

SMN | REPORTE

ESTADO DEL CLIMA EN ARGENTINA 2020



Foto de Confederaciones Rurales
Argentinas (CRA) | Fuertes nevadas
en la región sur y andina de Río
Negro | Julio del 2020.

Editores

María de los Milagros Skansi
Ramón de Elía

Autores

Ramón de Elía

Norma Garay
Karina Flores
María Sol Rossi Lopardo
María de los Milagros Skansi
José Luis Stella
Hernán Veiga

Laura Aldeco
Diana Dominguez
Alejandro Godoy

Elja Asmi
Giselle Marincovich
María Elena Barlasina
Lino Condori
Gerardo Carbajal

Gerardo Carbajal
Fernando Nollas

Revisores

María Mercedes Poggi
María Eugenia Bontempi

Diseño Editorial

Guadalupe Cruz Díaz

ÍNDICE

Sección 1 INTRODUCCIÓN	4
Sección 2 TEMPERATURAS, PRECIPITACIONES Y EVENTOS EXTREMOS	
2.1 Temperatura a nivel país	7
2.2 Precipitación a nivel país	9
2.3 Principales anomalías climáticas	10
2.3.1 Temperatura estacional	10
2.3.2 Precipitación estacional	14
2.4 Eventos extremos	19
2.4.1 Eventos destacados	19
2.4.2 Olas de calor	20
2.4.3 Olas de frío y nevadas	20
2.4.4 Sequía	22
2.4.5 Temperatura en Antártida	24
Sección 3 FORZANTES DESTACADOS DE ESCALA ESTACIONAL Y SUB-ESTACIONAL	
3.1 Resumen del estado de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS)	27
3.2 Resumen del estado del Dipolo del Océano Índico (DOI)	28
3.3 Resumen del estado de la Oscilación Antártica o Modo Anular Austral (SAM, AAO)	28
3.4 Resumen del estado de la Oscilación de Madden-Julian (MJO)	29
Sección 4 GASES DE EFECTO INVERNADERO, REACTIVOS Y AEROSOLES	
4.1 Introducción	31
4.2 Métodos	32
4.3 Dióxido de carbono (CO ₂)	32
4.4 Metano (CH ₄)	33
4.5 Monóxido de carbono (CO)	34
4.6 Ozono (O ₃) superficial	34
4.7 Aerosoles	35
4.8 Eventos especiales 2020: el impacto de la pandemia COVID-19	36
Sección 5 MONITOREO DE RADIACIÓN SOLAR ULTRAVIOLETA Y DE LA CAPA DE OZONO	
5.1 Radiación solar ultravioleta	40
5.2 Monitoreo del índice UV durante 2020	41
5.3 Ozono	43
5.4 Método	43
5.5 Monitoreo de la capa de ozono durante 2020	43
5.5.1 Observatorio La Quiaca	43
5.5.2 Observatorio Central Buenos Aires	44
5.5.3 Comodoro Rivadavia	45
5.5.4 VAG Ushuaia	46
5.5.5 Marambio	48

Resumen

El presente informe realiza una evaluación de las condiciones climáticas que afectaron a la Argentina durante el año 2020. Se observa que, como ocurre a nivel global, la temperatura media del país sigue su tendencia ascendente iniciada hace unas décadas, con el 2020 siendo el segundo año más cálido desde 1961. Entre los récords de altas temperaturas, se destacan los registrados en las bases argentinas en Antártida durante febrero. En agosto, se registró en Formosa un récord invernal de 39.6°C. La tendencia ascendente de la temperatura anual en el país no excluye que se sigan experimentando temporadas o picos de fríos inusuales o extremos como, por ejemplo, durante el invierno en Perito Moreno (con -20° registrados) y en la Antártida. Con respecto a las precipitaciones, el 2020 estuvo marcado por una sostenida y amplia sequía, resultando el quinto año más seco de los últimos 50. El último cuatrimestre del 2020 estuvo modulado por el desarrollo del fenómeno La Niña que continuó durante los primeros meses de 2021.

La pandemia que afectó a la humanidad durante 2020 también dejó sus efectos en el medioambiente, a través de las restricciones a actividades y movimientos de la población. Las mediciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de ciertas variables –especialmente aquellas relacionadas con la contaminación provocada por el tránsito de vehículos – muestran la huella de la pandemia a través de una baja significativa, sobre todo durante la Fase 1 del confinamiento. Con respecto a la radiación ultravioleta, el año resultó con características muy cercanas al promedio, aunque se vivieron días donde la extensión del agujero de ozono llegó a mínimos históricos en Ushuaia y la península Antártica.

Sección | 1

INTRODUCCIÓN

1. Introducción

Este informe sobre el estado del clima en Argentina durante 2020 tiene por objetivo resumir los principales comportamientos del clima durante el año. Este documento aparece casi simultáneamente pero con posterioridad al informe sobre el estado global del clima (ver State of the Global Climate 2020, OMM 2021), de tal manera de aprovechar sus resultados y, al mismo tiempo, tener una visión a nivel país.

El contenido de este reporte se concentra en aquella información que pueda ser de interés para quienes deseen evaluar cómo la evolución de factores meteorológicos ha podido afectarlos durante 2020, tanto desde el punto de vista de la producción industrial, como agropecuaria, de seguridad civil, etc.

Siendo el año 2020 muy particular en el aspecto sanitario y de crisis económico-social asociada a la pandemia del COVID-19, también se presenta información sobre su impacto medioambiental en lo que respecta a las variables observadas por nuestra institución.

La información aquí presentada tiene claramente como contexto el clima global relevado en el mencionado reporte de la OMM. De este, cabe destacar que el año 2020 resultó uno de los tres más calientes nunca antes registrados (ver Figura 1.1), –además de ser 2011-2020 la década más caliente registrada–, evidenciando la tendencia del incremento de la temperatura media global atribuida a las emisiones de gases de efecto invernadero.

Figura 1.1. | Evolución de la temperatura media anual global desde 1850 hasta 2020, calculadas con diferentes bases de datos. Los valores ilustrados son desvíos con respecto al periodo preindustrial (1859-1900). (Tomado de OMM, 2021).

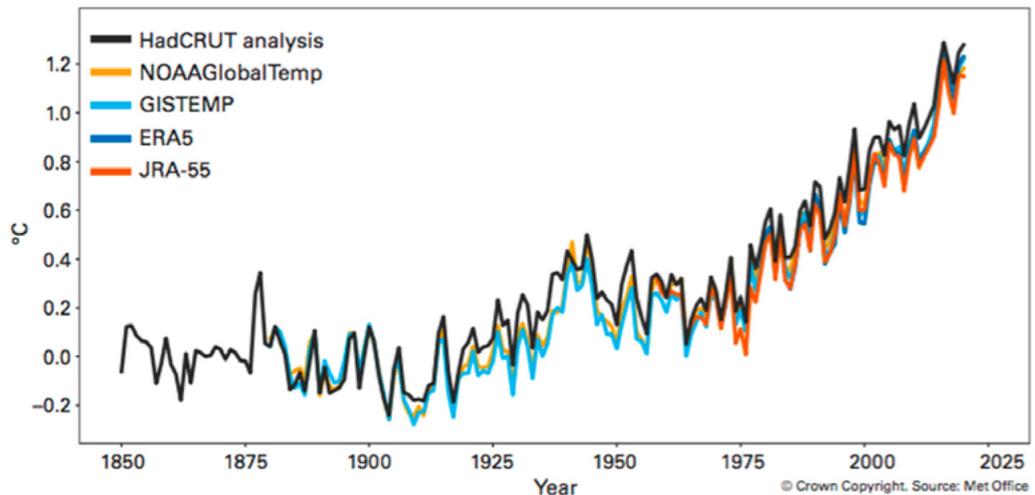
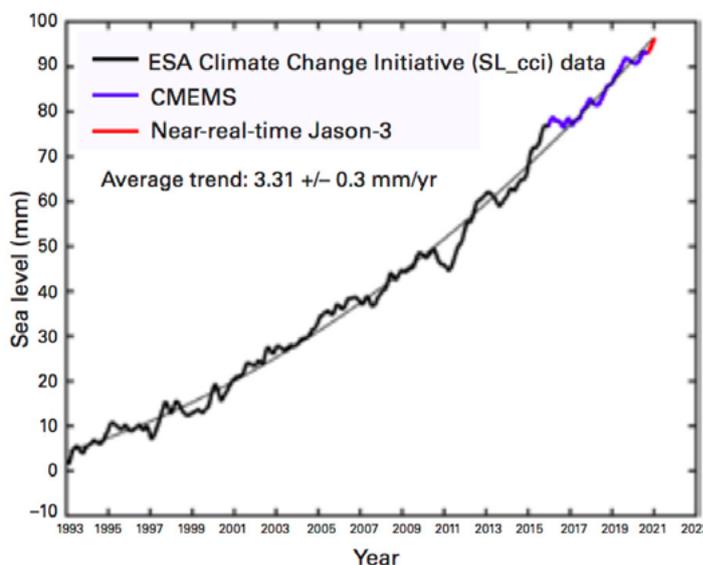


Figura 1.2. Altura del nivel del mar medida desde 1993 hasta el presente con altímetros satelitales. (Tomado de OMM 2021).



Acompañado con este aumento de temperatura global, se observa también un aumento general del nivel del mar (Figura 1.2), aunque el comienzo del año 2020 parece registrar una pequeña caída que es atribuida al fenómeno de La Niña, la cual se confirmó en el último cuatrimestre del año.

Por otro lado, las restricciones a las actividades asociadas a la pandemia del COVID-19 tuvieron un efecto poco marcado en lo que respecta a la acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera, que continuó creciendo. Esto no implica que en algunos países la baja de emisiones de este gas no haya sido notable durante el período más marcado de las restricciones al movimiento, como se verá más adelante.

El reporte consta de 5 capítulos. En el capítulo 2 se presenta en abundante detalle la evolución, durante el año y en todo el país, de la temperatura y la precipitación, poniendo énfasis tanto en los valores medios como en los extremos. Cabe destacar de este capítulo una sección sobre la temperatura de la Antártida, donde en este año se registraron algunos récords tanto de altas como de bajas temperaturas.

En el capítulo 3 se presenta un resumen 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 discuten las observaciones relacionadas con las concentraciones de gases de efecto invernadero, gases reactivos y partículas de aerosol. En general, estas observaciones no registran variaciones llamativas, pero este año fueron altamente marcadas por el impacto de las restricciones a las actividades debido a la pandemia del COVID-19.

En el capítulo 5 se presentan las observaciones de radiación ultravioleta y la evolución del agujero de ozono, importantes particularmente por sus implicaciones sanitarias en lo que respecta a enfermedades de la piel.

Sección | 2

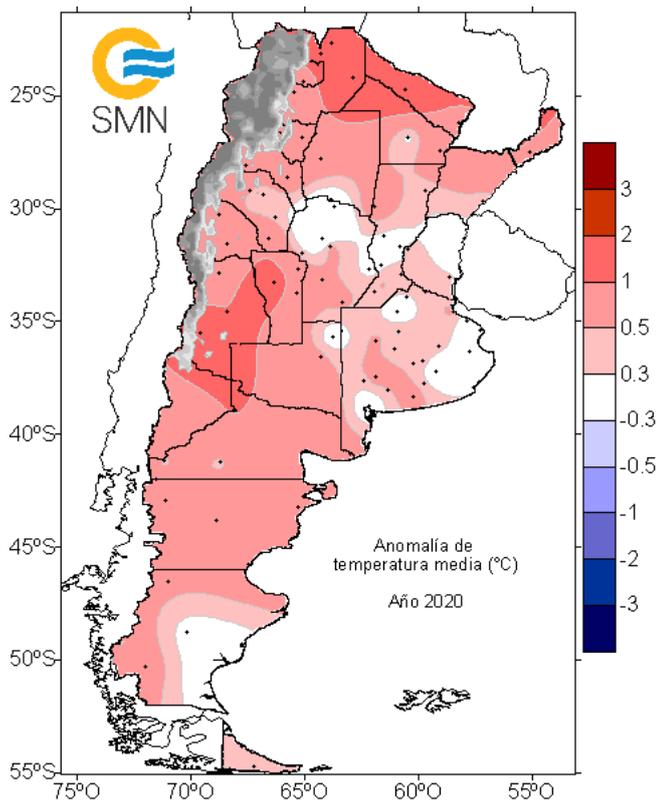
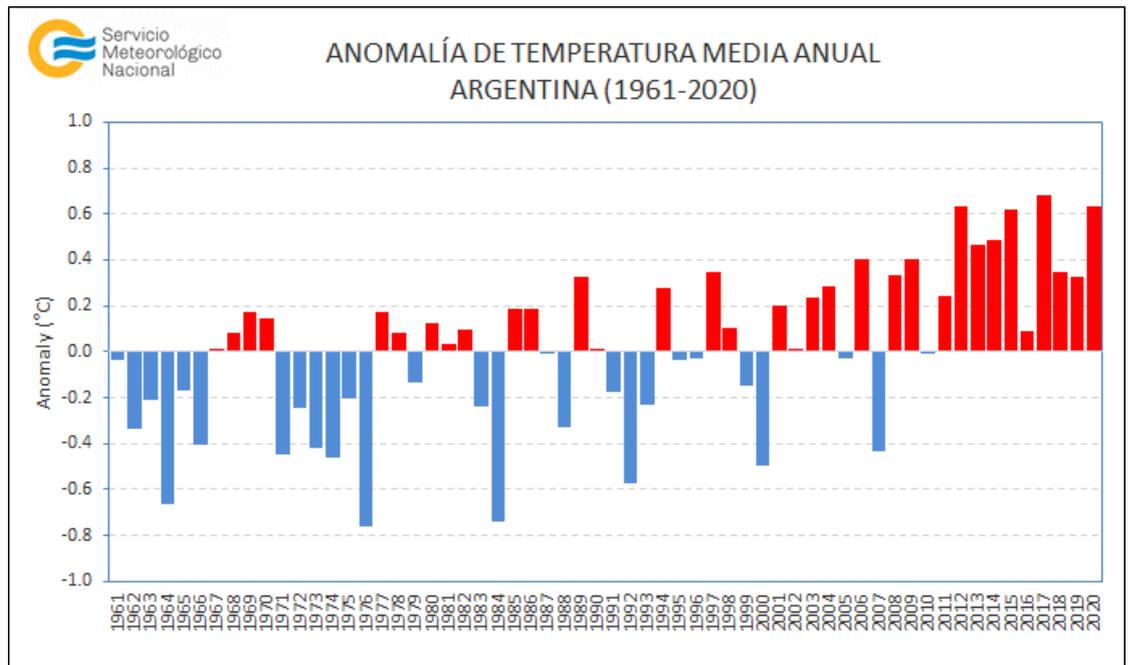
TEMPERATURAS, PRECIPITACIONES Y EVENTOS EXTREMOS

2.1 Temperatura a nivel país

De acuerdo a los datos oficiales, la anomalía de temperatura media estimada a nivel país para el año 2020 fue de +0.63°C con respecto al período climatológico de referencia 1981-2010. Este valor ubicó al 2020 como el segundo año más cálido desde 1961 (Figura 2.1). Cabe remarcar que todos los años de esta última década registraron, a nivel país, anomalías positivas de temperatura, reforzando la tendencia significativa de este aumento térmico a nivel nacional. Además, la década 2011-2020 se ubica como la más cálida para Argentina desde que se tienen registros.

Durante el año 2020 la mayor parte del país registró temperaturas por encima del valor normal. La región de Cuyo y parte del norte del país presentaron las principales anomalías positivas de temperatura media (entre +1°C y +2°C) (Figura 2.2). De acuerdo al análisis mensual, marzo fue el mes que registró los desvíos positivos más signi-

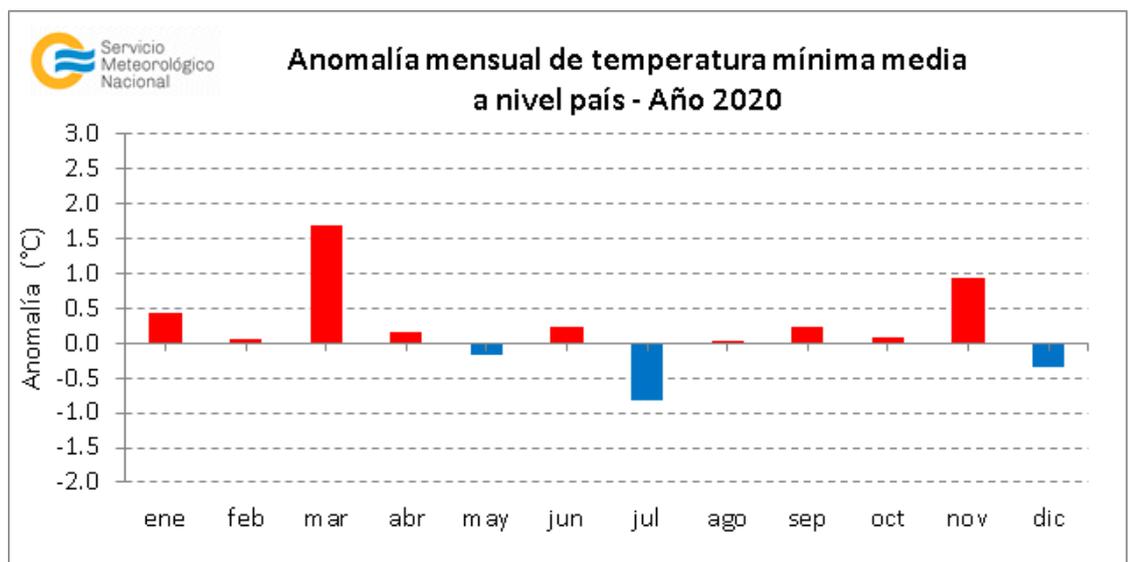
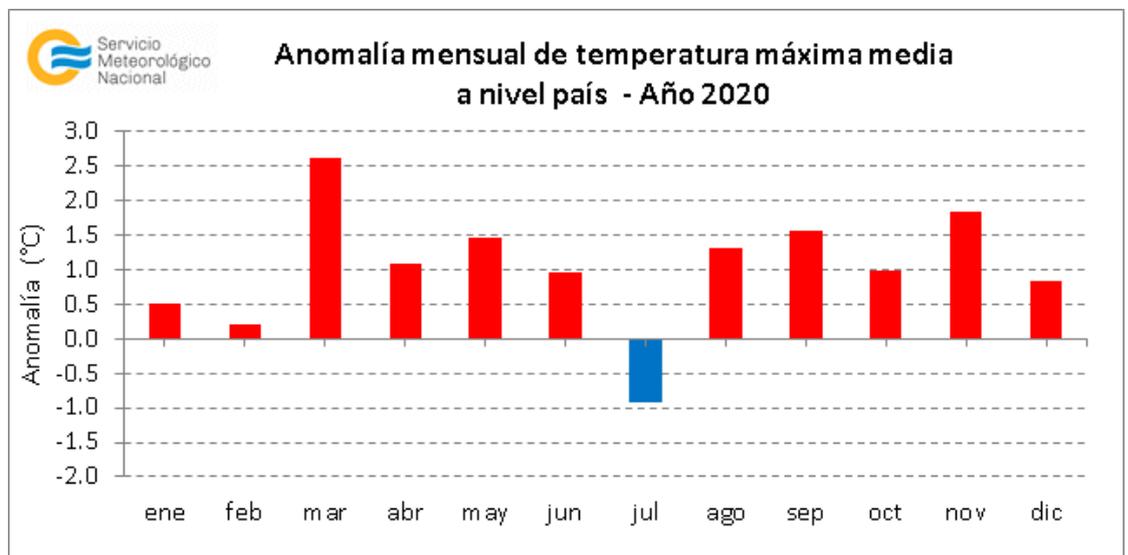
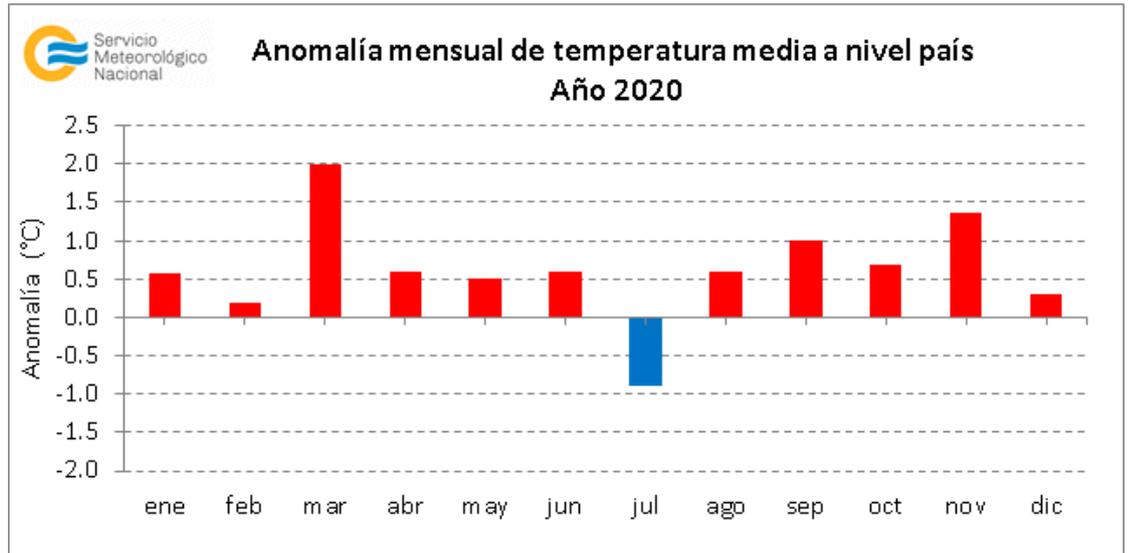
Figura 2.1. | Anomalías de la temperatura media anual en la Argentina con respecto al período climatológico de referencia 1981-2010.



ficativos, siendo el marzo más cálido en 60 años a nivel país y superando récords históricos en varias localidades. Por otro lado, el mes de julio fue el único en registrar condiciones anómalamente frías en gran parte de Argentina (Figura 2.3, panel superior). 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 (Figura 2.3, paneles central e inferior).

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). Temperatura media (panel superior), temperatura máxima media (panel central), y temperatura mínima media (panel inferior).



2.2 Precipitación a nivel país

De acuerdo a los datos observados entre enero y diciembre de 2020, Argentina registró un año seco con un desvío estimado a nivel país de -16.7%, ubicando al año 2020 como el quinto año más seco de toda la serie y el más seco desde 1995 (Figura 2.4). La mayor parte del territorio, al norte de 35°S y gran parte de Patagonia, presentó lluvias inferiores a la normal. Sobre el centro del país y algunas áreas aisladas de Patagonia, las lluvias acumuladas se ubicaron dentro del rango normal o levemente superiores al mismo (Figura 2.5).

A nivel mensual, hubo un notorio predominio de lluvias por debajo de las normales; sólo los meses de enero y julio se caracterizaron por ser algo más lluviosos. A partir del mes de marzo, las condiciones de sequía comenzaron a afectar a gran parte de las provincias del centro y norte del país, extendiéndose a lo largo de los meses y caracterizando al año 2020 entre los históricamente más secos (Figura 2.6).

Figura 2.4. | Anomalías de la precipitación anual en la Argentina con respecto al período climatológico de referencia 1981-2010.

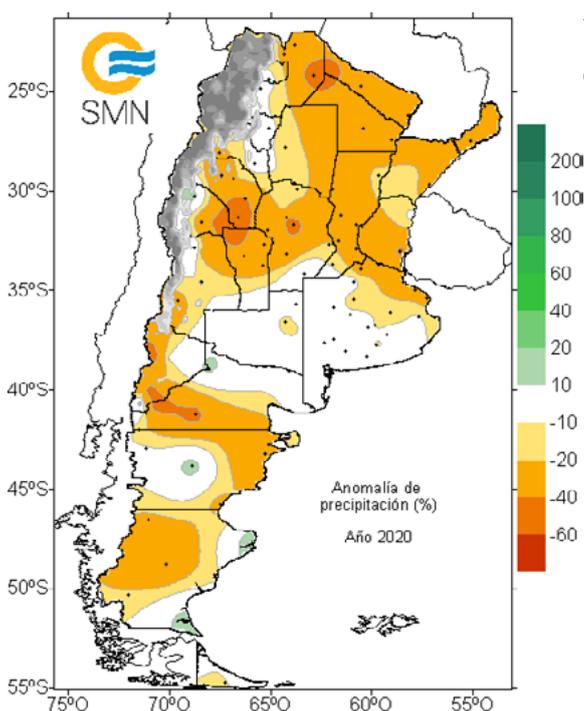
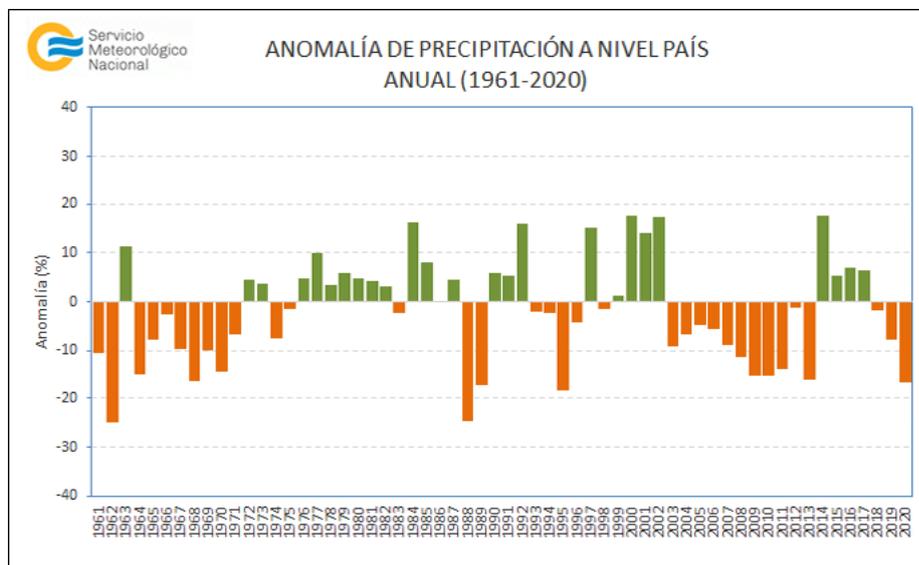


Figura 2.5. | Desvío porcentual de la precipitación con respecto al valor medio 1981-2010 (%).

