

## **EXTREMOS TÉRMICOS ENTRE 1961 Y 2020 EN UNA CIUDAD NORPATAGÓNICA DE LATITUDES MEDIAS (NEUQUÉN, ARGENTINA)**

### **THERMAL EXTREMES BETWEEN 1961 AND 2020 IN A MID-LATITUDE NORTH PATAGONIAN CITY (NEUQUÉN, ARGENTINA)**

Sra. Micaela Lopez<sup>1</sup>; Sra. María Eugenia Fernández<sup>2</sup>; Sr. Jorge Osvaldo Gentili<sup>3</sup>

#### **RESUMEN**

El trabajo tiene por objetivo caracterizar eventos extremos térmicos (Olas de Calor –OC-, Olas de Frío –OF-, Períodos de Temperaturas Extremas Elevadas –PTEE- y Períodos de Temperaturas Extremas Muy Bajas –PTEEMB-) en Neuquén (Argentina) entre 1961-2020 y los elementos climáticos y situaciones sinópticas asociadas a su ocurrencia. Los eventos se identificaron según la metodología del SMN y se caracterizaron según frecuencia, intensidad y duración. A escala anual se evaluó la significancia de sus cambios mediante la Prueba de Tendencias de Mann Kendall. Finalmente, se analizaron la velocidad y dirección del viento en el día previo, durante y el día posterior a cada evento y la ubicación de los principales centros de acción durante el día central. Se registraron 234 (242) eventos térmicos extremos por temperaturas bajas (elevadas). El análisis evidenció tendencias positivas significativas en la ocurrencia de OC, PTEE y no significativa de OF. Todos los tipos de eventos exhibieron tendencias positivas en su intensidad (sólo significativa para PTEEmax). Se observaron tendencias positivas en la duración de OC y PTEE (sólo significativas para PTEEmin). Previo, durante y posterior a OC (OF) predominaron las calmas (vientos del W y WSW), vientos del W y SW (las calmas) y del SW y E (calmas y vientos del W), respectivamente.

Palabras clave: Ola de calor y de frío. Temperatura Extrema, Test Mann Kendall.

#### **ABSTRACT**

The aim of the work is to characterize extreme thermal events (Heat Waves -HW-, Cold Waves -CW, Periods of Extreme High Temperatures -PEHT- and Periods of Extreme Very Low Temperatures -PEVLT-) in Neuquén (Argentina) between 1961 - 2020 and the climatic elements and synoptic situations associated with their occurrence. The events were identified according to the SMN methodology and were characterized according to frequency, intensity and duration. On an annual scale, the significance of their changes was evaluated using the Mann Kendall Trends Test. Finally, the speed and direction of the wind on the day before, during and the day after each event and the location of the main centers of action during the central day were analyzed. 234 (242) extreme thermal events due to low (high) temperatures were recorded. The analysis showed significant positive trends in the occurrence of HW, PEHT and non-significant of CH. All types of events exhibited positive trends in their intensity (only significant for PEHTmax). Positive trends were observed in the duration of HW and PEHT (only significant for PEHT min). Before, during and after HW (CH), calms (winds from W and WSW), winds from W and SW (calms) and SW and E (calms and W winds) predominated, respectively.

Key words: Heat wave and Cold, Extreme Temperature, Mann Kendall Test.

---

1 Instituto Patagónico de Estudios de Humanidades y Ciencias Sociales (IPEHCS) – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) – Universidad Nacional del Comahue (UNCo)

2 y 3 Universidad Nacional del Sur (UNS) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Fecha de recepción: 28 de Junio de 2022.

Fecha de aprobación: 27 de Octubre de 2022.

## INTRODUCCIÓN

Desde la Antigüedad el ser humano ha incorporado criterios bioclimáticos en la planificación de sus urbes con el fin de alcanzar la máxima eficiencia con la tecnología disponible (Higueras, 2006). Actualmente existe consenso acerca de la importancia de incorporar a la planificación urbana conocimientos sobre patrones climatológicos y eventos extremos que aseguren el funcionamiento de las ciudades (Conde et al., 2013). Ejemplo de ello, son la Agenda 2030 aprobada en la Cumbre de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible celebrada en Nueva York (Estados Unidos) en el año 2015 y la Nueva Agenda Urbana publicada en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible (Hábitat III) realizada en el año 2016 en Ecuador. La primera definió metas globales destinadas a la promoción de capacidades en planificación y gestión para la acción climática (ONU, 2015). La segunda, ratificó los objetivos dirigidos a promover el planeamiento basado en evaluaciones de vulnerabilidad urbana a fenómenos climáticos y adoptó puntualmente un enfoque de adaptación basada en los ecosistemas (ONU, 2017). La infraestructura planificada, diseñada, construida y operada correctamente

puede desempeñar un rol fundamental en las estrategias para minimizar los impactos de eventos climáticos ordinarios y extremos (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación Argentina, 2018). No obstante, generar información útil para la toma de decisiones requiere contar con datos climáticos y herramientas para su procesamiento (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación Argentina, 2018). Particularmente, en las últimas décadas ha tomado relevancia el estudio de eventos extremos de origen atmosférico-climático dado sus substanciales impactos negativos en el desarrollo urbano. En el caso de extremos térmicos, diversos estudios han expuesto que su ocurrencia se ha incrementado en frecuencia y magnitud a nivel global (tabla N°1). Estos eventos representan una amenaza natural para la salud humana (Fernández García y Rasilla Álvarez, 2008; López Bueno et al. 2020; Herrera et al., 2021; Royé et al., 2021) y tienen otras implicaciones asociadas al metabolismo urbano, como variaciones en la demanda y provisión de servicios, interrupción de actividades, daños a infraestructuras y pérdidas económicas (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación Argentina, 2018; Fernández et al., 2022).

Origen	Autores	Hallazgos
Resto del mundo	Degefie et al. (2014)	Incremento en la ocurrencia de extremos térmicos en región suroeste de Siberia.
	Spinoni et al. (2015)	Tendencias generales a eventos de olas de calor más frecuentes, prolongados, severos e intensos, y a olas de frío menos frecuentes, más cortos, menos severos y menos intensos en la región de los Cárpatos.
	Capozzi y Budillon (2017), Pitaric et al. (2017), Zhang et al. (2017) y Sheraz Madi et al. (2020)	Tendencia positiva, fuerte y significativa en la frecuencia, severidad e intensidad de olas de calor, y tendencia significativa y positiva sólo en intensidad para olas de frío, en Montevergine (Italia), Rumania, Guangzhou (China) y Bahir (India) respectivamente.
América Latina	García Cueto et al. (2010)	Incremento de la intensidad y duración de olas de calor en Mexicali (México) para el período 1951-2006.
	Ceccherini et al (2016)	Aumento en la intensidad y frecuencia de olas de calor entre los años 1980 y 2014 en Sudamérica. No detectaron cambios significativos para las olas de frío.

	Bitencourt et al. (2019) y Cordero Simões dos Reis et al. (2019)	Incremento en ocurrencia y magnitud de olas de calor en regiones de Brasil. No se hallaron variaciones significativas en la ocurrencia de olas de frío.
	Piticar (2018)	Hallazgos similares en Chile a los observados por Bitencourt et al (2019) y Cordero Simões dos Reis et al. (2019) en Brasil.
Argentina	Rusticucci y Vargas (2001); Rusticucci y Vargas (2002); Carril et al. (2016); Rusticucci et al (2016)	Rusticucci et al. (2016) evidenciaron, a escala nacional y de manera generalizada, una variabilidad decenal pronunciada y una mayor cantidad y duración de eventos térmicos por temperaturas elevadas (Períodos de Temperaturas Extremas Elevadas y olas de calor) en la década de 2001 a 2010. Este cambio fue más significativo en el noroeste del país.
	Barros et al. (2018); Camilloni (2018); Lovino et al. (2018)	Incremento de frecuencia y duración de olas de calor en el noreste y reducción en la ocurrencia de olas de frío en centro, noreste y Patagonia argentina.
	Müller et al. (2021)	Incremento de intensidad y duración de olas de calor y disminución de ocurrencia de olas de frío en Pampa Húmeda.
	Fernández et al. (2022)	Incremento en la frecuencia, duración y ocurrencia de olas de calor para el decenio 2011-2020 y decrecimiento en la ocurrencia y duración de olas de frío desde 1991-2000 en adelante en Bahía Blanca.
	Gentili et al. (2022)	Caracterizaron en intensidad y duración las olas de calor acaecidas en enero del año 2022 en el sur de la región pampeana y norpatagónica. Identificaron la influencia de vientos del suroeste y este en la discontinuidad de olas de calor.
	Ferrelli et al. (2021); Lopez y Gentili (2022)	Análisis temperaturas diarias evidenciaron tendencias positivas estadísticamente significativas de las temperaturas mínima, media y máxima para los períodos históricos 1960-2018 en la región pampeana y 1971-2020 en la ciudad de Neuquén, respectivamente.

Tabla N°1. Revisión de estudios acerca de la ocurrencia de extremos térmicos. Fuente: elaboración propia

Puntualmente este trabajo se centra en el análisis de extremos térmicos en la ciudad de Neuquén (provincia de Neuquén, Argentina), la cual ha experimentado un fuerte crecimiento poblacional acompañado de una ocupación dispersa y desorganizada del territorio durante las últimas décadas (Pérez, 2018). Si bien la localidad cuenta con una herramienta sólida de ordenamiento territorial (ord. mun. 8059 de 1997), la misma no ha incorporado hasta el momento criterios de planificación bioclimáticos. A su vez, los eventos relacionados con temperaturas extremas han sido escasamente abordados tanto local como regionalmente. En este sentido, el objetivo del trabajo es caracterizar los eventos extremos térmicos (Olas de Calor -OC-, Olas de Frío -OF-,

Períodos de Temperaturas Extremas Elevadas -PTEE- y Períodos de Temperaturas Extremas Muy Bajas -PTEMB-) en la ciudad de Neuquén para el período 1961-2020 y los elementos climáticos y las situaciones sinópticas asociadas a su ocurrencia. En un contexto donde se estiman cambios en el comportamiento de las variables climáticas, es necesario estudiar fenómenos extremos con repercusiones a escala local, para la elaboración de modelos urbanos que garanticen ciudades habitables. En este sentido, generar información relacionada con extremos térmicos en la ciudad de Neuquén resulta fundamental para el desarrollo de planes centrados en la conjunción de las infraestructuras gris, verde y azul para la sostenibilidad y la resiliencia urbana.

## ÁREA DE ESTUDIO

La ciudad de Neuquén es capital de la provincia homónima y cabecera del departamento Confluencia. Se ubica en la norpatagonia Argentina y está asentada sobre la confluencia de los ríos Limay y Neuquén (figura N°1). La zona presenta un clima árido y semiárido (Morello, 1995), con inviernos fríos y veranos cálidos, una precipitación media anual que ronda los 200 mm y vientos moderados a fuertes, con direcciones prevalecientes del oeste y suroeste (Cogliati y Mazzeo, 1999).

El tejido se extiende sobre el piso de los valles de los ríos Limay y Neuquén y sobre unidades de paisaje asociadas a la meseta (superficie mesetiforme, laderas y piedemonte) (Capua y Jurio, 2011). Cogliati y Mazzeo (1999) y Cogliati (2001) señalan que respecto de la Meseta Patagónica Norte los valles presentan diferencias de altura: una media de aproximadamente 55 m por debajo del nivel de la Meseta Patagónica Norte en el valle del río Neuquén y de 68 m en el valle del río Limay. Asimismo, el valle del río Neuquén exhibe bordes con pendientes de 0,5 °/km en el borde oeste y 1,2 °/km en el borde este, mientras que en el valle del río Limay las pendientes son de 1,9 °/km en el borde norte y 1 °/km en el borde sur.

