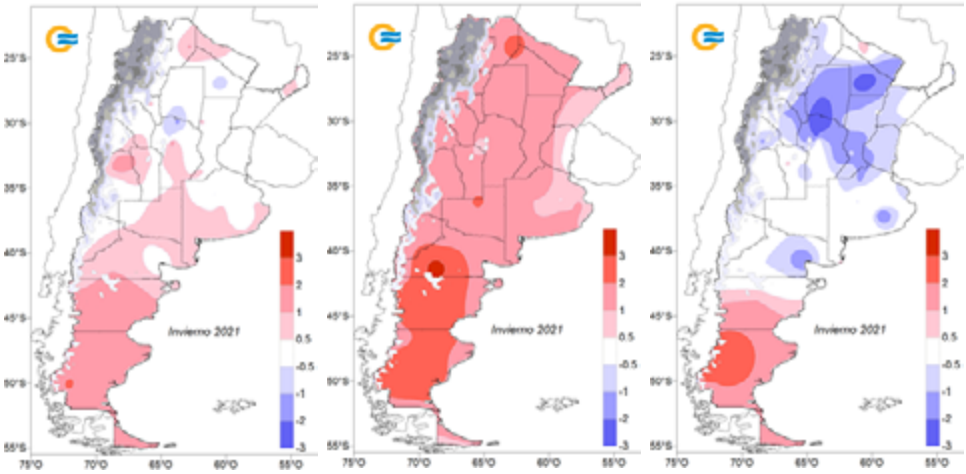


Figura 2.11. | Desvío de la temperatura media, máxima media y mínima media respecto al valor normal 1981-2010 para el invierno 2021 (°C).

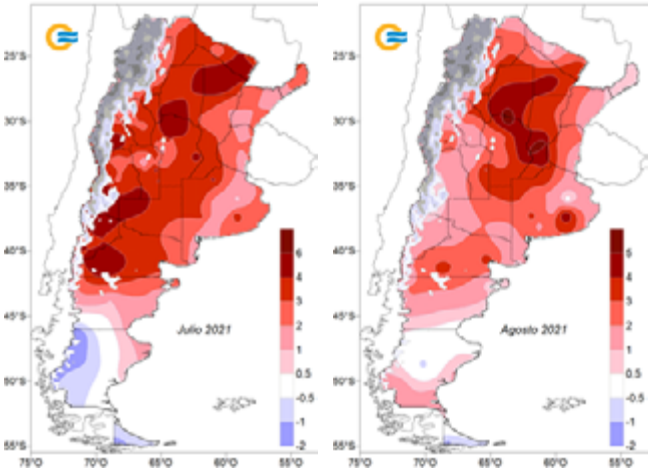


Figura 2.12. | Desvío de la amplitud térmica respecto al valor normal 1981-2010 para julio y agosto de 2021.

2.3.2 PRECIPITACIÓN ESTACIONAL

El verano 2020-2021 se caracterizó por eventos de lluvias que dejaron valores significativos de precipitación acumulada (Figura 2.13 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 (Fig. 213 der.). En el resto del país prevalecieron los déficits de precipitaciones.

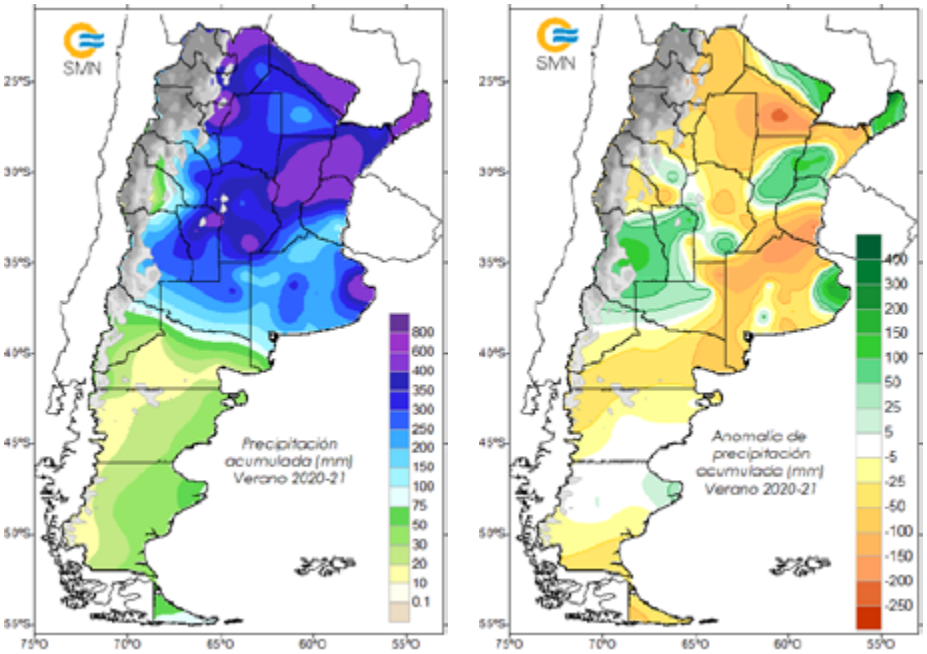


Figura 2.13. | Precipitación acumulada y anomalía respecto al valor normal 1981-2010 para el verano 2020-2021 (mm).

Durante el otoño las mayores precipitaciones acumuladas se registraron en una amplia región del centro-este del país (Figura 2.14 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 (1981-20210) para el trimestre (Figura 2.14 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 noroeste de la cordillera patagónica también ocurrieron precipitaciones inferiores a los valores normales, al igual que en el centro-norte.

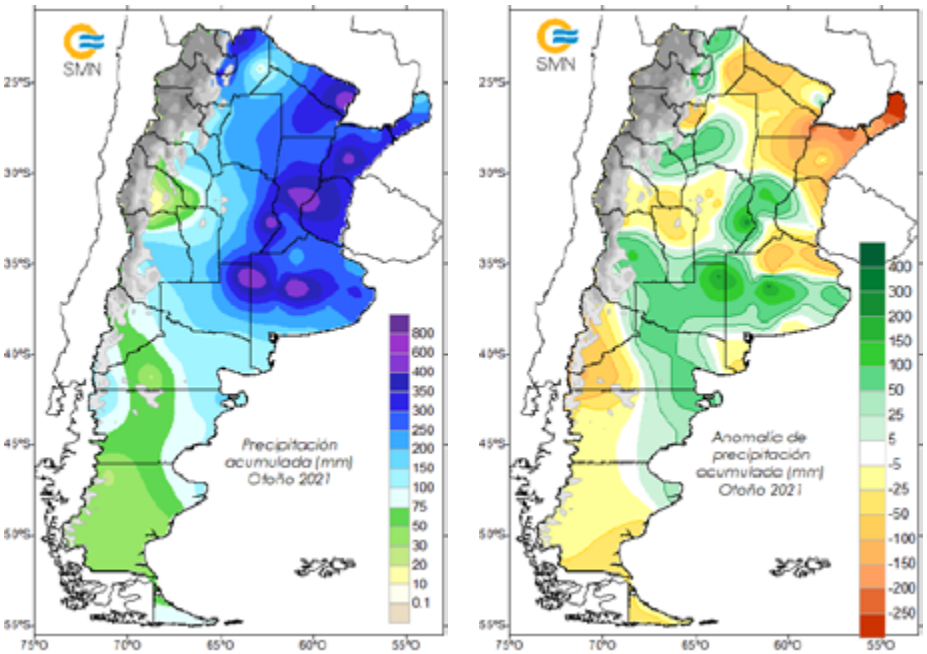
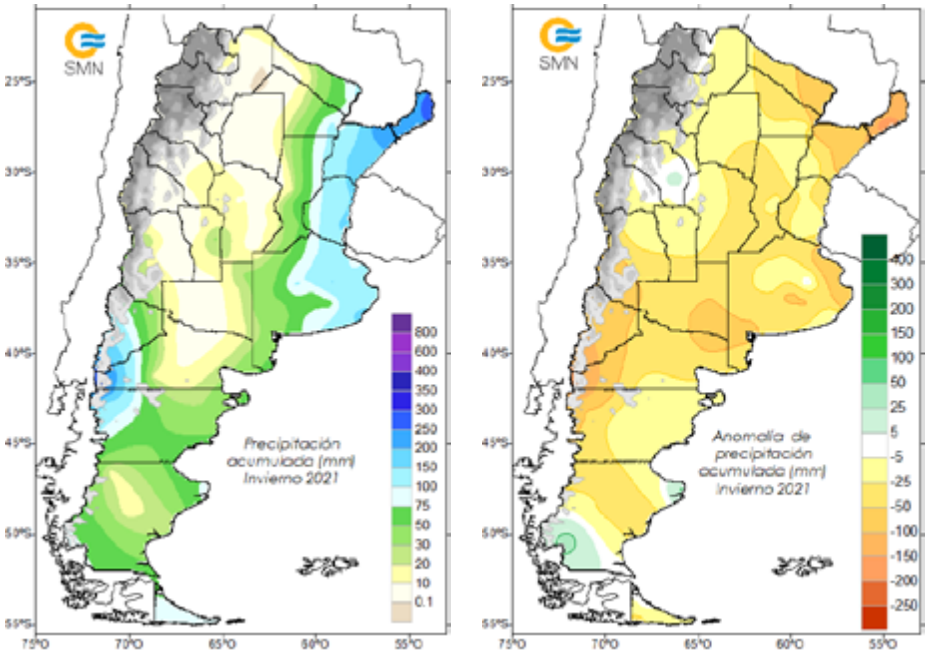


Figura 2.14. | Precipitación acumulada y anomalía respecto al valor normal 1981-2010 para el otoño 2021 (mm).