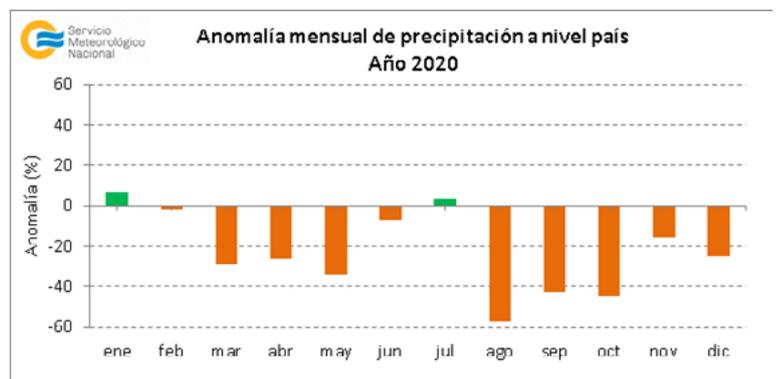


Figura 2.6. | Anomalías mensuales de precipitación en la Argentina durante el año 2020.

2.3 Principales anomalías climáticas

2.3.1 TEMPERATURA ESTACIONAL

El verano (diciembre-enero-febrero) 2019-2020 fue cálido sobre las provincias del oeste del país. Olas de calor intensas afectaron a las provincias de Mendoza y San Luis. La porción este y sur de Argentina experimentaron condiciones próximas a lo normal con variaciones a lo largo del trimestre, que contribuyeron a que se combinen períodos anómalamente fríos y cálidos. Dentro del trimestre, el mes más anómalamente cálido fue enero, siendo la temperatura máxima la que presentó los mayores desvíos (Figura 2.7). Las anomalías negativas se vieron mayormente reflejadas en la temperatura mínima media, con valores que no superaron -1.5°C , ubicándose en el Litoral y la provincia de Buenos Aires. También se observó que las anomalías negativas del mes de enero fueron las que pesaron más en el trimestre en dicha zona (Figura 2.8).

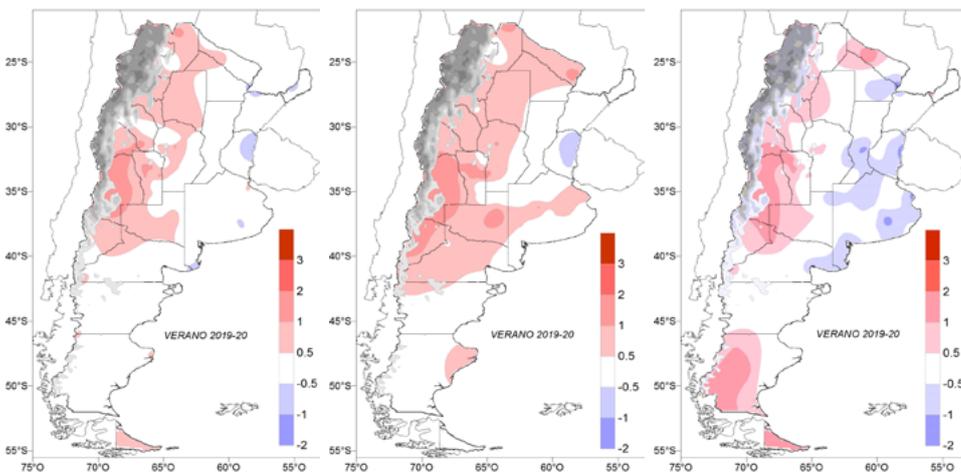


Figura 2.7. | Desvíos de la temperatura media, máxima y mínima media para el verano con respecto al valor medio 1981-2010 ($^{\circ}\text{C}$).

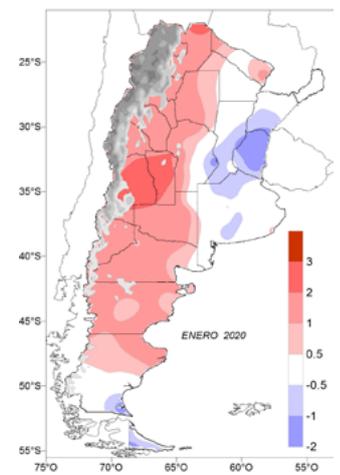


Figura 2.8. | Desvíos de la temperatura máxima media de enero con respecto al valor medio 1981-2010 ($^{\circ}\text{C}$).

El otoño (marzo-abril-mayo) se presentó extremadamente cálido sobre todo el territorio. Las provincias del oeste y sur registraron uno de los otoños más cálidos desde 1961. Ambos anticiclones semipermanentes (Pacífico y Atlántico) estuvieron debilitados durante este trimestre, favoreciendo un patrón anticiclónico de bloqueo sobre el continente que no permitió el normal pasaje de frentes fríos sobre la región, por lo que días soleados y templados predominaron en este otoño. Las temperaturas máximas estuvieron por encima de los valores medios, en tanto que las mínimas fueron más frías en el norte y centro del país asociado a la muy poca nubosidad y a la falta de lluvias (Figura 2.9).

Figura 2.9. | Desvíos de la temperatura media, máxima y mínima media para el otoño con respecto al valor medio 1981-2010 ($^{\circ}\text{C}$).

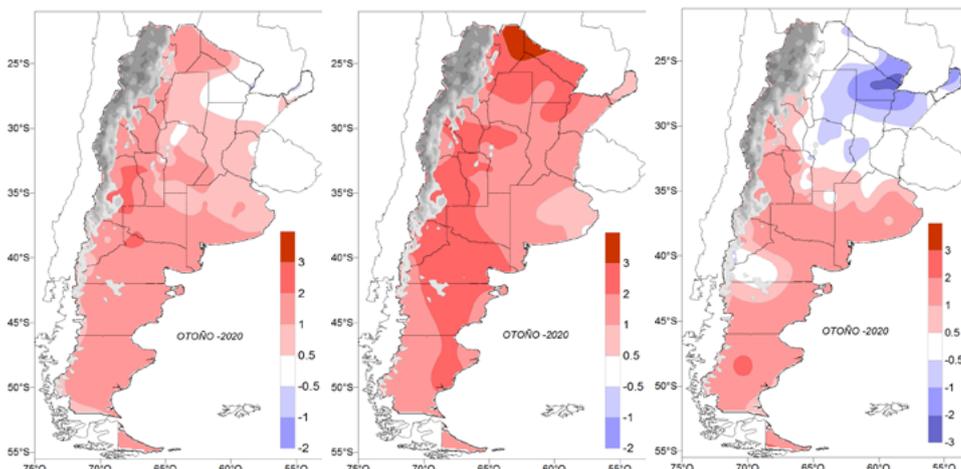
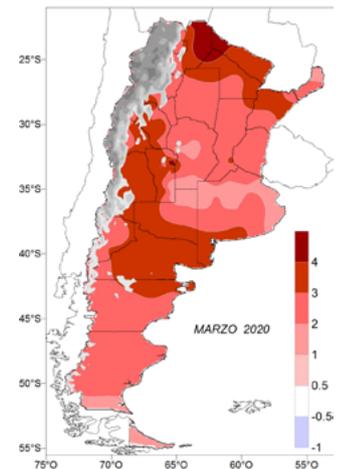


Figura 2.10 | Desvíos de la temperatura máxima media de marzo con respecto al valor medio 1981-2010 ($^{\circ}\text{C}$).



El mes de marzo resultó extremadamente cálido sobre todo el país. La anomalía de temperatura media a nivel país fue de +2.0°C, rompiendo el récord anterior de marzo de 1980 (+1.8°C). Una ola de calor tardía tuvo lugar durante la primera quincena de marzo, afectando a parte del centro y norte argentino. Las anomalías de la temperatura máxima media alcanzaron valores superiores a +3°C (Figura 2.10). Cabe remarcar que en varias localidades se batieron récords en la temperatura media y la temperatura máxima absoluta, como se detalla en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Valores récords durante el otoño para distintas localidades. El asterisco (*) indica la existencia de interrupciones en el período de observación mencionado.

	LOCALIDAD	TEMPERATURA (°C)	RÉCORD ANTERIOR (°C)	PERÍODO
MEDIA	Río Colorado	17.1	16.7 (2015)	1961-2019 (*)
	Neuquén	15.9	15.4 (2009)	1961-2019
	Comodoro Rivadavia	14.8	14.3 (2009)	1961-2019
	Paso De Indios	13.0	12.7 (1982)	1971-2019 (*)
	San Julián	11.1	11.0 (1982)	1961-2019
	Gobernador Gregores	10.7	10.1 (2013)	1961-2019 (*)
	Ushuaia	7.6	7.4 (1998)	1961-2019
	Río Grande	6.7	6.6 (2013)	1961-2019
MÁXIMA MEDIA	Las Lomitas	31.8	31.6 (2009)	1961-2019
	Chilecito	27.8	27.2 (1997)	1961-2019
	San Luis	25.8	25.7 (1997)	1961-2019
	Neuquén	24.4	24.0 (2009)	1961-2019
	San Antonio Oeste	23.8	23.4 (2009)	1961-2019
	Comodoro Rivadavia	20.5	20.0 (1996)	1961-2019
	Paso De Indios	19.7	19.3 (1982)	1971-2019 (*)
	San Julián	17.6	16.9 (2013)	1961-2019
	Bariloche	16.8	16.6 (2015)	1961-2019
	Esquel	16.2	16.1 (1982)	1961-2019
	Perito Moreno	15.4	15.2 (2019)	1983-2019
	Río Gallegos	14.7	14.5 (1982)	1961-2019
	El Calafate	14.1	13.6 (2019)	1961-2019
MÍNIMA MEDIA	San Rafael	10.3	10.2 (2015)	1961-2019
	Comodoro Rivadavia	9.9	9.5 (1962)	1961-2019
	Gobernador Gregores	5.8	5.5 (2019)	1961-2019 (*)
	Ushuaia	5.1	4.7 (1998)	1961-2019

El invierno (junio-julio-agosto) presentó, en promedio, temperaturas cercanas a lo normal en gran parte del país, excepto sobre el extremo norte y extremo sur, que fueron más cálidas y más frías que lo normal, respectivamente. La variabilidad a lo largo de los meses fue predominante durante esta estación, por lo que se observaron períodos extremadamente fríos y cálidos (Figura 2.11). La última semana de junio y el mes de julio fueron anómalamente fríos sobre el sur de Argentina, registrándose olas de frío extremas que afectaron a varias localidades (Figura 2.12). Las temperaturas descendieron hasta los -20°C. Por otro lado, temperaturas extremadamente altas se observaron en varias oportunidades sobre el norte del país a mediados de junio, mediados de julio y agosto. La temperatura diaria más alta (39.6°C) se registró en Formosa durante el 29 de agosto. En el trimestre se superaron récords históricos de calor en dos localidades (ver Tabla 2.2).

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

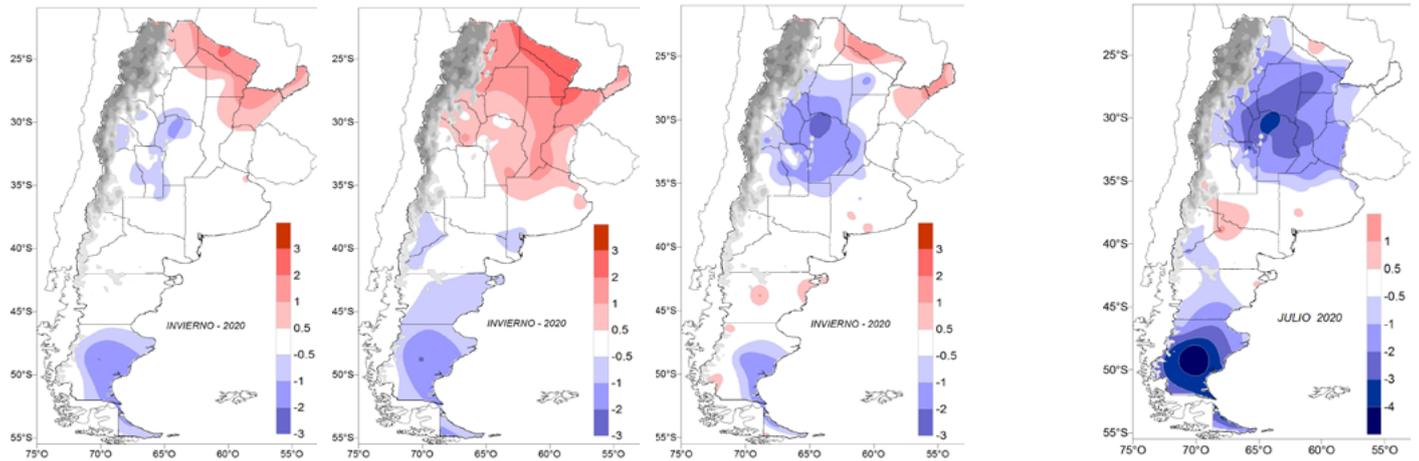


Figura 2.12. | Desvíos de la temperatura mínima media de julio con respecto al valor medio 1981-2010 (°C)

Tabla 2.2 | Valores récords de temperatura durante el invierno 2020.

	LOCALIDAD	TEMPERATURA (°C)	RÉCORD ANTERIOR (°C)	PERÍODO
Media	La Quiaca	6.7	6.5 (2016)	1961-2019
Máxima media	Resistencia	24.8	24.7 (2006)	1961-2019

La primavera (septiembre-octubre-noviembre) presentó temperaturas medias y máximas medias más cálidas que las normales en la mayor parte del país. En el caso de las temperaturas mínimas, los valores fueron cercanos a los valores medios, o incluso algo más bajos, en el centro-este del país y sectores del norte de la Patagonia (Figura 2.13). El mes de noviembre fue el que presentó los mayores apartamientos positivos, especialmente en las temperaturas máximas (Figura 2.14). En varias localidades se superaron récords, como se detalla en la Tabla 2.3.

Se destacó un período excepcionalmente cálido durante la última semana de septiembre y los primeros días de octubre que afectó principalmente el extremo norte del país, donde las temperaturas superaron ampliamente los 40°C por varios días consecutivos, rompiendo récords históricos de calor en varias localidades. Se resaltan los registros correspondientes a Rivadavia con 45.5°C y Resistencia con 43.5°C, que superaron los 43.7°C de septiembre de 1969 y los 43.5°C de septiembre de 2018, respectivamente. Por primera vez en la historia una temperatura mayor a 40°C se registró en la ciudad de Iguazú (40.1°C el 2/10/2020).

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

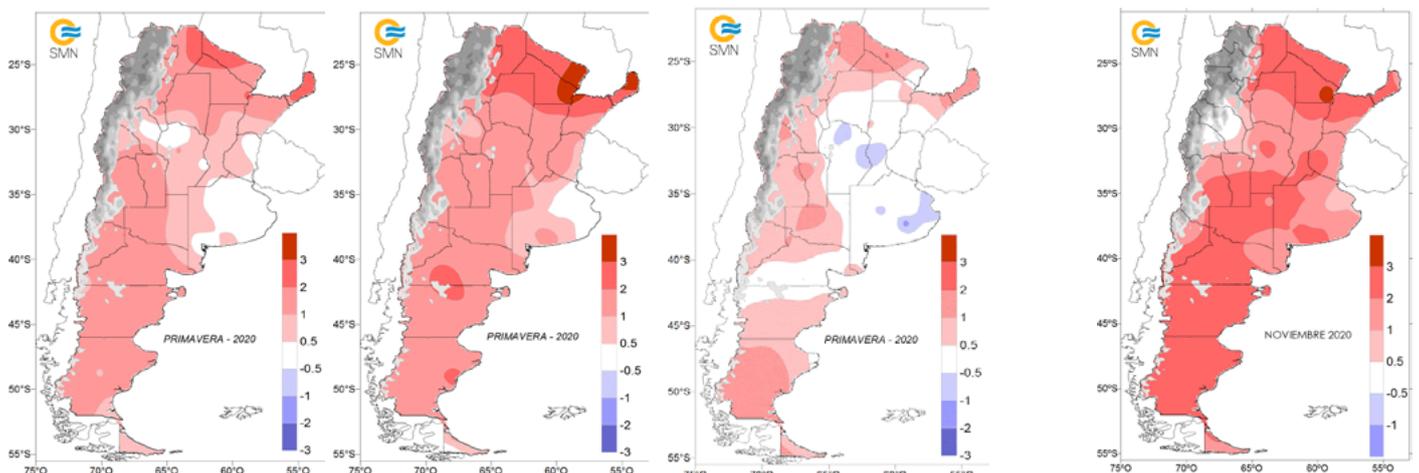


Figura 2.14. Desvíos de la temperatura máxima media de noviembre con respecto al valor medio 1981-2010 (°C)

Tabla 2.3 | Valores récords de temperatura durante la primavera. El asterisco (*) indica la existencia de interrupciones en el período de observación mencionado.

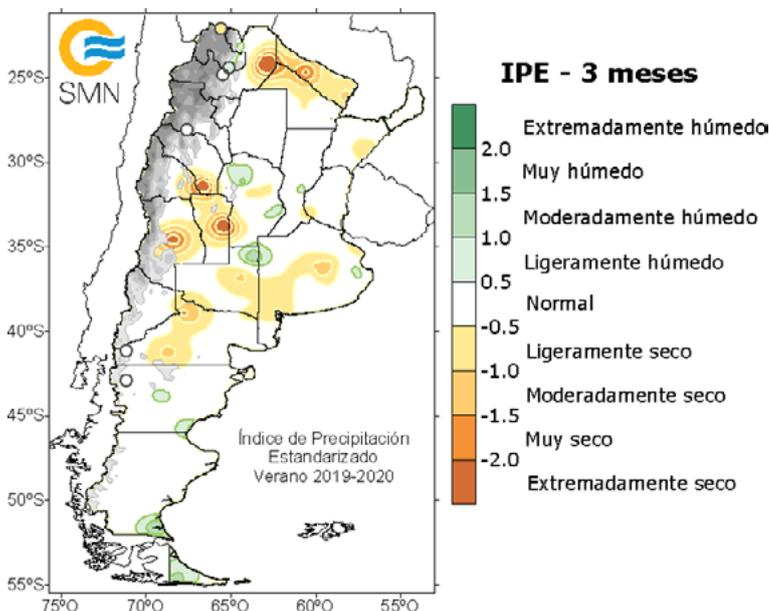
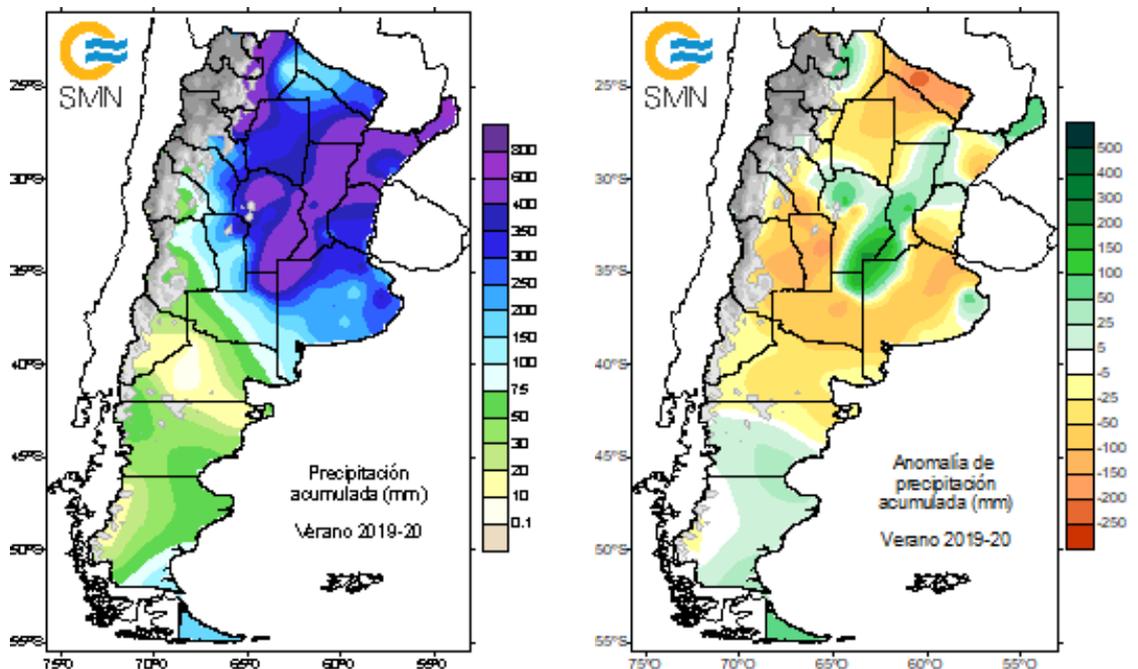
	LOCALIDAD	TEMPERATURA (°C)	RÉCORD ANTERIOR (°C)	PERÍODO
MEDIA	Posadas	23.8	23.7 (2014)	1961-2019
	Corrientes	23.8	23.3 (2014)	1964-2019
	Oberá	22.6	22.0 (2014)	1961-2019*
	Bernardo de Irigoyen	20.8	20.4 (2019)	1988-2019
	San Julián	11.6	11.5 (1996)	1971-2019
MÁXIMA MEDIA	Tartagal	32.8	32.7 (1962)	1961-2019
	Formosa	32.0	31.6 (2012)	1962-2019
	Presidencia Roque Sáenz Peña	31.8	31.4 (2012)	1961-2019
	Iguazú	31.7	31.1 (2019)	1961-2019
	Resistencia	31.6	30.1(2014)	1961-2019
	Corrientes	30.9	29.5 (2012)	1961-2019
	Posadas	30.5	29.7(2014)	1961-2019
	Jujuy	30.1	30.0 (2002)	1961-2019
	Oberá	30.0	29.0 (2019)	1961-2019*
	Bernardo de Irigoyen	27.7	27.1 (2019)	1961-2019
	Comodoro Rivadavia	20.6	20.5 (1996)	1961-2019
	Paso de indios	20.3	20.1 (1989)	1961-2019
	Maquinchao	19.3	19.0 (1962)	1961-2019*
	San Julián	18.6	18.5 (1996)	1971-2019
MÍNIMA MEDÍA	Gobernador Gregores	5.4	5.2 (2004)	1961-2019*
	San Julián	5.4	5.2 (1999)	1971-2019

2.3.2 PRECIPITACIÓN ESTACIONAL

Durante el verano (diciembre 2019-enero-febrero 2020) gran parte del país registró precipitaciones inferiores a las normales. Los mayores desvíos se registraron en el norte del país, con valores hasta 250 mm por debajo del promedio (Figura 2.15).

Precipitaciones superiores a las normales se observaron en el sur del país y algunas regiones del centro y noroeste de la Argentina. Los mayores valores de anomalías positivas de precipitación se registraron en la región comprendida entre el noroeste de la provincia de Buenos Aires, extremo norte de La Pampa, sudeste de Córdoba y gran parte de Santa Fe, con valores entre 100 mm y 150 mm superiores al promedio de 1981-2010. Algunos eventos de lluvia intensa afectaron a ciertas zonas del país, especialmente sobre las provincias de Tucumán, Salta, Jujuy, Chaco, Santiago del Estero y Córdoba entre el 4 y 15 de febrero. Lluvias diarias de hasta 175 mm fueron registradas en este período.