La localidad se extiende en la región biogeográfica del Monte de Llanuras y Mesetas (Morello, 1995), compuesta por elementos chaqueños con predominancia de vegetación xerófila. A su vez, sobre los valles de la confluencia de los ríos Limay y Neuquén, alargados de bosque ripario. Aloja una gran cantidad de especies asociadas a la geomorfología fluvial y especies arbóreas exóticas introducidas durante el siglo XX (Datri y Maddio, 2010). la costa ribereña representa una isla biogeográfica conformada por parches

## MATERIALES Y MÉTODOS

No existe una definición consistente e internacionalmente concertada de extremos térmicos. La literatura considera múltiples criterios para la identificación de tales eventos, como valores absolutos de temperatura, duración, intensidad y persistencia (Zhang et al., 2017; Bitencourt et al., 2019). En este estudio, la identificación de eventos térmicos extremos se realizó con base en las enunciaciones propuestas

por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina. El SMN identifica Olas de Calor (OC) y Olas de Frío (OF), así como Períodos de Temperaturas Extremas Elevadas (PTEE) y Períodos de Temperaturas Extremas Muy Bajas (PTEMB).

Una OC se define por un período de por lo menos 3 días consecutivos y en forma simultánea en el cual las temperaturas máximas y mínimas igualan o superan el percentil 90 de la localidad, calculado en función de los registros diarios de temperatura correspondientes al semestre cálido en el hemisferio sur (octubre a marzo) del período 1961-2010 (Herrera et al., 2018). Una OF corresponde a un período de por lo menos 3 días consecutivos y en forma simultánea en el cual las temperaturas máximas y mínimas son inferiores al percentil 10 de la localidad, calculado a partir de los datos diarios durante los meses de abril a septiembre (semestre frío en el hemisferio sur) del período 1961-2010 (Veiga et al., 2015).

Por su parte, el PTEE está dado por un período excesivamente cálido de por lo menos 3 días consecutivos y en forma simultánea en el cual las temperaturas máximas o mínimas superan o igualan el percentil 90 de la localidad, calculado en virtud de los registros térmicos diarios correspondientes al semestre cálido en el hemisferio sur del período 1961-2010. Por último, el PTEMB es un período excesivamente frío de por lo menos 3 días consecutivos y en forma simultánea en el cual las temperaturas máximas o mínimas igualan o son inferiores al percentil 10 de la localidad, calculado a partir de los datos térmicos diarios durante el semestre frío en el hemisferio sur para el período 1961-2010.

En la tabla N°2 se presentan los valores umbrales (percentiles) definidos por el SMN para la ciudad de Neuquén. Para responder al objetivo propuesto, se utilizaron datos de la estación meteorológica Neuquén Aero (lat. 38° 57'.09 S, long. 68°08'O, alt. 271 msnm) proporcionados por el SMN para un período histórico de 60 años (1961-2020). La consideración de la estación Neuquén Aero se fundamenta en: i) que corresponde al organismo meteorológico oficial de Argentina (SMN), ii) que los umbrales para la ciudad de Neuquén de la metodología empleada (propuesta por el mismo SMN) están definidos en base a datos de dicha estación, iii) que su emplazamiento es el más

representativo del área de estudio y iv) la extensión temporal de datos disponible. El procesamiento de los datos climáticos y la identificación de los

eventos de extremos térmicos se realizaron mediante el software Excel.

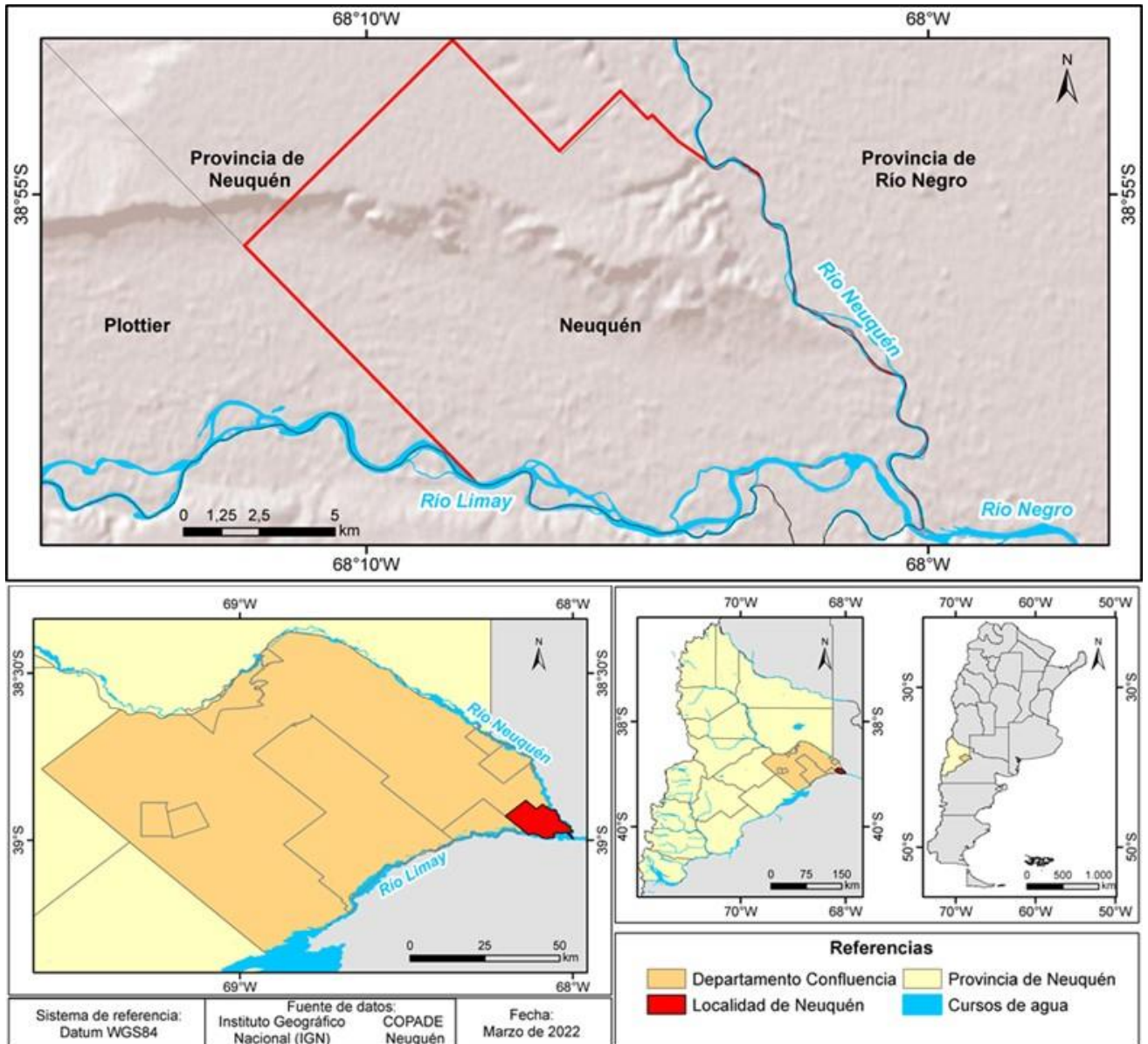


Figura N°1. Ubicación del área de estudio. Fuente: elaboración propia.

Olas de calor y Períodos de Temperaturas Extremas Elevadas	
Temperatura máxima: 34,4 °C	Temperatura mínima: 17,6 °C
Olas de frío y Períodos de Temperaturas Extremas Muy Bajas	
Temperatura máxima: 9,7 °C	Temperatura mínima: -3,1 °C

Tabla N°2: valores umbrales (percentiles) definidos por el SMN para la identificación de extremos térmicos en la ciudad de Neuquén. Fuente: elaboración propia

La caracterización de los eventos extremos térmicos se realizó a diferentes escalas temporales (decenal, anual y mensual) en función de su frecuencia, intensidad y duración. Se definió a la frecuencia como el número de eventos por unidad de tiempo. Por su parte, la intensidad refirió a la temperatura extrema alcanzada durante el evento. Por último, la duración resultó de la extensión en días del fenómeno. La descripción del conjunto de datos se realizó a partir de estadística descriptiva, mediante el análisis de estadísticos de centralidad (media, moda y mediana) y dispersión (coeficiente de variación, mínima y máxima, y amplitud). Para tal fin se utilizaron los softwares Excel e InfoStat.

A su vez, para los valores anuales se evaluó la significancia de los cambios en la frecuencia, intensidad media y duración media de los eventos mediante la aplicación de la Prueba de Tendencias de Mann Kendall con un nivel de significación del 5%. La misma consiste en una prueba de hipótesis no paramétrica que permite detectar la inexistencia (hipótesis nula) o existencia (hipótesis alternativa) de tendencias (positivas o negativas) estadísticamente significativas en series temporales extensas (Kamal y Pachauri, 2018). Esta prueba es utilizada comúnmente en el análisis de series temporales de datos climáticos e hidrológicos (Danneberg, 2012; Ceccherini et al., 2016; Alhaji et al., 2018; Bitencourt et al., 2019) y una de sus ventajas es que puede aplicarse a observaciones espaciadas irregularmente (Kamal y Pachauri, 2018). Para realizar el análisis se escribieron lineamientos (scripts) en el lenguaje R (softwares de acceso libre R y RStudio) mediante los paquetes "Trend" y "Kendall". Por último, se establecieron relaciones entre los eventos térmicos extremos y los elementos climáticos y las situaciones sinópticas asociadas a su ocurrencia. Para tal fin se utilizaron registros horarios provistos por el SMN (1961-2020) de

velocidad (km/h) y dirección de viento para conocer su distribución durante el día previo, los días que se desarrolla y el día posterior de los eventos térmicos extremos (OC y OF) en Neuquén. El análisis de la situación sinóptica se realizó a partir de la observación de cartas del tiempo provistas por el SMN para el período 2011-2020. Se analizaron las cartas del tiempo correspondientes a los días centrales de los eventos. Se observó, analizó y sistematizó la información de cada una de las cartas del tiempo, fundamentalmente la ubicación de los principales centros de acción involucrados en la evolución de OC y OF.

## RESULTADO

### CARACTERIZACIÓN Y TENDENCIAS DE EXTREMOS TÉRMICOS POR TEMPERATURAS ELEVADAS.

Se identificaron un total de 242 eventos de temperaturas extremas elevadas, de los cuales 33 correspondieron a OC, 109 a PTEEmax y 100 a PTEEmin. El análisis decenal evidenció una tendencia positiva en la frecuencia de los tres tipos de eventos (figura N°2.a). Las décadas de 1981 a 1990 y de 2011 a 2020 presentaron la mayor tasa de ocurrencia de PTEE, mientras que al último decenio también le correspondió la mayor frecuencia de OC. Respecto a la intensidad, las OC presentaron una amplitud de entre 36,2 y 41,7 °C, mientras que los PTEE entre 28,3 y 42,3 °C (figura N° 2.b). Los eventos de OC y PTEEmax tuvieron una duración de hasta 8 días, mientras que los PTEEmin se extendieron hasta 14 días (figura N°2.c). Si bien las décadas con intensidades y duraciones medias elevadas (que superaron las medias históricas) fueron variables según el tipo de evento, el decenio de 2011 a 2020 se caracterizó por presentar intensidades y duraciones medias que superaron los valores promedio históricos de

ambas dimensiones de análisis para los tres tipos de eventos (figuras N°2.b y 2.c). Esa década a su vez se destacó por la mayor tasa de ocurrencia de eventos tanto de OC como de PTEE. Además, se observó una variabilidad interdecenal positiva y cíclica de la intensidad media para períodos de 30 años para OC, y de 20 años para eventos de PTEE (figura N°2.b).

De los 60 años en análisis, en 22 años se presentaron OC, en 49 años PTEEmax y en 51 años PTEEmin (figuras N°3.a y 3.b). En los años con ocurrencia de eventos, las OC y los PTEEmin exhibieron una moda de 1 y para los PTEEmax correspondió una moda de 2. No obstante, durante

la última década de análisis se observó un incremento del número de años con más de una ola de calor anual, y el año 2020 presentó el mayor número de eventos (cuatro) del período histórico abordado.