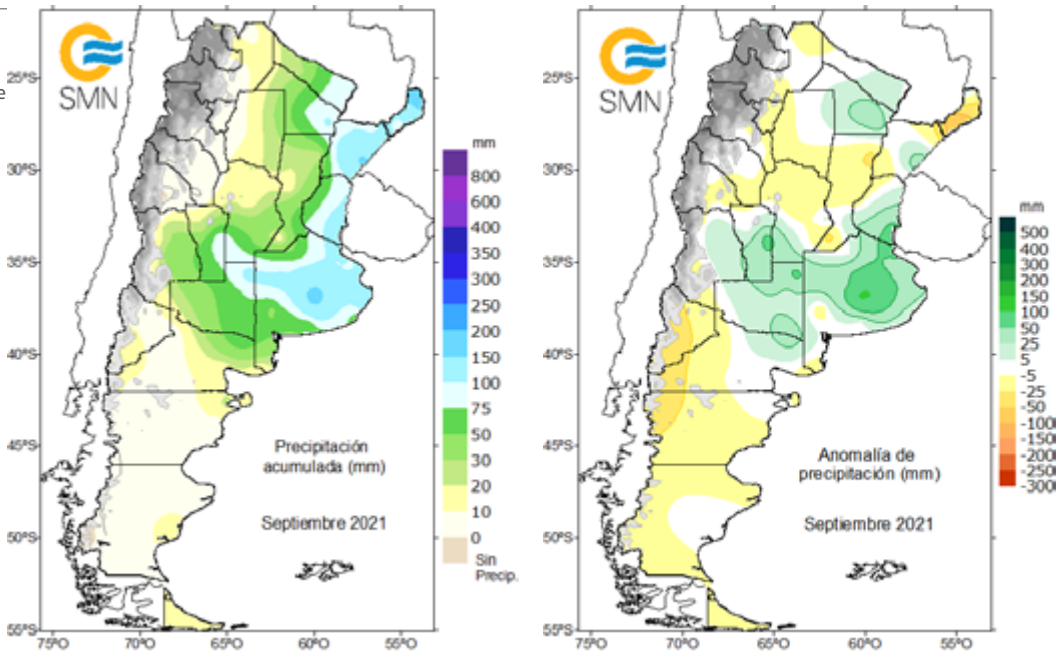
En el invierno las precipitaciones fueron escasas. Los mayores valores de precipitación acumulada se registraron en el noroeste de Patagonia y en el noreste de la Mesopotamia (Figura 2.15 izq.). Aun así, los déficits de precipitación abarcaron todo el territorio, con excepción de algunas estaciones localizadas en el sudoeste de Patagonia, noreste de Santa Cruz y la provincia de La Rioja (Figura 2.15 der.).

Figura 2.14. | Precipitación acumulada y anomalía respecto al valor normal 1981-2010 para el otoño 2021 (mm).



El comienzo de la primavera (septiembre de 2021) se caracterizó por la ocurrencia de lluvias importantes en el centro de Argentina, principalmente en Buenos Aires, donde las precipitaciones acumuladas superaron hasta 150 mm los valores climatológicos (1981-2010) (Figura 2.16 izq.). También se destacaron precipitaciones superiores a las normales en las provincias de La Pampa, San Luis, este de Mendoza, sur de Entre Ríos, sudeste de Corrientes, Chaco y Formosa (Figura 2.16 der.). En el resto del país prevalecieron leves déficits.

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

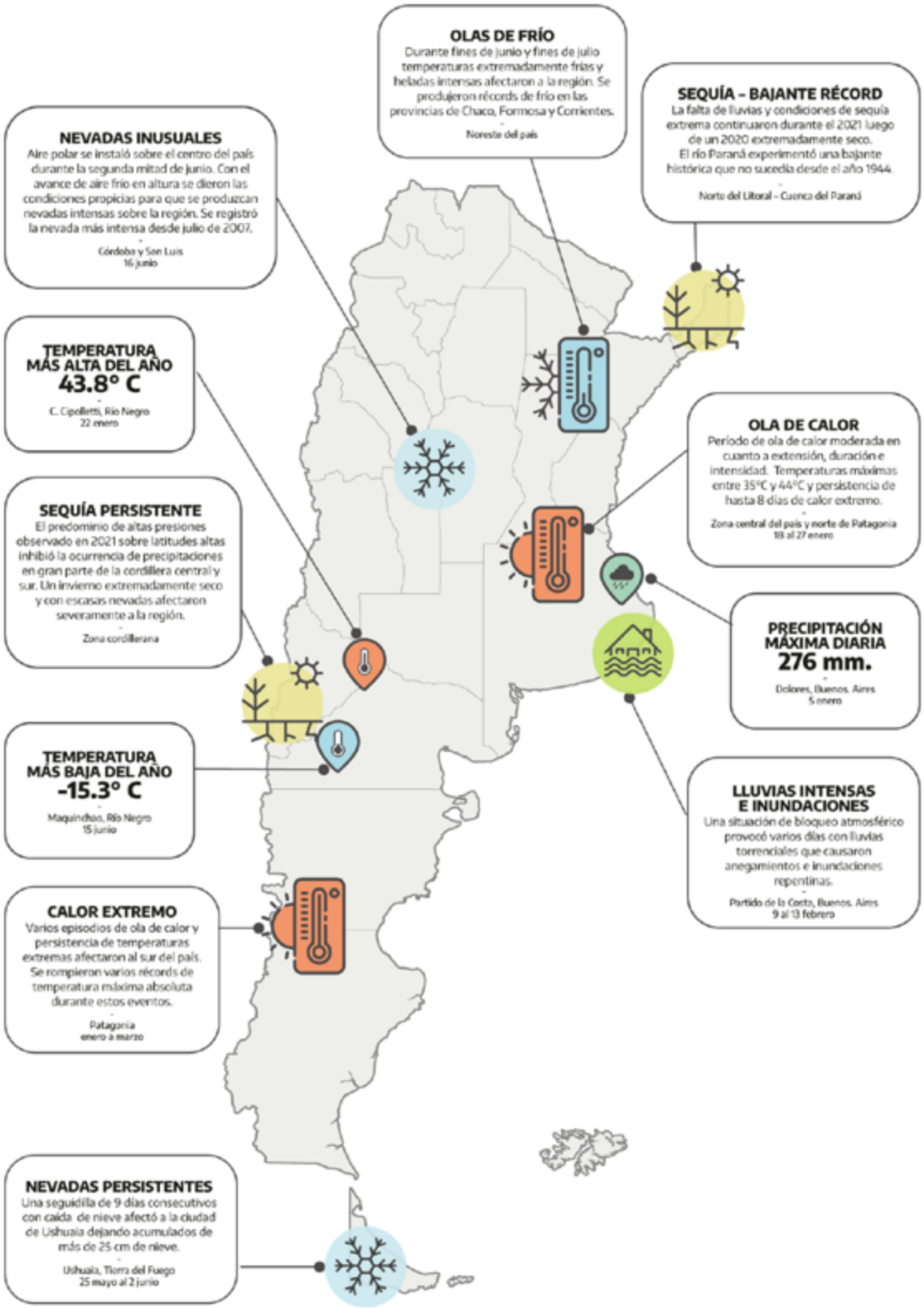


2.4 Eventos extremos

La Figura 2.17 resume los eventos meteorológicos más destacados de lo que va 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 2.17. | Resumen de los eventos meteorológicos más destacados de lo que va del año 2021 en Argentina.



2.4.2 OLAS DE CALOR

Durante el verano 2020-2021 algunos episodios de olas de calor [1] 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 2.18 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 2.18 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 2.18 der.). Un anticiclón de bloqueo sobre el océano Atlántico sur causó la persistencia de buen tiempo y 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 el récord histórico de ambas localidades.

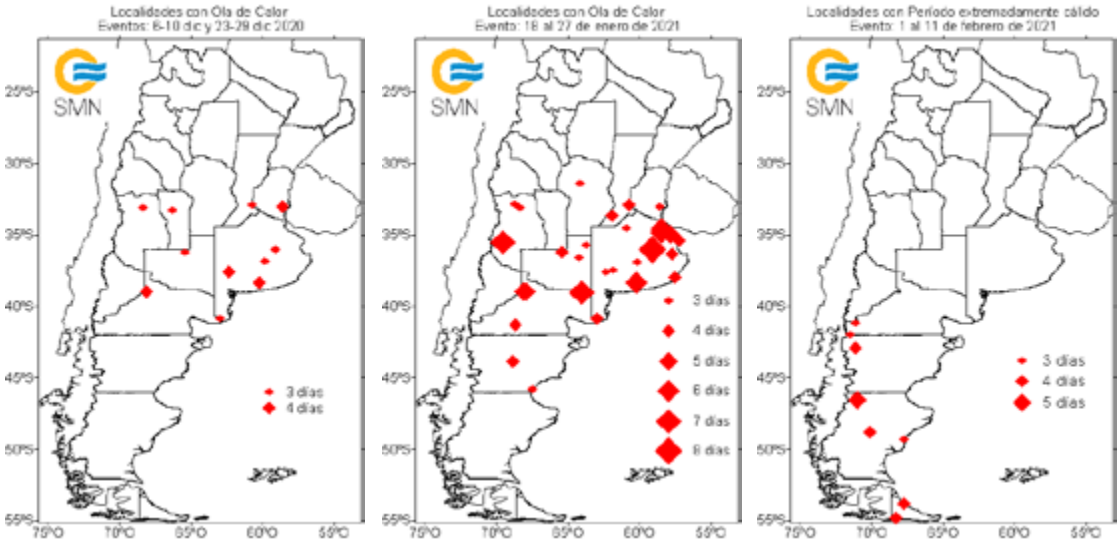


Figura 2.18. | Ocurrencia de olas de calor durante el verano 2020-2021.

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[2] ocurrieron durante la segunda mitad de junio, y se originaron debido a dos potentes ingresos de aire polar (Figura 2.19 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 2.19 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.

[1] Un evento de ola de calor se define cuando las temperaturas máximas y mínimas superan o igualan, durante al menos 3 días consecutivos y en forma simultánea, ciertos valores umbrales que dependen de cada localidad (percentil 90 del semestre cálido octubre-marzo). Los umbrales se encuentran en https://www.smn.gob.ar/estadisticas.

[2] Un evento de ola de frío se define cuando las temperaturas máximas y mínimas igualan o son inferiores, durante al menos 3 días consecutivos y en forma simultánea, a ciertos valores umbrales que dependen de cada localidad (percentil 10 del semestre frío abril-agosto). Los umbrales se encuentran en: https://www.smn.gob.ar/estadisticas.