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



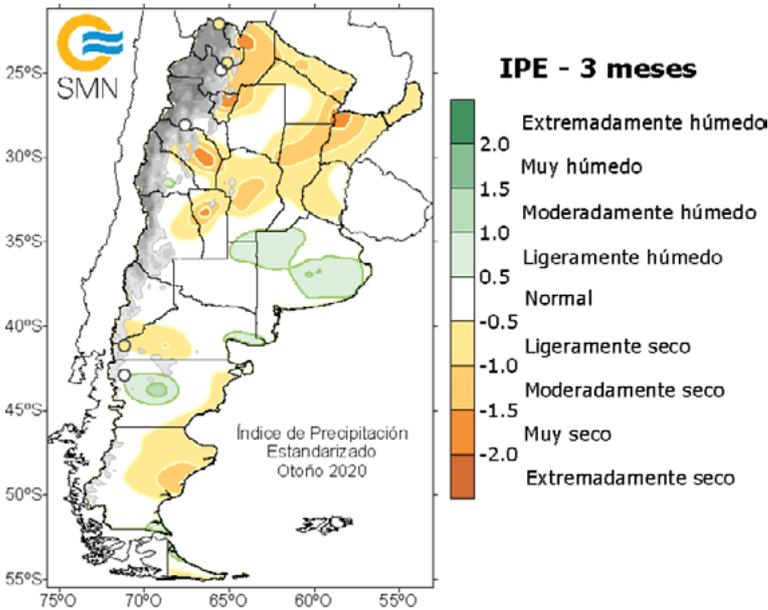
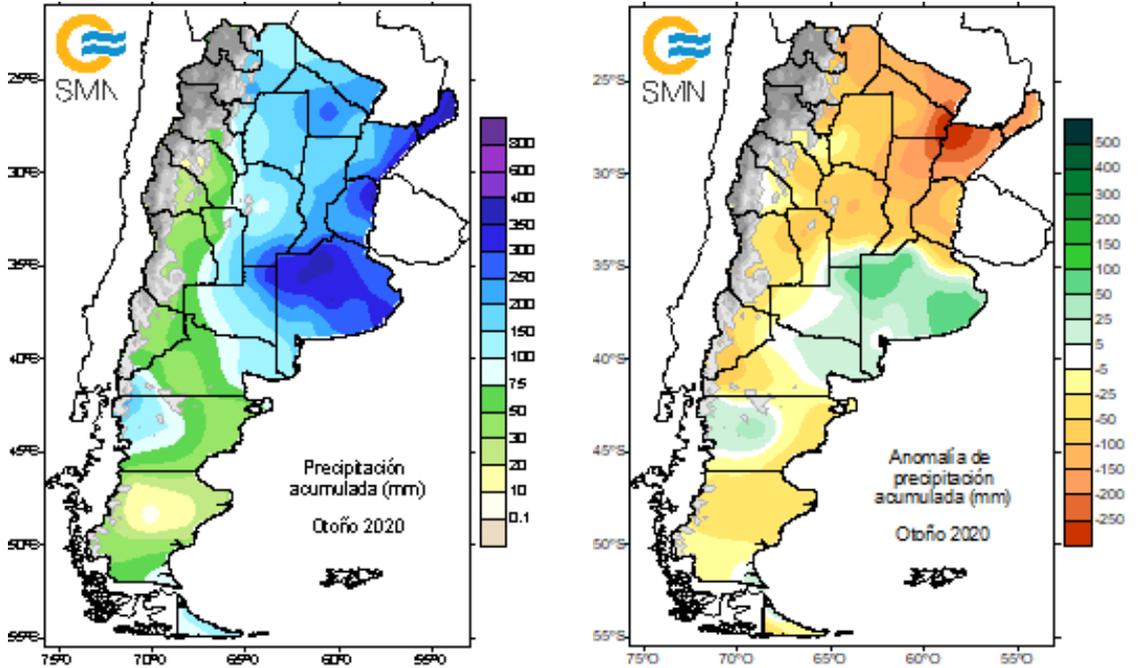
El Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) cuantifica las condiciones de déficit o exceso de precipitación en un lugar y para una escala determinada de tiempo (Organización Meteorológica Mundial, 2012). A partir del IPE de tres meses (IPE-3) calculado para el verano 2019-2020 (Figura 2.16), se observaron regiones localizadas donde las condiciones registradas correspondieron a la categoría muy seco o extremadamente seco como, por ejemplo, en el este de la provincia de Salta y Formosa, como así también en algunas estaciones de las provincias de Mendoza, San Luis y La Rioja (Figura 2.16). Por el contrario, se advirtieron condiciones moderadamente húmedas o húmedas en la provincia de Córdoba, al norte de la provincia de La Pampa y el extremo sur de la Patagonia.

Figura 2.16. | Índice de Precipitación Estandarizado de 3 meses (IPE-3) calculado en febrero 2020 para el verano 2019-2020. El aspecto circular de los extremos no se debe a la forma real de los eventos sino al hecho de que la información proviene de una red de medición de baja densidad.

Durante el otoño (marzo-abril-mayo) las mayores precipitaciones se observaron en el centro-este y noreste del país. Sin embargo, las mismas fueron predominantemente inferiores a los valores medios en gran parte del país, excepto en la región centro-este, donde se registraron precipitaciones entre 50 mm y 100 mm superiores al valor medio 1981-2010. Por otro lado, entre los días 27 y 29 de mayo tuvo lugar la primera nevada importante del año en la provincia de Chubut (Figura 2.17).

Los mayores desvíos negativos se registraron en la región noreste, con apartamientos que fueron desde 50 mm hasta incluso superiores a 250 mm por debajo de los valores medios esperados para el trimestre.

Figura 2.17. | Precipitación acumulada y anomalía con respecto al valor medio 1981-2010 para el otoño (mm).



Según el índice IPE-3 calculado para el otoño (Figura 2.18), toda la región al norte de 35°S registró condiciones ligera o moderadamente secas, como las provincias de Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos, Misiones, noroeste de Santiago del Estero y Formosa, y condiciones muy secas en el noroeste de Corrientes, Tucumán, La Rioja y Salta. La región central del país presentó condiciones normales a húmedas en la provincia de Buenos Aires. En la Patagonia se destacaron zonas moderadamente secas al este y zonas húmedas en la provincia de Chubut.

Figura 2.18. | Idem a Figura 2.16, calculado en mayo 2020 para el otoño 2020.

Las precipitaciones en el invierno (junio-julio-agosto) se observaron principalmente en la Patagonia, con máximos localizados al oeste de esta región. Estas precipitaciones fueron registradas mayormente en forma de nevadas; los máximos valores alcanzados en la región cordillerana fueron de hasta 300 mm de equivalencia agua-nieve. También se presentaron precipitaciones en la región centro-este y noreste del país. Cabe mencionar que la región noroeste transita su estación seca en esta época del año. En cuanto a las anomalías, se destacaron los déficits de precipitación en la región central y norte del país, entre 50 y hasta 150 mm por debajo de la media 1981-2010. Se exceptuaron algunas regiones muy puntuales con excesos, como la provincia de Misiones y el extremo noreste de Entre Ríos. Las precipitaciones registradas en la región patagónica fueron mayormente superiores a la media, de hasta 100 mm superiores al norte de la región, mientras que en la zona cordillerana las anomalías fueron de entre 50 y 100 mm por debajo de la media, al igual que en la provincia de Tierra del Fuego (Figura 2.19).

Figura 2.19. | Precipitación acumulada y anomalía con respecto al valor medio 1981-2010 para el invierno (mm).

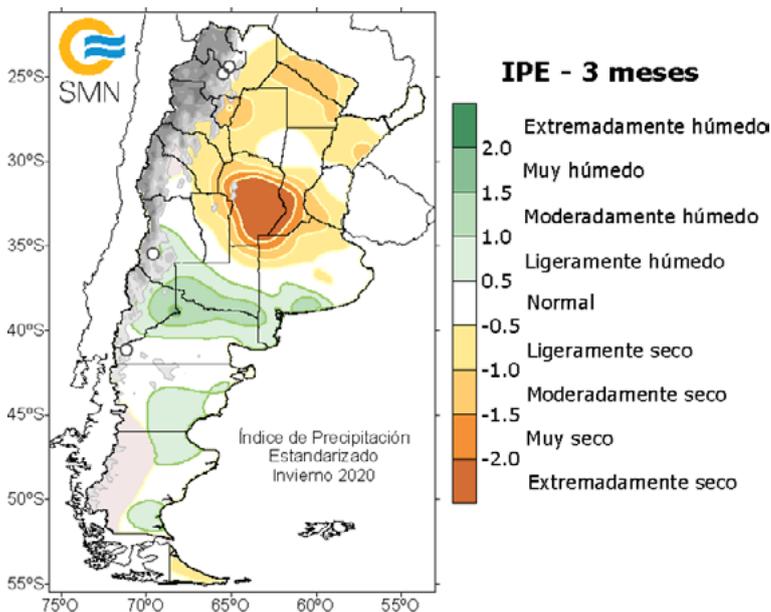
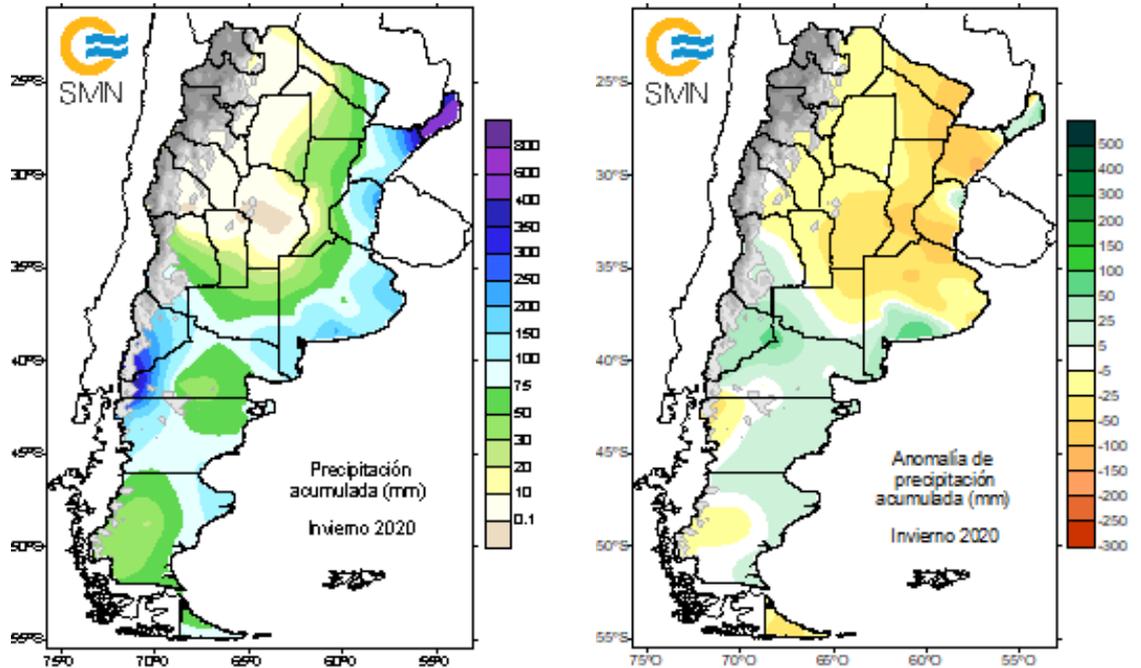
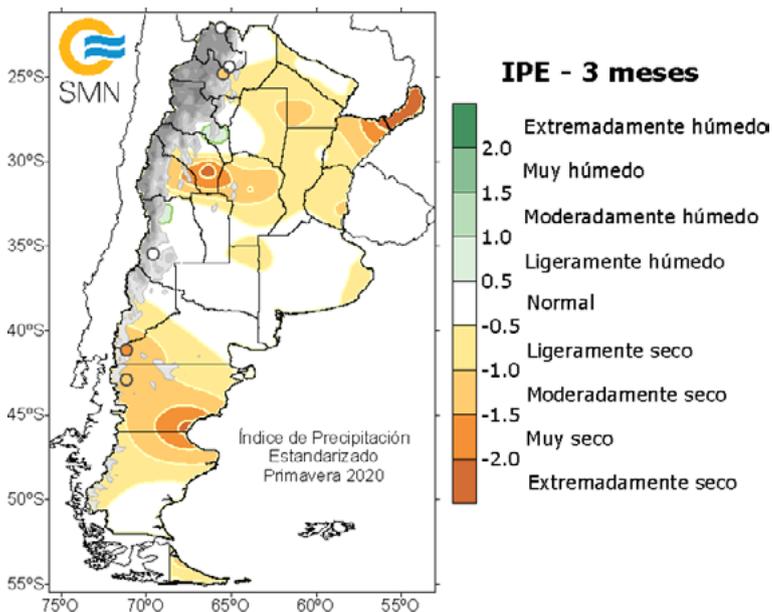
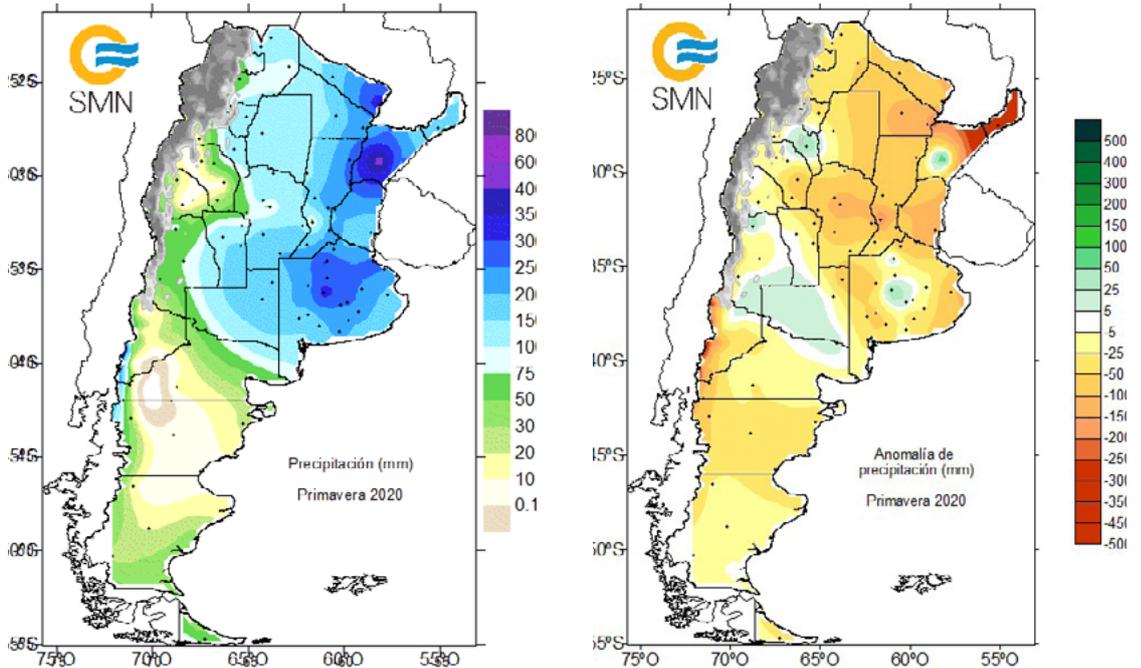


Figura 2.20. | Idem a Figura 2.16, calculado en agosto 2020 para el invierno 2020.

Según el índice IPE-3 calculado para el invierno (Figura 2.20), se destacaron la provincia de Córdoba y el sur de Santa Fe con condiciones extremadamente secas. Hacia el sur, las condiciones fueron moderadamente húmedas, con las mayores anomalías positivas al norte de Patagonia, sur de La Pampa, sur de Mendoza y sur de Buenos Aires.

Durante la primavera (septiembre-octubre-noviembre) no se observaron grandes cambios en los patrones de lluvia, dando lugar a que las condiciones deficitarias se intensificaran en prácticamente todo el oeste y norte argentino, principalmente en el extremo norte de la Mesopotamia, donde las precipitaciones registradas fueron inferiores a las normales por más de 500 mm (Figura 2.21). En septiembre se registraron eventos de lluvia que superaron los valores normales del mes en la región central del país, en las provincias de Buenos Aires y La Pampa. Por el contrario, las precipitaciones acumuladas de octubre mostraron un patrón deficitario en toda la región, a excepción de algunas estaciones localizadas, principalmente en las provincias de Buenos Aires y Corrientes. Finalmente, en noviembre, se registraron importantes eventos que superaron la precipitación normal en el centro, región de Cuyo y Noroeste.

Figura 2.21. | Precipitación acumulada y anomalía con respecto al valor medio 1981-2010 para la primavera (mm).



Según el IPE-3 calculado para la primavera (Figura 2.22), en algunas regiones se observó la categoría de sequía extrema, como en la provincia de Misiones, La Rioja y la costa atlántica del centro de Patagonia.

Por último, a lo largo de todo el año varias estaciones marcaron un registro récord de precipitación, ya sea de precipitación acumulada diaria para el mes correspondiente o precipitación acumulada mensual. En la Tabla 2.2 se muestran algunos de estos valores. Cabe destacar que la precipitación registrada en Sauce Viejo el 14 de diciembre de 2019 (242 mm) es el máximo valor registrado en esa estación en todo su período de medición, desde 1957. El resto de los registros mencionados en la tabla corresponden a registros máximos históricos para el mes correspondiente.

Figura 2.22. | Idem a Figura 2.16, calculado en noviembre 2020 para la primavera

Tabla 2.3 | Valores récords de temperatura durante la primavera. El asterisco (*) indica la existencia de interrupciones en el período de observación mencionado.

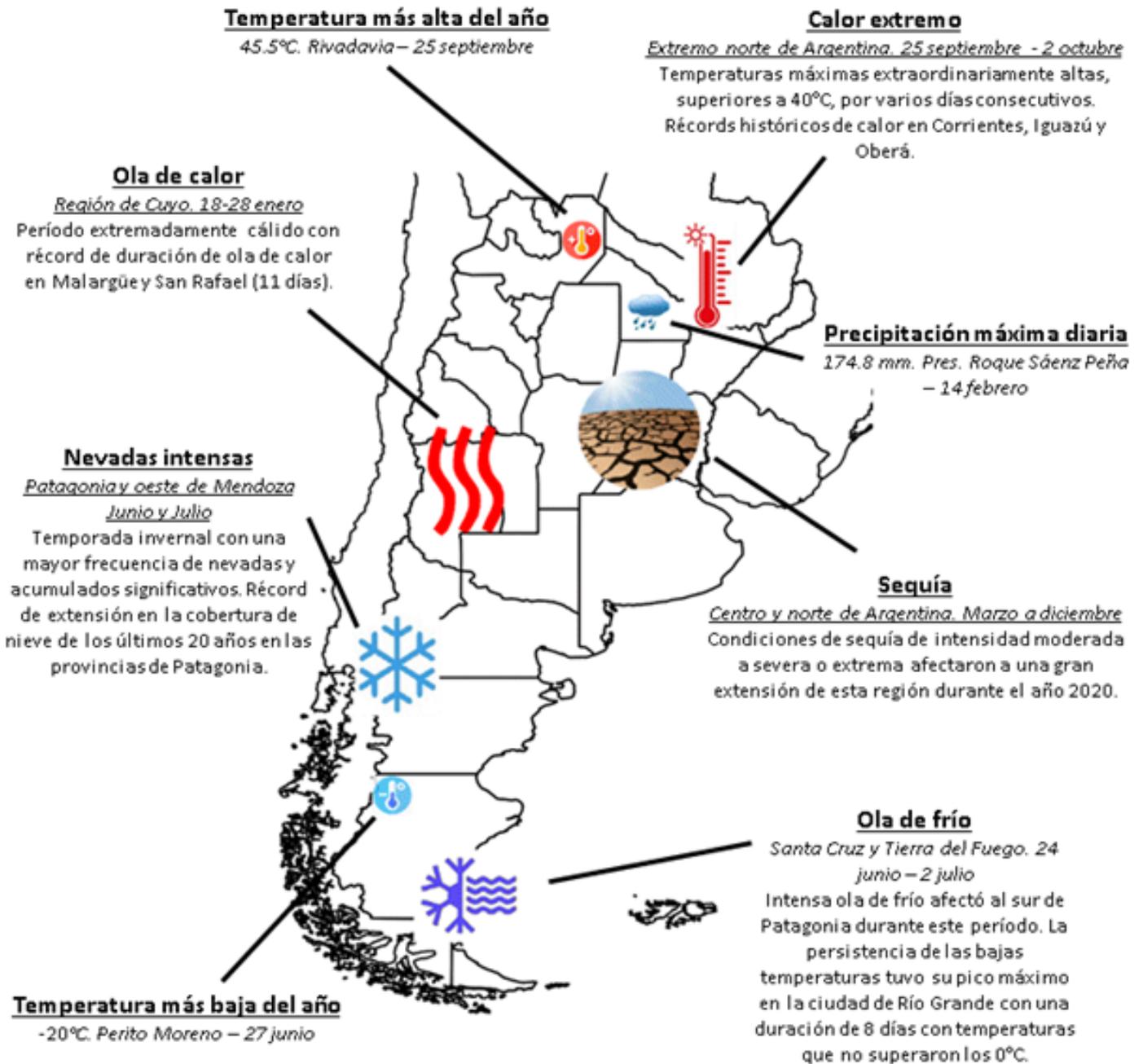
	ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN (MM)		RÉCORD ANTERIOR (MM)	PERÍODO DE REFERENCIA
DICIEMBRE 2019					
PRECIPITACIÓN DIARIA	CHAMICAL AERO	89	28/12/2019	88.0 (24-12-1999)	1959-2020
	CÓRDOBA AERO	130	29/12/2019	108.2 (10-12-1999)	1956-2020
	SAUCE VIEJO AERO	242	14/12/2019	145.0 (09-12-1990)	1957-2020
	PARANÁ AERO	138	14/12/2019	133.2 (08-12-1992)	1931-2020
	SAN CARLOS	51	2/12/2019	45.0 (05-12-1992)	1956-2020
	VENADO TUERTO	88	29/12/2019	77.0 (25-12-2016)	1989-2020
ENERO 2020					
PRECIPITACIÓN DIARIA	VILLA MARÍA DEL RÍO SECO	85	20/1/2020	79.2 (14-01-1993)	1931-2020
	VENADO TUERTO	124	14/1/2020	98.0 (14-01-2017)	1989-2020
	EZEIZA AERO	105	14/1/2020	103.7 (28-01-1959)	1956-2020
PRECIPITACIÓN MENSUAL	SANTA ROSA DE CONLARA	263.3		190 (2016)	2001-2020
	GENERAL PICO AERO	261		247.8 (1974)	1956-2020
FEBRERO 2020					
PRECIPITACIÓN DIARIA	PCIA. ROQUE SAENZ PEÑA AERO	174.8	14/2/2020	81.0 (10-02-2007)	1998-2020
	CÓRDOBA AERO	116	4/2/2020	116 (15-02-2015)	1956-2020
	PASO DE INDIOS	40	6/2/2020	34.1 (02-02-1976)	1968-2020
PRECIPITACIÓN MENSUAL	PCIA. ROQUE SAENZ PEÑA AERO	186.7		184 (2017)	1998-2020
MARZO 2020					
PRECIPITACIÓN DIARIA	MORÓN AERO	85	11/3/2020	80.0 (03-03-2014)	1956-2020
ABRIL 2020					
PRECIPITACIÓN DIARIA	JUJUY (UNIVERSIDAD)	77	1/4/2020	71.0 (01-04-2019)	1987-2020
	METAN	109	25/4/2020	58.5 (24-04-2009)	1993-2020
	OLAVARRÍA AERO	141	27/4/2020	103.0 (01-04-2013)	1987-2020
MAYO 2020					
PRECIPITACIÓN DIARIA	SAN ANTONIO OESTE AERO	46	29/5/2020	45.0 (31-05-2016)	1988-2020
JULIO 2020					
PRECIPITACIÓN DIARIA	OBERÁ	123	7/7/2020	115.0 (20-07-2011)	1990-2020
	CIPOLLETTI	50	21/7/2020	42.3 (18-07-2018)	1978-2020
	PUERTO DESEADO AERO	40	17/7/2020	39.4 (13-07-1977)	1956-2020
PRECIPITACIÓN MENSUAL	NEUQUÉN AERO	93		65.1 (2018)	1947-2020
	CIPOLLETTI	76.8		72 (1982)	1978-2020
SEPTIEMBRE 2020					
PRECIPITACIÓN DIARIA	JUNÍN AERO	115	25/9/2020	69.0 (28-09-2018)	1958-2020
NOVIEMBRE 2020					
PRECIPITACIÓN DIARIA	MENDOZA AERO	75	12/11/2020	43.0 (27-11-1966)	1956-2020
	MENDOZA OBS.	56	12/11/2020	46.0 (04-11-2006)	1956-2020
PRECIPITACIÓN MENSUAL	MENDOZA AERO	104		78 (1985)	1956-2020

| 2.4 Eventos extremos

La Figura 2.23 muestra un resumen de los eventos meteorológicos más destacados del año 2020. En las siguientes secciones se hace una descripción más detallada de los eventos seleccionados.

2.4.1 EVENTOS DESTACADOS

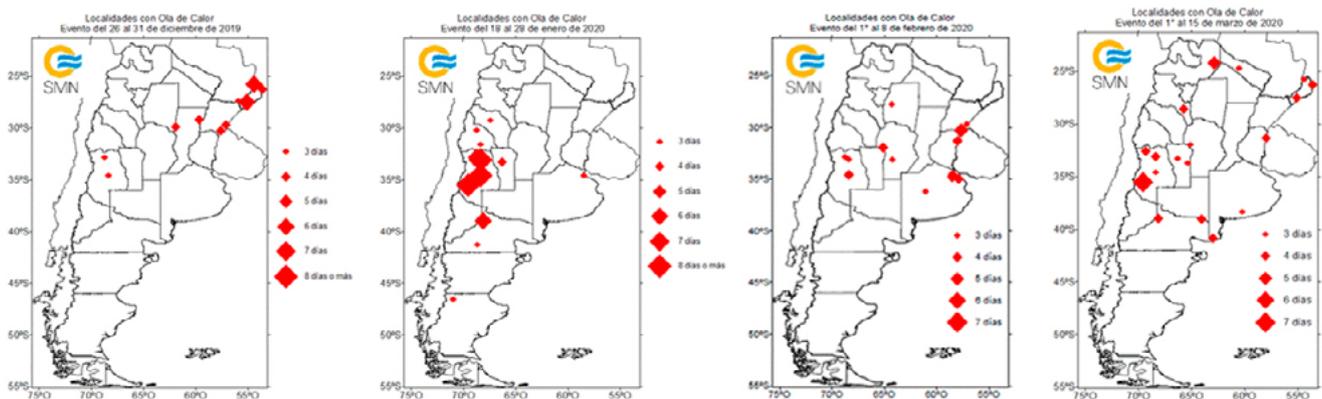
Figura 2.23 . Resumen de los eventos meteorológicos más destacados del año 2020 en Argentina.