A escala anual, se evidenciaron tendencias positivas de todas las dimensiones abordadas (frecuencia, intensidad media y duración media) para los tres tipos de eventos. No obstante, las tendencias fueron estadísticamente significativas ( $p$ -valor  $< 0,005$ ) sólo para la frecuencia de los tres tipos de extremos térmicos, así como para la intensidad media anual de PTEEmax y la duración media anual de PTEEmin (tabla N°3).

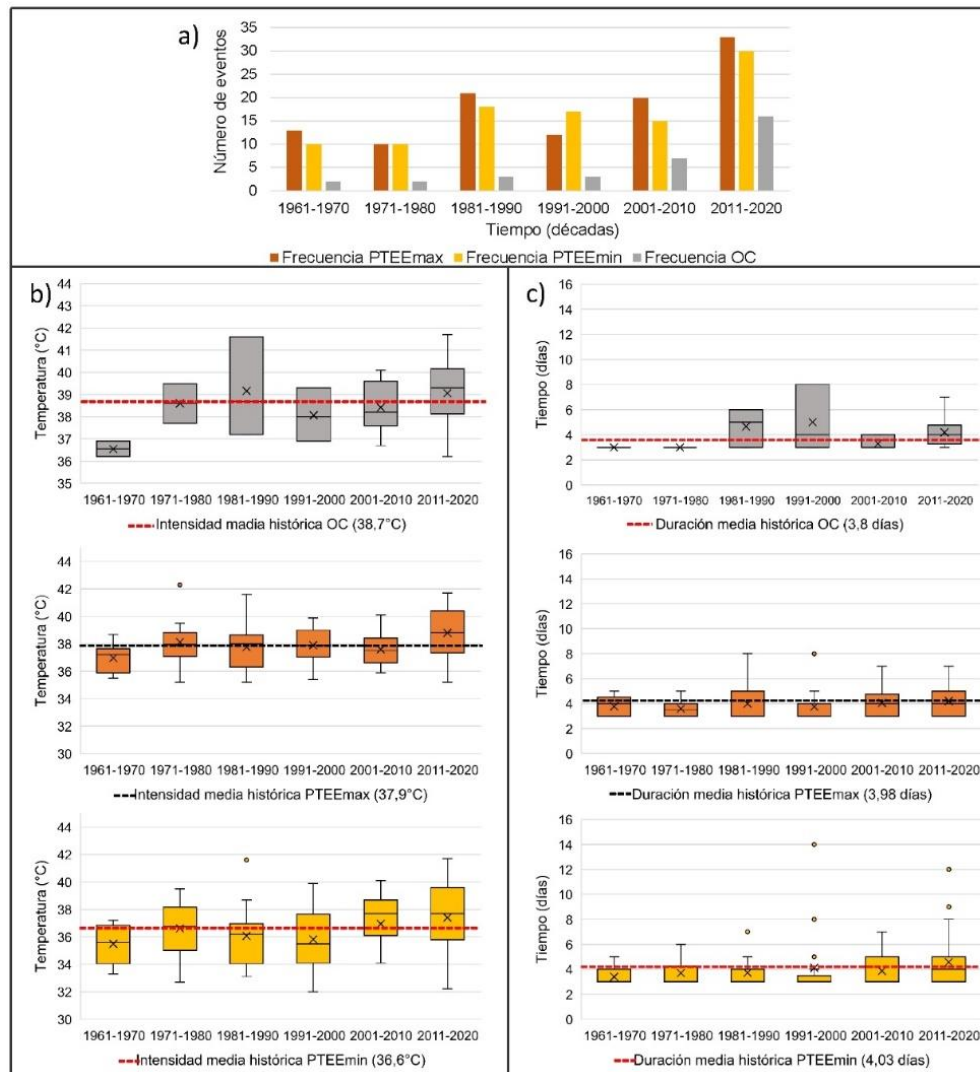


Figura N°2. Análisis decenal de la ocurrencia de OC, PTEEmax y PTEEmin en la ciudad de Neuquén para el período 1961-2020, en virtud de: a) Frecuencia; b) Intensidad; c) Duración. Fuente: elaboración propia

En cuanto a la caracterización estacional, las OC se presentaron entre los meses de diciembre y marzo, mientras que los PTEE entre noviembre y marzo (figura N°4.a). Se destaca que entre 1961 y 1990 las OC se concentraron en el mes de enero, mientras que entre 1991-2020 los eventos se extendieron entre diciembre y marzo. Para todos los tipos de eventos la mayor frecuencia fue en el

mes de enero. Dicho mes, junto a febrero, se destacaron por presentar los eventos más intensos (figura N°4.b), mientras que diciembre presentó eventos más extensos tanto para OC como para PTEE (figura N°4.c). Además, a escala decenal se observó una tendencia positiva en la intensidad media de OC acaecidas en enero y marzo, y de PTEEmin en febrero.

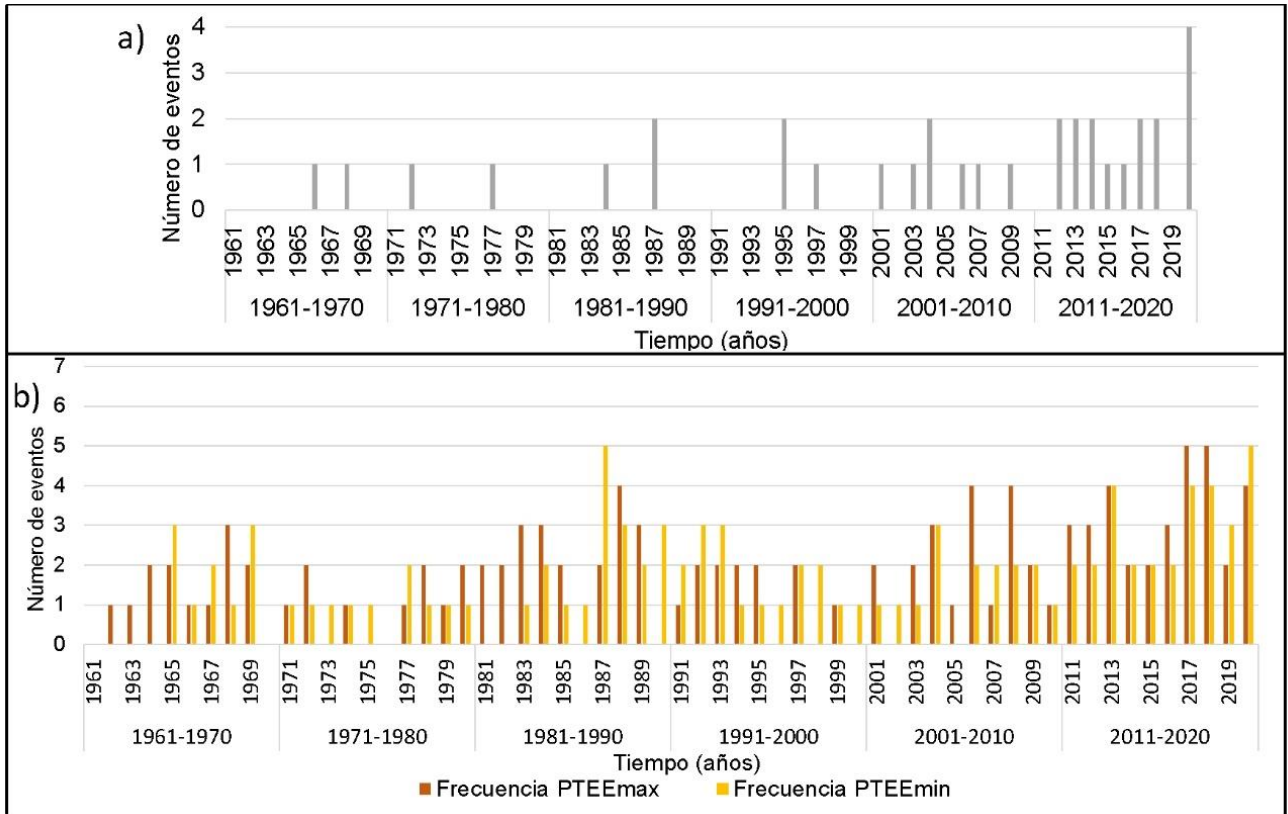


Figura N°3. Análisis interanual de la ocurrencia de a) OC y b) PTEEmax y PTEEmin en la ciudad de Neuquén para el período 1961-2020. Fuente: elaboración propia.

	Frecuencia	Intensidad media anual	Duración media anual
	OC		
Pendiente de regresión lineal	0,02	0,03	0,01
Prueba Mann Kendall (p-valor)	0,00	0,07	0,1
	PTEEmax		



Pendiente de regresión lineal	0,03	0,02	0,009
Prueba Mann Kendall (p-valor)	0,00	0,00	0,27
	PTEEmin		
Pendiente de regresión lineal	0,03	0,02	0,02
Prueba Mann Kendall (p-valor)	0,00	0,14	0,02

Tabla N°3. Análisis interanual de tendencias de OC, PTEEmin y PTEEmax en la ciudad de Neuquén para el período 1961-2020 a través de prueba de tendencia de Mann Kendall. Fuente: elaboración propia

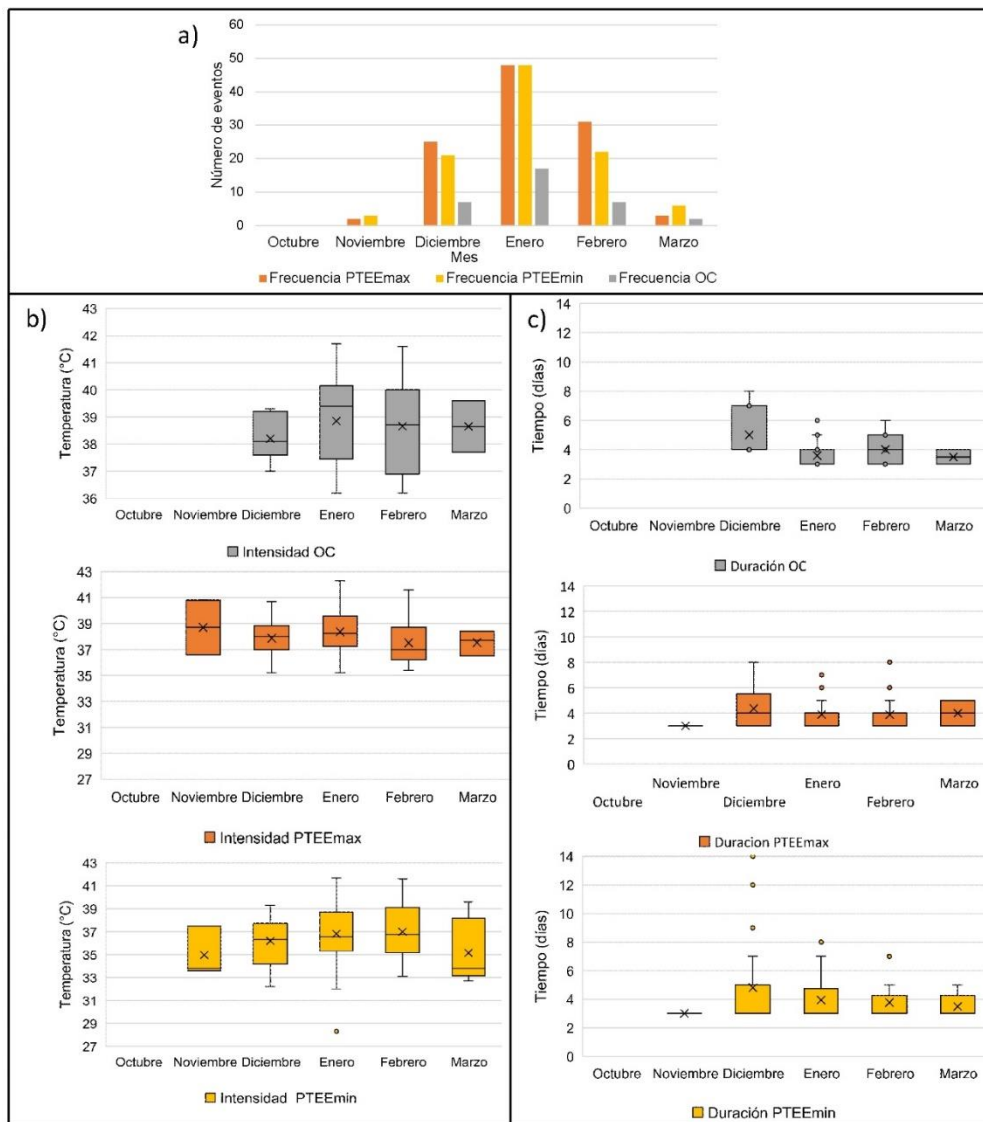


Figura N°4. Análisis mensual de la ocurrencia de OC, PTEEmin y PTEEmax en la ciudad de Neuquén para el período 1961-2020, en virtud de: a) Frecuencia; b) Intensidad; c) Duración. Fuente: elaboración propia. Fuente: elaboración propia