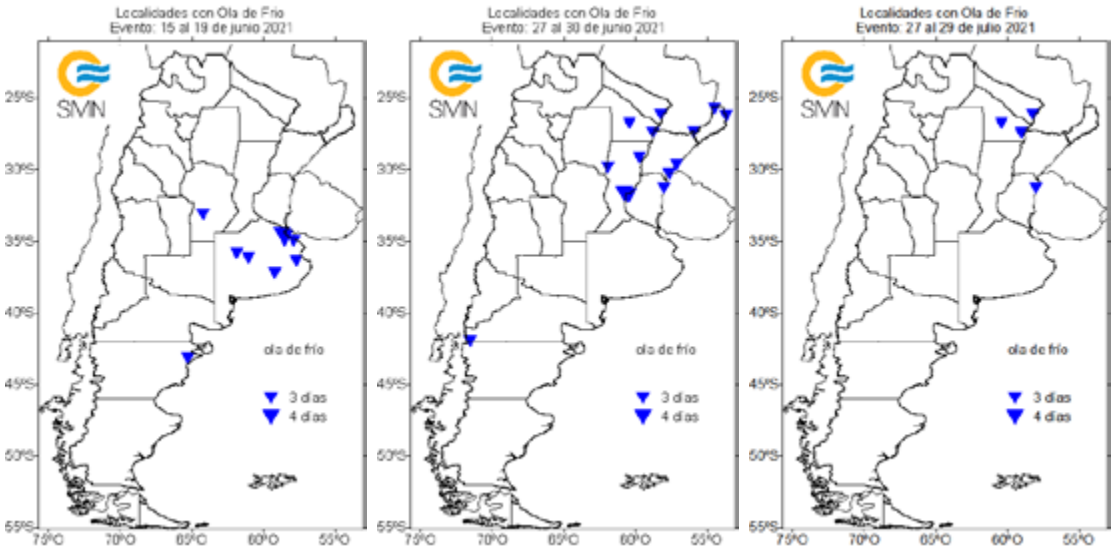


Figura 2.19. | Ocurrencia de olas de frío durante el invierno 2021.

2.4.4 SEQUÍA

Desde finales del año 2019, condiciones deficitarias de lluvias prevalecieron en gran parte de la Cuenca del Plata, principalmente en la región norte, donde se ubican las nacientes de los ríos más importantes de la zona. Estas condiciones dieron lugar a un fenómeno de sequía de grandes magnitudes que aún hoy continúa, afectando al norte y centro del país. Como consecuencia de esto, durante el 2021 el río Paraná evidenció una fuerte bajante hidrológica a lo largo de todo su cauce, con caudales mínimos históricos, siendo la 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).

El informe situacional de la bajante del río Paraná elaborado por la Mesa Nacional de Monitoreo de Sequías en el mes de junio señaló los impactos de dicho fenómeno en los sistemas productivos y en la vida de las comunidades rurales, incluyendo las problemáticas en el acceso al agua, la ganadería, la agricultura (principalmente la familiar), entre otras. Dentro de la actividad agropecuaria, las mayores consecuencias se identificaron en la pesca artesanal producto de 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 la ralentización de los ritmos de embarques y almacenajes. Los informes de la Mesa Nacional de Sequías se pueden encontrar en: https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/d_eda/sequia/.

En la Figura 2.20 se observa la evolución de la sequía entre enero y septiembre de 2021, de acuerdo al Índice de Precipitación Estandarizado (OMM, 2012) para la escala de 6 meses (IPE 6) calculado mediante el producto CHIRPS (por las iniciales de su nombre en inglés, Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data, Funk y otros, 2015). Este producto estima valores de precipitación acumulada combinando información satelital y mediciones in situ. Las categorías de sequía se establecen de acuerdo a las especificaciones del US Drought Monitor (más información de este producto en: https://sissa.crc-sas.org/monitoreo/estado-actual-de-la-sequia/. Cabe mencionar que la precipitación estimada con CHIRPS está disponible desde 46°S hacia el norte. Como puede verse, entre los meses de enero y marzo gran parte del país estuvo afectada por condiciones de sequía. Las regiones más perjudicadas 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. En estos últimos meses, 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 2.21). En septiembre se registraron nevadas tardías importantes que determinaron una cobertura nívea mayor que la del año pasado, aunque aún menor que la media histórica.

Figura 2.20. | Evolución del índice IPE 6 entre enero y septiembre de 2021, calculado a fin de cada mes mediante el producto CHIRPS. Fuente: SISSA/CRC SAS.

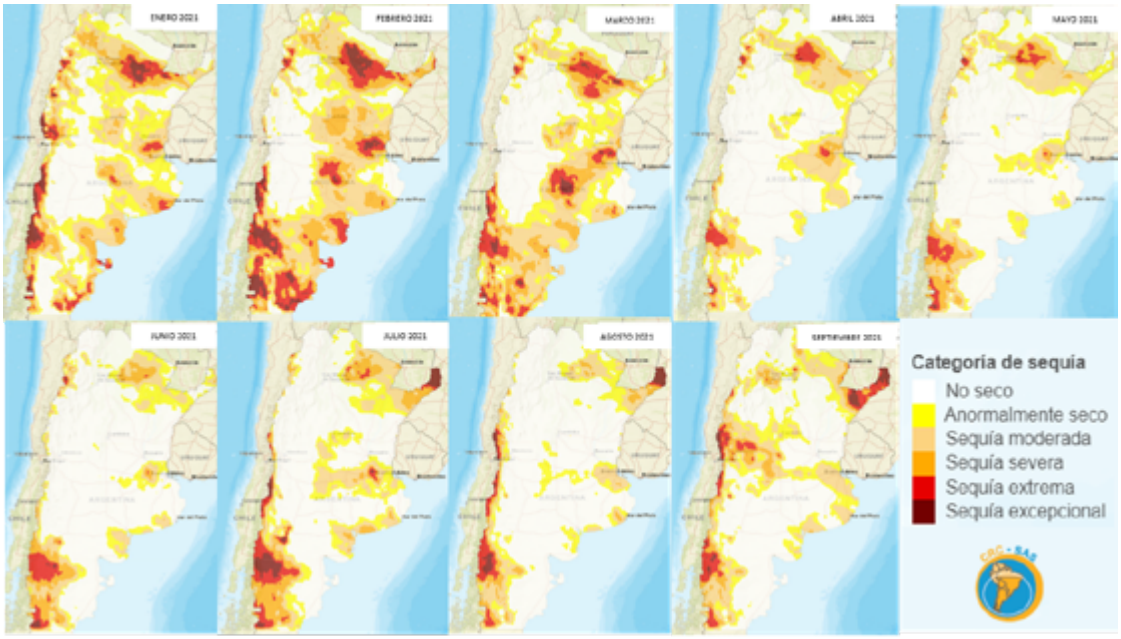


Figura 2.21. | Evolución de la cobertura nívea en la cordillera central para el año 2020 y 2021, en barras grises y celestes, respectivamente. En línea punteada negra se representa la media histórica del período 2000-2019. Fuente: Observatorio Regional de la Nieve, IANIGLA.

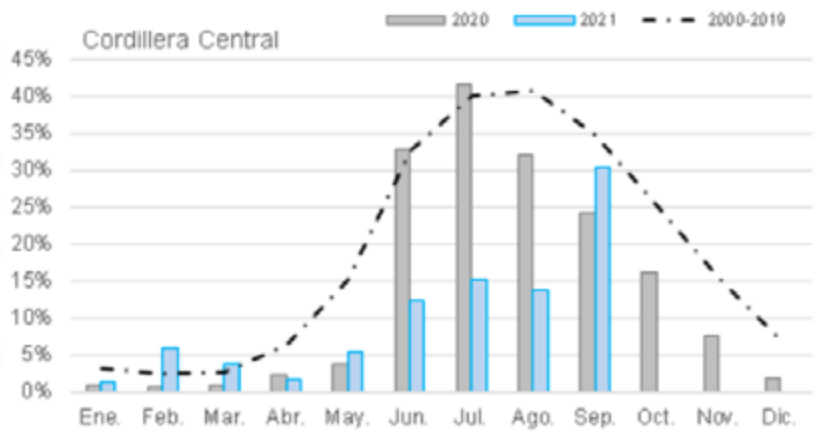


Figura 2.22. Porcentaje de área de Argentina, al norte de los 46°S, bajo cada categoría de sequía, de acuerdo al índice IPE 6 calculado a partir del producto CHIRPS y el período de abril a septiembre de 2021. Fuente: SISSA/CRC SAS.

Para cuantificar el alcance territorial del fenómeno, en la Figura 2.22 se muestra el porcentaje de área afectada por cada categoría de sequía de acuerdo al IPE 6 del producto CHIRPS, para todo el país al norte de los 46°S y el período de abril a septiembre de 2021. Se observa que, en dicho período, el 45% del área se encontraba comprendido en alguna categoría de sequía. De ésta, aproximadamente 82 millones de hectáreas estuvieron afectadas por sequías leves y moderadas, mientras que 13 millones de hectáreas, por sequías excepcionales y extremas.

Como se mencionó anteriormente, las regiones más afectadas por este fenómeno fueron el noroeste de Patagonia, el noreste del país (Chaco, Misiones, Corrientes y Formosa) y la región de Cuyo. En la Figura 2.23 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 30 de septiembre. En Resistencia, durante gran parte del año, se registraron condiciones de sequía extrema a moderada, mejorando hacia la normalidad a partir de septiembre. Bariloche, por su parte, presentó la categoría de sequía extrema desde febrero. En Malargüe las condiciones de humedad estuvieron por encima de lo normal durante el otoño y hasta mediados del invierno. A partir de julio se observó un empeoramiento de la situación, estableciéndose las categorías de sequía moderada, severa y extrema.