2.4.2 OLAS DE CALOR

Durante el verano 2019/2020 varios episodios de olas de calor afectaron a diferentes regiones de Argentina. Durante la última semana de diciembre el noreste del territorio se vio afectado por calor extremo y olas de calor de hasta 6 días de duración (Figura 2.24, extremo izquierdo). Durante enero las temperaturas extremas afectaron principalmente a la región de Cuyo (Figura 2.24, central izquierda), en donde se batió el récord de duración de ola de calor en las localidades de San Rafael y Malargüe (11 días). Entre el 18 y 28 de enero se alcanzaron temperaturas entre 34°C y 41°C en la región. Otra ola de calor impactó durante los primeros días de febrero a la zona central del país (Figura 2.24, inferior izquierda), afectando principalmente a la zona de Capital Federal y Gran Buenos Aires, noreste de Entre Ríos, sur de Corrientes, oeste de Córdoba y Mendoza. Este episodio, de leve a moderada intensidad, tuvo una duración de entre 3 y 5 días, y se alcanzaron valores de temperatura máxima entre 32°C y 40°C. Dentro de un marzo extremadamente cálido, el fenómeno de ola de calor, algo inusual para la época, sorprendió a varias zonas del país durante la primera quincena del mes (Figura 2.24, extremo derecho). La región de Cuyo, el norte de Patagonia, norte del Litoral y este del NOA fueron las áreas más afectadas, con una duración de las olas de entre 3 y 7 días. Se alcanzaron temperaturas entre 35°C y 45°C, superando en varias localidades el récord histórico para un mes de marzo.

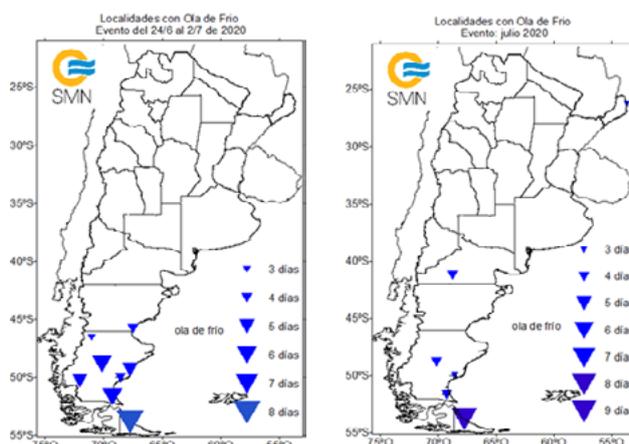
Figura 2.24. | Ocurrencia de ola de calor durante el verano de 2019/2020.



2.4.3 OLAS DE FRÍO Y NEVADAS

La región de Patagonia estuvo afectada por intensas olas de frío y nevadas durante el invierno de 2020. El primer episodio tuvo lugar durante el final del mes de junio y comienzo de julio (Figura 2.25, izquierda). Sobre Santa Cruz y Tierra del Fuego un centro de alta presión se posicionó y se bloqueó sobre la región, produciendo un enfriamiento muy pronunciado y persistente que dio lugar al fenómeno de ola de frío, con temperaturas de hasta -20°C. La ciudad de Río Grande no registraba un evento de frío tan extremo desde julio de 1995. La duración de esta ola de frío fue de entre 3 y 8 días, con temperaturas mínimas que oscilaron entre -20°C y -5°C, y temperaturas máximas entre -9°C y 4°C. Más al norte de la región, en las provincias de Chubut, Río Negro y Neuquén, las nevadas fueron intensas y persistentes, estimándose alturas de nieve de hasta 2 metros en las zonas más elevadas.

Figura 2.25. | Ocurrencia de ola de frío durante el invierno de 2020.



Durante el mes de julio continuaron registrándose importantes nevadas y olas de frío en la región, volviendo a impactar severamente a la ciudad de Río Grande, que registró 9 días con temperaturas bajo cero (Figura 2.25, derecha). Según datos de estimaciones satelitales, en el período mayo a octubre, la extensión de cobertura de nieve en las provincias de Patagonia fue la mayor de los últimos 20 años (Figura 2.26).

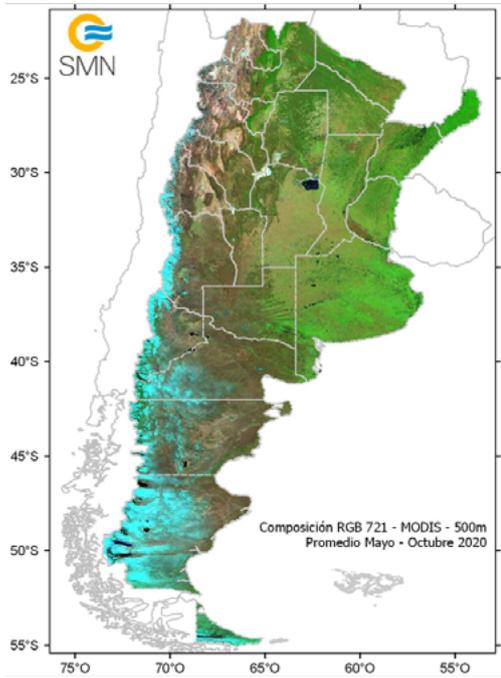
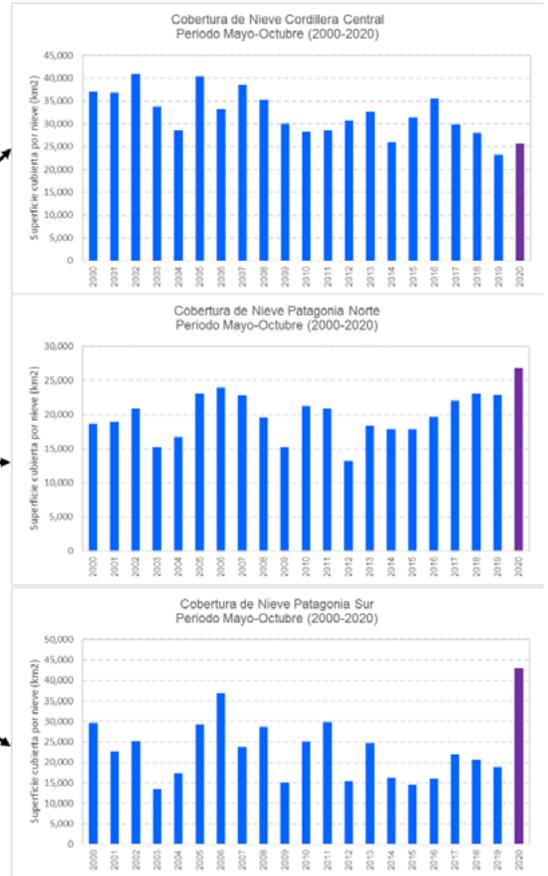


Figura 2.26. | Estimación de la superficie cubierta por nieve (km2) entre mayo y octubre (2000-2020). Fuente: Sensor MODIS MOD-10A1.



Desde el año 2010 la región de los Andes centrales se encuentra atravesando un período denominado megasequía, un fenómeno caracterizado por la predominancia de déficits hídricos. La disminución en las precipitaciones y, principalmente, en las nevadas típicas del período frío (abril-octubre) impacta tanto en áreas del lado chileno como del argentino, generando una reducción en la disponibilidad de agua en los ríos que tienen sus nacientes en la zona cordillerana. El año 2020 no fue la excepción a este comportamiento observado en la última década en esta región. La cobertura espacial de nieve, estimada a partir de sensores remotos, mostró que durante los meses de julio y agosto se registraron los máximos de la superficie cubierta por nieve del año. Únicamente durante el mes de julio se presentaron valores similares al promedio histórico (Figura 2.27).

El análisis por cuenca hidrográfica también marcó valores por debajo del promedio histórico de referencia 2000-2019 (Figura 2.28). Estas anomalías negativas fueron más marcadas en el norte de la región, principalmente en la cuenca del río San Juan, disminuyendo gradualmente hacia el sur, donde incluso existieron leves anomalías positivas de la cobertura nieve en las cuencas del río Malargüe-LLancaneló y río Colorado.

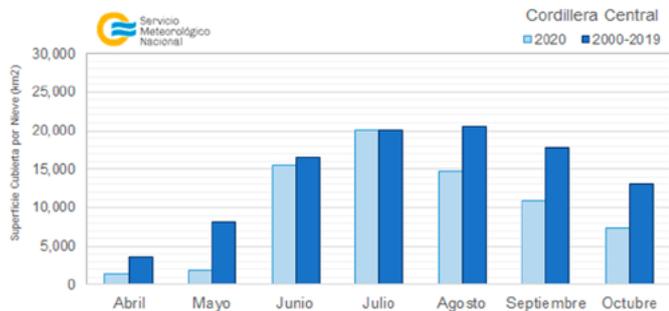


Figura 2.27 | Cobertura nieve mensual en Cordillera Central para el año 2020 (barras celestes) y el período 2000-2019 (barras azules) durante el período frío (abril-octubre) (Fuente de Datos: Observatorio Regional de la Nieve, IANIGLA).

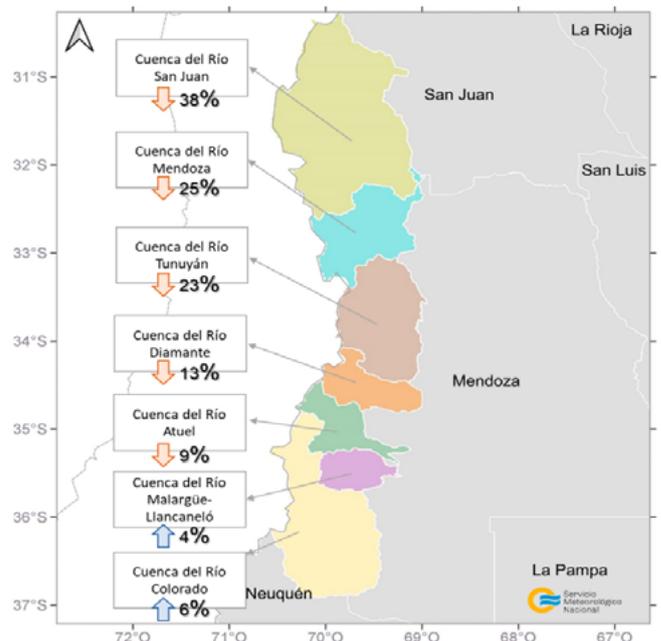


Figura 2.28 | Cuencas hidrográficas de la Cordillera de los Andes Central y estado de situación de la cobertura nieve para el período frío (abril-octubre) del año 2020 respecto al período 2000-2019 (Fuente de Datos: Observatorio Regional de la Nieve, IANIGLA).

2.4.4 SEQUÍA

La evolución de las lluvias descrita más arriba dio lugar a un evento de sequía de importantes dimensiones y relevancia histórica. Los datos de anomalía de precipitación a nivel país ubican al 2020 como el quinto año más seco de toda la serie (ver Figura 2.4 de la sección 2.2).

Este evento de sequía se inició en el mes de diciembre de 2019, cuando se registraron precipitaciones inferiores a las normales en gran parte de la Cuenca del Plata. Estos déficits de precipitación se intensificaron con el transcurso de los meses, y se extendió el área de sequía hacia el norte de Argentina. Durante el mes de abril, los ríos de la región se vieron afectados por este déficit, alcanzando valores de caudales mínimos históricos. El nivel del río Paraná en Rosario se ubicó por debajo del metro, situación que no se registraba desde fines de 1971 (Instituto Nacional del Agua - https://www.ina.gov.ar/trunk/archivos/Escenario2020_Mayo.pdf).

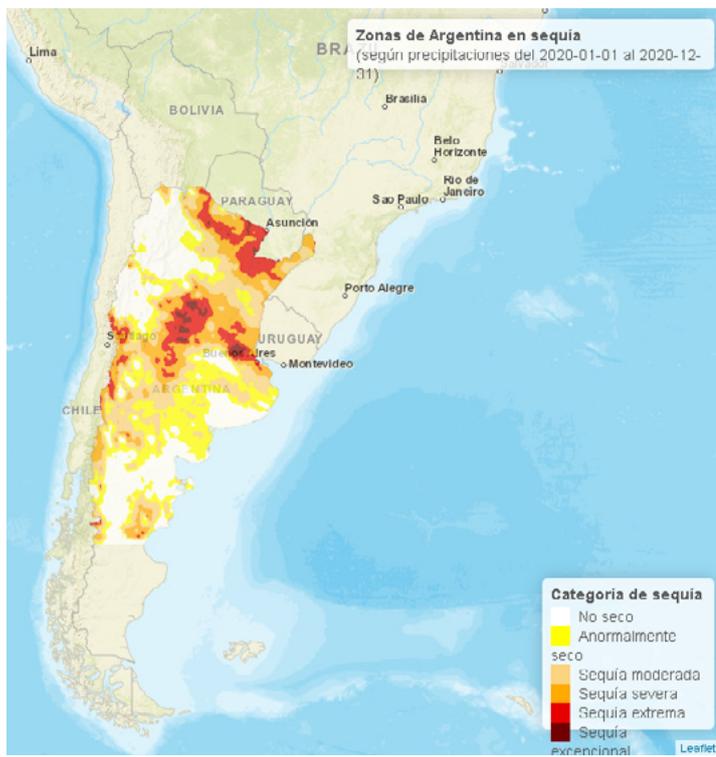


Figura 2.29. | Índice de Precipitación Estandarizado de 12 meses (IPE-12).

En las Figuras 2.16, 2.18, 2.20 y 2.22 puede observarse la evolución de los índices IPE-3 computados para cada estación del año. Inicialmente, las regiones con peores condiciones de sequía se observaron al norte del país durante el verano; en el otoño el área abarcada por condiciones ligera a moderadamente secas se extendió desde los 35°S hacia el norte. En el invierno se intensificaron las condiciones de sequía, siendo más severa en el centro del país, principalmente en la provincia de Córdoba. Por último, durante la primavera, se observaron regiones con sequía extrema, principalmente en la provincia de Misiones, en el centro de Patagonia y en Cuyo.

Para tener una idea del alcance territorial de este evento de sequía, en la Figura 2.29 puede observarse el índice de IPE-12 (IPE para un período de 12 meses), calculado entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2020 mediante estimaciones satelitales y mediciones in situ de precipitación. Cabe mencionar que este producto se calcula en regiones comprendidas desde los 46°S hacia el norte. Se destacaron las provincias del norte argentino (Formosa, noroeste de Corrientes, norte de Chaco) con condiciones de sequía extrema. También se evidenciaron condiciones de sequía extrema y excepcional en el centro del país, principalmente en la provincia de Córdoba y norte de la provincia de Buenos Aires. La ventaja de utilizar este índice calculado mediante estimaciones satelitales es que brinda un panorama más detallado de situación de la sequía meteorológica en aquellas áreas que no cuentan con datos medidos en superficie.

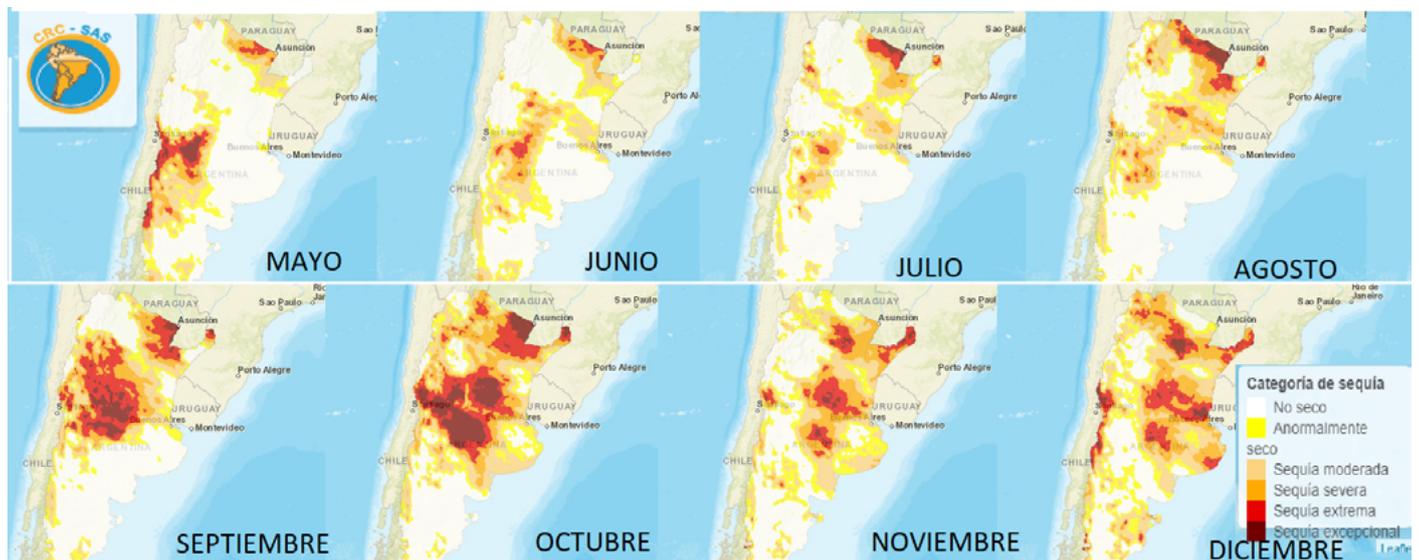


Figura 2.30 | Evolución del índice de Precipitación Estandarizado de 6 meses (IPE- 6) desde mayo hasta diciembre de 2020.

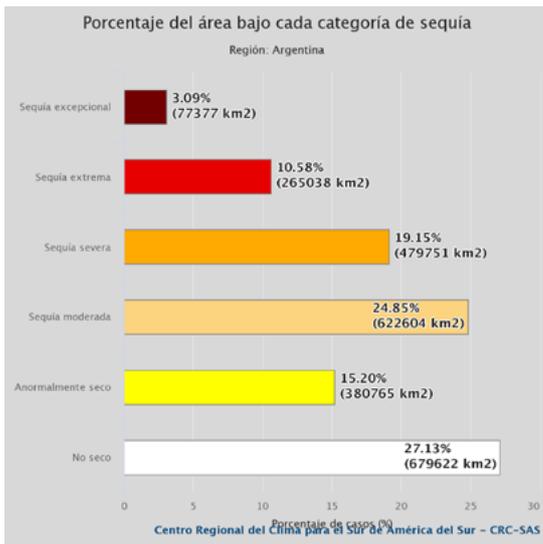


Figura 2.31. Porcentaje de área bajo cada categoría de sequía de acuerdo al IPE-6 calculado el 31 de diciembre de 2020 a partir del producto CHIRPS.

En la Figura 2.30 se muestra el porcentaje del país comprendido por cada categoría de sequía de acuerdo al IPE-6 calculado en diciembre de 2020. Se observa que el 72% del territorio nacional (desde los 46°S hacia el norte) se encontraba en alguna categoría de sequía. Mientras que el 24.85% se ubicaba en la categoría de sequía moderada, el 13.67% se hallaba en las categorías de sequía extrema y excepcional, con áreas de 265038 km² y 77377 km², respectivamente.

Este evento de sequía también dio lugar a la propagación de incendios forestales en gran parte del territorio. Las provincias afectadas por estos incendios son 13, principalmente las del centro y norte del país.

La cantidad de incendios puede ser estimada a través de la cantidad de focos de calor (Figuras 2.32 y 2.33). Junto con la intensificación de las condiciones de sequía, los incendios asociados afectaron a gran parte del centro-norte argentino, convirtiéndose el 2020 en el año con más focos de incendios reportados según la información suministrada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MAyDS- <https://www.argentina.gov.ar/ambiente/fuego/reporte-diario-manejo-del-fuego>). Asimismo, desde el 2012, el 2020 registró la mayor cantidad de focos de calor según datos provenientes de estimación satelital (Figura 2.33). Las estimaciones provienen del sensor VIIRS-Satélite Suomi-NPP, de resolución espacial 375m y se consideran los focos de calor que tienen calidad media-alta. La fuente de los focos de calor es el Fire Information for Resource Management System (FIRMS) de la NASA (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov>).

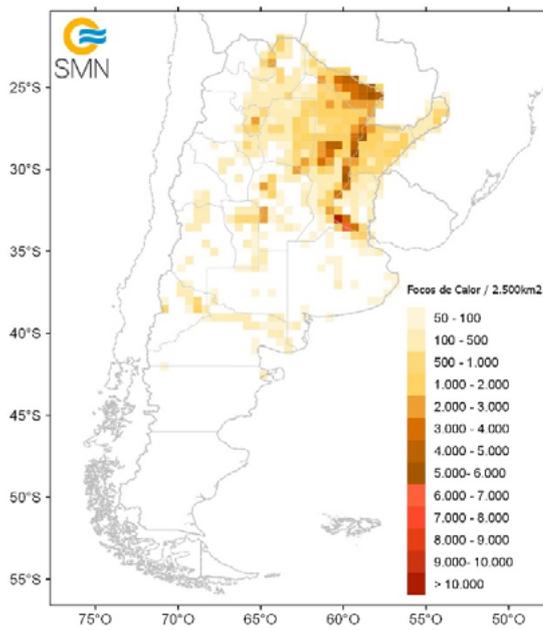


Figura 2.32. | Focos de calor observados en 2020 (resolución 50 km x 50 km). Fuente de datos: Fire Information for Resource Management System.

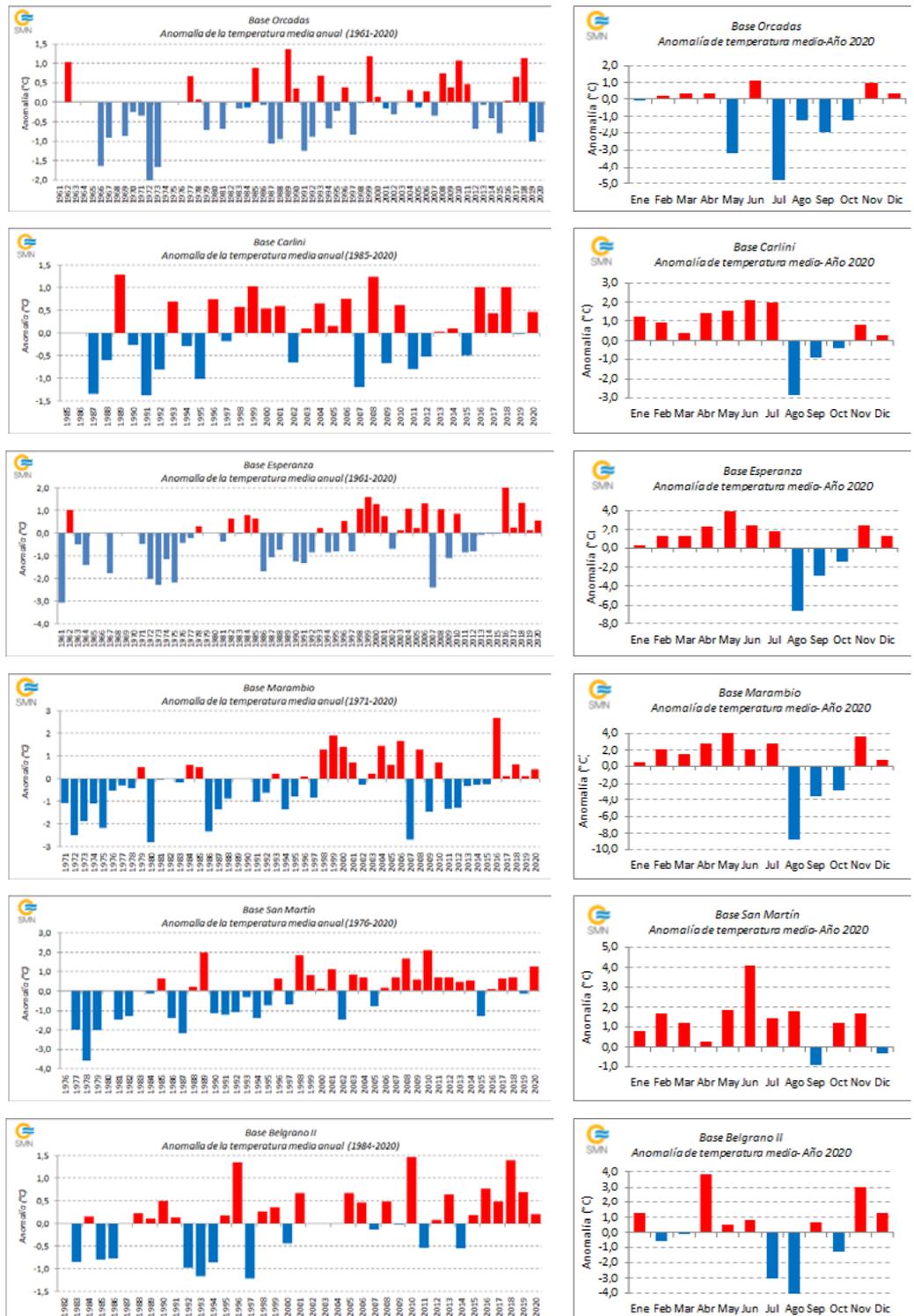


Figura 2.33. | Focos de calor discriminados por provincias, entre enero y diciembre 2020 (arriba). Evolución mensual de los focos de calor para el año 2020 comparada con los años 2012-2019 (abajo).