## CARACTERIZACIÓN Y TENDENCIAS DE EVENTOS EXTREMOS TÉRMICOS FRÍOS.

Se hallaron un total de 234 eventos, de los cuales 19 correspondieron a OF, 125 a PTEMBmax y 90 a PTEMBmin. La figura N°5.a exhibe la frecuencia decenal de los eventos de OF y PTEMB. Las décadas de 1991 a 2000 presentaron la mayor tasa de ocurrencia de OF y PTEMBmax, mientras que el decenio de 1981 a 1990 de PTEMBmin. El análisis exhibió una tendencia negativa en la ocurrencia de PTEMB, con una pendiente más pronunciada para PTEMBmin como consecuencia de un elevado número de eventos de PTEMBmax en el decenio de 1991 a 2000. Además, cabe destacar que en el último decenio del período abordado sólo ocurrió una OF, puntualmente en el año 2018, que se caracterizó por una duración mínima y una intensidad baja en comparación a los restantes eventos del período abordado.

Respecto a la intensidad, las OF tuvieron una amplitud de entre -11,8 a -4,6 °C, mientras que los PTEMB entre -12,8 y 5,6 °C (figura N°5.b). Las OF de mayor intensidad se presentaron en las décadas de 1981-1990 y 2001-2010, mientras que el decenio de 1961 a 1970 junto a las anteriores se caracterizaron por los PTEMB más intensos. A su vez, para PTEMB el análisis evidenció una variabilidad interdecenal negativa y cíclica de la intensidad media para períodos de 20 años. En función de su extensión, los eventos de OF comprendieron una duración de hasta 5 días, los de PTEMBmin de hasta 8 días y los PTEMBmax se extendieron hasta 16 días (figura N°5.c). Si bien las décadas con duraciones medias elevadas fueron variables según el tipo de evento, el decenio de 2001 a 2010 se caracterizó por presentar duraciones medias que superaron los valores medios históricos para los tres tipos de eventos, mientras que la última década exhibió las menores duraciones medias.

De los 60 años en análisis, en 17 años se presentaron OF, en 54 años PTEMBmax y en 43 años PTEMBmin (figuras N°6.a y 6.b). En los años con ocurrencia de eventos, las OF y los PTEMBmin exhibieron una moda de 1, mientras que a PTEMBmax le correspondió una moda de 2. El análisis tendencial interanual mostró tendencias negativas en la ocurrencia de PTEMB. A su vez, las tendencias resultaron negativas para la duración media anual de OF y PTEMB y positivas para la

intensidad media anual de los tres tipos de eventos. No obstante, mediante la aplicación de la prueba de Mann Kendall, todas las tendencias indicaron ser no significativas estadísticamente (tabla N°4).

En cuanto a la caracterización estacional, las OF se presentaron entre los meses de mayo y agosto, mientras que los PTEMB entre mayo y septiembre (figura N°7.a). Para todos los tipos de eventos, la mayor extensión media fue en el mes de julio (figura N°7.c). Dicho mes, junto a junio por un lado y a mayo por el otro, se destacaron por presentar los eventos más intensos para PTEMBmax y PTEMBmin, respectivamente (figura N°7.b). Por su parte, las OF más intensas ocurrieron en junio. No obstante, a escala decenal se observó una tendencia negativa en la intensidad media de eventos acaecidos en junio, y una tendencia positiva en julio.

Por su localización latitudinal, el área se encuentra en la faja de vientos del Oeste afectada por vientos de componente oeste (mayormente W – SW). La figura N°8.a muestra las direcciones predominantes de viento en el día previo, durante y en el día posterior de las OC ocurridas en Neuquén en el período (1961-2020). Antes del evento, se evidencia una predominancia de calmas y de vientos provenientes del ESE, seguidos por vientos de dirección W y luego NE. Durante los días de eventos de OC, la frecuencia de calmas disminuyó, aumentó la frecuencia de vientos del W y SW, seguidas por vientos de componente E, SE y NE. La dispersión de direcciones de viento dominante durante los eventos está asociada a que durante los mismos (presentan extensiones de entre 3 y 8 días - Fig. N°3.c), la evolución de la situación sinóptica determina posiciones diferenciales de los centros de acción que la configuran. Después del evento, las calmas disminuyeron (frecuencia menor a 5 %), y la frecuencia de vientos predominaron del SW y E. Respecto a la velocidad del viento durante los días de OC (figura N°8.b), se observa una preponderancia de vientos de hasta 20 km/h. Las menores velocidades (menores a 10 km/h) corresponden a vientos del SE-SSE-S-SSW. Las mayores velocidades (mayores a 60 km/h) se registraron con vientos de componente NNE. Se analizaron las cartas del tiempo durante el día central de cada una de las OC ocurridas en la década 2011-2020. La dinámica atmosférica se ve definida por la presencia del Anticiclón del Atlántico Sur (AAS), el Anticiclón del Pacífico Sur (APS),

además de las bajas presiones subpolares al sur de la Patagonia. Durante la mayor parte de las OC, el AAS y el APS presentan una posición más austral respecto del invierno debido al

desplazamiento del sistema climático en su conjunto hacia el sur durante el verano (Garreaud y Aceituno, 2007; Scian, 2010; Minetti, 2007; Hoffmann, 1992; Inzunza, 2012).

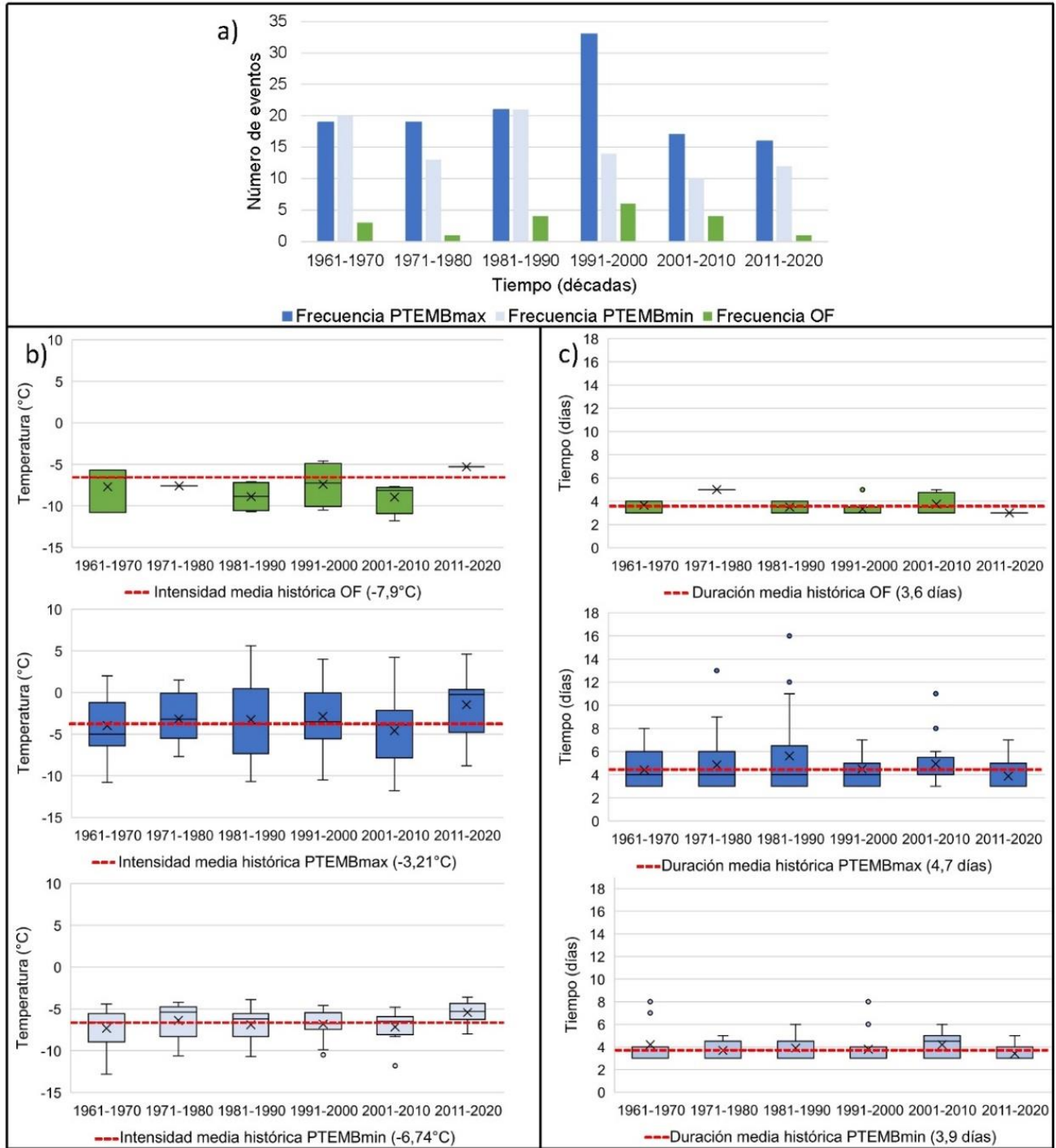


Figura N°5. Análisis decenal de la ocurrencia de OF, PTEMBmin y PTEMBmax en la ciudad de Neuquén para el período 1961-2020, en virtud de: a) Frecuencia; b) Intensidad; c) Duración. Fuente: elaboración propia

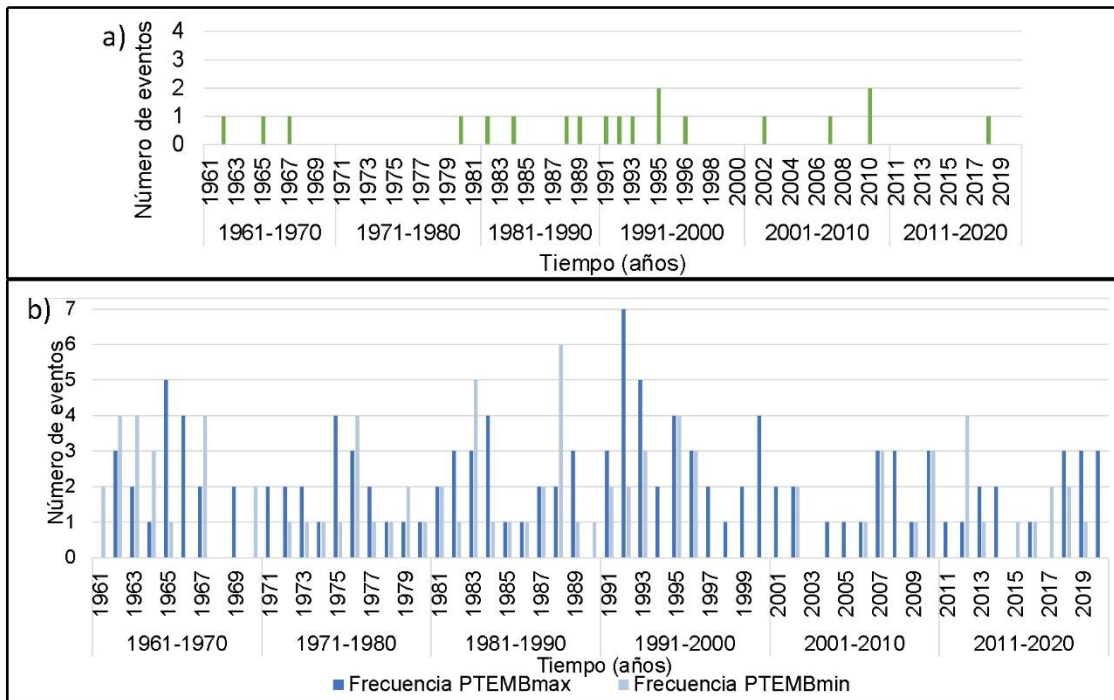


Figura N°6. Análisis interanual de la ocurrencia de a) OF y b) PTEMBmin y PTEMBmax en la ciudad de Neuquén para el período 1961-2020