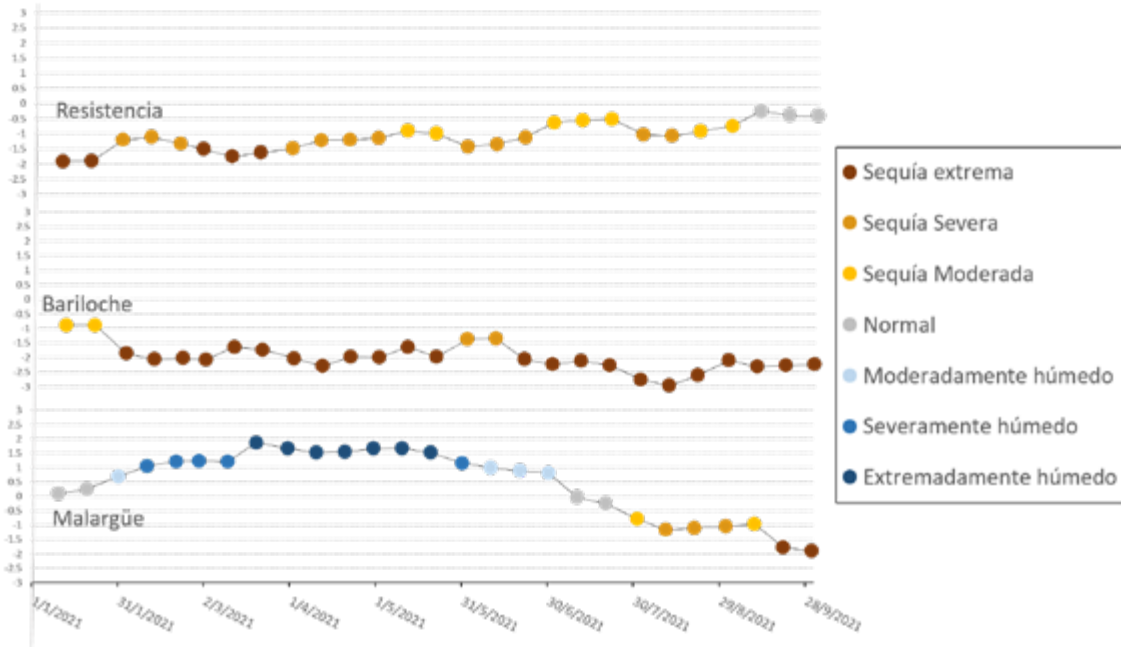


Figura 2.23. Evolución cada 10 días del IPE 6 para Resistencia (arriba), Bariloche (centro) y Malargüe (abajo).
Fuente: Adaptado de SISSA/ CRC SAS.

Finalizando septiembre, el análisis presentado por la Mesa Nacional de Monitoreo de Sequías indicó que, si bien hubo un incremento en los niveles de los cursos de agua, los ríos sobre el Paraná no modificaron sustancialmente su estado. Aquellos de respuesta más rápida recuperaron la categoría de sequía leve, mientras que la mayoría continuó en el nivel de sequía moderada. El Delta inferior registró valores de normalidad durante los días de mayor aporte hídrico. Dentro de la Cuenca del Plata, cuatro provincias (Jujuy, Salta, Santiago del Estero y Chaco) se vieron afectadas por las condiciones secas y en 54 departamentos se declaró la emergencia y/o desastre agropecuario. Asimismo, el reporte nacional mostró la continuidad de la sequía en gran parte de Patagonia y norte del país (Figura 2.24), con una estimación de 130.214.918 hectáreas y 1.755.309 cabezas de ganado bovino en situaciones de riesgo.

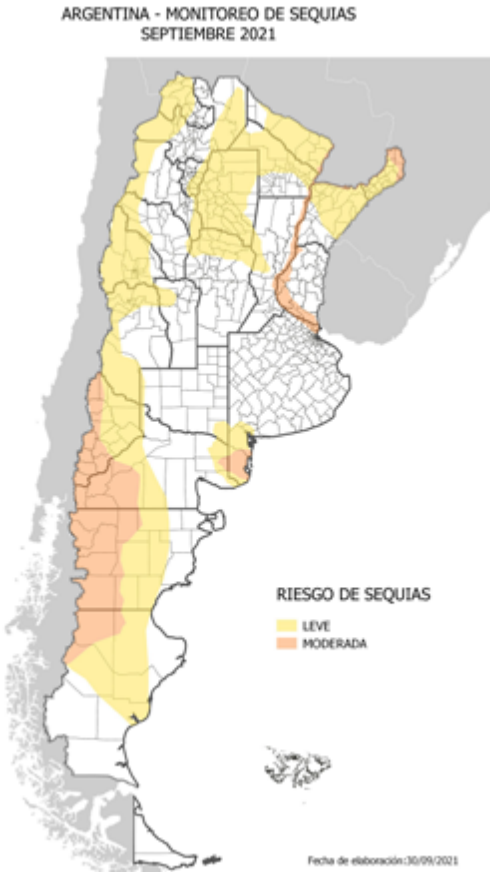


Figura 2.24. | Áreas de Argentina con probable afectación por sequías leves y moderadas. Figura del Informe de Sequía, elaborada por la Mesa Nacional de Monitoreo de Sequías durante septiembre de 2021.

2.4.5 TEMPERATURA EN ANTÁRTIDA

Hasta septiembre, las temperaturas medias fueron más cálidas que las normales en las estaciones situadas en la Península Antártica y en la Base Orcadas (Figura 2.25 izq.). A nivel mensual, predominaron los meses con anomalías positivas, con el máximo valor de +6.5°C en Marambio en mayo (Figura 2.25 der.). Una situación contraria se observó en Belgrano II, donde el año viene siendo más frío que lo normal como consecuencia de un invierno muy frío. Allí prevalecieron los meses con desvíos térmicos negativos. Junio fue su mes anómalamente más frío, con una anomalía de -4.6°C.

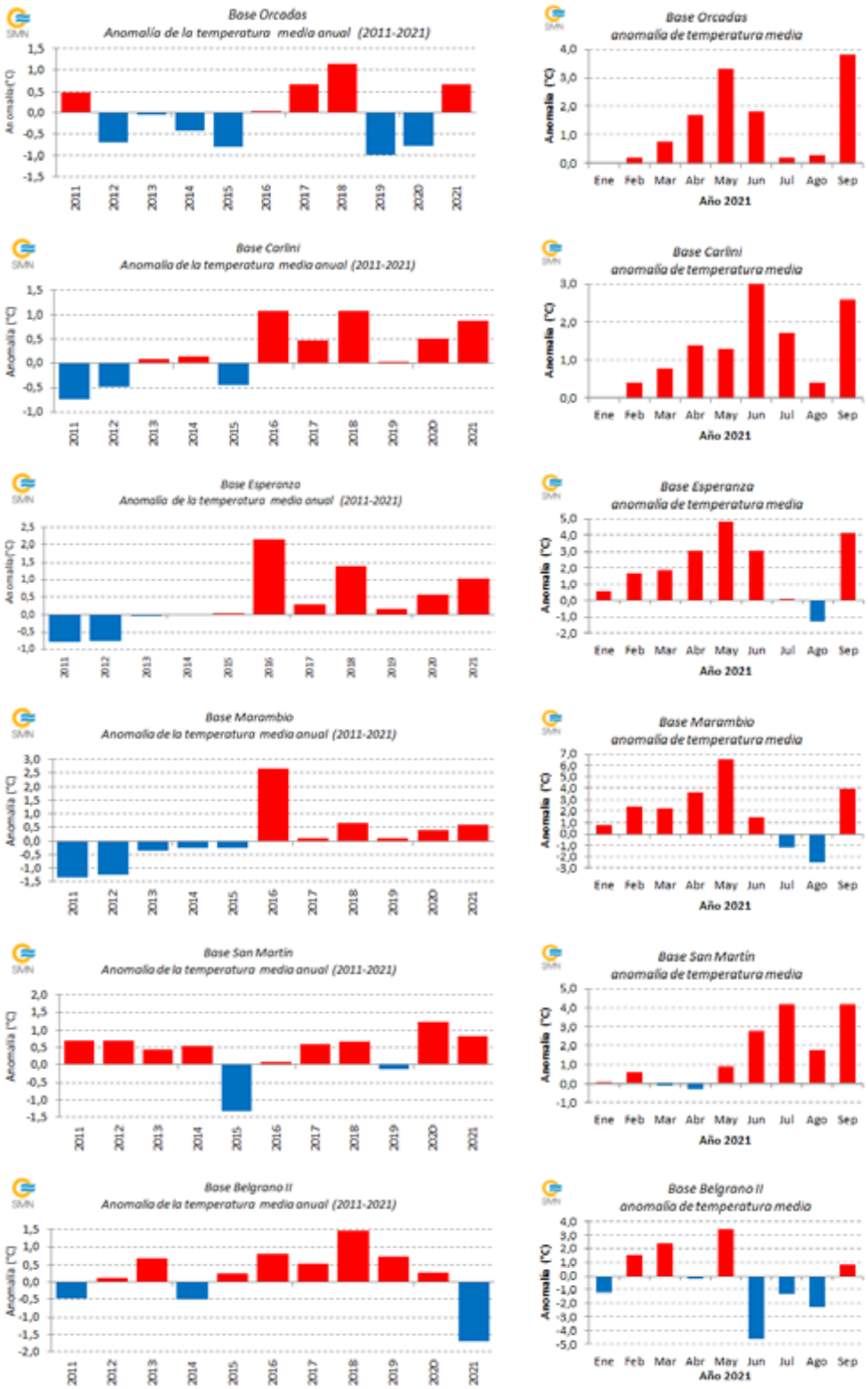


Figura 2.25 | Anomalías de la temperatura media anual para las bases Orcadas, Carlini, Esperanza, Marambio, San Martín y Belgrano II (izq.), con sus respectivas anomalías mensuales para el 2021 (der.).

