



EVENTOS FRÍOS EXTREMOS: EL CASO DE BAHÍA BLANCA (ARGENTINA)

*María Eugenia Fernández*¹

*Jorge O. Gentili*²

(Manuscrito recibido el 4 de mayo de 2022, en versión final 26 de noviembre de 2022)

Para citar este documento

Fernández, M.E. & Gentili, J.O (2022). Eventos fríos extremos: el caso de Bahía Blanca (Argentina). *Boletín geográfico*, 44(2), 13-37.

Resumen

El objetivo de la presente investigación es caracterizar la frecuencia, duración e intensidad de los episodios de frío extremo (Período de Temperaturas Extremas Muy Bajas -PTEMB-, Olas de Frío -OF- y Días con Heladas -FD0-) ocurridos en Bahía Blanca y la situación sinóptica asociada a su desarrollo. Pudo observarse que la mayor parte de los PTEMB y OF hallados tuvieron una duración de tres días y ocurrieron entre junio y julio. Sobre su frecuencia decádica, los decenios 1981-1990 y 1991-2000 tuvieron los mayores valores de todo el registro. En 2011-2020 se halló la mínima frecuencia de ocurrencia de PTEMB y no se registraron OF. Respecto a la relación entre la intensidad y la frecuencia absoluta de OF, se verificó que en la medida que las OF fueron más frecuentes, su intensidad media decádica aumentó. Sobre las situaciones sinópticas, las OF se asociaron a la presencia de un centro anticiclónico en el centro del país, que define la dominancia de aire frío, seco y cielos despejados. Las heladas invernales fueron las más intensas y frecuentes en todas las décadas analizadas y las heladas tardías más frecuentes e intensas que las tempranas. En el rango de mayor intensidad analizado solo hubo registro de ocurrencia para las

¹ Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur (UNS). 12 de Octubre 1098 - 8000 Bahía Blanca, Argentina. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Cno de la Carrindanga km. 7 - 8000 Bahía Blanca, Bs Aires, Argentina. E-mail: eugenia.fernandez@uns.edu.ar

² Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur (UNS). 12 de Octubre 1098 - 8000 - Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Cno de la Carrindanga km. 7 - 8000 - Bahía Blanca, Argentina. E-mail: jogentili@uns.edu.ar

invernales y solo en los primeros tres decenios. Durante 2011-2020 se observó una disminución en la intensidad de las heladas tempranas, y las heladas tardías presentaron un aumento en la frecuencia de ocurrencia e intensidad.

Palabras clave: Período de Temperaturas Extremas Muy Bajas, Olas de Frío, Días de Heladas, Cambio Climático, Calentamiento Global

EXTREME COLD EVENTS: THE CASE OF BAHÍA BLANCA (ARGENTINA)

Abstract

The objective of this investigation is to characterize the frequency, duration, and intensity of extreme cold episodes (Period of Very Low Extreme Temperatures - PVLET-, Cold Waves -CW- and Frost Days -FD0-) that occurred in Bahía Blanca and the synoptic situation associated to its development. We observed that most of the PVLET and OC had a three-day duration and occurred in June and July. About its decadic frequency, the 10-year periods 1981-1990 and 1991-2000 had the highest records of the whole period. In 2011-2020 we found the minimum frequency of PVLET and no HW were recorded. About the relationship between intensity and absolute frequency of CW, we verified that when CW were more frequent, its mean decadic intensity was higher. On the synoptic situations, CW were associated with the presence of a high-pressure system in the center of the country, which defines the dominance of cold, dry air and clear skies. Winter frosts were the most intense and frequent in all decades and late frosts were more frequent and intense than the first ones. In the highest intensity range analyzed there was only a record of occurrence for winters and only in the first three decades. During 2011-2020 we observed a decrease in the intensity of first frosts, and late frosts showed an increase in frequency of occurrence and intensity

Keywords: Period of Very Low Extreme Temperatures, Cold Waves, Frost Days, Climate Change, Global Warming