	Frecuencia	Intensidad media anual	Duración media anual
OF			
Pendiente de regresión lineal	0,0004	0,0001	-0,007
Prueba Mann Kendall (p-valor)	0,90	1	0,36
PTEMBmax			
Pendiente de regresión lineal	-0,004	0,02	-0,01
Prueba Mann Kendall (p-valor)	0,75	0,37	0,25
PTEMBmin			
Pendiente de regresión lineal	-0,002	0,01	-0,01
Prueba Mann Kendall (p-valor)	0,16	0,19	0,35

Tabla N°4. Análisis interanual de tendencias de OF, PTEMBmax y PTEMBmin en la ciudad de Neuquén para el período 1961-2020 a través de prueba de tendencia de Mann Kendall

Fuente: elaboración propia

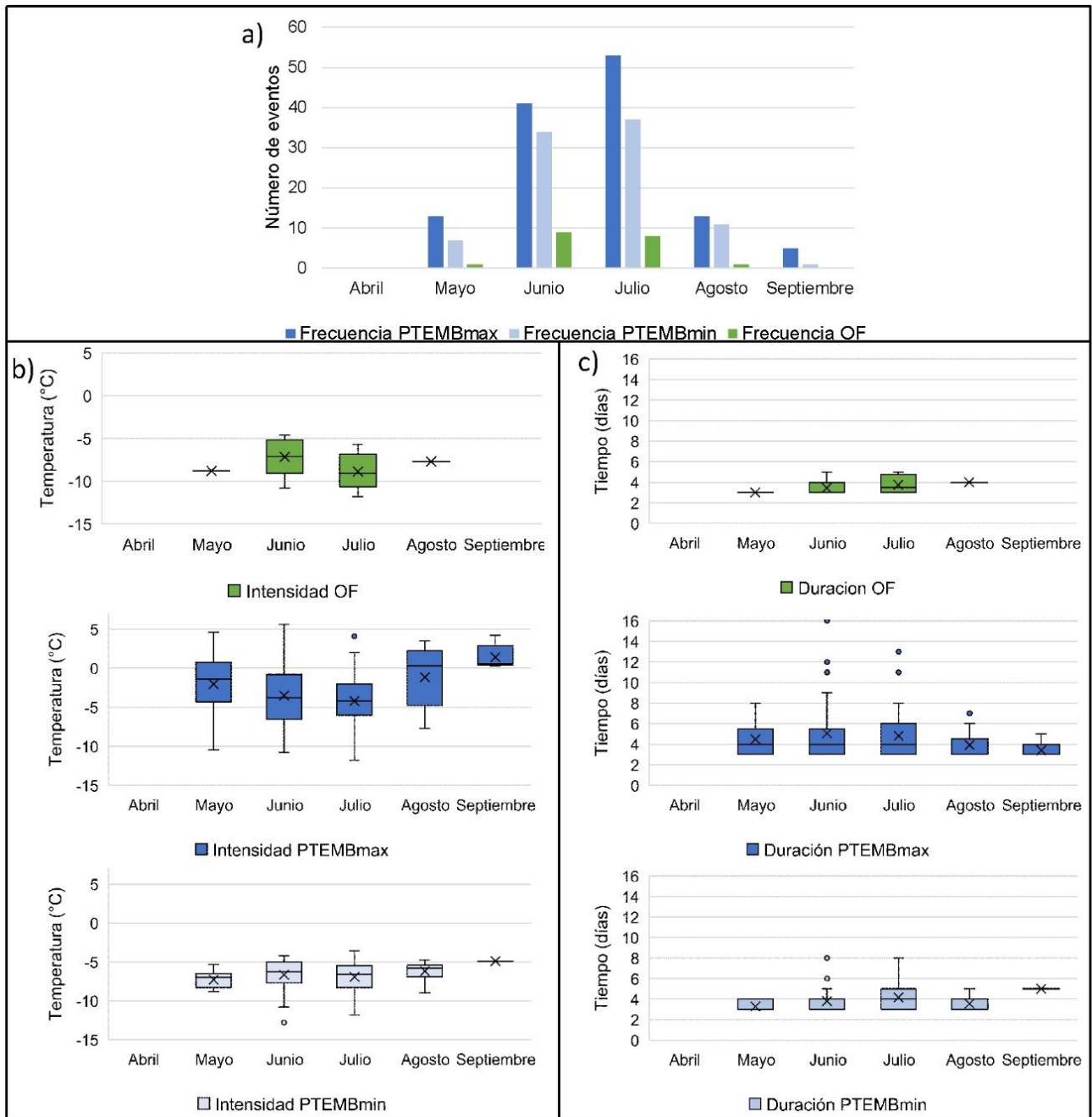


Figura N°7. Análisis mensual de la ocurrencia de OF, PTEMBmax y PTEMBmin en la ciudad de Neuquén para el período 1961-2020, en virtud de: a) Frecuencia; b) Intensidad; c) Duración. Fuente: elaboración propia

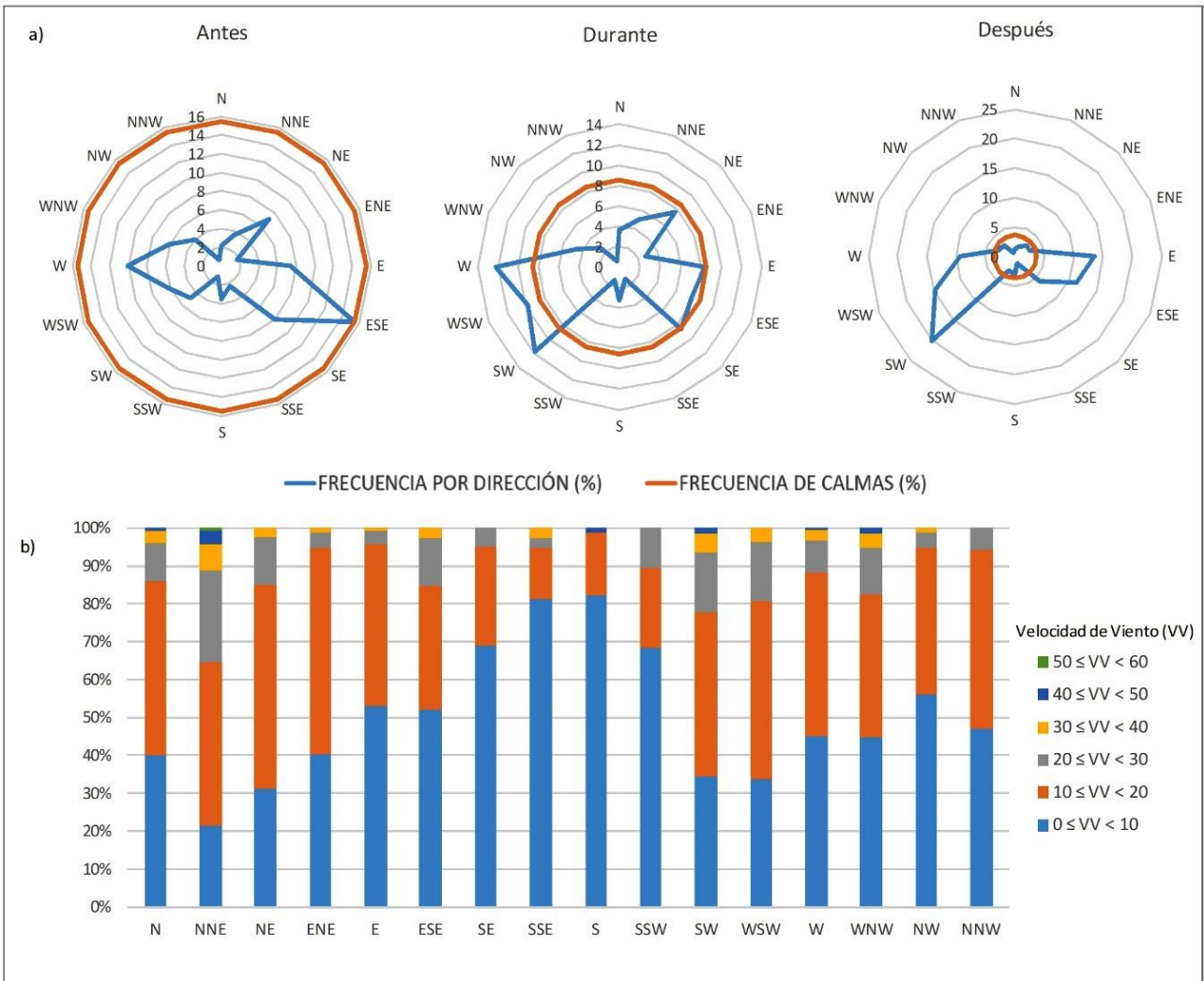


Figura N°8. Frecuencia de vientos (%) según a) dirección antes, durante y después de las OC y b) velocidad y dirección durante las OC para 1961-2020. Fuente: elaboración propia en base a datos provistos por el SMN

Pudo observarse que el AAS registró presiones entre 1011 hPa y 1029 hPa y su ubicación más frecuente fue alrededor de los 38° S (con valores entre 32° S y 45° S) - 32° W (con valores entre 54° S y 30° S). A través de este individuo anticiclónico se impulsan masas de aire cálido hacia el sur del país. Por otra parte, el AAP registró presiones entre 1011 hPa y 1020 hPa y su localización más frecuente fue entre los 28° S (con valores entre 28° S y 42° S) - 88° W (con valores entre 80° W y 96° W). Asimismo, los eventos se vieron definidos por la presencia de un centro de bajas presiones de origen térmico, localizado entre los 30° S y los 38° S y entre los 68° W y 70° W. A modo de ejemplo, la figura N°9 muestra la situación sinóptica de dos

eventos de OC ocurridos en Neuquén: 20/01/2014 y 02/03/2020.

La figura N°10.a muestra las rosas de vientos correspondientes a los momentos antes, durante y después de las OF ocurridas en Neuquén durante el período 1961-2020. En el día previo al evento se manifestó una predominancia de vientos con direcciones W y WSW. Durante los días de las OF predominaron las calmas, que superaron en porcentaje de ocurrencia a los vientos provenientes del oeste. En el día posterior al evento, las calmas se mantienen por encima del 20 % pero se vieron superados en frecuencia por los vientos de componente oeste. La figura N°10b muestra la frecuencia de viento por velocidad y dirección

durante los días de eventos de OF. Se observa una preponderancia de vientos de entre 0 y 10 km/h, que, a excepción de ENE, NNE y S, en las restantes direcciones alcanza frecuencias mayores

al 50 %, incluyendo NW y NNW con el 100 %. Las velocidades mayores a 30 km/h se registraron únicamente con vientos de componente S, SW y WSW.