2.4.5 TEMPERATURA EN ANTÁRTIDA

Las temperaturas medias en el 2020 en las bases ubicadas en la península antártica indicaron un año más cálido que lo normal. Por el contrario, la Base Orcadas registró un año más frío que el promedio (Figura 2.34 izquierda). A lo largo del año se registraron períodos cálidos y fríos con valores extremos, destacándose las altas temperaturas en febrero y los fríos extremos en julio y agosto. Hasta el mes de octubre, las bases Esperanza, Marambio y Belgrano II presentaron anomalías negativas de temperatura como consecuencia del período muy frío que caracterizó los meses de julio a octubre. Estas fueron revertidas por las temperaturas más cálidas registradas en los dos últimos meses del año (Figura 2.34, derecha). En Orcadas se observaron temperaturas más frías que las normales en la mayor parte del año, mientras que en la Base San Martín el predominio fue de temperaturas por sobre las normales.

Figura 2.34 | Anomalías de la temperatura media anual para las bases Orcadas, Carlini, Esperanza, Marambio, San Martín, Belgrano II (izquierda), con sus respectivas anomalías mensuales para 2020 (derecha).



Las temperaturas medias en el verano y otoño se presentaron por encima de los valores medios o cercanos a los mismos, con la salvedad de la Base Orcadas, que registró temperaturas inferiores a lo normal. El otoño fue el trimestre con los mayores desvíos positivos, llegando a +2.8°C en la Base Marambio.

Las temperaturas mínimas y máximas medias también estuvieron por encima de los valores medios, siendo durante el otoño donde se observaron los mayores apartamientos. La anomalía de temperatura máxima alcanzó +2.8°C en la Base Marambio y la de temperatura mínima, + 3.1°C en la Base Esperanza.

Durante el verano, específicamente durante el mes de febrero, se dieron registros históricos de altas temperaturas en cuatro de las seis estaciones meteorológicas antárticas de Argentina: Base Esperanza, Base Marambio, Base Orcadas y Base Carlini. En particular, el registro en la Base Esperanza está en proceso de evaluación internacional, dado que ha superado al anterior récord de temperatura más alta de la región antártica que incluye tierra firme e islas adyacentes. Los valores correspondientes a temperatura máxima absoluta se detallan en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 | Temperaturas máximas absolutas récords de febrero.

BASE	TEMPERATURA MÁX. ABSOLUTA (°C)	RÉCORD ANTERIOR (°C)	PERÍODO
Esperanza	18.4 (6-02-2020)	15.5 (17-02-1998)	1961-2019
Marambio	15.8 (6-02-2020)	13.8 (13-02-2013)	1971-2019
Carlini	10.8 (9-02-2020)	10.4 (01-02-2002)	1985-2019

También se observaron temperaturas mínimas muy altas, que en el caso de la Base Orcadas fueron las máximas observadas. En esta estación se alcanzó una temperatura mínima de 3.4°C, transformándose en la temperatura mínima más alta de febrero en el período 1956-2019. El anterior récord había sido de 3.1°C, ocurrido el 13 de febrero de 1990.

Durante el invierno, las bases ubicadas en las costas del Mar de Bellingshausen (Carlini y San Martín) continuaron presentando temperaturas medias más cálidas que las normales, en tanto que las bases localizadas hacia el Mar de Weddell (Orcadas, Esperanza, Marambio y Belgrano II) tuvieron un invierno muy frío, siendo el mayor desvío de -2.1°C en Belgrano II. A nivel mensual, el mes de agosto fue el que presentó los mayores apartamientos negativos. El valor de -8.8°C en la Base Marambio se convirtió en el valor medio más bajo para dicho mes, siendo el anterior récord de -5.8°C en el año 1975 para el período 1971-2019. También se destacó el valor de -6.4°C correspondiente a la Base Esperanza, que pasó a ser el segundo valor medio más bajo del mes en el período 1961-2019; el agosto más frío fue en el año 1964 con -11.8°C.

Las temperaturas máximas medias fueron más frías que las normales (Orcadas, por ejemplo, registró un desvío de -1.2°C), excepto en la Base San Martín, que presentó una anomalía de 1.9°C. Los mayores desvíos negativos se dieron en el mes de agosto, con los máximos en Marambio y Esperanza. La Base Marambio, con un desvío de -8.2°C, superó el valor anterior de -5.6°C ocurrido en 2006 para el período 1971-2019.

En cuanto a las temperaturas mínimas medias, se destacó la anomalía registrada en la Base Belgrano II de -2.5°C, que resultó ser el segundo valor más bajo después del -3.4°C correspondiente al invierno de 2004. A nivel mensual, se distinguió los -8.4°C de agosto en la Base Marambio, que superó al valor anterior de -6.6°C ocurrido en 1986 para el período 1971-2019. Si bien el invierno quedó caracterizado por temperaturas mínimas por debajo de las normales, el mes de junio presentó temperaturas mínimas altas para ese mes, destacándose la mínima de 1.8°C registrada el día 17 en la Base Esperanza, que pasó a ser la temperatura mínima más alta para el mes de junio en el período 1961-2019. El anterior récord había sido de 1.3°C, registrado el 8 de junio de 2018.

Durante la primavera las anomalías de la temperatura media, máxima y mínima media fueron negativas en la mayoría de las bases, siendo los mayores apartamientos en la temperatura mínima. Durante el mes de septiembre se registraron temperaturas frías extremas. En la Base Orcadas se registró una temperatura de -32.1°C el día 3 de septiembre, resultando un valor récord (el anterior mínimo fue de -30.8°C, ocurrido el 13 de septiembre de 1972). Ese mismo día se registró una temperatura de -33.9°C en la Base Marambio, convirtiéndose en el segundo valor más bajo para el mes, después de los -34.0°C del 8 de septiembre de 1997.

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 DESTACADOS DE ESCALA ESTACIONAL Y SUB-ESTACIONAL

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

Las variaciones climáticas que ocurren en la Argentina tienen cierta relación con fenómenos que ocurren mucho más allá de su territorio. En las secciones que siguen se describe el estado durante 2020 de cuatro de estos fenómenos de conocida influencia sobre nuestro país. Es importante recalcar que estas relaciones funcionan de tal manera que el estado de un dado fenómeno favorece ciertas condiciones climáticas en Argentina, pero no las determinan. El fenómeno más conocido de los abajo presentados y “el de más consecuencia en el clima mundial”, es el comúnmente conocido como “El Niño”, pero es posible que en los próximos años el público interesado en el clima comience a familiarizarse también con los otros aquí discutidos.

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

Para mayor información ver: https://www.smn.gob.ar/enos_que_es

El fenómeno ENOS se mantuvo neutral desde el inicio de 2020 hasta finales del otoño cuando la temperatura de la superficie del mar (TSM) en el océano Pacífico ecuatorial comenzó a registrar un enfriamiento. Dicho enfriamiento se intensificó durante el invierno y los primeros meses de primavera. La atmósfera comenzó a responder al enfriamiento, acoplándose a finales de agosto y estableciendo una fase fría o La Niña. En la Figura 3.1 se muestran las anomalías de TSM en el cuatrimestre septiembre-octubre-noviembre-diciembre de 2020, donde puede observarse el enfriamiento mencionado entre 170°E y la costa sudamericana.

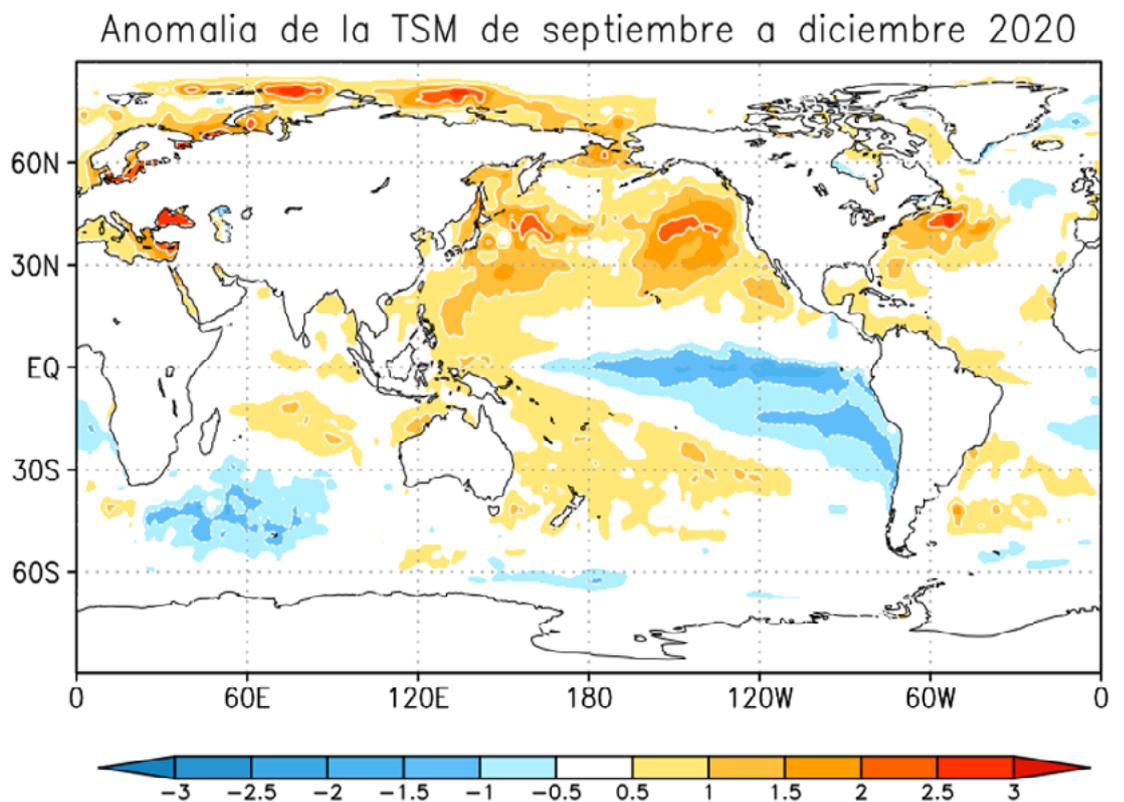
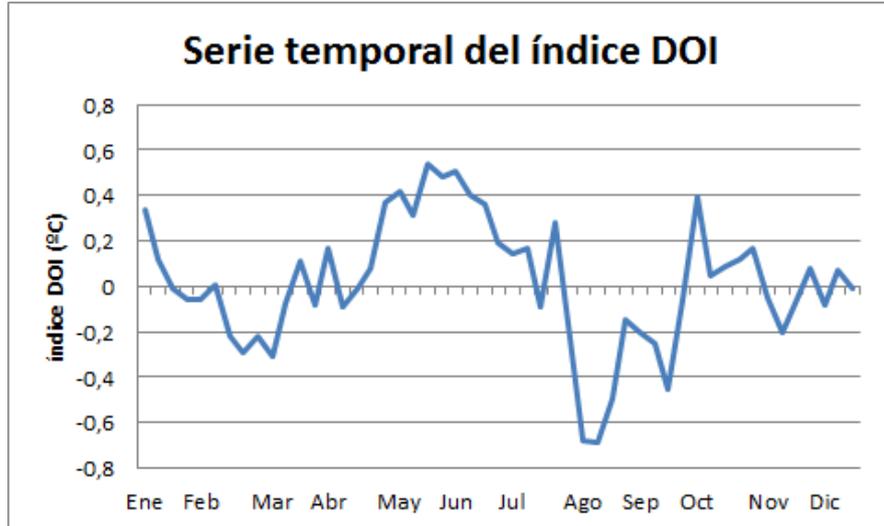


Figura 3.1 | Anomalia de TSM (°C) como promedio entre el 01 de septiembre y el 31 de diciembre de 2020. Fuente: NOAA/PSL.

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

A lo largo del año 2020 el Dipolo del Océano Índico (DOI) permaneció en la fase neutral. No obstante, tuvo oscilaciones a lo largo del año: desde mayo a junio el índice tuvo valores positivos cercanos al límite con la fase positiva (+0.4 °C) y durante el mes de agosto el indicador permaneció próximo a la fase negativa (Figura 3.2).

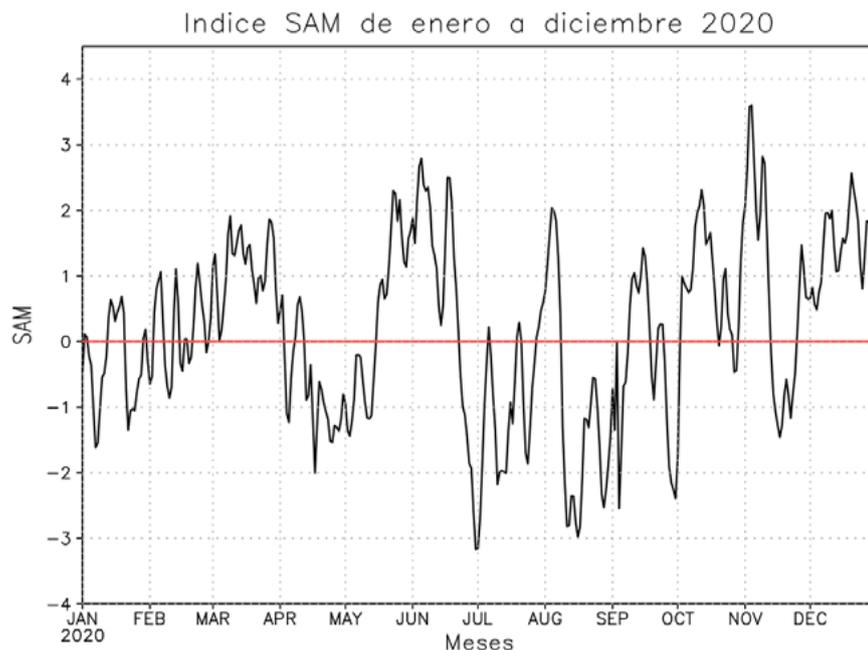
Figura 3.2 | Índice DOI semanal durante 2020. Fuente: Bureau of Meteorology, Australia.



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

El índice diario de la Oscilación Antártica se puede ver en la Figura 3.3. Se observa que hubo un predominio de la fase positiva entre mediados de febrero y abril, entre mayo y junio, y desde mediados de septiembre hasta el final del año, con algunos períodos más cortos con valores negativos. La fase negativa de la SAM tuvo mayor predominancia entre abril y mayo y entre julio y principios de septiembre. 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 | Índice diario SAM, desde el 01 de enero hasta 31 de diciembre de 2020. Fuente: CPC/NOAA



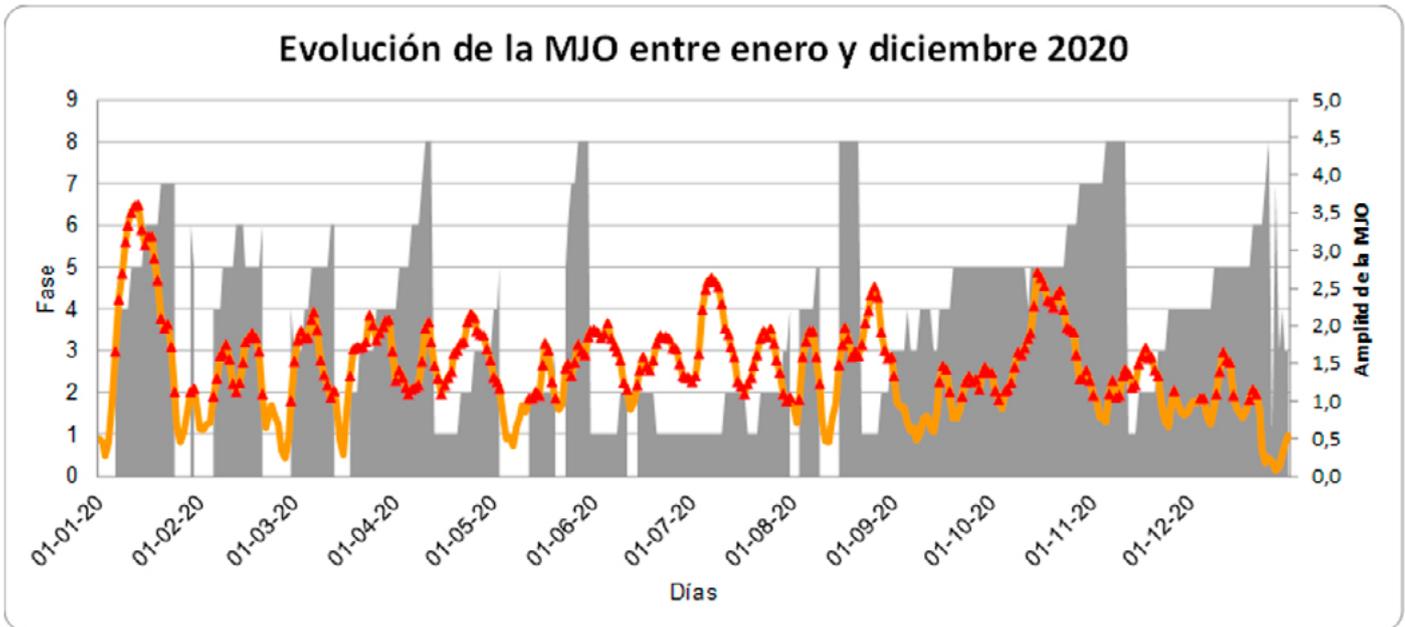
3.4 Resumen del estado de la Oscilación de Madden-Julian (MJO)

La Oscilación de Madden-Julian (MJO por sus siglas en inglés) es el patrón principal de variabilidad climática en los trópicos. La misma 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. Esta influencia no sólo queda limitada a la región tropical, sino que durante su ciclo de vida la MJO impacta en la lluvia y temperatura de diferentes regiones del globo, a través de la propagación de “trenes de onda” (sucesivos centros con presiones más altas y más bajas que lo normal) hacia latitudes medias y altas del planeta. En particular, en nuestra región, cuando la MJO pasa por la zona tropical de Sudamérica, altera las zonas de ascenso y descenso del aire, lo que a su vez tiene impacto en la lluvia y la temperatura de superficie.

Entre enero y diciembre del 2020 se registraron varios eventos de la MJO (Figura 3.4), algunos de los cuales tuvieron impacto en Argentina. Entre el 5 y 24 de enero 2020 se desarrolló un evento intenso de MJO que presentó una señal significativa. Asimismo, la MJO se desplazó entre el continente marítimo y el Pacífico Oeste (fase 3 a 7) durante los 19 días. En ese período se observó precipitación por encima de lo normal en varias localidades del centro y norte del territorio. Esto condice con el comportamiento esperado para el verano que indica que, cuando la MJO se encuentra en la fase 3 a 4, se favorece la precipitación superior a lo normal en las regiones del centro este y noreste del país.

En el otoño se destacó un evento moderado que presentó señal y dio la vuelta al globo entre el 18 de marzo y el 20 de abril (fase 2 a 1) y continuó hasta el 3 de mayo hasta la fase 4 (continente marítimo). Entre el 10 y el 20 de abril, cuando la MJO se ubicó en la fase 8 y 1, se observó precipitación por debajo de lo normal en el Litoral y norte del país. En la primavera, durante el mes de octubre, se distinguió un evento sobre el continente marítimo, en coherencia con el patrón de convección asociado al evento de La Niña en desarrollo. La MJO presentó una propagación hacia el este desde el 15 al 31 de octubre, generando condiciones favorables de menor precipitación en el noreste de Argentina. Asimismo, del 6 al 21 de noviembre (16 días) se registró un evento moderado que se propagó entre la fase 8 a 3 y presentó un máximo en el Océano Índico oeste. Esto reforzó las condiciones secas en el centro-este del país asociadas a La Niña. Si bien en el resto del período se registraron otros eventos de MJO, sus señales no fueron coherentes con los patrones de precipitación y temperatura esperados en nuestro país, indicando la presencia de otros forzantes atmosféricos.

Figura 3.4: Evolución de la Oscilación de Madden-Julian. El sombreado marca la fase de la MJO que se corresponde con el eje de la izquierda, mientras que la curva naranja indica la amplitud de la misma (eje de la derecha). Los triángulos rojos marcan los días cuando la amplitud de la oscilación es significativa (mayor a 1). Fuente: Datos del www.bom.gov.au/climate, Australia 2020, Bureau of Meteorology.



SECCIÓN 3: 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**

| 4.1 Introducción

Las mediciones de la composición atmosférica desde mediados del siglo XX mostraron que las concentraciones globales de los gases de efecto invernadero (GEI) y otros componentes de la atmósfera fueron creciendo, provocando el inicio del calentamiento global y el cambio climático. La OMM coordina diversos programas de monitoreo para ayudar a dirigir acciones de reducción de emisiones en respuesta al cambio climático. Entre los programas, se distingue el Programa de mediciones de VAG (Vigilancia Atmosférica Global), que dispone a nivel mundial las observaciones de GEI, gases reactivos (GR), aerosoles y ozono estratosférico y troposférico. Todos estos programas de medición se desarrollan con el fin de determinar variaciones en la composición atmosférica y respaldar acuerdos internacionales sobre el medio ambiente como parte esencial de los esfuerzos de mitigación del cambio climático.

Los gases GEI y GR son componentes gaseosos de la atmósfera de origen natural y antropogénico. 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, gracias a ello, se mantiene la temperatura necesaria para la vida en el planeta. La radiación infrarroja emitida por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes es absorbida por los GEI. Cuando la concentración de estos gases aumenta de manera significativa, aumenta también el calentamiento que producen, dando lugar al fenómeno que se estudia como "calentamiento global", que trae consecuencias sobre los ecosistemas, las especies que habitan el planeta y las actividades socio-económicas. 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. Además, en la atmósfera hay una serie de GEI creados únicamente por las actividades humanas, como los clorofluorocarbonos (CFCs), que son los principales responsables del deterioro de la capa de ozono, y los halocarbonos como hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) e hidroclorofluorocarbonos (HCFCs), y las sustancias fluoradas, como el hexafluoruro de azufre (SF₆). Todos estos últimos están regulados por el Protocolo de Montreal, debido a su alto poder para causar el agotamiento de la capa de ozono de la alta estratósfera.

Otro de los componentes de la atmósfera son los aerosoles. Los aerosoles atmosféricos son pequeñas partículas (< 100 µm) sólidas o líquidas en suspensión. Algunos se originan de forma natural con las erupciones volcánicas, a partir de la bruma marina y la arena fina, o por la erosión del viento sobre la superficie del suelo. Otros son el resultado de las acciones humanas, como el polvo de las actividades agrícolas, el humo de la combustión de la biomasa y de combustibles fósiles. Los aerosoles de origen antropogénico son emitidos en grandes cantidades, alcanzando niveles que afectan tanto al clima como a la salud humana. El efecto climático se produce de una manera directa por fenómenos de absorción y dispersión de la radiación solar, al funcionar los aerosoles como núcleos de condensación que modifican las propiedades radiativas y la persistencia de las nubes. Los efectos en la salud humana se deben al hecho de que los aerosoles con tamaño inferior a 10 µm pueden ser fácilmente inhalados y, por lo tanto, son potencialmente dañinos para las funciones tanto pulmonar como cardiovascular.

A diferencia de los otros componentes de la atmósfera, las partículas de aerosol tienen un tiempo de residencia atmosférico corto (días) y se transportan, mezclan, envejecen químicamente y se eliminan mediante deposición seca y húmeda, lo que da como resultado una distribución muy heterogénea en el espacio y el tiempo. A su vez, tienen variaciones estacionales y diarias, así como cambios repentinos debido a eventos como grandes tormentas de polvo y erupciones volcánicas. Por lo tanto, conocer las propiedades radiativas de los aerosoles es importante para poder evaluar los efectos que tienen en el clima, la calidad del aire y la visibilidad sobre una región.

4.2 Métodos

Las mediciones de gases y aerosoles se sitúan en observatorios y estaciones dependientes del SMN que se distribuyen latitudinalmente en nuestro país. Las mismas se detallan en la Tabla 4.1 y los parámetros medidos se especifican en la Tabla 4.2.

Tabla 4.1. | Localización y mediciones realizadas en estaciones del SMN. *Las mediciones de aerosoles en el Observatorio Central de Buenos Aires son transitorias.

ESTACIÓN	UBICACIÓN	ELEVACIÓN	MEDICIÓN
Observatorio Central de Buenos Aires (CABA)	34.5900 ° S 58.4838 ° W	25 m	Aerosoles *
Marambio (Antártida)	64.2400 ° S 56.6247 ° W	198 m	GEI, Aerosoles, Ozono Troposférico
Observatorio La Quiaca (Jujuy)	22.1000 ° S 65.5999 ° W	3459 m	Ozono troposférico
Observatorio Pilar (Córdoba)	31.4009 ° S 63.5290 ° W	339 m	Ozono troposférico
VAG Ushuaia	54.8484 ° S 68.3106 ° W	18m	GEI, GR, Ozono Troposférico

Tabla 4.2. Parámetros y técnicas de medición realizadas en las estaciones del SMN.