Introducción

El cambio climático global es uno de los principales desafíos del siglo XXI (IPCC, 2019; Yosú Rodríguez, 2018). En este escenario, es de esperar que aumente la frecuencia, duración e intensidad de los eventos meteorológicos extremos (Gil Olcina & Olcina Cantos, 2017; IPCC, 2014a, 2019). Se puede identificar un evento como extremo cuando una sola variable climática excede sus umbrales sitio - específicos (WMO, 2016). En esta línea, el IPCC (2014b) establece que la clasificación de un evento como “extremo” depende de ser igual o superior al percentil 10 o 90 de una función de densidad de probabilidad estimada a partir de observaciones. Los episodios

de frío extremo tienen efectos más notorios en latitudes medias (Gil Olcina & Olcina Cantos, 2017) y entre ellos, las olas de frío son de los más documentados (WMO, 2016, 2019).

La World Meteorological Organization (WMO) define las Olas de Frío (OF) como la persistencia de aire frío sobre un área (WMO, 2015). Actualmente, existe una gran discusión académica en torno a la influencia del calentamiento global y el cambio climático en la ocurrencia de OF. Algunas investigaciones afirman que la pérdida de hielo en el Ártico (consecuencia del aumento global de las temperaturas) se relaciona con una mayor frecuencia y severidad de las olas de frío en Europa, Asia Central y Estados Unidos (Cohen Pfeiffer & Francis, 2018; Horton *et al.*, 2015; B. Wu, Yang & Francis, 2017), fenómeno denominado “warm Arctic—cold continents” (Overland, Woo & Wang, 2011). En el Hemisferio Sur, Pezza y Ambrizzi (2005) realizaron una compilación histórica de las OF que afectaron Argentina y Brasil entre 1888 y 2003. Los autores concluyeron que, a pesar del aumento de las temperaturas en el continente, los eventos de frío extremo aumentaron en las últimas décadas del análisis. Sin embargo, otras investigaciones afirman que la intensidad y frecuencia de las OF han disminuido como consecuencia del aumento de las temperaturas producto del cambio climático (Cattiaux *et al.*, 2010; Ginés Llorens, 2012; Izquierdo, Martín & Montero, 2010; Screen, Deser & Sun, 2015; Van Oldenborgh *et al.*, 2019; Yagüe, Martija & Torres, 2006). Referido al cambio climático y su impacto en las temperaturas de la región pampeana, Ferrelli, Bustos, Humantico -Cisneros & Piccolo (2021) hallaron tendencias negativas con relación a la ocurrencia de eventos térmicos fríos extremos.

Numerosos estudios han documentado la influencia de las OF en la salud de la población (Goggins, Chan, Yang & Chong, 2013; López-Bueno *et al.*, 2020) y el confort (Basarin, Lukić & Matzarakis *et al.*, 2016; Roshan, Ghanghermeh & Kong, 2018). El frío extremo se relaciona con enfermedades respiratorias (Mäkinen *et al.*, 2009; Monteiro, Carvalho, Góis & Souza, 2013), cardiovasculares (Chen *et al.*, 2020; Urban, Davidkiovová & Kyselý, 2014) e infecciosas (Hajat & Haines, 2002).

Por otro lado, las estabilidad atmosférica y las inversiones térmicas favorecen la concentración de contaminantes (Li, Wang, Zhang, & Hu, 2017; P. Wu *et al.*, 2017; Yoo *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2016), razón por la cual la situación sinóptica que da origen a los episodios de frío extremo posee incidencia en la calidad del aire (Cai *et al.*, 2020). Además, las olas de frío representan una gran dificultad para el sistema energético, ya que influyen en el aumento del consumo (Añel, Fernández-González, Labandeira, López-Otero, & de la Torre, 2017). Asimismo, poseen un alto impacto en las infraestructuras existentes, incluyendo la de transporte (Añel, *et al.*, 2017; Panteli & Mancarella, 2015) y dañan los cultivos, afectando a la economía de las áreas agroproductivas (Barlow, Christy, O’Leary, Riffkin, & Nuttall, 2015; Collazo, Barrucand & Rusticucci, 2019; Verdes, Granitto, Navone, & Ceccatto, 2000).