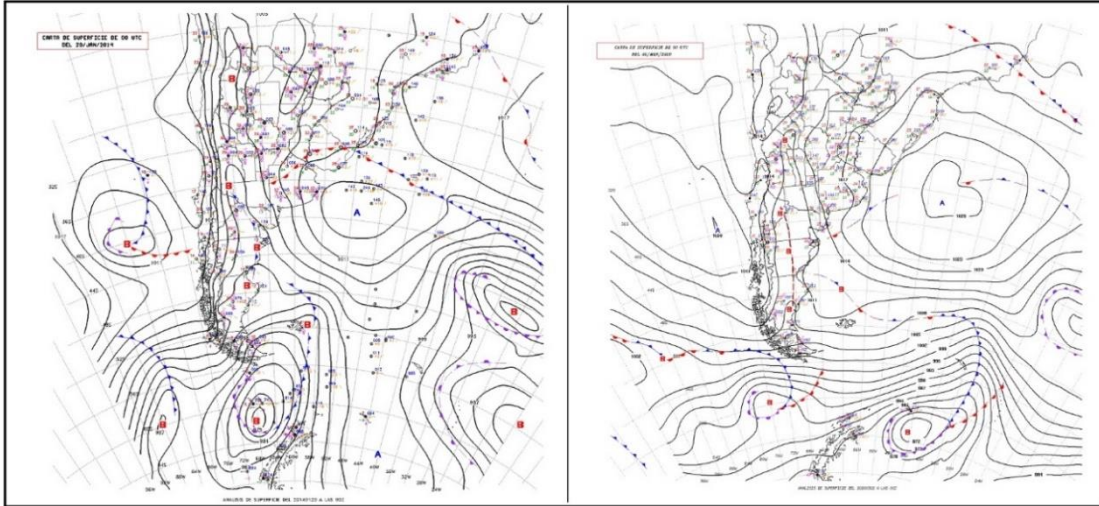


Figura N°9. Situación sinóptica durante dos OC: a) 20/01/2014 y b) 02/03/2020. Fuente: SMN

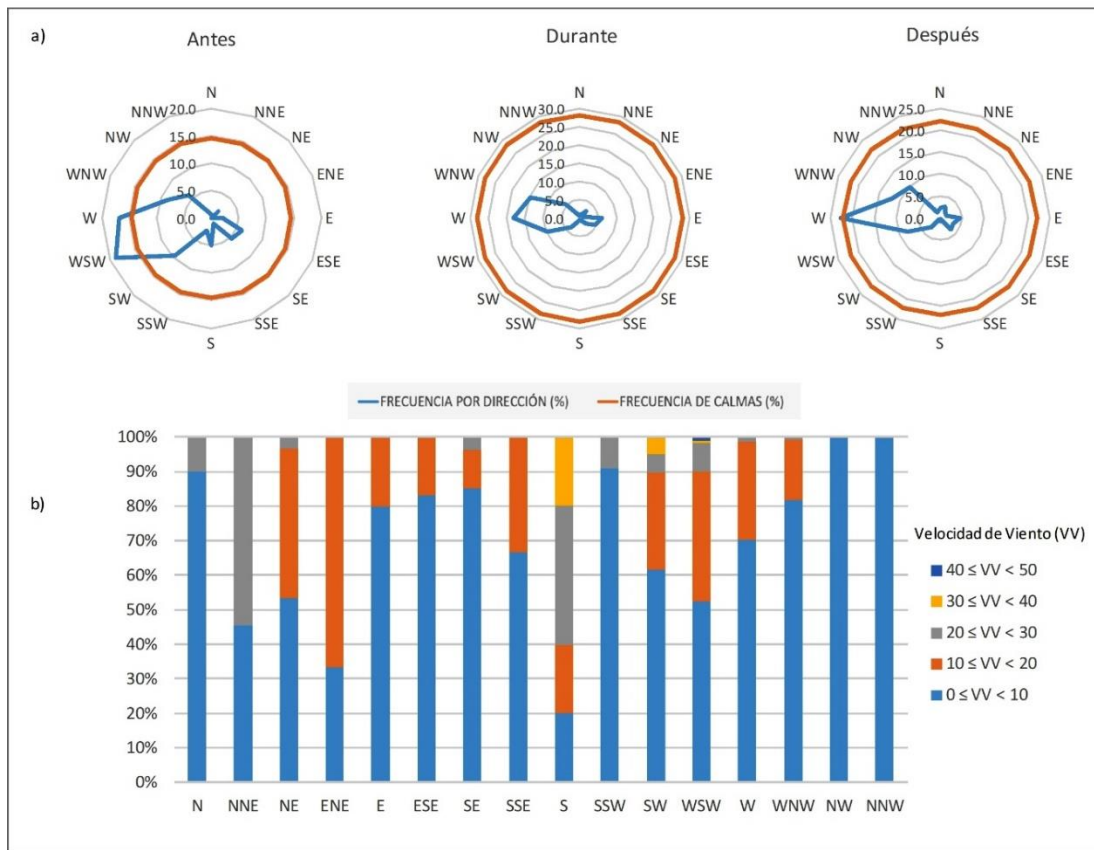


Figura N°10. Frecuencia de vientos (%) según a) dirección antes, durante y después de las OF y b) velocidad y dirección durante las OF para 1961-2020. Fuente: elaboración propia en base a datos provistos por el SMN.

Se analizó la situación sinóptica de la única OF ocurrida en el decenio 2011-2020 (13 al 15 de junio del 2018). La carta del tiempo (figura. N°11) correspondiente al día central del evento (14/6/2018) muestra la presencia de un centro anticiclónico de 1028 hPa en el centro del país. El AAS posee un valor de 1020 hPa y se localiza a la latitud aproximada de 20° S. Por otra parte, el APS se ubica a los 30° S y registró valores de 1028 hPa.

## DISCUSIÓN

En la ciudad de Neuquén entre los años 1961 y 2020, se registraron 242 eventos térmicos extremos por temperaturas elevadas (OC; PTEEmax y PTEEmin) y 234 eventos por temperaturas bajas (OF, PTEMBmax y PTEMBmin). Durante las cuatro primeras décadas de análisis la ocurrencia de eventos por temperaturas bajas fue superior y concentró el 74 % de la totalidad de los mismos. En contraposición, las últimas dos décadas concentraron el 50 % de los eventos por temperaturas extremas elevadas. En los decenios 2001-2010 y 2011-2020 ocurrieron 1,3 y 2,7 veces más eventos por temperaturas elevadas que por temperaturas bajas.

En lo referido puntualmente a OC y OF, se hallaron 33 y 19 respectivamente. La distribución decenal presentó similitudes con lo expuesto en el párrafo anterior. Durante las décadas de 1961-1970, 1981-1990 y 1991-2000 las OF superaron en número a las OC, y en el transcurso de los primeros cuatro decenios ocurrieron el 74 % de dichos eventos. Por su parte, en las décadas de 2001-2010 y 2011-2020 se presentaron el 70 % de las OC, con una frecuencia de 1,75 y 16 veces más OC que OF respectivamente. Las tendencias anteriores coinciden con lo hallado por diversos autores que exhibieron un incremento en la ocurrencia de OC y una reducción de la frecuencia de OF a nivel nacional, regional e internacional (García Cueto et al., 2010; Spinoni et al., 2015; Barros et al., 2018; Camilloni, 2018; Lovino et al., 2018; Müller et al., 2021; Fernández et al., 2022).

Sin embargo, pese a que el análisis decenal exhibió tendencias positivas en la ocurrencia de eventos térmicos extremos por temperaturas elevadas y negativas en la frecuencia de eventos por temperaturas bajas, el análisis estadístico de tendencias a escala anual evidenció resultados significativos sólo para la ocurrencia en aumento de

OC, PTEEmax y PTEEmin. Esto concuerda con lo documentado por autores latinoamericanos y del resto del mundo que evidenciaron tendencias positivas fuertes y significativas en la frecuencia de OC, pero no encontraron variaciones significativas en la ocurrencia de OF (Bitencourt et al., 2019; Ceccherini et al., 2016; Capozzi y Budillon, 2017; Piticar et al., 2017; Zhang et al., 2017; Piticar, 2018; Cordero Simões dos Reis et al., 2019; Sheraz Madi et al., 2020).

En cuanto a la extensión de los eventos, la duración media histórica de OC resultó mayor que la de OF para el período 1961-2020. El análisis evidenció un aumento (disminución) sostenido de la extensión media decenal de los eventos térmicos extremos por temperaturas elevadas (temperaturas bajas), salvo para la década de 2001-2010. A escala temporal interanual se observaron tendencias positivas en la extensión de OC, PTEE y negativas para OF y PTEMB. No obstante, en virtud del test de Mann Kendall, sólo resultó estadísticamente significativa la tendencia positiva de la duración de PTEEmin. Estos resultados son consistentes con lo informado en otras regiones del país y del mundo (Spinoni et al., 2015; Capozzi y Budillon 2017; Piticar et al., 2017; Bitencourt et al., 2019; Lovino et al., 2018; Müller et al., 2021; Fernández et al., 2022).

Las tendencias positivas en la intensidad de todos los tipos de eventos térmicos extremos encontradas son acordes a lo expuestos por Bitencourt et al. (2019), Capozzi y Budillon (2017), Piticar et al. (2017) y Zhang et al. (2017). Sin embargo, en función de la metodología aplicada en este estudio, se corroboraron resultados significativos para PTEEmax, pero no existió evidencia suficiente para establecer tendencias positivas estadísticamente significativas en la intensidad de los otros tipos de eventos.

El incremento en la ocurrencia, duración e intensidad de eventos extremos térmicos por temperaturas elevadas en la ciudad de Neuquén concuerda con las tendencias positivas estadísticamente significativas de las temperaturas mínima, media y máxima halladas por Lopez y Gentili (2022) para el período histórico 1971-2020. A su vez, es concordante con lo expuesto por organismos abocados al estudio del sistema climático y el Cambio Climático. Internacionalmente, el Grupo Intergubernamental



de Expertos Sobre Cambio Climático (IPCC, según sus siglas en inglés) a través de su Sexto Informe de Evaluación presentado en el año 2021 expuso tendencias positivas en la frecuencia, intensidad y duración de OC en la mayoría de las regiones del mundo desde 1950. Asimismo, indicó una disminución en la frecuencia y la intensidad de extremos fríos (IPCC, 2021). Si bien para la ciudad de Neuquén el análisis a escala anual arrojó tendencias positivas en la intensidad de OF y PTEMB, los valores de las pendientes de regresión fueron muy pequeños y no resultaron estadísticamente significativos. Por su parte, a nivel nacional la Tercera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, elaborada en el año 2015 por la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, indicó un aumento en el riesgo por OC en todo el país entre 1960 y 2010, así como una proyección positiva (negativa) en la mayoría de las regiones del país para OC (OF). Si bien en la región patagónica el cambio en el riesgo por OC se categorizó como bajo, las proyecciones señalan un calentamiento moderado de +0,5 °C a +1 °C (para el escenario RCP4.5). Dicha tendencia se acompaña de una reducción en las precipitaciones lo que configura un escenario de mayor aridez, una sucesión de los complejos esteparios y de monte hacia pastos y arbustos más xerófilos y la pérdida de mallines y fajas ribereñas con potenciales consecuencias en la distribución de especies de aves.

Los extremos térmicos tienen impactos tanto en el sistema ecológico como en el social. Escenarios de mayor ocurrencia de OC pueden generar problemas en la red de distribución de energía eléctrica por el aumento de su demanda y potencia (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2015). A su vez, existe evidencia científica acerca de los riesgos a la salud asociados a la exposición a temperaturas extremas. En este sentido, Curriero et al. (2002), Weisskopf et al. (2002) y Chesini et al. (2019) señalaron diversos atributos que influyen en los daños a la salud, tales como la intensidad del evento, su duración y su temporalidad. Los autores sostienen que la ocurrencia de eventos tempranamente en el semestre cálido dificulta la aclimatación de la población expuesta y en consecuencia los impactos son más severos. En este sentido, el análisis a escala estacional evidenció que en la

ciudad de Neuquén las OC se concentraban en el mes de enero entre 1961 y 1990, mientras que durante las últimas tres décadas los eventos se extendieron entre diciembre y marzo. Además, si bien los eventos de OC y PTEE más intensos se presentaron en los meses de enero y febrero, los más extensos fueron en diciembre.