PARÁMETRO	INSTRUMENTAL	TÉCNICA DE MEDICIÓN
Carbono negro	Aethalometer AE33	Recolección continua de partículas de aerosol a través de un punto en la cinta de filtro. Se analiza midiendo la transmisión de luz a través de una porción de la cinta de filtro que contiene la muestra, en comparación con la porción de referencia.
Ozono Superficial	Thermo Environmental Instruments Modelo 49C	Medición a través de absorción fotométrica UV con doble celda, midiendo en forma simultánea aire sin ozono (aire cero) y muestra.
Dióxido de Carbono	Picarro G2401	Permite mediciones simultáneas de CO ₂ , CH ₄ , CO en ppb utilizando espectroscopía de anillo de cavidad (CRDS) de Picarro.
Metano		
Monóxido de Carbono		

A continuación se detalla la variación anual de los diferentes parámetros medidos en las estaciones del SMN.

4.3 Dióxido de carbono (CO₂)

El CO₂ es el GEI antropogénico más significativo por su larga duración en la atmósfera y es un elemento fundamental en el ciclo del carbono. Por el gran impacto que tiene el CO₂ en la atmósfera, es importante medir su concentración y así analizar las interacciones con el medio ambiente y las consecuencias de las actividades humanas. En general, la concentración de CO₂ registra un crecimiento sostenido cada año. A la vez, se observa un ciclo anual en todo el planeta que se debe a los ciclos en el crecimiento de la vegetación, dominada por la abundancia vegetal en el hemisferio Norte. Durante la primavera y el verano boreal, las plantas toman el CO₂ de la atmósfera para su crecimiento y reproducción, provocando una disminución del CO₂ en la atmósfera (fotosíntesis). En el otoño y el invierno, por el contrario, las plantas y las hojas mueren y se descomponen, absorbiendo oxígeno (respiración) y liberando CO₂ a la atmósfera, lo que causa un aumento en la medición. 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 año 2020. Para ambos puntos de medición, las diferencias entre los registros de otoño-invierno y primavera-verano fue de 3 ppm. Con un valor promedio máximo de 411 ppm en Ushuaia y Marambio, se corroboró lo esperado para el ciclo anual del CO₂.

En el mes de noviembre, en Ushuaia y Marambio se alcanzó el valor promedio de 409 ppm y 410 ppm de CO₂, respectivamente. Estos valores son inferiores a los 413 ppm registrados en noviembre a nivel global por 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 2020. Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.

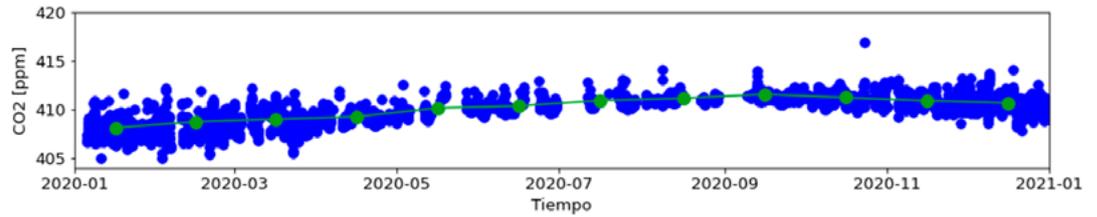
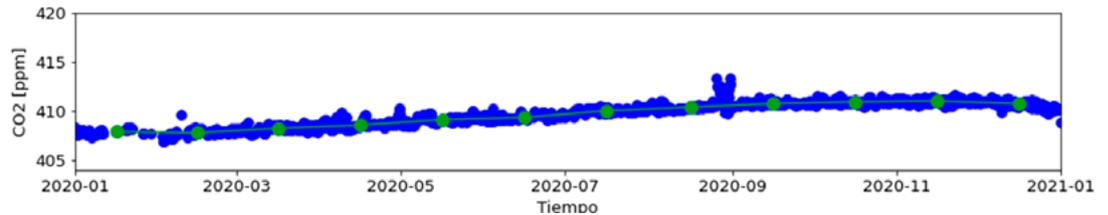


Figura 4.2. | Mediciones continuas de las fracciones molares de CO₂ registradas en la estación Marambio, por el Instituto Meteorológico Finlandés (FMI), durante el año 2020. Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.



4.4 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, después del CO₂, que contribuye al calentamiento global.

En las estaciones VAG Ushuaia y Marambio se registran mediciones continuas de CH₄. Durante el año 2020 se obtuvieron las concentraciones observadas en las Figuras 4.3 y 4.4 .

Figura 4.3. | Mediciones continuas de las fracciones molares de CH₄ registradas en la estación VAG Ushuaia durante el año 2020. Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.

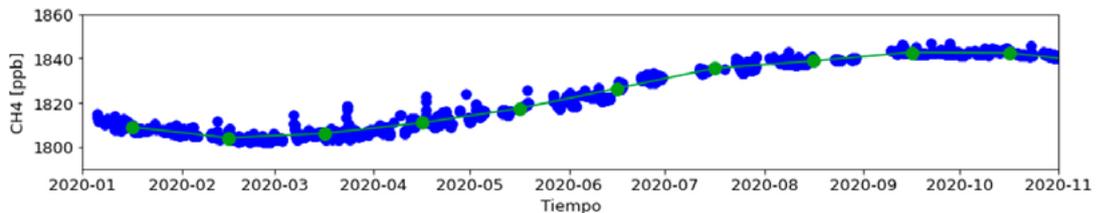
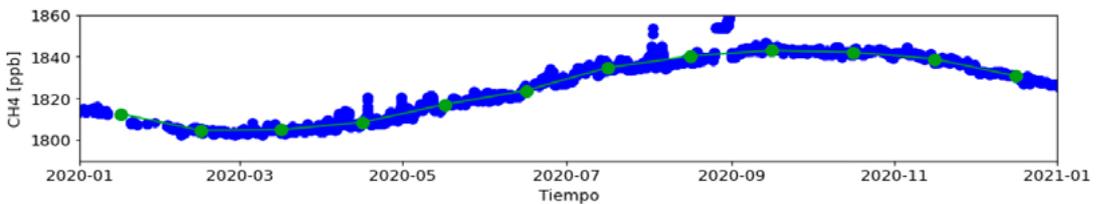


Figura 4.4. | Mediciones continuas de las fracciones molares de CH₄ registradas en la estación Marambio, por el Instituto Meteorológico Finlandés (FMI), durante el año 2020. Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.



De la misma manera que sucede con el CO₂, la concentración de CH₄ tiene un incremento año con año y sus variaciones interanuales dependen de distintos factores como el transporte y su mezcla a nivel global. Los principales emisores de CH₄ son las actividades agropecuarias, así como algunos cultivos como el arroz y, de manera natural, los pantanos y humedales. Debido al actual calentamiento de la atmósfera, lugares como la Antártida sufren procesos de deshielo, descubriendo el llamado permafrost, que es materia orgánica y gran emisor de CH₄. La liberación de CH₄ en humedales y su destrucción en la atmósfera por la presencia de radicales hidroxilos (-OH) son otros factores que influyen en la concentración de dicho gas en la atmósfera. Esto hace que en el hemisferio Sur los ciclos estacionales de concentración de CH₄ sufran bajas en sus valores a fines del verano y otoño.

El programa Global Monitoring Division of NOAA/Earth System Research Laboratory publicó el promedio global de CH₄ del planeta para el mes de octubre de 2020, en 1890,9 ppb. En Ushuaia y Marambio se registraron promedios de 1842,5 ppb y 1842,1 ppb, respectivamente, para el mismo mes de 2020.

| 4.5 Monóxido de carbono (CO)

El CO es un gas 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.

El CO puede ser eliminado de la atmósfera por diferentes procesos; los más importantes son su conversión a CO₂ y su eliminación biológica (eliminación del CO por los seres vivos).

Los registros de las concentraciones de CO en Ushuaia y Marambio durante el año 2020 se muestran en las Figuras 4.5 y 4.6. En Ushuaia se observan valores promedio de 47 ppb en abril y de 62 ppb en octubre. En Marambio, con el mismo ciclo estacional, se midieron 46 ppb en enero y 59 ppb en octubre.

Figura 4.5. | Mediciones continuas de las fracciones molares de CO registradas en la estación VAG Ushuaia durante el año 2020. Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.

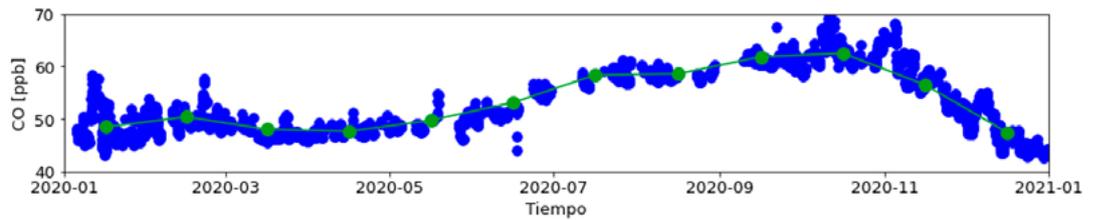
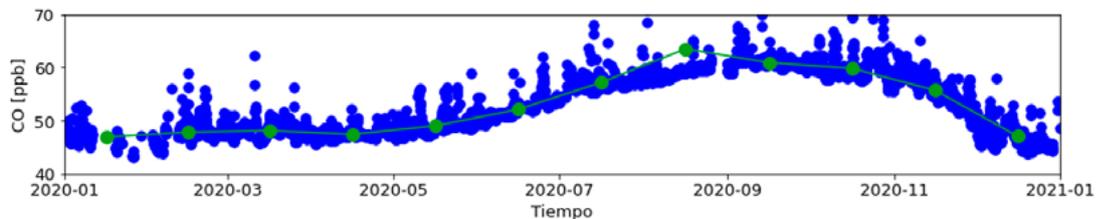


Figura 4.6. | Mediciones continuas de las fracciones molares de CO registradas en la estación Marambio, por el Instituto Meteorológico Finlandés (FMI), durante el año 2020. Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.



| 4.6 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. Contribuye a generar un calentamiento en la superficie de la Tierra, al igual que el CO₂, CH₄, N₂O y los gases halogenados considerados como GEI.

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), donde se presenta un promedio de 15 ppb en enero y 33 ppb en julio, y en Marambio (Figura 4.8), donde el mínimo se registra en enero y el máximo en julio, con 13 ppb y 32 ppb, respectivamente. Las variaciones observadas durante la primavera en ambos gráficos, especialmente 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 (Br).

En contraposición, los ciclos del O₃ superficial en regiones continentales de latitudes tropicales y medias, como en el caso del Observatorio Pilar y La Quiaca, presentan máximos en primavera-verano y mínimos en otoño-invierno.

Figura 4.7. | Mediciones continuas de las fracciones molares de ozono superficial registradas en la estación VAG Ushuaia durante el año 2020. Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.

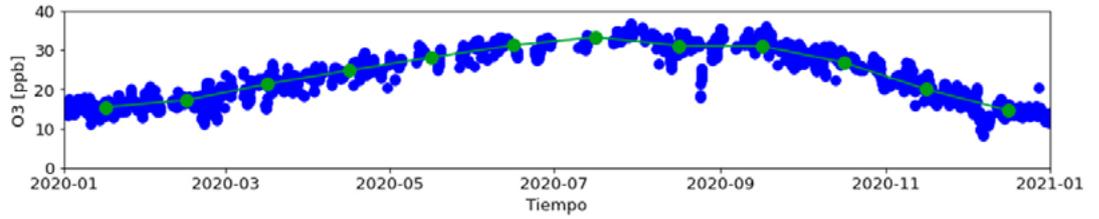
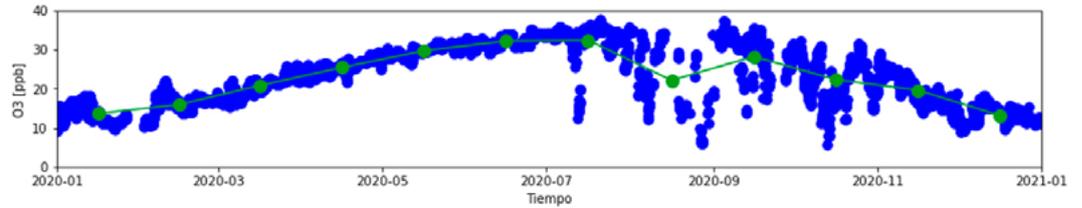


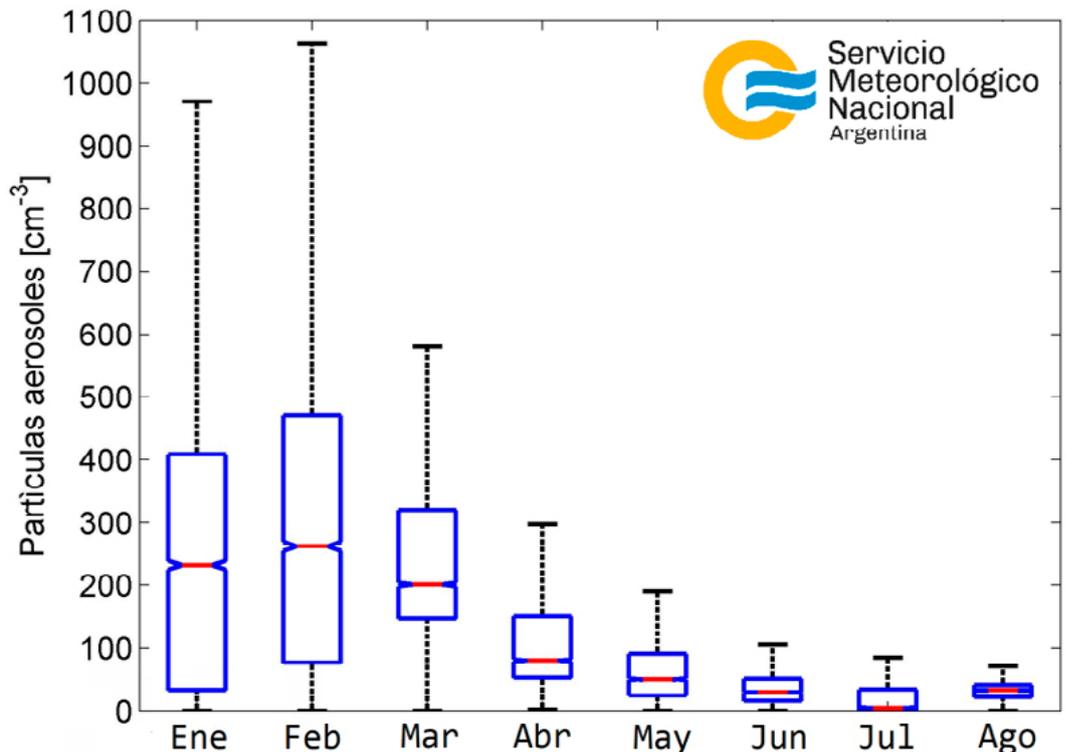
Figura 4.8. | Mediciones continuas de las fracciones molares de ozono superficial registradas en la estación Marambio durante el año 2020. Los círculos azules corresponden a los promedios diarios y los verdes, a los promedios mensuales.



4.7 Aerosoles

La mayoría de las partículas de aerosoles observadas en la Antártida se forman naturalmente en reacciones fotoquímicas en la atmósfera. Por lo tanto, su variación típica muestra un ciclo anual bien notable, con las mayores concentraciones durante el verano cuando hay radiación de sol, y las menores concentraciones durante el invierno. En la península antártica también se encuentran partículas originadas de la sal marina y del polvo, que forman la mayor parte de la masa de las partículas (Asmi y otros, 2018). En el año 2020 las más altas concentraciones se observaron en el mes de febrero, con un promedio de 250 partículas/cm³, y las mínimas en julio, con una cantidad media de 10 partículas/cm³ (Figura 4.9). En general, la concentración de las partículas de aerosoles en Marambio fue muy baja durante todo el año.

Figura 4.9. | Variación de la cantidad de las partículas aerosoles en Marambio, Antártida, durante los 8 primeros meses del año 2020. Mediciones realizadas por el Instituto Meteorológico Finlandés (FMI). La línea roja muestra la mediana mensual y las barras azules indican los cuartiles.



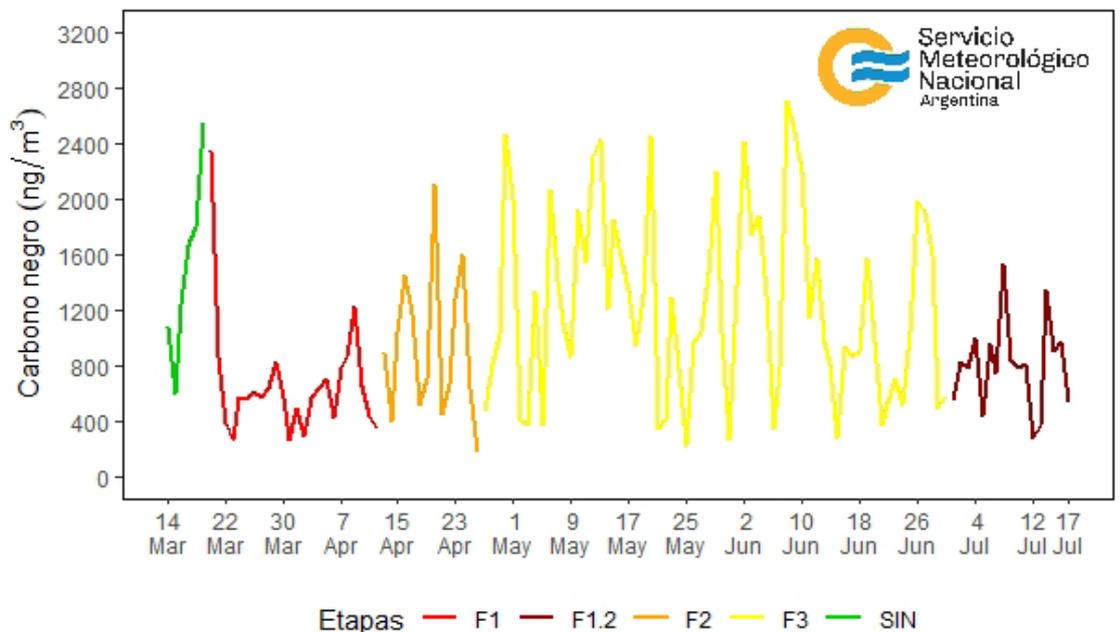
4.8 Eventos especiales 2020: el impacto de la pandemia COVID-19

Las medidas restrictivas o de aislamiento social que se impusieron a raíz de la pandemia de COVID-19 provocaron cambios en el medio ambiente y la Argentina no fue la excepción. Por el Aislamiento Social Preventivo y Obligatorio (ASPO), que se aplicó desde marzo, se pudieron percibir cambios localmente registrados por las mediciones del SMN.

En el Observatorio Central de Buenos Aires (OCBA) se instaló temporalmente un aethalometer AE33, permitiendo registrar las concentraciones de carbono negro durante los primeros meses de pandemia. El carbono negro es un aerosol resultante de la combustión incompleta de combustibles fósiles y biomasa. Es conocido como un contaminante que causa efectos en la salud debido a que ingresa fácilmente a las fosas nasales, pudiendo alojarse en los pulmones, provocando padecimientos respiratorios y cardíacos. Este tipo de aerosol es de gran importancia ya que ocasiona un cambio en la atmósfera, al afectar sus propiedades ópticas, por lo cual es reconocido como el segundo agente antropogénico más importante para el cambio climático, después del CO₂ (Drinovec y otros, 2015). Contribuye al calentamiento global, mediante la absorción directa de la luz en todas las longitudes de onda. Además reduce el albedo, a través del derretimiento de la nieve cuando se deposita y al interactuar con las nubes (EPA, 2012).

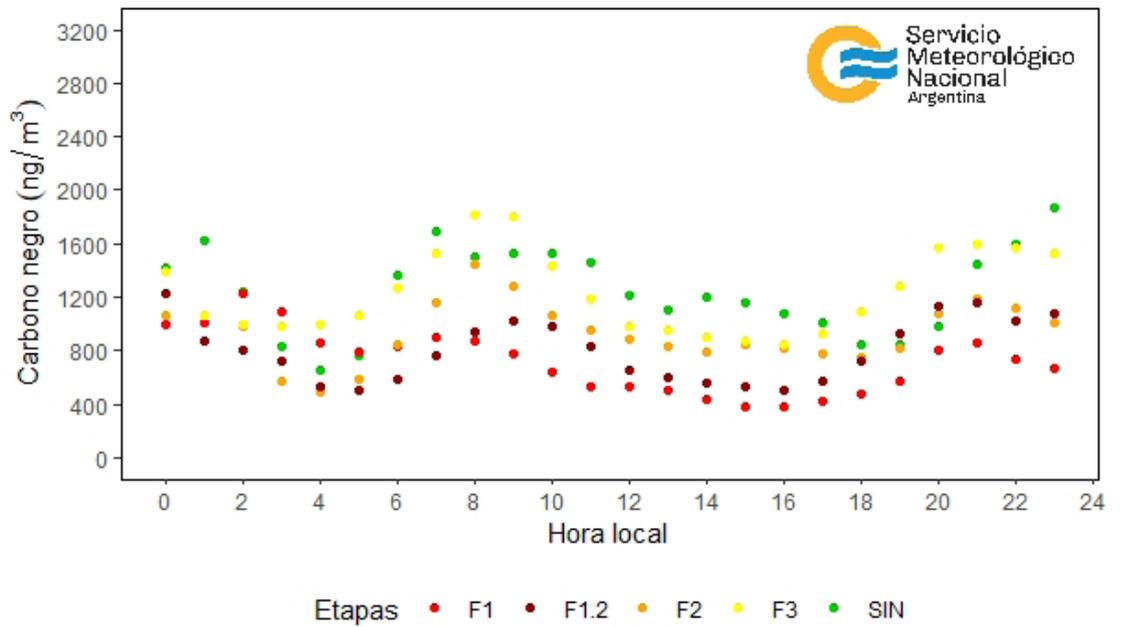
Con el registro de datos fue posible evidenciar la disminución en la concentración de partículas de carbono negro en la Ciudad de Buenos Aires a partir del día 20 de marzo, como resultado de la restricción de circulación impuestas por el gobierno nacional, luego de decretada la pandemia a nivel global. En el promedio diario de las concentraciones se observó una fuerte caída en la primera etapa del aislamiento y, a medida que las restricciones fueron disminuyendo, un aumento progresivo. Estos cambios pueden observarse en la Figura 4.10. El promedio de la caída de los valores fue cercano al 45% entre la semana sin restricciones y la primera etapa de la ASPO. En la fase 3, las concentraciones casi alcanzaron los valores pre-pandemia, mientras que el retorno a la fase 1 del mes de julio (F1.2) mostró una caída en los valores del 35% respecto a la etapa de referencia. A partir de la figura, también se puede ver que la concentración de carbono negro tiene una gran variación diaria; esto se debe a su dependencia con hábitos sociales (baja de actividad durante fines de semana o feriados), y a factores ambientales, como la dirección del viento, la presencia de lluvias, las condiciones de estabilidad atmosférica, etc.

Figura 4.10. | Promedio diario de las concentraciones de carbono negro en función del tiempo. Las líneas verdes corresponden a la etapa sin ASPO; las líneas rojas, naranjas, amarillas y bordó, a la fase 1, 2, 3 y 1.2 de la ASPO, respectivamente..



A su vez, se analizó el promedio de las concentraciones a lo largo de las horas del día, en las diferentes fases de la cuarentena obligatoria (ASPO, del 20 de marzo al 17 de julio) y cuando no estaba decretada (sin ASPO, del 14 al 19 de marzo del 2020) (Figura 4.11). En todas las etapas se observa el ciclo diario de las concentraciones, con un máximo en las primeras horas de la mañana, asociado a la mayor circulación vehicular debido a que la población se moviliza hacia su lugar de trabajo, y otro durante la noche, vinculado al retorno hacia los hogares y a las condiciones meteorológicas de pequeña escala.

Figura 4.11. | Promedio de las concentraciones de carbono negro en función de las horas del día. Los puntos verdes, etapa sin ASPO; los puntos rojos, naranjas, amarillos y bordó, a la fase 1, 2, 3 y 1.2 de la ASPO, respectivamente.