A escala regional, en el Suroeste Bonaerense, los eventos fríos extremos más documentados han sido las heladas agrometeorológicas, ya que poseen un efecto directo fundamentalmente sobre el sector agrícola (Lambrecht, 2021; Lambrecht & Ramos, 2019). En Bahía Blanca, Gentili, Fernández, y Gil (2020) verificaron la influencia de la topografía del periurbano de la ciudad en la ocurrencia, duración e

intensidad de las heladas y Fernández, Buscarini, Pellejero, y Gentili (2022) identificaron a través de la prensa escrita los efectos de las olas de frío en el ambiente urbano. En lo referido a la climatología urbana, desde el año 1985, numerosas investigaciones han estudiado los efectos de la edificación sobre las variables climáticas, como la temperatura, el viento y la radiación solar en Bahía Blanca (Capelli de Steffens, Piccolo & Campo, 1989; Capelli de Steffens, Piccolo & Campo, 2003; Fernández, Gentili & Campo, 2021; Fernández & Gentili, 2021; Ferrelli, 2017; Ferrelli, *et al.*, 2015, Ferrelli, Bustos & Piccolo, 2016). En ciertas horas del día se ha identificado la existencia de la Isla de Frío Urbana (IFU), caracterizada por la existencia de mayores temperaturas en la periferia y las áreas con escasa construcción (Capelli de Steffens *et al.*, 2005; Ferrelli, 2016). En relación con ello, en el análisis de los componentes del Balance Energético Urbano (BEU), Fernández, Picone, Gentili, & Campo, (2021) hallaron una marcada variabilidad diaria en las magnitudes de flujo de calor almacenado en los sectores céntricos de la ciudad, factor vinculado a los procesos urbanos de calentamiento diurno y enfriamiento nocturno. Las bajas temperaturas en la ciudad afectan la calidad de vida de la población urbana, ya que se asocian a un extremo grado de estrés térmico por frío (Fernández, Campo & Gentili, 2018) y también contribuyen a la disminución de la calidad del aire por estancamiento de contaminantes atmosféricos (Campo *et al.*, 2018; Fernández, Gentili, & Campo, 2021). En 2015 la Asamblea General de Naciones Unidas aprobó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible que incorpora 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, entre los cuales se incluye “Lograr que las ciudades sean inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles” (ODS 11) (Dugarova & Gülasan, 2017; United Nations General Assembly, 2015). En este contexto, conocer la frecuencia de ocurrencia de eventos fríos térmicos extremos a escala local constituye un conocimiento de interés a la hora de planear estrategias urbanísticas conducentes a la resiliencia y la sostenibilidad. El objetivo de la presente investigación es caracterizar la frecuencia, duración e intensidad de los episodios de frío extremo (Período de Temperaturas Extremas Muy Bajas –PTEMB-, Olas de Frío -OF- y Días con Heladas –FD0-) ocurridos en Bahía Blanca y la situación sinóptica asociada a su desarrollo. La originalidad de la investigación se sustenta en la escala de abordaje de la problemática, ya que estudios precedentes en Argentina han analizado la ocurrencia de eventos térmicos fríos extremos a escala regional sin profundizar en las especificidades locales.

Área de estudio

Bahía Blanca se encuentra en el límite sur de la llanura Pampeana (38° 44' S y 62° 16' O) y en el suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Es la ciudad cabecera del partido homónimo, que cuenta con 301.572 habitantes (INDEC, 2010). La ciudad se encuentra entre los partidos que conforman la Región del Sudoeste Bonaerense, según lo establecido por la ley provincial N° 13647 (Ley Provincial N° 13647, 2007) (Figura 1a).