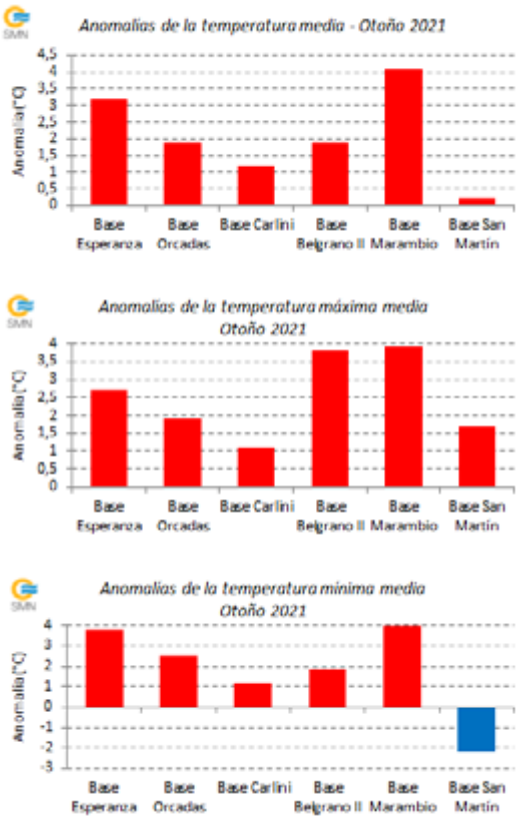


Figura 2.26 | Anomalías de la temperatura media, máxima media y mínima media para las bases Esperanza, Orcadas, Carlini, Belgrano II, Marambio y San Martín durante el otoño 2021.

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 2.26 izq. y centro para el otoño). Este mismo comportamiento se observó en la temperatura mínima media, salvo en San Martín y Belgrano II (Figura 2.26 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.

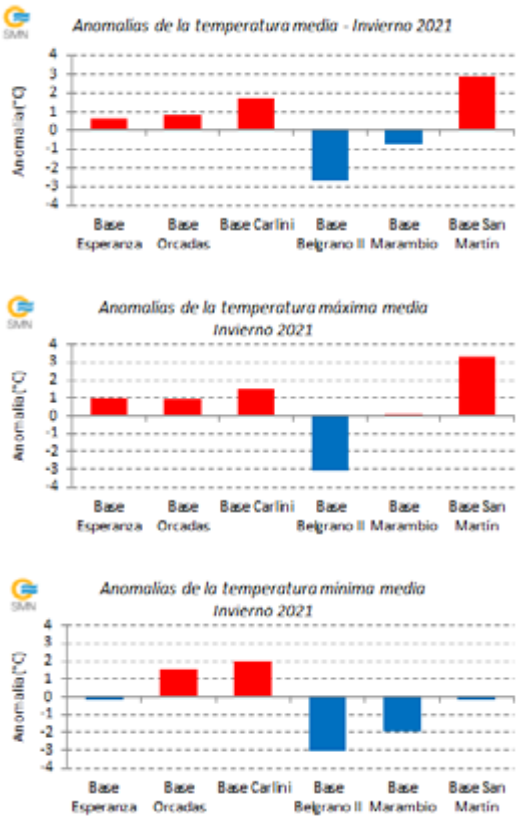


Figura 2.27 | Anomalías de la temperatura media, máxima media y mínima media para las bases Esperanza, Orcadas, Carlini, Belgrano II, Marambio y San Martín durante el invierno 2021.

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 2.27).

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.

Organización Meteorológica Mundial, 2012. Índice normalizado de precipitación: Guía del usuario.M. Svoboda, M. Hayes and D. Wood. Ginebra, Suiza.

Sección | 3

FORZANTES DE ESCALA ESTACIONAL Y SUB-ESTACIONAL DESTACADOS

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

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", uno de los patrones más importantes de la variabilidad climática interanual, cuyos impactos pueden durar desde varios meses a pocos años. A su vez, existen otras oscilaciones que pueden desarrollarse simultáneamente en menores escalas de tiempo, en la escala intraestacional o sub-estacional, y pueden potenciar o inhibir el comportamiento de las precipitaciones y las temperaturas en el país. En esta sección se describe el estado y la evolución de cuatro fenómenos, entre enero y septiembre de 2021. Cabe destacar que, si bien ellos pueden favorecer ciertas condiciones atmosféricas, no las determinan en su totalidad.

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

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

El año 2021 comenzó con una fase fría del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) o La Niña, establecida a finales del 2020, que se mantuvo activa hasta el mes de marzo. En la Figura 3.1 se muestran las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) en el trimestre enero-febrero-marzo 2021, donde puede observarse el enfriamiento asociado a La Niña alrededor y al este de la longitud 180°. Luego, hasta septiembre de 2021, se desarrollaron condiciones neutrales del fenómeno. En estos meses, la TSM en el océano Pacífico ecuatorial, si bien tuvo una tendencia a mantener temperaturas levemente inferiores a las normales, con mucha variabilidad, se mantuvo fuera del umbral necesario para el establecimiento de un evento frío. Cabe destacar que, para lo que resta del 2021, los pronósticos del ENOS muestran un aumento en las chances de ocurrencia de una nueva fase negativa. Debido a la relación existente entre las fases del fenómeno y la precipitación en la región sur de la Cuenca del Plata, una eventual La Niña podría generar lluvias deficitarias y agravar las condiciones secas en el área ya afectada por la sequía.

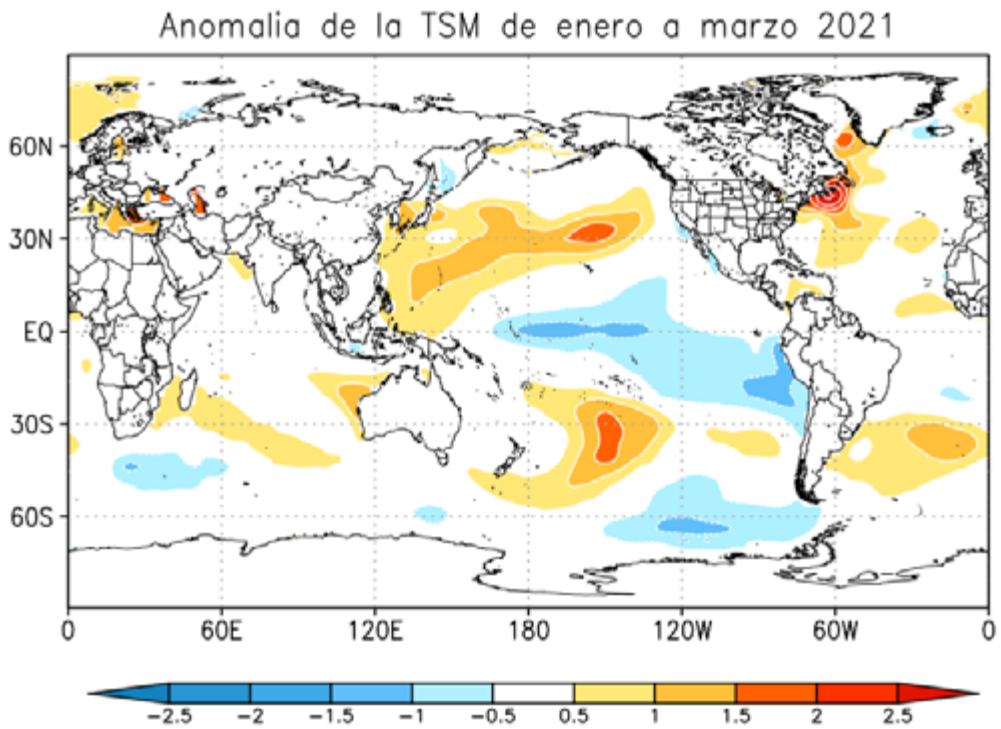


Figura 3.1 | Anomalía de TSM como promedio de 90 días, desde el 01 de enero hasta el 31 de marzo de 2021. Fuente: NOAA/ESRL.

| 3.2 Resumen del estado del Dipolo del Océano Índico (DOI)

Desde enero de 2021 el Dipolo del Océano Índico (DOI) permaneció en la fase neutral hasta finales del mes de abril, donde su índice tuvo valores positivos (+0,49 °C). Entre mediados de mayo y principios de agosto (a excepción de una semana entre junio y julio), el indicador permaneció en la fase negativa (Figura 3.2). Si bien la mayor teleconexión en el sur de Sudamérica ocurre durante la primavera austral, el estado del DOI en estos meses 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.

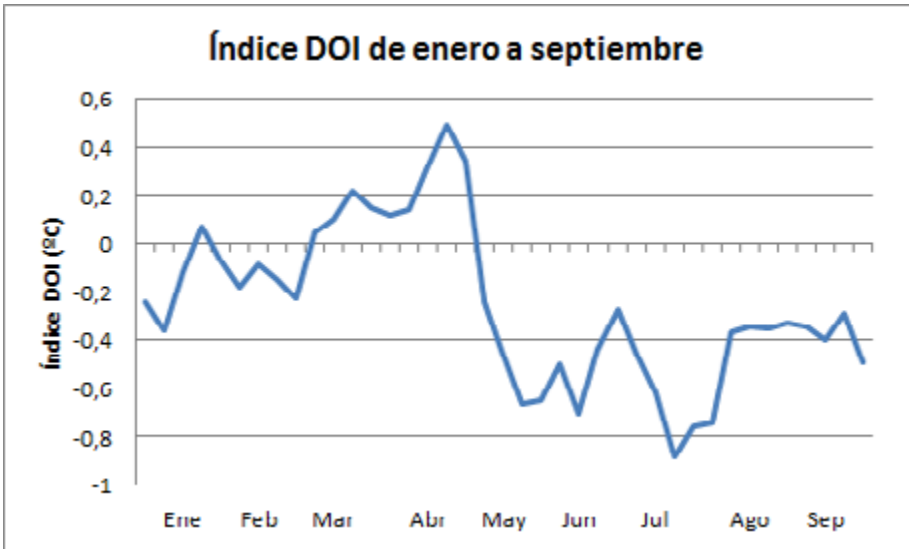


Figura 3.2: Evolución del índice DOI semanal, desde el 4 de enero hasta el 3 de octubre de 2021.

Fuente: Bureau of Meteorology Australia.

| 3.3 Resumen del estado de la Oscilación Antártica o Modo Anular Austral (SAM, AAO)

El índice diario de la Oscilación Antártica (SAM o AAO, por sus siglas en inglés) se puede ver en la Figura 3.3. Se observa un predominio de la fase positiva en la mayor parte del período enero-septiembre. 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. Cada una de estas fases puede tener correlación con la temperatura y la precipitación, dependiendo del mes del año y de cada región del país.