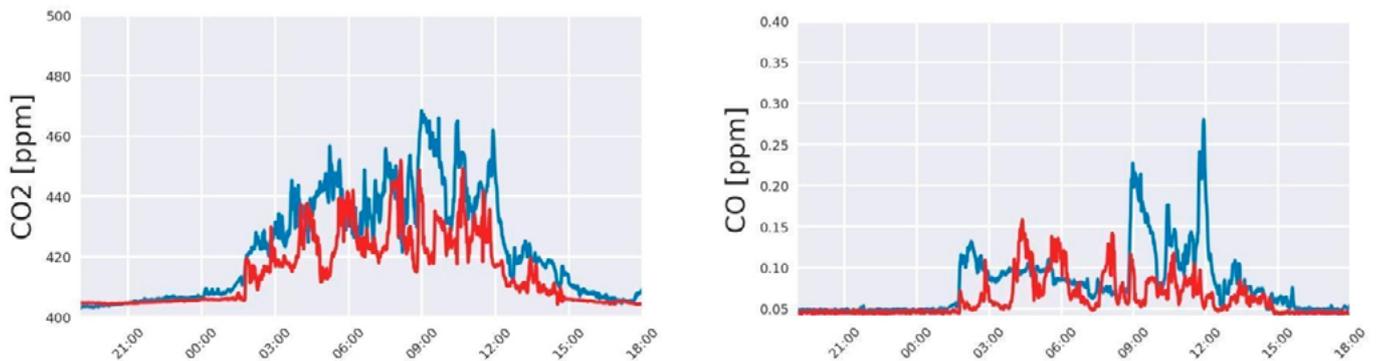


Si bien no se tiene un registro de mucho tiempo antes de decretada la ASPO, ambas figuras muestran los cambios asociados a la pandemia y las restricciones impuestas. Durante las primeras semanas de cuarentena, los bajos valores de las concentraciones muestran la mejora de la calidad del aire. También se pone en evidencia la influencia de la acción del hombre, pues a medida que las restricciones disminuyen, las concentraciones de carbono negro aumentan.

La estación VAG Ushuaia tiene por objetivo registrar datos de concentración de gases en condiciones de base del planeta, por lo cual la información con clara influencia local es eliminada. Para remarcar el efecto de la pandemia, en esta oportunidad, se registraron las concentraciones provenientes de las masas de aire de la ciudad de Ushuaia, para conocer el impacto que tuvo el ASPO sobre estos gases en el ambiente, ya que los mismos son consecuencia directa de las actividades antropogénicas e impactan claramente en la calidad del aire.

A partir de los registros obtenidos en la estación VAG Ushuaia se observó que, debido al ASPO y la consecuente restricción de circulación en la ciudad de Ushuaia, hubo una disminución en la concentración de ciertos gases. Se comparó días de circulación normal, previos a la cuarentena, con días de aislamiento y se observó una reducción en la concentración del CO y CO₂. En la Figura 4.12 se muestran los valores de concentración de dichos gases en días de actividad normal (12 y 13 de marzo 2020) y en días de la cuarentena (27 y 28 de marzo 2020).

Figura 4.12. | Mediciones de concentración de CO₂ (izquierda) y CO (derecha) para días de actividad normal (línea azul) y días de la cuarentena (línea roja) para la ciudad de Ushuaia, registradas en la estación VAG Ushuaia.



Las mediciones de la estación VAG Ushuaia también han mostrado una variación en las concentraciones de O3 superficial en las masas de aire proveniente de la ciudad de Ushuaia. En los días 12 y 13 de marzo se observó una disminución importante de O3 superficial como consecuencia del aumento en la concentración de CO. Durante los días de la cuarentena se registraron concentraciones más altas y cercanas a los valores de base del planeta, debido a la reducción de CO en las masas de aire de la ciudad de Ushuaia. La Figura 4.13 muestra esta variación.

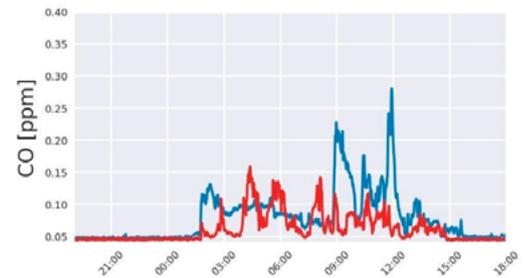


Figura 4.13. | Mediciones de concentración de ozono superficial para días de actividad normal (línea azul) y días de la cuarentena (línea roja) para la ciudad de Ushuaia, registradas en la estación VAG Ushuaia.

SECCIÓN 4: Referencias:

Asmi, E., Neitola, K., Teinilä, K., Rodríguez, E., Virkkula, A., Backman, J., ... & Paatero, J., 2018: Primary sources control the variability of aerosol optical properties in the Antarctic Peninsula. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 70(1), 1-16.

Drinovec, L., Močnik, G., Zotter, P., Prévôt, A. S. H., Ruckstuhl, C., Coz, y otros, 2015: The " dual-spot" Aethalometer: an improved measurement of aerosol black carbon with real-time loading compensation.

EPA, 2012: Report to Congress on Black Carbon. Marzo de 2012. <https://www3.epa.gov/blackcarbon/2012report/fullreport.pdf>

Wessel, S., Aoki, S., Winkler, P., Weller, R., Herber, A., Gernandt, H., & Schrems, O., 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 RADIACIÓN SOLAR ULTRAVIOLETA Y DE LA CAPA DE OZONO

5.1 Radiación solar ultravioleta

La radiación solar que alcanza la superficie comprende longitudes de onda que pertenecen al espectro de radiación infrarroja, visible y en menor medida, pero no menos importante, la radiación ultravioleta (UV). Esta última se divide en UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) y UVC (100-280 nm).

El porcentaje de radiación UV que alcanza la superficie es mucho menor que las restantes longitudes de onda. Sin embargo, su capacidad de influir en cuestiones biológicas la vuelve tan importante como las demás. Este tipo de longitudes de onda se encuentra en estrecha relación con el incremento de incidencia de cáncer de piel en la población, y está relacionado directamente con la concentración de ozono local.

El parámetro más estudiado de la radiación solar UV, por sus implicancias biológicas, es la irradiancia solar UV eritémica, que se obtiene en base a la irradiancia solar y la respuesta de acción eritémica de la piel, definida por McKinlay y Diffey (1987). A partir de la irradiancia solar UV eritémica es posible obtener el índice UV (UV index, UVI), 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 5.1. | Escala de categorías para los distintos índices UV. <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 índice UV está representado por un valor numérico cuyas categorías están caracterizadas por colores específicos, como se muestra en la Figura 5.1.

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

El SMN monitorea los niveles de radiación solar eritémica UV en diferentes estaciones y observatorios meteorológicos dentro del país en el marco del proyecto de Vigilancia Atmosférica Global (GAW) de la OMM. Asimismo, el SMN formó parte del proyecto internacional SATREPS-SAVERNET entre Japón, Chile y Argentina para la adquisición e instalación de equipamiento especial para el monitoreo de calidad de aire y distintos parámetros atmosféricos. El proyecto permitió al SMN aumentar la cantidad de sitios en superficie en donde se realizan mediciones de radiación solar UV, entre otros. De igual manera, el SMN firmó un convenio con el Finnish Meteorological Institute, institución encargada de proveer el sensor que mide radiación solar UV en la base antártica Marambio. En la Tabla 5.1 se listan los sitios pertenecientes al SMN en los que se monitorea la radiación solar UV.

Tabla 5.1. | Estaciones pertenecientes al SMN en las que se mide irradiancia solar UV eritémica. Las estaciones con un asterisco (*) son las que forman parte del proyecto SAVER-NET.

Sitio	Latitud	Longitud	Elevación (m)	Sensor	Modelo	Datalogger
La Quiaca	-22.1	-65.6	3468	YES	UVB-1	CR10X
Tucumán*	-26.83	-65.1	451	Kipp&Zonen	UVS-E-T	CR1000
Pilar*	-31.67	-63.88	335	Kipp&Zonen	UVS-E-T	CR1000
Mendoza	-32.89	-68.87	837	Solar Light	501	Solar Light
Buenos Aires	-34.59	-58.48	30	Solar Light	501	Solar Light
Neuquén*	-38.95	-68.14	269	YES	UVB-1	CR800
Bariloche*	-41.14	-71.16	839	YES	UVB-1	CR800
Comodoro Rivadavia*	-45.78	-67.46	51	YES	UVB-1	CR800
Rio Gallegos*	-51.61	-69.3	15	YES	UVB-1	CR800
Ushuaia	-54.85	-68.31	11	Solar Light	501	Solar Light
Marambio	-64.23	-56.63	0	Solar Light	501	CR1000

Se aclara que, si bien Tucumán y Bariloche son estaciones que forman parte de la red SAVER-NET, actualmente no realizan mediciones. Se espera, en el corto plazo, que retomen sus registros. Por dicho motivo, el presente reporte no muestra mediciones de estos sitios. Asimismo, debido a problemas técnicos, no se cuenta con datos de La Quiaca para el año 2020.

Los sensores de radiación solar UV fueron calibrados por última vez en el año 2018 (Nollas y otros, 2019) y están referenciados al Centro Mundial de Radiación (WRC) en Davos-Suiza. En todos los sitios, las mediciones de radiación solar ultravioleta se realizan sobre el plano horizontal con radiómetros conectados a dataloggers marca Campbell o los propios del fabricante como Solar Light. Los dataloggers de todas las estaciones están configurados para adquirir un valor minutal.

5.2 Monitoreo del índice UV durante 2020

A fin de analizar los valores de radiación solar UV medidos en las estaciones del SMN, en las Figuras 5.2 y 5.3 se presenta el índice UV máximo diario medido en Buenos Aires y Ushuaia desde comienzo del año. En estas figuras se puede observar un comportamiento estacional, en donde los valores aumentan hacia el verano austral y disminuyen hacia el invierno austral. También se advierte que 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. Se destacan los niveles de índice UV medidos en Ushuaia a finales de noviembre y principios de diciembre debido al paso del agujero de ozono y a la poca nubosidad de esos días (Figura 5.3). Con el fin de contrastar las mediciones obtenidas durante 2020 contra las

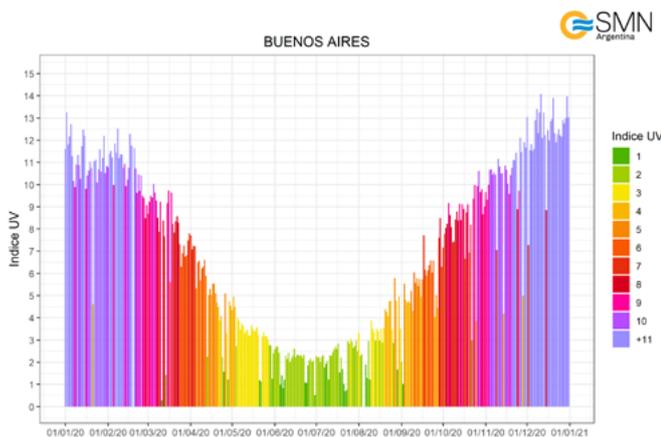


Figura 5.2. | Índice UV máximo diario medido en Buenos Aires.

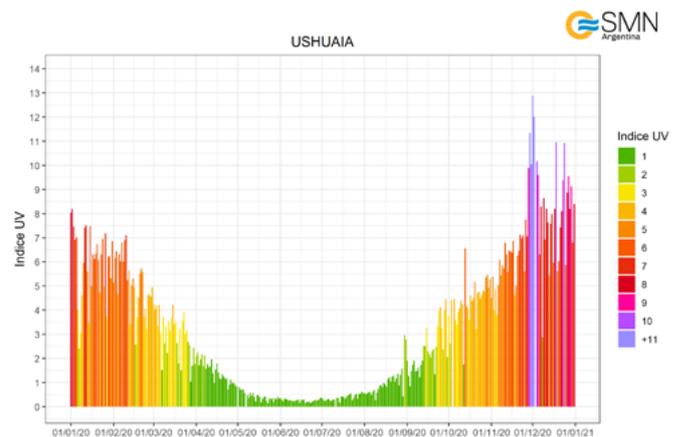


Figura 5.3. | Índice UV máximo diario medido en Ushuaia.

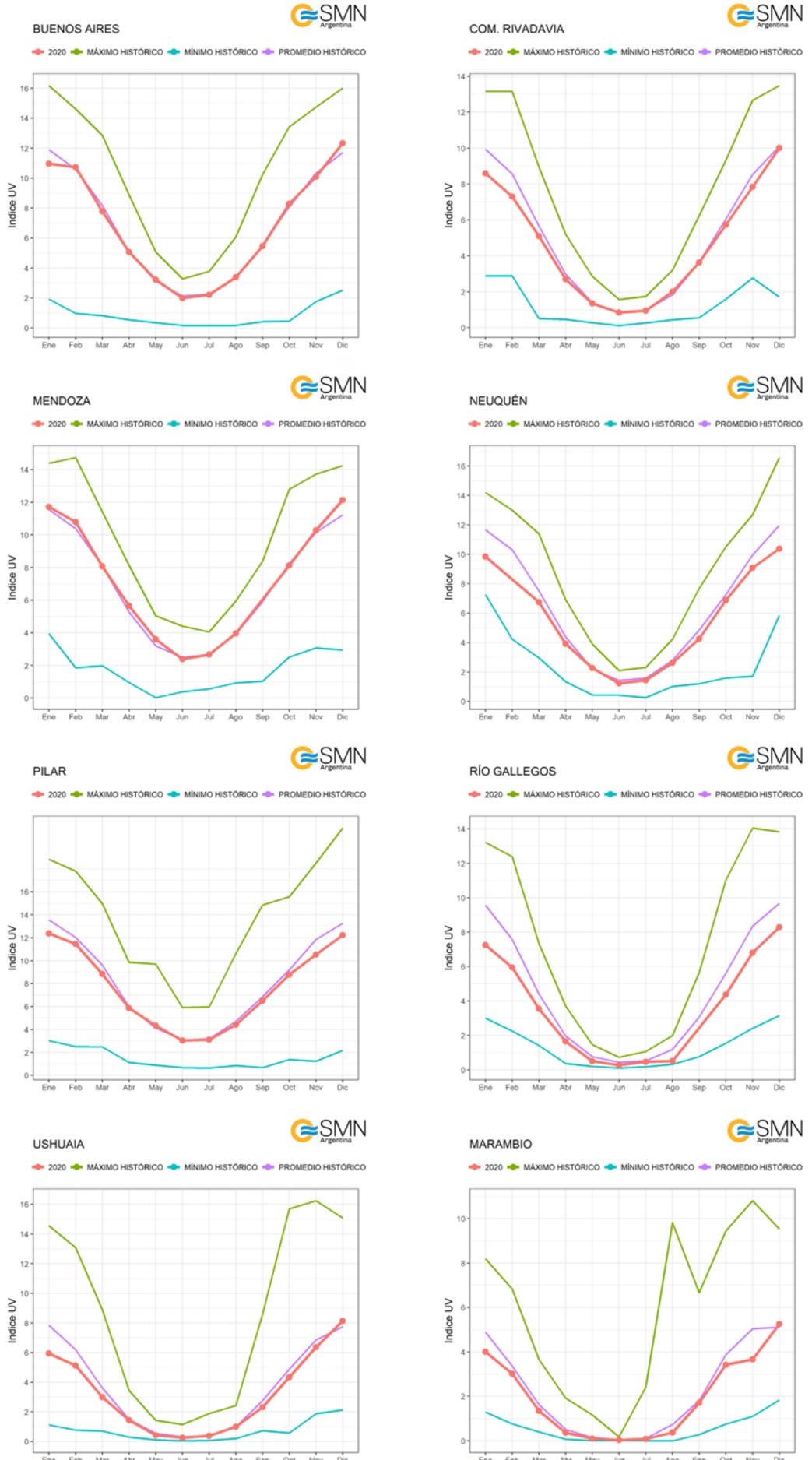
Sitio	Años
Pilar	1995-2003; 2012-2019
Mendoza	1999-2019
Buenos Aires	1995-2002; 2005-2019
Neuquén	2016-2019
Bariloche	2016-2019
Comodoro Rivadavia	1997-2001; 2004-2019
Río Gallegos	2014-2019
Ushuaia	1998-2001; 2004-2006; 2008-2019
Marambio	1998-2019

Tabla 5.2. | Años de medición utilizados para calcular los promedios mensuales históricos.

históricas, la Figura 5.4 muestra los promedios mensuales del índice UV medidos durante el año junto con la media, máxima y mínima mensual histórica de cada sitio. Esto es importante a fin de detectar anomalías o posibles eventos que se relacionen con algún fenómeno. En la Tabla 5.2 se informan los años de datos utilizados para el cálculo de los promedios mensuales históricos.

Todos los valores mensuales del año 2020 se encuentran relativamente cercanos al promedio histórico mensual, con excepción de Río Gallegos, donde se midieron niveles por debajo del promedio histórico en todos los meses. El comportamiento mensual histórico observado en Marambio es diferente del resto de los sitios. Allí se distingue un pico en los valores máximos en agosto y esto está relacionado con el paso del agujero de ozono por dicho sitio. En Ushuaia se advierte un efecto similar aunque atenuado donde, entre los meses de agosto y octubre, se observa una pendiente más empinada en el aumento del índice UV.

Figura 5.4. | Promedios mensuales de índice UV máximo diario junto con los valores históricos disponibles de Buenos Aires, Comodoro Rivadavia, Mendoza, Neuquén, Pilar, Río Gallegos, Ushuaia y Marambio.



| 5.3 Ozono

La capa de ozono en la estratosfera actúa como un filtro de la radiación ultravioleta. Su función es vital dado que un ligero aumento de dicha radiación puede afectar nocivamente a los ecosistemas vivos y algunos materiales en la superficie terrestre. La degradación de la capa de ozono se debe principalmente a la presencia de sustancias como los Clorofluorocarbonos (CFC). La fotodisociación de los CFC produce una cantidad considerable de átomos de cloro que son directamente responsables de la destrucción de ozono en la estratosfera (Molina y Rowland, 1974). Actualmente, el uso de estas sustancias está regulado por el Protocolo de Montreal (ver UNEP, 2019).

El ozono en la estratosfera no solo absorbe radiación UV, sino también produce un calentamiento debido a la energía que libera durante su fotodisociación, de tal manera que la ausencia de ozono provoca un enfriamiento estratosférico. Este enfriamiento ha aumentado el gradiente de temperatura norte-sur en las latitudes medias del hemisferio sur y la Antártida, produciendo un fortalecimiento de los vientos estratosféricos y un desplazamiento de la corriente en chorro en la troposfera. Hasta finales del siglo XX, la corriente en chorro se había desplazado unos 2° de latitud hacia la Antártida (49° a 51° latitud), lo que alteró el transporte de calor y humedad, y contribuyó al calentamiento de la Península Antártica, la Patagonia y Nueva Zelanda. Además, produjo sequías en el oeste de Tasmania y Nueva Zelanda, afectando también la salinidad de los océanos australes (Karpechko, 2020). Según Banerjee y otros (2020), el desplazamiento de la corriente en chorro hacia la Antártida ha disminuido debido a las políticas y prohibiciones de uso de los CFC por el Protocolo de Montreal.

El objetivo de este capítulo es analizar el comportamiento de la capa de ozono durante el año 2020 sobre la estratosfera de la Argentina, para establecer si hubo cambios significativos en su variabilidad a lo largo del año. Cabe resaltar que en 2020 se presentó uno de los agujeros de ozono más profundo y persistente registrados desde 1979 a 2019 (Carbajal, 2020).

| 5.4 Método

En la Argentina existen cinco espectrofotómetros Dobson que registran y monitorean la evolución de la capa de ozono sobre el país. Los mismos están ubicados en el Observatorio de La Quiaca, Observatorio Central Buenos Aires, Comodoro Rivadavia, Ushuaia y Marambio. Son operados por el personal del Servicio Meteorológico Nacional quienes, a su vez, se encargan del mantenimiento y las calibraciones relativas y absolutas de los mismos, a través de la intercomparación con un estándar primario. Las calibraciones se realizan cabalmente, según protocolos publicados en el Manual de Operación de los Espectrofotómetros Dobson, editado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2008).

A partir de los espectrofotómetros Dobson se obtienen las cantidades de ozono total y se mide el espesor de la capa de ozono. El ozono total representa el espesor total de la columna de ozono sobre un determinado sitio. Se mide en unidades Dobson (UD), definidas como el espesor óptico de 0.001 mm de dicho gas a temperatura y presión estándar.

| 5.5 Monitoreo de la capa de ozono durante 2020

5.5.1 OBSERVATORIO LA QUIACA

En la Figura 5.5 se presenta la evolución diaria del ozono total sobre el Observatorio La Quiaca durante el año 2020, junto con el comportamiento diario de la media, y los máximos y mínimos históricos del período 2015-2019. Para el año 2020 se observa una diferencia muy pequeña entre los valores máximos y mínimos, con un ligero aumento que perdura desde agosto a octubre, disminuye en noviembre y repunta en diciembre. Se alcanza a apreciar que los valores diarios oscilan alrededor de la media, por lo que presentaron un comportamiento normal según sus valores históricos.

En la Figura 5.6 se muestran los promedios mensuales de ozono total sobre el Observatorio La Quiaca para el año 2020 (izquierda), y las diferencias entre el 2020 y la media mensual histórica (derecha). Se observa que, a excepción de agosto, en todos los meses del 2020 los valores superan la media, alcanzando una diferencia máxima de 13 UD en noviembre, inclusive superior a su valor máximo histórico. Se puede concluir que el transporte de ozono sobre el Observatorio La Quiaca ha sido superior a lo normal; se requieren estudios adicionales para establecer el motivo de dicho aumento.

Figura 5.5. | Evolución diaria de ozono total (en UD) en el Observatorio La Quiaca durante el año 2020 (línea azul). La línea roja denota el valor medio histórico y las líneas negras, los máximos y mínimos históricos del período 2015-2019. Los datos son provisionales debido a que son una mezcla de mediciones espectrales y cenitales.

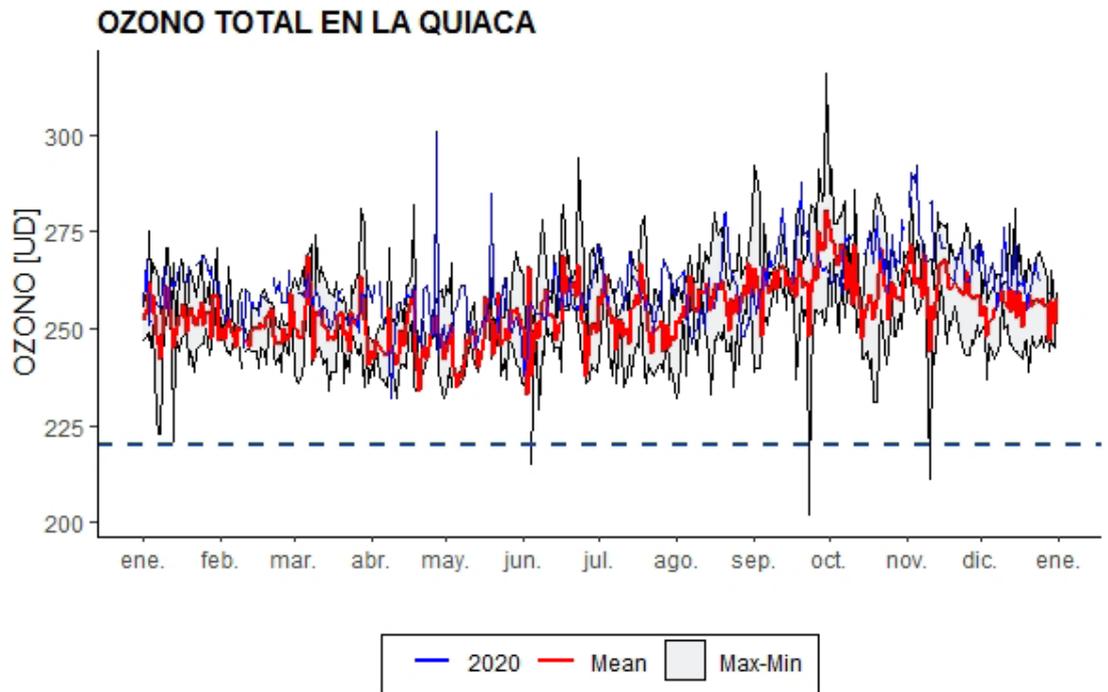
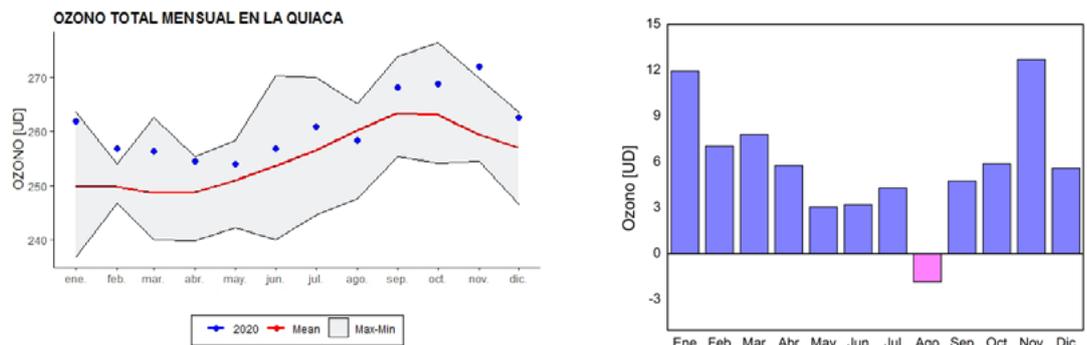


Figura 5.6. | Evolución media mensual de ozono total (en UD) en el Observatorio La Quiaca durante el año 2020 (puntos azules). La línea roja denota el valor medio mensual histórico y las líneas negras, los máximos y mínimos medios mensuales históricos del período 2015-2019 (izq.). Anomalías mensuales de ozono total (en UD) en el Observatorio La Quiaca durante el año 2020 (der.).