Respecto al análisis de la dirección del viento para ambas situaciones (OC y OF) se halló prevalencia de vientos de componente Oeste y Suroeste, propio de latitudes medias y coincidente con estudios previos en la región (Lässig et al., 1999; Palese et al., 2001; Cogliati et al., 2006). Asimismo, durante OC también se halló una alta frecuencia de ocurrencia de vientos de componente Este. De acuerdo con lo expuesto por Campo et al. (2019), su desarrollo se vincula con las trayectorias de desprendimientos celulares del APS (Celemín, 1984) que durante su desplazamiento determinan sucesivamente, por su sentido de giro retrógrado, la ocurrencia de vientos de componente Este. La alta frecuencia de calmas hallada durante los eventos de OF coincide con los resultados obtenidos en el análisis estacional de vientos llevado a cabo por Palese et al. (2001). Por otra parte, la observación de la situación sinóptica durante las OC y las OF coincide con los resultados expuestos por Rusticucci (1995). En el caso de las OC se identificó la existencia de una baja presión en el centro del país y dos anticiclones (APS, AAS) sobre los océanos Pacífico y Atlántico que originan una entrada de aire caliente proveniente del norte. En el caso de OF, la situación sinóptica se vio definida por la presencia de una presión en el centro del país.

## CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo fue caracterizar eventos extremos térmicos en la ciudad de Neuquén entre los años 1961 y 2020, y los elementos climáticos y las situaciones sinópticas asociadas a su ocurrencia. Si bien no existe una definición globalmente establecida para definir extremos térmicos, la metodología propuesta por el SMN resultó de sencilla aplicación para la identificación de los eventos. A nivel nacional ha sido aplicada en múltiples estudios y dada su simpleza es fácilmente



Figura N°11. Situación sinóptica 14/6/2018 10 UTC (durante la OF de 2011-2020). Fuente: INPE

replicable en otras regiones siempre que se cuente con datos de temperaturas mínimas y máximas para períodos históricos extensos.

En la ciudad de Neuquén durante 1961 y 2020 ocurrieron 33 OC, 209 PTEE, 19 OF y 215 PTEMB. El análisis multitemporal a distintas escalas permitió apreciar cambios de los atributos abordados (ocurrencia, intensidad y duración de los eventos). A escala decenal, se observó que entre los años 1961 y 2000 acontecieron el 74 % de los eventos por temperaturas extremas bajas y entre los años 2001 y 2020 sucedieron el 50 % de los eventos por temperaturas extremas elevadas. Además, en la última década sólo se presentó una OF mientras que el número de OC fue superior a las décadas anteriores. A escala interanual, y en virtud de la aplicación del Test de Tendencias de Mann Kendall, los resultados evidenciaron tendencias positivas estadísticamente significativas en la ocurrencia de OC, PTEE y no significativa de OF. Asimismo, las tendencias negativas en la frecuencia de PTEMB fueron no significativas. Todos los tipos de eventos exhibieron tendencias positivas en su intensidad, sólo significativa para PTEEmax. Se observaron tendencias positivas en la duración de OC y PTEE, sólo significativa para PTEEmin y negativas no significativas para OF y PTEMB. La comparación de las OC y PTEE con las OF y PTEMB arrojó que los incrementos de los valores de los atributos de los eventos extremos térmicos por temperaturas elevadas fueron más pronunciados que las disminuciones de los eventos extremos térmicos por temperaturas bajas.

Para la caracterización de los elementos climáticos y las situaciones sinópticas asociadas a la ocurrencia de OC y OF se analizó la distribución de la velocidad (km/h) y dirección del viento en los días previo, de desarrollo y posterior a los eventos. Los resultados indicaron que previo, durante y posterior a OC (OF) predominaron las calmas (vientos de W y WSW), vientos de W y SW (las calmas) y del SW y E (calmas y vientos W), respectivamente. A su vez, mediante la observación de cartas del tiempo provistas por el SMN para el período 2011-2020 se analizó la situación sinóptica de los días centrales de los eventos. Durante el día central de OC el AAS y el APS se ubicaron en latitudes 38° S y 28° S con presiones de entre 1011-1029 y 1011-1020 hPa. Asimismo, los eventos se vieron definidos por la presencia de un centro de bajas presiones de

origen térmico, localizado entre los 30° S y los 38° S y entre los 68° W y 70° W. Por su parte, durante el día central de la única OF acaecida en el decenio analizado, el AAS y el APS se ubicaron en latitudes 20° S y 30° S con presiones de entre 1020 y 1028 hPa.

Los resultados y tendencias hallados concuerdan con lo observado en otras regiones del país y del mundo, así como con proyecciones elaboradas por organismos nacionales e internacionales. Se espera que el calentamiento de las urbes continúe en aumento como resultado de extremos térmicos asociados al Cambio Climático, así como también al efecto de isla de calor urbana que exacerba aún más las temperaturas en espacios urbanizados. En este escenario general y en el puntual de la ciudad de Neuquén, que proyecta ampliar el ejido y duplicar su mancha urbana, incorporar criterios bioclimáticos al diseño urbanístico adquiere un papel fundamental y la infraestructura ecológica puede aportar servicios ecosistémicos significativos. En este sentido, la planificación integral de los espacios verdes, el arbolado urbano y los corredores costeros pueden reducir la temperatura de la superficie por atenuación de la radiación solar incidente y del aire por evapotranspiración, con beneficios tanto para la salud humana como para el metabolismo urbano.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado en el marco de los siguientes proyectos de investigación: "Radiación solar aplicada a la gestión local del cambio climático en Bahía Blanca" (PGI 24/ZG23) con el subsidio de la Secretaría General de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional del Sur y "Playas de estacionamiento y problemáticas ambientales urbanas: estudio para la definición y propuesta de medidas sustentables en ciudades medias" (PIP 11220200100032) con el subsidio del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Agradecemos al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y al Instituto Nacional de Investigación Espacial del Brasil (INPE) por proveer los datos necesarios para la realización de esta investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALHAJI, U.U., YUSUF, A.S., EDET, C.O., OCHE, C.O. y AGBO, E.P. "Trend Analysis of Temperature in Gombe State Using Mann Kendall Trend Test." *Journal of Scientific Research & Reports*, vol. 20, no. 3, 2018, pp. 1-9. Doi: 10.9734/JSRR/2018/42029
- BARROS, V. R., CAMILLONI, I. A., DOYLE, M. E. "Proyecciones climáticas para lo que resta del Siglo XXI en el Centro y Este de la Argentina". *Eudeba*, 2018, pp. 15-20
- BITENCOURT, D.P., FUENTES, M.V., FRANKE, A.E., SILVEIRA, R.B. y ALVES, M.P.A. "The climatology of cold and heat waves in Brazil from 1961 to 2016". *International Journal of Climatology*, vol. 40, 2019, pp. 2464-2478. Doi: 10.1002/joc.6345
- CAMILLONI, I. "Argentina y el Cambio Climático". *Ciencia e Investigación*, vol. 68, no. 5, 2018, pp. 5-10
- CAMPO, A.M., RAMOS, M.B., GENTILI, J.O., GIL, V. y ZAPPERI, P.A. "Circulación atmosférica y su incidencia en la (re) dispersión de cenizas volcánicas en el extremo sur de América". En MÁRQUEZ REYES, R.E. (comp.) *El desastre socio-natural del Volcán Calbuco (2015): Dinámicas intersectoriales y lecciones desaprendidas en los procesos de gestión de riesgo a escala bi-nacional*. Osorno: Universidad de los Lagos, 2019, pp. 27-39. ISBN 9781450349185.
- CAPOZZI, V. y BUDILLON, G. "Detection of heat and cold waves in Montevergine time series (1884-2015)". *Advances in Geosciences*, vol. 44, 2017, pp. 35-51. <https://doi.org/10.5194/adgeo-44-35-2017>
- CAPUA, O. C. y JURIO, E. M. "Componentes y dinámica natural del ambiente -ciudad de Neuquén". *Boletín geográfico*, vol. 32, no. 33, 2011, pp. 55 - 68.
- CARRIL, F.A., CAVALCANTI, I.F.A., MENÉNDEZ, C.G., SÖRENSSON, A., LÓPEZ-FRANCA, N., RIVERA, J.A., ROBLEDO, F., ZANINELLI, P.J., AMBRIZZI, T., PENALBA, O.C., DA ROCHA, R.P., SÁNCHEZ, E., BETTOLLI, M., PESSACG, N., RENOM, M., RUSCICA, R., SOLMAN, S., TENCER, B., GRIMM, A.M., RUSTICUCCI, M., CHERCHI, A., TEDESCHI, R. y ZAMBONI, L. "Extreme events in the La Plata basin: a retrospective analysis of what we have learned during CLARIS-LPB Project". *Climate Research*, vol. 68, 2016, pp. 95-116. Doi: 10.3354/cr01374
- CECCHERINI, G., RUSSO, S., AMEZTOY, I., ROMERO, C. P., y CARMONA-MORENO, C. "Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: the case of South America". *Natural Hazards Earth System Sciences*, vol. 16, 2016, pp. 821-831, <https://doi.org/10.5194/nhess-16-821-2016>
- CELEMÍN, A., 1984. *Meteorología práctica*. Mar del Plata: Edición del Autor.
- CHESINI, F., ABRUTZKY, R. y DE TITTO, E. "Mortalidad por olas de calor en la ciudad de Buenos Aires, Argentina (2005 - 2015)". *Cuadernos de Saúde Pública*, vol. 35, no. 9, 2019, pp. 1-11. Doi: 10.1590/0102-311X00165218
- COGLIATI, M. G. y MAZZEO, N. A., 1999. *Climatología del viento en el Alto Valle de Río Negro*. [Consulta: 7 junio 2022]. Disponible en: <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/1999/1999-t006-a004.pdf>
- COGLIATI, M. G. "Estudio térmico y del flujo del aire en septiembre y octubre en los Valles de los Ríos Limay, Neuquén y Negro" [Tesis de posgrado]. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 2001.
- COGLIATI, M.G., BRITOS, P. y GARCÍA-MARTÍNEZ, R., 2006. *Análisis de variables agrometeorológicas en noches de heladas utilizando mapas auto organizados y algoritmos de inducción*. XI Reunión Argentina de Agrometeorología. La Plata: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata.
- CONDE, C., PABÓN, D. y SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, R. "La importancia de la información climática para la planificación del crecimiento y el desarrollo urbano". En SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, R (ed.). *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina*. Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2013, pp. 25-39.
- CORDERO SIMÕES DOS REIS, N., BOIASKI, N.T. y FERRAZ, S.E.T. "Characterization and Spatial Coverage of Heat Waves in Subtropical Brazil". *Atmosphere*, vol. 10, no. 5, 2019, 284. <https://doi.org/10.3390/atmos10050284>