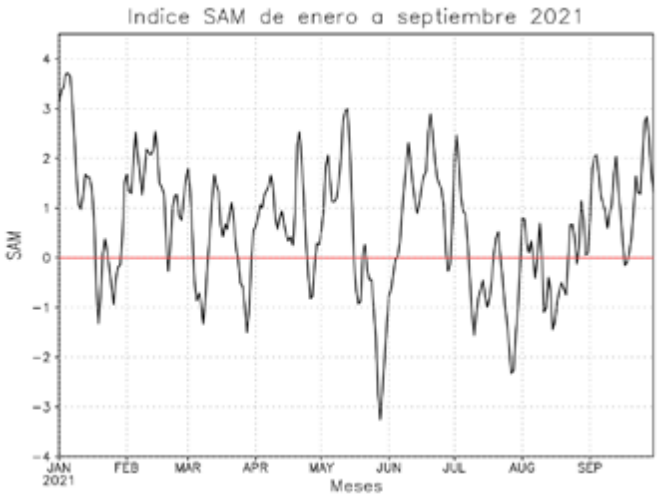


Figura 3.3: Evolución del índice diario SAM, desde el 01 de enero hasta el 30 de septiembre de 2021. Fuente: CPC/NOAA.

| 3.4 Resumen del 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 la fase 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. En el resto del período se registraron otros eventos de MJO pero su señal no fue coherente con el patrón de precipitación y temperatura esperado en nuestro país, indicando la influencia de otros forzantes atmosféricos.

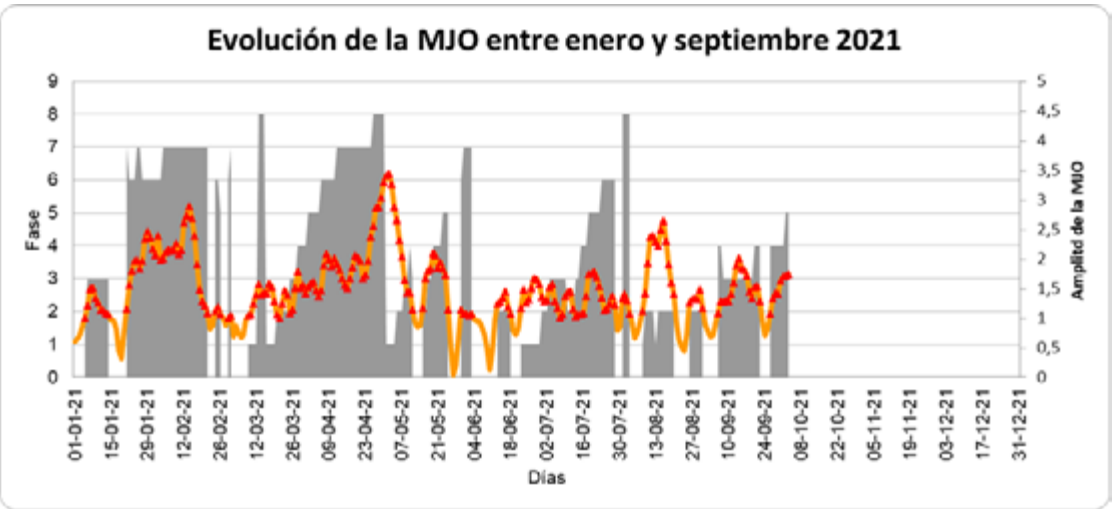


Figura 4.4 | Evolución de la MJO entre enero y septiembre de 2021. El sombreado marca el estadio del fenómeno (eje de la izquierda), mientras que la curva naranja, la amplitud del mismo (eje de la derecha). Los triángulos rojos indican los días donde la amplitud de la oscilación es significativa (mayor a 1).

Fuente: Bureau of Meteorology, Australia.

SECCIÓN 3: Referencias

Bibliografía recomendada: Revista Meteoros - Año 9 N° 4. Nota: "Oscilaciones, el Mundo en Movimiento". P. 52 http://repositorio.smn.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12160/1188/MET09-4.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sección | 4

GASES DE EFECTO INVERNADERO, REACTIVOS Y AEROSOLES

4. Introducción

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 mediciones 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 las mismas 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 crecimiento sostenido cada año, con ciclos anuales bien marcados dominados por el crecimiento de la vegetación en el hemisferio norte. Esto se observa en las Figuras 4.1 y 4.2, que muestran las mediciones continuas de CO2 de las estaciones VAG Ushuaia y Marambio, respectivamente, durante el 2021. A lo largo del año se advirtió un crecimiento gradual de la concentración media del CO2, llegando a valores de 413 ppm en septiembre en Ushuaia y Marambio. En ambas estaciones se alcanzaron los 412 ppm en el mes de julio, una concentración menor a la media global de 413 ppm, registrada por la NOAA a través de su programa Global Monitoring Division of NOAA/Earth System Research Laboratory.

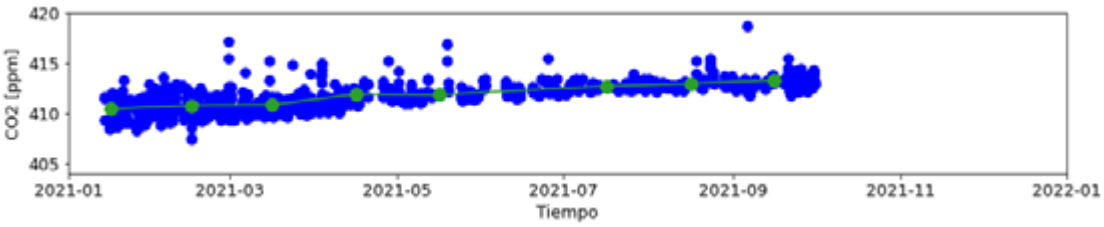


Figura 4.1. | Mediciones continuas de las fracciones molares de CO2 registradas en la estación VAG Ushuaia durante el año 2021. Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.

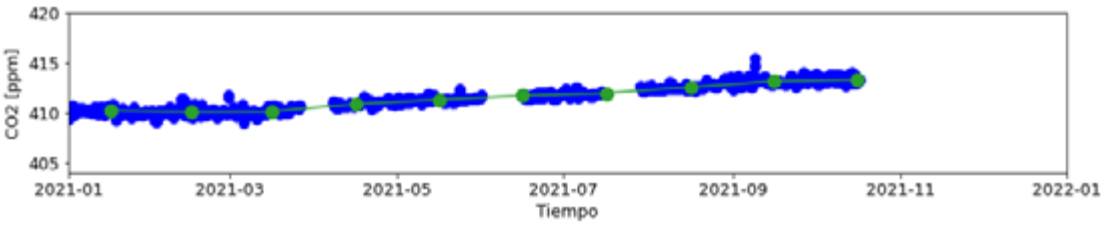


Figura 4.2. | Mediciones continuas de las fracciones molares de CO2 registradas en la estación Marambio, por el Instituto Meteorológico Finlandés (FMI), durante el año 2021. Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.

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 hace que el CH4 sea el segundo GEI de origen antropogénico en importancia. 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 su mezcla a nivel global. Los principales emisores de CH4 son las actividades agropecuarias y, de manera natural, los pantanos y humedales. En zonas del Ártico y la Antártida el proceso de deshielo produce la liberación de gran cantidad de CH4 a la atmósfera. En el hemisferio sur, los ciclos estacionales de concentración de CH4 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). En la primera estación se alcanzaron medias mensuales de 1860 ppb y en la segunda, de 1858 ppb. Según el programa Global Monitoring Division of NOAA/Earth System Research Laboratory, el promedio global de CH4 para junio de 2021 fue de 1888 ppb mientras que en Ushuaia y Marambio se registró una concentración media de 1848 ppb y 1851 ppb, respectivamente, para el mes de julio.

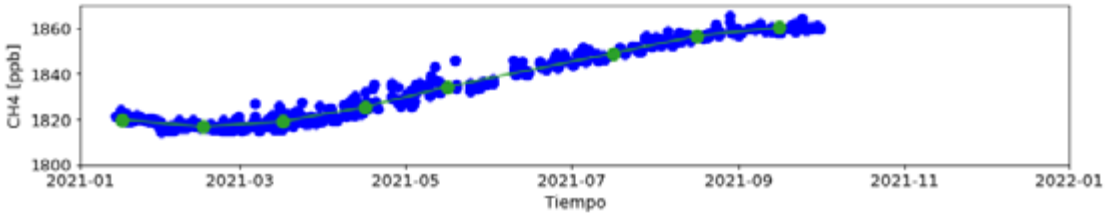


Figura 4.3. | Mediciones continuas de las fracciones molares de CH4 registradas en la estación VAG Ushuaia durante el año 2021. Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.

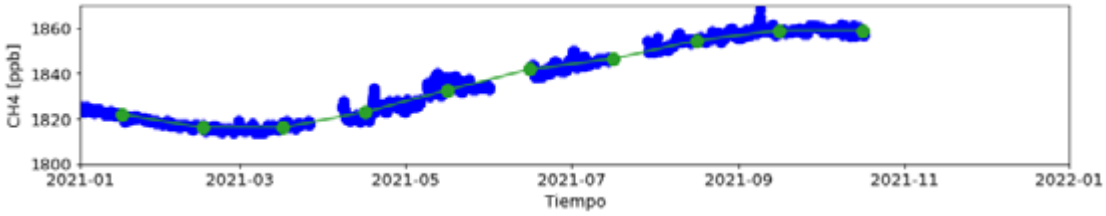


Figura 4.4. | Mediciones continuas de las fracciones molares de CH4 registradas en la estación Marambio, por el Instituto Meteorológico Finlandés (FMI), durante el año 2021. Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.

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, mientras que el aporte antropogénico lo realiza la combustión incompleta de los combustibles fósiles. Durante el 2021 las concentraciones de CO en Ushuaia alcanzaron un valor mínimo de 37 ppb en el mes de abril y un máximo de 56 ppb en septiembre (Figura 4.5).