5.5.2 OBSERVATORIO CENTRAL BUENOS AIRES

En la Figura 5.7 se muestra la evolución diaria de la capa de ozono sobre el Observatorio Central Buenos Aires durante el año 2020, junto con el comportamiento diario de la media y los máximos y mínimos históricos del período 1996–2019. Se advierte que en el 2020 la capa de ozono se comportó cualitativamente dentro de la normalidad, con valores mínimos durante los primeros meses y una tendencia en aumento hacia el segundo semestre. El ozono oscila alrededor de su media principalmente durante los primeros 7 meses del año, mientras que en los meses de agosto a diciembre se alcanzan valores que inclusive superan los máximos históricos. También se observan algunos mínimos en agosto y diciembre. La mayor variabilidad ocurre durante el mes de agosto.

En la Figura 5.8 se presentan los promedios mensuales de ozono total durante el 2020 (izquierda), y las diferencias entre este año y su media histórica (derecha). En términos generales, se observa que los valores oscilan muy cercanos a la media histórica, con una caída máxima de 10 UD en el mes de agosto. Se puede concluir que la capa de ozono en este sitio presentó un comportamiento normal con apenas pequeñas desviaciones.

Figura 5.7. | Ídem Figura 5.5 pero para el Observatorio Central Buenos Aires. Los valores históricos hacen referencia al período 1996-2019.

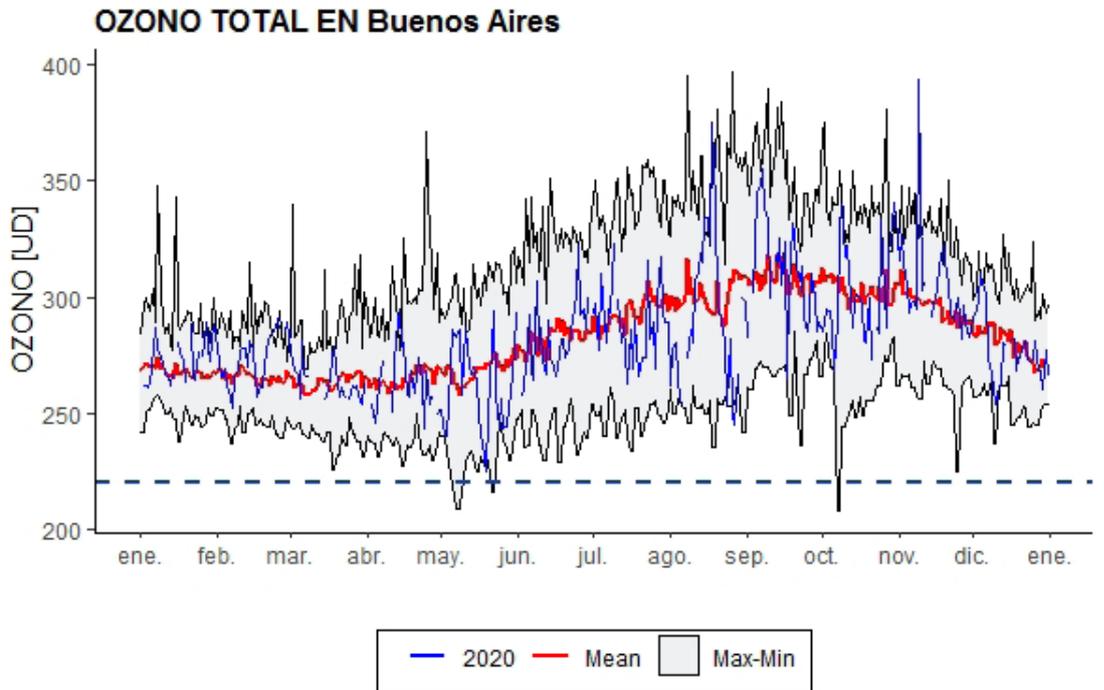
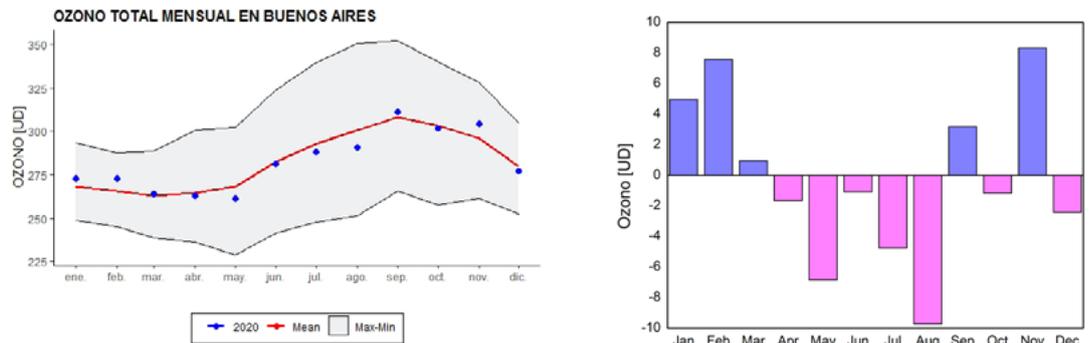


Figura 5.8. | Ídem Figura 5.6 pero para el Observatorio Central Buenos Aires. Los valores históricos hacen referencia al período 1996-2019.



5.5.3 COMODORO RIVADAVIA

En la Figura 5.9 se presenta la evolución diaria del ozono total sobre Comodoro Rivadavia durante el año 2020. Se observa que los valores del 2020 oscilan alrededor de la media histórica, calculada en base al período 1996-2019. En algunos meses, como en septiembre, se nota una alta variabilidad, en comparación con los extremos históricos. Si bien algunos valores superan la media, como en el mes de junio, no se observa nada significativo, por lo que se puede concluir que los valores diarios se encuentran dentro de lo normal.

En la Figura 5.10 se muestran los promedios mensuales de ozono total durante el 2020 (izquierda) y las diferencias entre este año y su media histórica (derecha). Los valores mensuales oscilan alrededor y muy cercanos a la media.

En ocho meses (febrero, marzo, abril, mayo, julio, agosto y diciembre) los valores están por debajo de la media. En agosto, por ejemplo, la anomalía con respecto a la media es de -19 UD, mientras que en diciembre, es de -20 UD. Durante los meses de enero, junio y septiembre, las anomalías son positivas, destacándose septiembre con 15 UD. En términos generales, se puede concluir que, sobre la estación, hubo menos transporte de ozono durante el año. La mayor variabilidad se observó en los meses de agosto a septiembre, pero no hubo cambios significativos en la capa de ozono durante el 2020.

Figura 5.9: | Ídem Figura 5.5 pero para Comodoro Rivadavia. Los valores históricos hacen referencia al período 1996-2019.

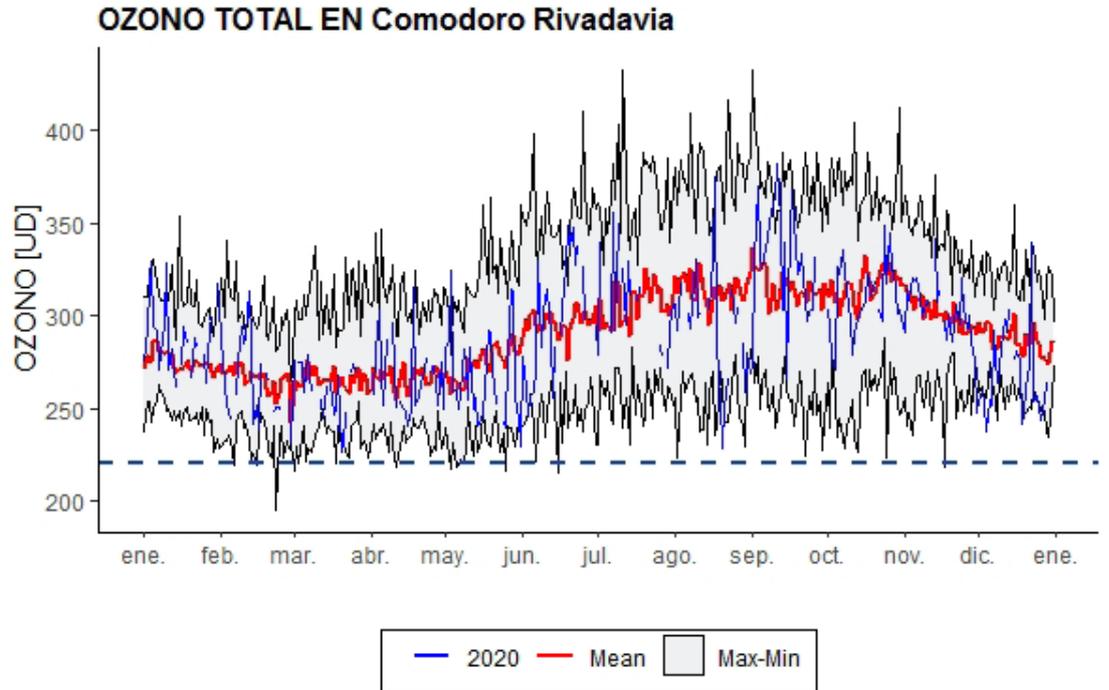
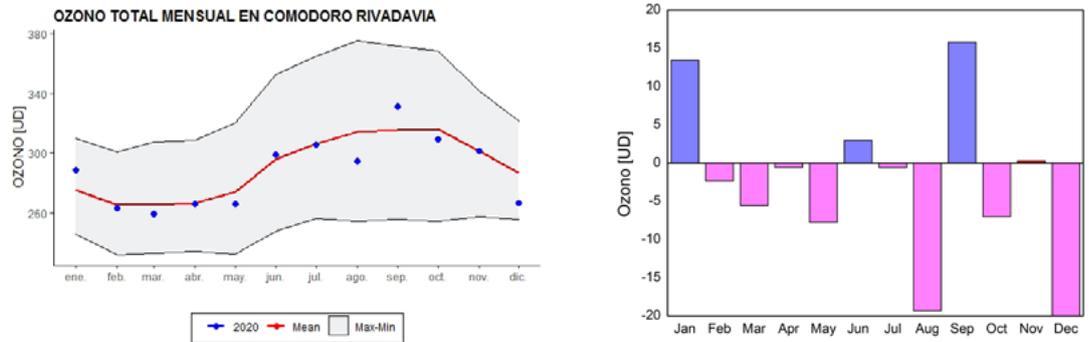


Figura 5.10: | Ídem Figura 5.6 pero para Comodoro Rivadavia. Los valores históricos hacen referencia al período 1996-2019.



5.5.4 VAG USHUAIA

En la Figura 5.11 se pueden observar los datos diarios de ozono total sobre la estación VAG Ushuaia para el año 2020. Durante los dos primeros meses del año, los valores oscilan alrededor de la media del período 1994 -2019, con una alta variabilidad. En abril y mayo, los valores se encuentran por debajo de la media, mientras que en el mes de junio se observa un repunte y se supera este umbral. Las cantidades de ozono en los meses de julio, agosto y septiembre (este último inicia el periodo del agujero de ozono) son menores que el promedio histórico. Durante octubre, noviembre y diciembre, se presenta, como todos los años, una gran variabilidad en la medición de ozono. Esto es debido al paso del agujero de ozono y a los bordes de dicho agujero que, si bien son ricos en ozono, no pueden mezclarse dentro del vórtice. Los valores en estos meses suelen ser menores a 220 UD cuando el agujero de ozono pasa por encima de Ushuaia (línea azul punteada horizontal).

En algunos momentos del paso del agujero de ozono, los valores registrados han alcanzado los mínimos históricos (29 de noviembre, 1 y 2 de diciembre), lo que ha traído como consecuencia aumentos que también rebasan máximos históricos del índice UV.

En la Figura 5.12 se muestran los promedios mensuales de ozono total para el año 2020 (izq.) y las anomalías mensuales con respecto al período 1994-2019 (der.). En el primer semestre de 2020, los valores oscilan alrededor y muy cercanos a la media histórica. A partir del mes de julio se observa una gran variabilidad. En este mes, el valor promedio se encuentra por debajo del mínimo histórico (con una anomalía de - 28 UD). Durante septiembre, por el contrario, se alcanza a superar el máximo histórico (con una anomalía de 39 UD). Este comportamiento está asociado al agujero de ozono presente en la Antártida, que fue muy profundo y persistente, sobre todo al inicio de la primavera austral.

En la Figura 5.13 se presentan los perfiles de ozono (izq.) y de temperatura (der.), resultantes de los nueve ozonosondeos realizados durante el pasaje del agujero de ozono sobre Ushuaia. Entre el 4 y 14 de septiembre se aprecian grandes cantidades de ozono, con valores de entre 80 y 140 ppb (o partes por billón) de ozono. La pérdida de ozono comienza a partir del día 24, obteniéndose valores de entre 0 a 20 ppb, y reflejando el efecto del agujero de ozono entre los 12 y 15 Km de altura. A partir del 24 de septiembre también se puede ver un enfriamiento, con temperaturas por debajo de los -70°C favorables para la formación de las nubes estratosféricas polares.

Figura 5.11. | Ídem Figura 5.5 pero para la estación VAG Ushuaia. Los valores históricos hacen referencia al período 1994-2019. La línea azul punteada indica el valor de 220 UD. Valores inferiores a este umbral se observan en el pasaje del agujero de ozono sobre la estación Ushuaia.

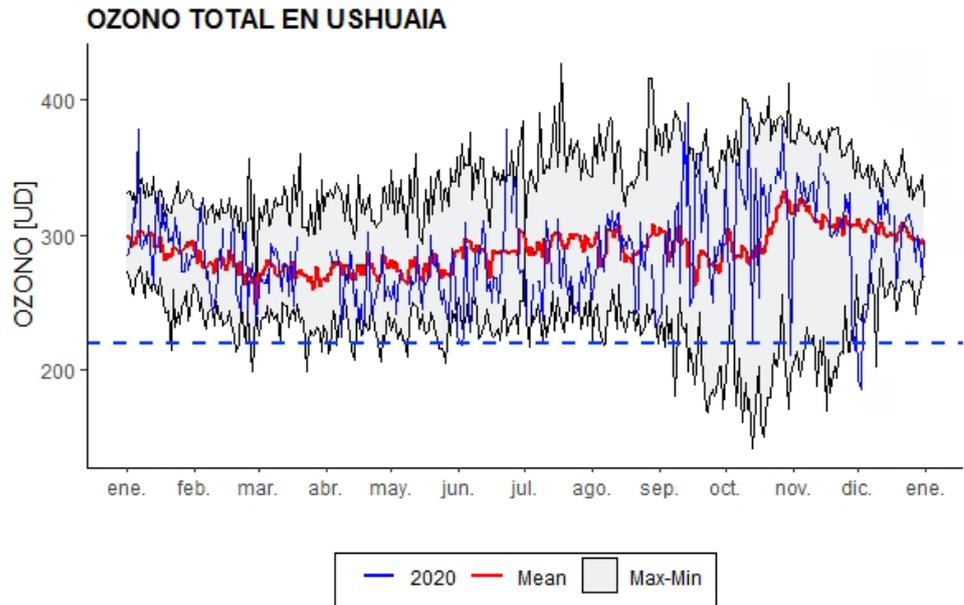


Figura 5.12: | Ídem Figura 5.6 pero para la estación VAG Ushuaia. Los valores históricos hacen referencia al período 1994-2019.

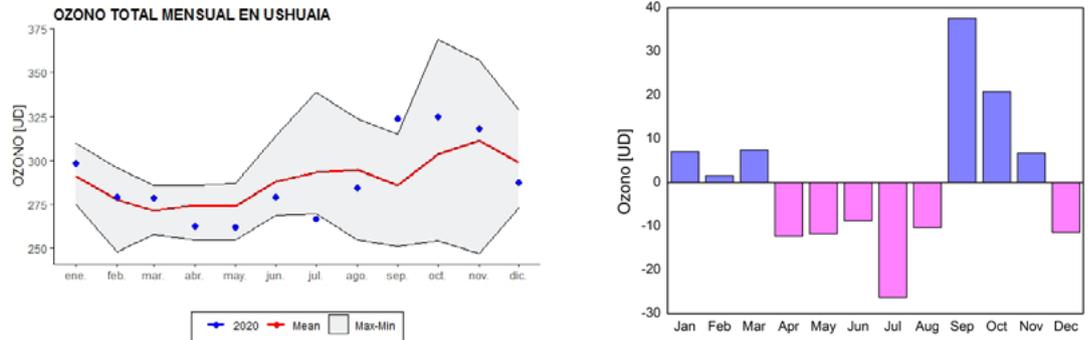
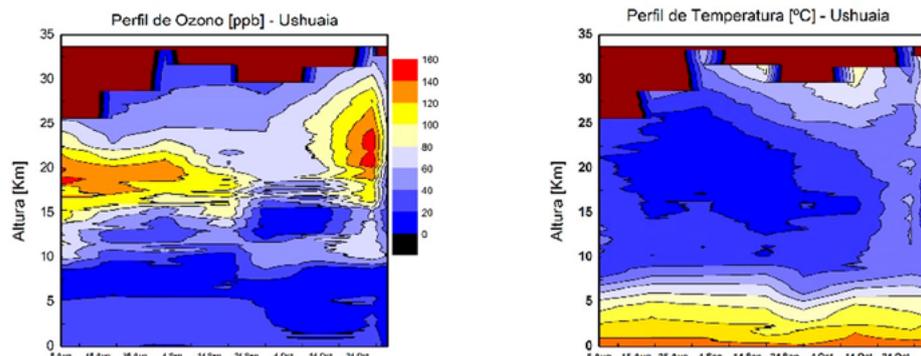


Figura 5.13 | Perfiles de ozono (izq.) y temperatura (der.) obtenidos a partir de los ozonosondeos realizados durante el paso del agujero de ozono sobre Ushuaia, entre el 4 y 14 de septiembre.



5.5.5 MARAMBIO

Las mediciones de ozono en la estación antártica Marambio no se realizan durante todo el año, debido a que mediados de abril inicia la noche polar, caracterizada por poca cantidad o ausencia de horas de luz solar con condiciones meteorológicas adversas, como vientos fuertes, lluvias, nevadas, etc. Esto hace que no se pueda medir con el espectrofotómetro Dobson durante los meses de noche polar, reiniciándose la actividad normalmente a mediados de agosto. En particular, este año las mediciones se iniciaron tardíamente, a partir de la segunda quincena de septiembre. Posterior a esa fecha, las condiciones meteorológicas tampoco permitieron efectuar una buena cantidad de mediciones.

En la Figura 5.14 se muestra la evolución diaria del ozono total sobre Marambio para el año 2020. Entre enero y abril se observa que, si bien los valores oscilan alrededor de la media, en la mayoría de los días estos se encuentran por encima del promedio histórico (calculado en función del período 1994-2019), excepto a finales de enero y en algunos días de marzo. Durante los meses de agosto a septiembre, se cuentan con pocos datos para el monitoreo del agujero de ozono. Se observa, sin embargo, gran variabilidad e incluso valores que superan los máximos históricos, como el registro de 443 UD del día 27 de noviembre. Se aprecian también valores muy bajos de ozono entre el 1 al 5 de octubre y entre 23 al 25 de noviembre, que no superan los mínimos históricos.

En la Figura 5.15 se muestran los promedios mensuales de ozono total. Al igual que los valores diarios, en la mayoría de los casos estos se encuentran por encima de la media histórica (izquierda), alcanzando una máxima diferencia de 20 UD en el mes de noviembre (derecha). En el mes de septiembre el promedio mensual es igual al valor máximo histórico.

Se puede concluir que la península Antártica estuvo pocos días bajo la influencia del agujero de ozono. Sin embargo, cuando éste pasó por la estación Marambio, su profundidad fue notoria. Esto se ve reflejado en las mediciones, que casi alcanzan valores mínimos históricos en octubre y noviembre.

Figura 5.14 | Ídem Figura 5.5 pero para la estación Marambio. Los valores históricos hacen referencia al período 1994-2019.

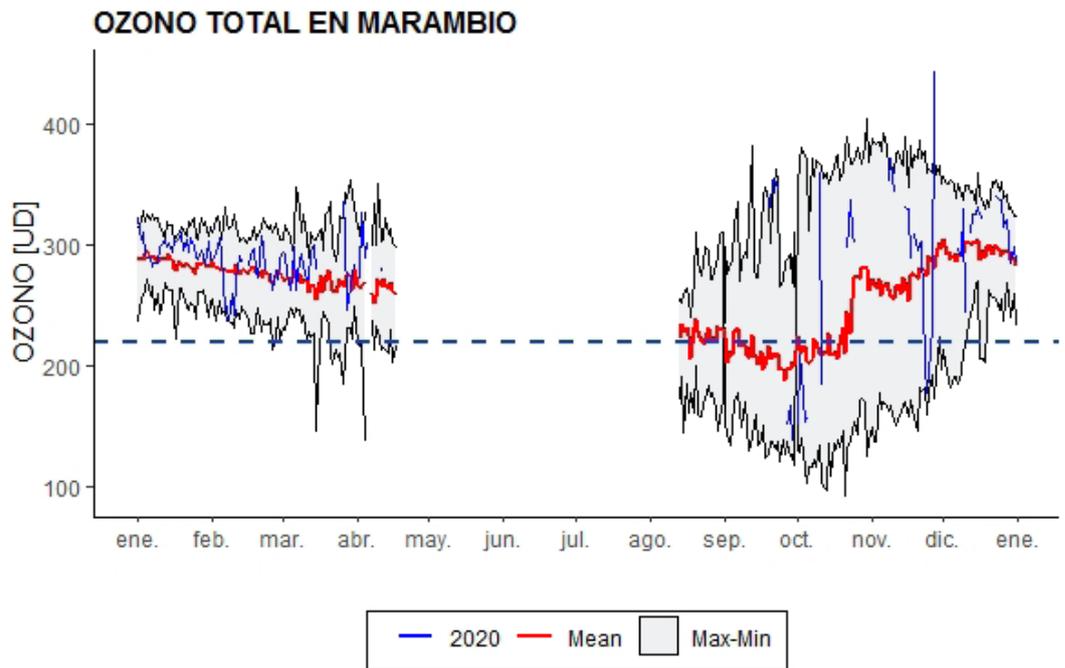
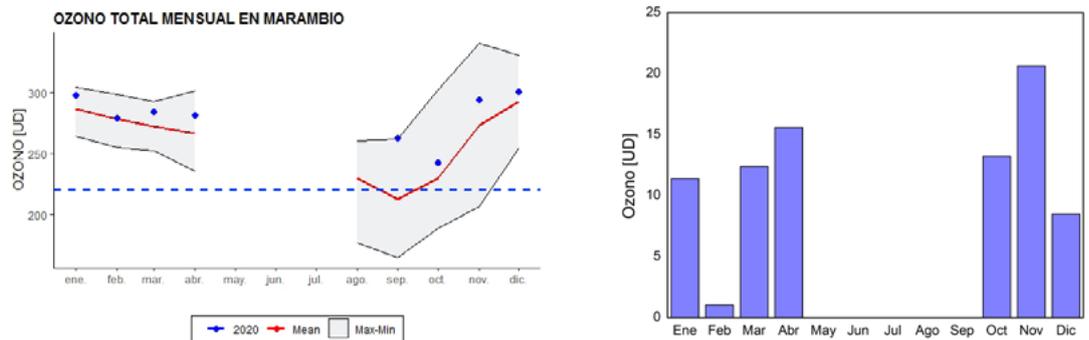


Figura 5.15: | dem Figura 5.6 pero para la estación Marambio. Los valores históricos hacen referencia al período 1994-2019.



SECCIÓN 5: Referencias:

- Banerjee, A., Fyfe, J. C., Polvani, L. M., Waugh, D. & Chang K.-L. A pause in Southern Hemisphere circulation trends due to the Montreal Protocol. *Nature* 579, 544–548 (2020).
- Carbajal Benitez, G. Orte F., Luccini E., Wolfram E., Nollas F., Barlasina M. E., Ochoa H. Temporada del Agujero de Ozono 2020. Repositorio Institucional SMN. <http://repositorio.smn.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12160/1421/0039VG2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Karpechko, A. Y., 2020: Jet stream stops shifting as ozone layer recovers. *Nature*, 579, 500-501 .
- Komyr W. D., 2008: Operation Handbook – Ozone Observation with a Dobson Spectrophotometer, GAW Report 183, World Meteorological Organization (WMO).
- McKinlay, A. F., y B. L. Diffey, 1987: A reference action spectrum for ultraviolet induced 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, J. Gröbner, 2019: Report of the Fifth Erythmal UV Radiometers Intercomparison (Buenos Aires, Argentina, 2018). GAW report No.243, May 2019. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20791#.XNGkuyBKgdV
- OMM, 2008: Operations Handbook - Ozone Observations with a Dobson Spectrophotometer. WMO/TD- No. 1469; GAW Report- No. 183.
- OMS, 2000: Organización Mundial de la Salud. Global Solar UV Index: A Practical Guide. <https://www.who.int/uv/publications/en/UVIGuide.pdf>.
- Orte, P.F., Luccini, E., Wolfram, E., Nollas, F., Pallotta, J., D'Elia, R., Carbajal, G., Mbatha, N., and Hlongwane, N., 2020: Comparison of OMI-DOAS total ozone column with ground-based measurements in Argentina. *Revista de Teledetección*, 57, 13-23.
- UNEP, 2019: Handbook for the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. United Nations Environment Programme Nairobi, Kenya.

SMN | REPORTE
ESTADO DEL CLIMA
EN ARGENTINA 2020



Ministerio de Defensa
Argentina