- CURRIERO, F.C., HEINER, K. S., SAMET, J.M., ZEGER, S.L. y PATZ, J.A. "Temperature mortality in 11 cities of the Eastern of the United States". *Am. J. Epidemiol.*, vol. 155, no. 1, 2002, pp. 80-87
- GARCÍA CUETO, R. O., TEJEDA MARTÍNEZ, A. y JÁUREGUI OSTOS, E. "Heat waves and heat days in an arid city in the northwest of México: current trends and in climate change scenarios". *International Journal of Biometeorology*, vol. 54, 2010, pp. 335–345. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0283-7>
- DANNEBERG, J. "Changes in runoff time series in Thuringia, Germany – Mann-Kendall trend test and extreme value analysis". *Adv. Geosci.*, vol. 31, 2012, pp. 49–56. <https://doi.org/10.5194/adgeo-31-49-2012>
- DATRI, L. A. y MADDIO, R. "Geometrías fluviales en la definición del paisaje de la colonia Valentina Sur (Neuquén) y Balsa Las Perlas (Río Negro)". *Calidad de vida*, vol. 1, no. 5, 2010, pp. 141-157
- DEGEFIE, D.T., FLEISCHER, E., KLEMM, O., SOROMOTIN, A.V., SOROMOTINA, O.V., TOLSTIKOV, A.V. y ABRAMOV, N.V. "Climate extremes in South Western Siberia: past and future". *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, vol. 28, 2014, pp. 2161–2173. <https://doi.org/10.1007/s00477-014-0872-9>
- FERNÁNDEZ GARCÍA, R. y RASILLA ÁLVAREZ, D. "Olas de calor e influencia urbana en Madrid y su área metropolitana". *Estudios Geográficos*, vol. 69, no. 265, 2008, pp. 495-518. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.0440>
- FERNÁNDEZ, M.E., BUSCARINI, J., PELLEJERO, J. y GENTILI, J.O. "Olas de Frío y Calor en Bahía Blanca (Argentina): sus impactos en el ambiente urbano analizados a través de la prensa escrita local". *Revista Geográfica Digital*, vol. 19, no. 37, 2022, (En prensa)
- FERRELLI, F., BRENDEL, AS, PERILLO, GME. y PICCOLO M.C. "Señales de calentamiento emergentes del análisis de cambios diarios en eventos de temperatura extrema sobre las pampas (Argentina)". *Environ Earth Sci.*, vol. 80, 2021, 422. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09721-4>
- GARREAUD, R.D. y ACEITUNO, P. "Atmospheric Circulation and Climatic Variability". En: T. VELEN, Y. K. y A. ORME (eds.). *The Physical geography of South America*. S.I.: Oxford University Press, 2007, pp. 45–59.
- GENTILI, J., FERNÁNDEZ, M.E., PELLEJERO, J., BUSCARINI, J. "Caracterización de olas de calor de enero 2022 en norpatagonia y sur de la región pampeana (Argentina)". En CONTRERAS, F. I. (ed.). *Libro de Actas de las XIV Jornadas Nacionales de Geografía Física*. Argentina: Universidad Nacional del Nordeste, 2022, pp. 45
- HERRERA, N., DE LOS, M., SKANSI, M., ÁNGEL BERÓN, M., CAMPETELLA, C., CEJAS, A., CHASCO, J., CHESINI, F., DE TITTO, E., GATTO, M., SAUCEDO, M., y SUAYA, M., 2018. *Sistema de Alerta Temprana por Olas de Calor y Salud (SAT-OCS): Nota Técnica SMN 2018-50*. Servicio Meteorológico Nacional, Argentina [en línea]. [Consulta: 7 mayo 2022]. Disponible en: [www.smn.gov.ar](http://www.smn.gov.ar)
- HERRERA, N., CHESINI, F., SAUCEDO, M.A., MENALLED, M.E., FERNÁNDEZ, C., CHASCO, J. y CEJAS, A.G., 2021. *Sistema de Alerta Temprana por Temperaturas Extremas Calor (SAT-TE Calor): la evolución del SAT-OCS*. Nota Técnica Servicio Meteorológico Nacional, Argentina [en línea]. [Consulta: 7 junio 2022]. Disponible en: [www.smn.gov.ar](http://www.smn.gov.ar)
- HIGUERAS, E., 2006. *Urbanismo bioclimático*. Barcelona: Editorial GG. 242 p. ISBN: 9788425220715
- HOFFMANN, J.A.J. "The continental atmospheric pressure and precipitation regime of South America". *Erdkunde*, vol. 46, 1992, pp. 40–51
- INZUNZA, J., 2012. Circulación de la atmósfera. *Meteorología Descriptiva*. Concepción: Universidad de Concepción, pp. 225–260.
- IPCC, 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom and New York: Cambridge University Press. [Consulta: 9 junio 2022]. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/>
- KAMAL, N. y PACHAURI, S. "Mann-Kendall Test - A Novel Approach for Statistical Trend Analysis". *International Journal of Computer Trends and Technology*, vol. 63, no. 1, 2018, pp. 18-21
- LÄSSIG, J.L., COGLIATI, M.G., BASTANSKI, M.A. y PALESE, C. "Wind characteristics in Neuquen, North Patagonia, Argentina. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 79,

no. 1–2, 1999, pp. 183–199. ISSN 01676105. DOI 10.1016/S0167-6105(98)00110-X.

LÓPEZ-BUENO, J., DÍAZ JIMÉNEZ, J., NÚÑEZ-PEIRÓ, M., SÁNCHEZ-GUEVARA, C., SANZ-FERNÁNDEZ, A., GAYOSO HEREDIA, M., NEILA, F. J., GÓMEZ MUÑOZ, G., VALERO, I. y LINARES GIL, C. "Impacto a nivel municipal e inframunicipal de las olas de calor y frío sobre la salud de hombres y mujeres: la feminización de la pobreza en Madrid". *Rev. salud ambient.*, vol. 20, no. 2, 2020, pp. 101-108

LOPEZ, M. y GENTILI, J. "Análisis de la tendencia de la temperatura en la ciudad de Neuquén (Argentina)". En CONTRERAS, F. I. (ed.). *Libro de Actas de las XIV Jornadas Nacionales de Geografía Física*. Argentina: Universidad Nacional del Nordeste, 2022, pp. 55

LOVINO, M. A., MÜLLER, O. V., BERBERY, E. H., & MÜLLER, G. V. "How have daily climate extremes changed in the recent past over northeastern Argentina?" *Global and Planetary Change*, vol. 168, 2018, pp. 78–97. Doi:10.1016/j.gloplacha.2018.0

MINETTI, J.L. "La respuesta del Anticiclón Del Pacífico Sur en la costa de Chile frente al cambio climático-impactos". *Boletín Geográfico*, vol. 30, no. 1, 2007, pp. 9–22. ISSN 0326-1735

MORELLO, J.H. "Grandes Ecosistemas de Suramérica". En GALLOPÍN, G. (comp.): *El Futuro Ecológico de un Continente*. Fond. De Cult. Econ., vol. 1, 1995, pp. 21-100

MÜLLER, G. V., LOVINO, M. A. Y SGROI, L. C. "Observed and Projected Changes in Temperature and Precipitation in the Core Crop Region of the Humid Pampa, Argentina". *Climate*, vol. 9, no. 3, 2021, 40. <https://doi.org/10.3390/cli9030040>

ONU (2015). *Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development*. United Nations, Geneva. [Consulta: 7 junio 2022]. Disponible en: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>

ONU (2017). *Nueva Agenda Urbana*. Naciones Unidas, Ecuador. [Consulta: 7 junio 2022]. Disponible en: <https://www.agenda2030.gob.es/recursos/docs/HABITAT.pdf>

Neuquén, Argentina. Ordenanza municipal 8059 de 1997. Sistema de Planificación Municipal para la

implementación del Plan Urbano Ambiental. *Digesto virtual del Concejo Deliberante de la ciudad de Neuquén*, 23 de enero de 1998, 1139

PALESE, C., LASSIG, J. y COGLIATI, M.G., 2001. *Régimen de viento y de potencia eólica en la región norpatagónica*. IX Encuentro Latinoamericano y del Caribe Sobre Pequeños Aprovechamientos Hidroenergéticos. Neuquén: s.n., pp. 1–13.

PÉREZ, G. G. "La conurbación en torno a la ciudad de Neuquén. Perspectiva regional y aportes para el ordenamiento territorial" [Tesis de posgrado]. Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, 2018.

PITICAR, A. "Changes in heat waves in Chile". *Global and Planetary Change*, vol. 139, 2018, pp. 234-246. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.08.007>

PITICAR, A., CROITORU, A.E., CIUPERTEA, F.A. y HARPA, G.V. "Recent changes in heat waves and cold waves detected based on excess heat factor and excess cold factor in Romania". *International Journal of Climatology*, vol. 38, no. 4, 2017, pp. 1777-1793. <https://doi.org/10.1002/joc.5295>

ROYÉ, D., TOBÍAS, A., FIGUEIRAS, A., GESTAL, S., TARACIDO, M., SANTURTUN, A. e IÑIGUEZ, C. "Temperature-related effects on respiratory medical prescriptions in Spain". *Environmental Research*, vol. 202, 2021, 111695. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111695>

RUSTICUCCI, M., 1995. *Variabilidad regional de las temperaturas de superficie en intervalos diarios y cuatrídurnos*. S.I.: Universidad de Buenos Aires.

RUSTICUCCI, M. y VARGAS, W. "Interannual variability of temperature spells over Argentina". *Atmósfera*, vol. 14, no. 2, 2001, pp. 75-86.

RUSTICUCCI, M. y VARGAS, W. "Cold and warm events over Argentina and their relationship with the ENSO phases: Risk evaluation analysis". *International Journal of Climatology*, vol. 22, no. 4, 2002, pp. 467-483. <https://doi.org/10.1002/joc.743>

RUSTICUCCI, M., KYSELÝ, J., ALMEIRA, G. y LHOTKA, O. "Long-term variability of heat waves in Argentina and recurrence probability of the severe 2008 heat wave in Buenos Aires". *Theor Appl Climatol*, vol. 124, 2016, pp. 679–689. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1445-7>

SCIAN, B. "Clima - Bahía Blanca y Sudoeste

Bonaerense”. En: J.D. PAOLONI (ed.). *Ambiente y Recursos Naturales del Partido de Bahía Blanca. Clima, Geomorfología, Suelos y Aguas*. Bahía Blanca: EdiUns, 2010, pp. 27–83

SECRETARÍA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA NACIÓN, 2015. *Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Argentina. [Consulta: 9 junio 2022]. Disponible en: [www.argentina.gob.ar](http://www.argentina.gob.ar)

SECRETARÍA DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA NACIÓN ARGENTINA, 2018. *Infraestructura resiliente para un clima cambiante: Documento de insumo para el Grupo de Trabajo de Sustentabilidad Climática del G20*. Argentina. [Consulta: 7 junio 2022]. Disponible en: [www.argentina.gob.ar](http://www.argentina.gob.ar)

SHERAZ MAHDI, S., DHEKALE, SUBORNA, B.S., CHOUDHURY, R., HAQUE, M. y KUMAR GUPTA, S. “Magnitude, frequency, trends of heat and cold waves in recent decades and impact assessment in wheat: the case of north Bihar, India”. *Journal of Agrometeorology*, vol. 22, no. 4, 2020, pp. 477–487. <https://doi.org/10.54386/jam.v22i4.457>

SPINONI, J., LAKATOS, M., SZENTIMREY, T., BIHARI, Z., SZALAI, S., VOGT, J. y ANTOFIE, T. “Heat and cold waves trends in the Carpathian Region from 1961 to 2010”. *International Journal of Climatology*, vol. 35, no. 14, 2015, pp. 4197–4209. <https://doi.org/10.1002/joc.4279>

VEIGA, H., STELLA, J. L., HERRERA, N., GATTO, M., GARAY, N., y SKANS, M. DE LOS M., 2015. *Monitoreo operativo de olas de calor y de frío en el Servicio Meteorológico Nacional*. CONGREGMET XII, Mar del Plata, Argentina [en línea]. [Consulta: 7 mayo 2022]. Disponible en: <http://cenamet.org.ar/congremet2015/>

WEISSKOPF, M. G., ANDERSON, H. A., FOLDY, S., HANRAHAN, L. P., BLAIR, K.; TÖRÖK, T. J., RUMM, P. D. “Heat Wave Morbidity and Mortality, Milwaukee, Wis, 1999 vs 1995: An Improved Response?” *American Journal of Public Health*, vol. 92, no. 5, 2002, pp. 830–833. Doi:10.2105/ajph.92.5.830

ZHANG, R., CHEN, Z.Y., OU, C.Q. y ZHUANG, Y. “Trends of heat waves and cold spells over 1951-2015 in Guangzhou, China”. *Atmosphere*, vol. 8, no. 2, 2017, 13. <https://doi.org/10.3390/atmos8020037>.