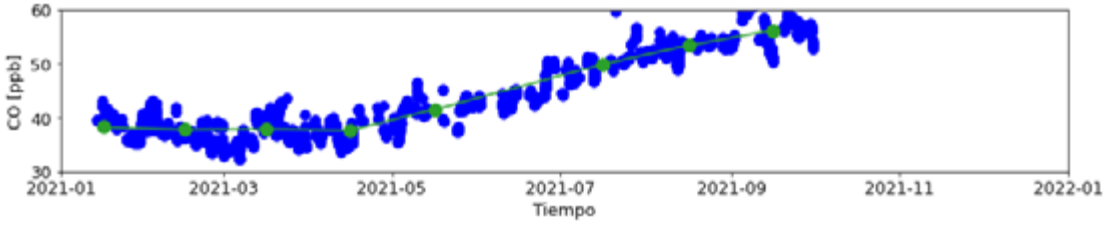


Figura 4.5. | Mediciones continuas de las fracciones molares de CO registradas en la estación VAG Ushuaia durante el año 2021. Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.

4.4 Ozono (O3) superficial

El ozono (O3) superficial es una sustancia oxidante que no se emite directamente a la atmósfera, sino que se produce a partir de reacciones con el dióxido de nitrógeno (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. Durante el otoño e invierno, dominan los procesos de transporte de ozono, y la disminución de la luz solar poco a poco deja de ser un factor en el proceso de destrucción. Al iniciar la primavera, los procesos radiativos se hacen presentes con la aparición del sol y generan las reacciones fotoquímicas que producen la destrucción del gas. Esto se observa en Ushuaia (Figura 4.7) y Marambio (Figura 4.8), donde se presentan concentraciones promedio mínimas en enero y máximas en agosto, con valores de 13 ppb y 32 ppb para Ushuaia, y de 12 ppb y 30 ppb para Marambio.

Las variaciones observadas durante la primavera en los registros de Marambio están caracterizadas por pérdidas repentinas y considerables de ozono en la capa límite polar. Este fenómeno se ha observado y reportado principalmente en zonas costeras de la Antártida (Wessel y otros, 1998). Dicha pérdida de O3 superficial está asociada a la presencia de bromo.

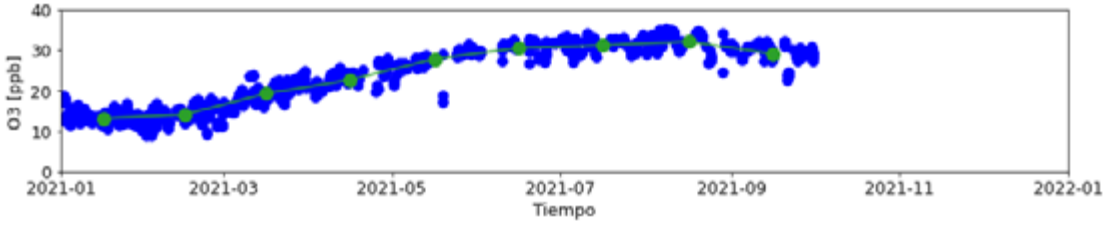


Figura 4.6. | Mediciones continuas de las fracciones molares de O3 superficial registradas en la estación VAG Ushuaia durante el año 2021. Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.

Figura 4.7. | Mediciones continuas de las fracciones molares de O3 superficial registradas en la estación Marambio durante el año 2021. 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, este aerosol puede tener importantes impactos directos e indirectos en el clima, la criosfera, la agricultura y la salud humana. Cuando se deposita sobre hielo y nieve se favorece su derretimiento, es por ello que las regiones polares y glaciares son particularmente vulnerables a este tipo de aerosol. En la Figura 4.8 se muestran las concentraciones de BC en 880 nm en Ushuaia. El 75% de los datos de cada mes están por debajo de los 100 µg/m^3, siendo concentraciones muy bajas relacionadas a la zona de medición y a sus condiciones de fondo, y mostrando nula variabilidad estacional.

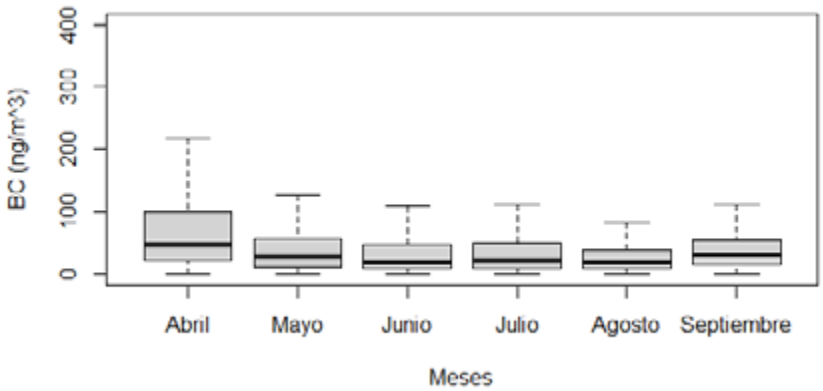


Figura 4.8. | Concentración de BC en 880 nm registradas en la estación VAG Ushuaia durante el año 2021.

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 en la Argentina

La capa de ozono en la estratosfera actúa como un filtro de la radiación ultravioleta (UV). Su función es vital porque 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, originando el agujero de ozono, debido principalmente a la presencia de sustancias como los clorofluorocarbonos (CFC's). La disociación fotolítica de los CFC's 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 estratosfera 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).

En la Argentina existen cinco espectrofotómetros Dobson que miden las cantidades de ozono total, es decir 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 de 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).

Desde enero a septiembre de 2021 los valores de ozono en La Quiaca estuvieron por encima del promedio del período 2014-2020 (Figura 5.1 a). Se destacaron los meses de abril, mayo y julio, cuyas mediciones superaron los máximos anteriores. Esto podría deberse a la presencia de parcelas de aire en la estratósfera ricas en ozono y a un alto transporte de ozono estratosférico sobre la estación.

El Observatorio Central Buenos Aires tiene la segunda serie más larga de observaciones de ozono de Sudamérica. En lo que va del año, los valores oscilaron alrededor de la media del período 1977-2020 (Figura 5.1 b). Los meses de febrero, marzo, junio, agosto y septiembre presentaron valores por encima del promedio, con desvíos de entre +1 UD y +11 UD, mientras que 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.

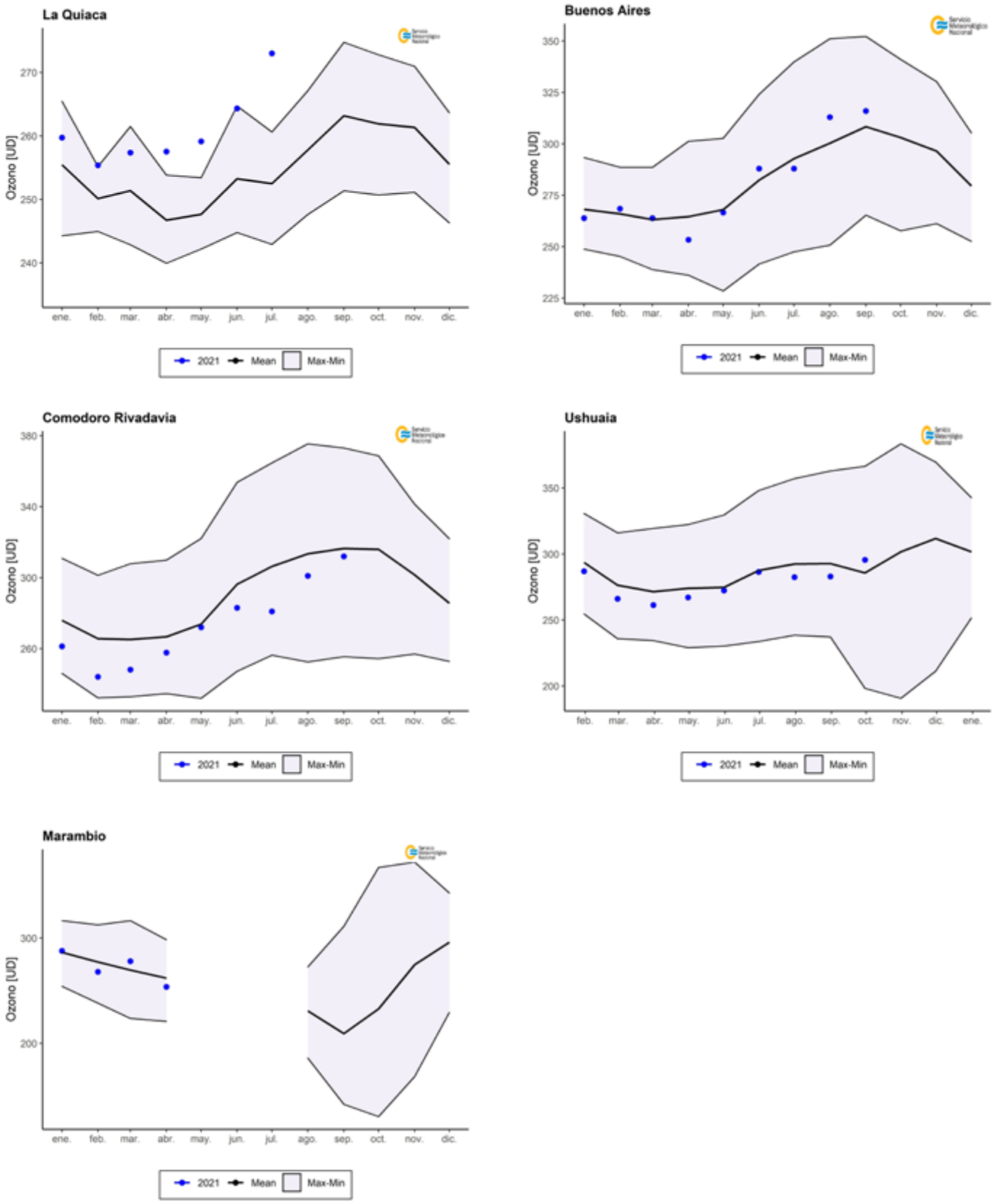
En Comodoro Rivadavia, la evolución de la capa de ozono se caracterizó por presentar valores por debajo de su media histórica (1996-2020), indicando un año con parcelas estratosféricas muy pobres de ozono respecto a su normalidad (Figura 5.1 c). Los meses de febrero y julio registraron las mayores anomalías, de -23 UD y -26 UD, respectivamente.

En la estación de Ushuaia predominaron las anomalías negativas de ozono total. Septiembre fue el único mes con desvíos positivos respecto a sus promedios históricos (1994-2020), coincidente con la plena formación del agujero de ozono (Figura 5.1 d).

Las mediciones en Marambio para los primeros cuatro meses del año presentaron valores cercanos a la media histórica del período 1987-2020 (Figura 5.1 e).

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

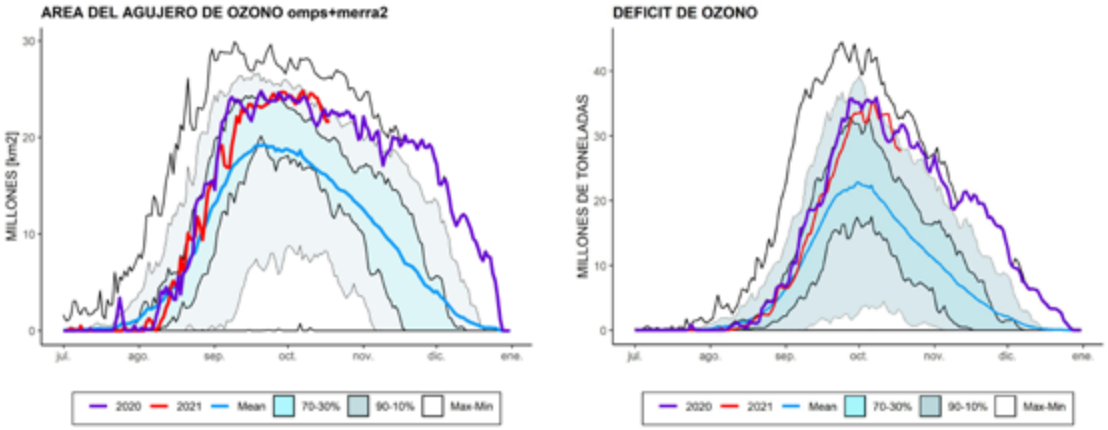
Figura 5.1.| Evolución media mensual de ozono total (en UD) en el Observatorio La Quiaca, Buenos Aires, Comodoro Rivadavia, Ushuaia y Marambio, entre enero y septiembre de 2021 (puntos azules)· La línea negra gruesa denota el valor medio mensual histórico y las líneas negras finas, los máximos y mínimos mensuales históricos.



5.2 El agujero de ozono

A lo largo de septiembre, el agujero de ozono se desarrolla y crece, alcanzando, en ocasiones, su máximo. En el año 2021, el inicio y la evolución del agujero de ozono fueron muy parecidos a los del 2020 (Figura 5.2), año con uno de los agujeros más profundos y persistentes registrados desde 1979 (Carbajal y otros, 2020). El máximo en septiembre de 2021 fue de 24.7 millones de km2. El déficit de ozono también resultó muy comparable con el del año pasado. 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. 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 5.2. | Evolución del área del agujero de ozono (izq.) y del déficit de masa de ozono (der.) para el año 2020 y 2021, en líneas violeta y roja, respectivamente. La línea celeste representa la media del período 1979-2019. 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 1979-2019. Fuente: NASA.



5.3 Índice solar ultravioleta

La radiación solar que alcanza la superficie comprende longitudes de onda que pertenecen al espectro infrarrojo, visible y UV. Si bien el porcentaje de radiación UV incidente es mucho menor que el de las restantes longitudes de onda, su capacidad de influir en cuestiones biológicas lo vuelve tan importante como los 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.

El índice UV o UVI (por sus siglas en inglés) es una medida de la intensidad de la radiación UV en la superficie de la Tierra que es relevante para los efectos sobre la piel humana. Presenta una escala numérica, de colores y riesgo estandarizadas por la Organización Mundial de la Salud en el año 2002 (OMS, 2002), que se muestra en la Figura 5.3.

Figura 5.3. | Escala de categorías para los distintos índices UV.
Fuente: **https://www.who.int/uv/publications/en/UVIGuide.pdf**.

CATERGORÍA 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 +

A continuación se presenta la evolución del índice UV en Buenos Aires, Mendoza, Ushuaia y Marambio, 4 de las 11 estaciones del SMN que monitorean los niveles de radiación solar. En Nollas y otros (2019) se detalla las características del instrumental utilizado en cada sitio. Como los niveles de intensidad de radiación UV que alcanzan la superficie dependen de múltiples parámetros (ozono, nubosidad, altura sobre el nivel del mar, época del año, aerosoles, entre otros), es esperable distintos comportamientos en las diferentes regiones del país.

La Figura 5.4 muestra la evolución de los promedios mensuales de índice UV máximo diario en las cuatro estaciones. Hasta septiembre de 2021 se observó que los promedios fueron relativamente cercanos a los históricos en Buenos Aires y Ushuaia. No ocurrió lo mismo en Mendoza, donde los valores estuvieron levemente por encima de la media histórica. Por último, en Marambio los índices fueron menores a los valores mensuales de referencia, registrando incluso un valor muy bajo en enero. El período histórico considerado para cada sitio de observación se indica en la Tabla 5.1.

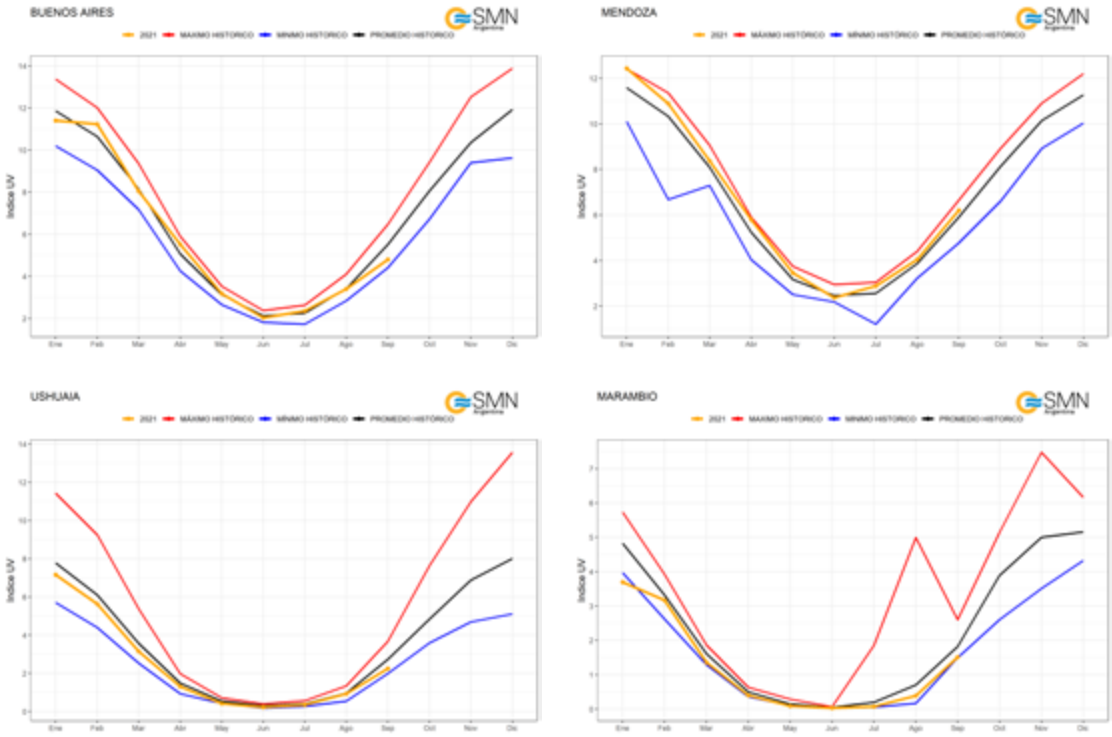


Figura 5.4. | Evolución de los promedios mensuales de índice UV máximo diario junto con los valores históricos para Buenos Aires, Mendoza, Ushuaia y Marambio.

Tabla 5.1. | Años de medición utilizados para calcular los promedios mensuales históricos.

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

En la Figura 5.5 se presentan los valores máximos diarios del índice UV en Buenos Aires y Ushuaia. Se observa un comportamiento estacional, con máximos en el verano austral. Asimismo, los valores del índice UV máximo diario disminuyen tanto en verano como en invierno a medida que la latitud del sitio se aleja del Ecuador.

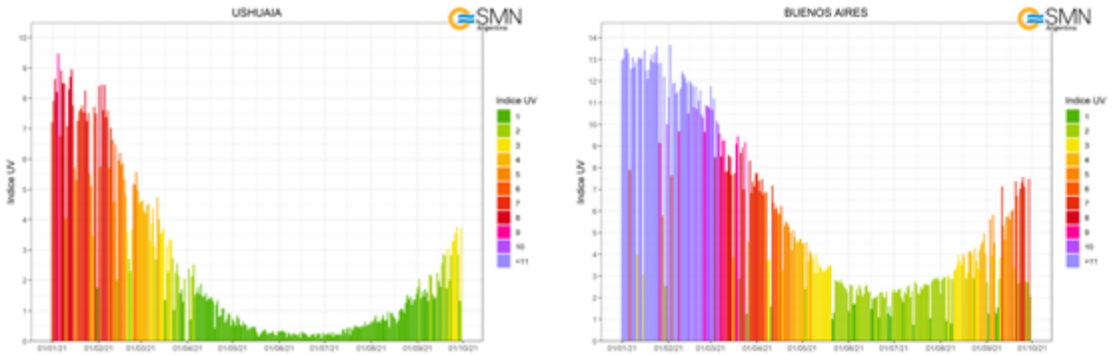


Figura 5.5. | Evolución del índice UV máximo diario para Buenos Aires (arriba) y Ushuaia (abajo), entre enero y septiembre de 2021.

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 E., 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.

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

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

Organización Mundial de la Salud, 2002. Global Solar UV Index: A Practical Guide 2002. https://www.who.int/uv/publications/en/UVIGuide.pdf.

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

SMN | REPORTE PRELIMINAR

ESTADO DEL CLIMA EN ARGENTINA 2021

Servicio Meteorológico Nacional
Argentina

Ministerio de Defensa
Argentina