La circulación atmosférica en el Suroeste Bonaerense (SOB) está controlada por los sistemas de gran escala que influyen en el Sur de Sudamérica: dos centros anticiclónicos semipermanentes ubicados sobre el océano Pacífico y el océano

Atlántico (Anticiclón del Pacífico Sur –APS- y Anticiclón del Atlántico Sur –AAS- respectivamente), las bajas dinámicas correspondientes al cinturón de bajas subpolares y el centro ciclónico de origen térmico denominado Baja del Noroeste Argentino (Figura 1b) (Celemin, 1984; Chiozza & Figueras, 1982; Grimm, Barros & Doyle, 2000; Scian, 2010). El SOB se localiza en una de las áreas con mayor frecuencia de pasaje de sistemas anticiclónicos migratorios, desprendimientos celulares de APS que ingresan al territorio argentino en sentido oeste-este y causan diversos estados de tiempo en su recorrido (Alessandro, 1998; Celemin, 1984; García, 2013). En invierno, el clima regional se ve definido fundamentalmente por la influencia de aire frío y húmedo que proviene de dichos sistemas y por el pasaje de frentes fríos (Alessandro, 1998; Ambrizzi & Pezza, 1999; Bruniard, 1981; Celemin, 1984; García, 2013; Mendes, 2006; Pezza & Ambrizzi, 2003; Sinclair, 1996). El pasaje de frentes fríos en invierno es acompañado por la presencia de nubes medias de los géneros Altocúmulus (AC) y Altostratus (AS) que inciden en la distribución espacial de la radiación solar global durante la época invernal. Ésta presenta un gradiente ascendente en sentido sureste-noroeste, aproximadamente perpendicular a la dirección de avance de los frentes (Fernández, Gentili & Casado, 2021). Durante el verano, el sistema climático en su conjunto se desplaza hacia el sur (APS y AAS se encuentran aproximadamente 5 ° de latitud más cerca del Ecuador en invierno) (Garreaud & Aceituno, 2007; Hoffmann, 1992; Inzunza, 2012; Minetti, 2007; Scian, 2010), por lo que las masas de aire Tropicales marítimas (Tm) que se desprenden del borde occidental del AAS poseen una influencia más austral y penetran en el continente cargadas de humedad. En la medida que avanzan por el continente, dichas masas de aire pierden humedad y la nubosidad disminuye (Bejarán & Camilloni, 2003; Celemin, 1984; Scian, 2010). En el interior del SOB las masas de aire Tropicales continentales (Tc) son dominantes e inhiben las precipitaciones (Campo *et al.*, 2004). Esta dinámica estival define un gradiente ascendente Este-Oeste en la distribución espacial de la radiación solar en el SOB (Fernández, Gentili, Casado, & Campo, 2021).

Bahía Blanca tiene un clima de transición entre el cálido y húmedo del este de la provincia de Buenos Aires y el frío y seco de la Patagonia (Capelli de Steffens *et al.*, 2005; Scian, 2010). La temperatura media anual es de 15,5 °C, con una estacionalidad térmica marcada: 22,3 °C la media estival y 9,5 °C la media invernal (Ferrelli, 2016). Respecto al viento, la dirección preponderante es Norte y Noroeste, con velocidades mayores durante el verano (Campo *et al.*, 2004). El verano es la estación más lluviosa en la ciudad, con un valor medio de 206,2 mm. En invierno las precipitaciones son menos frecuentes (Ferrelli, 2016; Zapperi, 2012). En concordancia, los cielos despejados son más frecuentes en otoño y en verano y los cielos cubiertos en primavera y en invierno. En todas las estaciones del año, los géneros más frecuentes de nubes son CI (nubes altas), AC (nubes medias) y SC y ST (nubes bajas) (Fernández, 2020; Fernández & Gentili, 2021). Las precipitaciones estivales se originan principalmente por actividad convectiva y el desarrollo de sistemas frontales (Zapperi, Ramos, Gil & Campo, 2007). En la estación seca, la precipitación se halla vinculada a sistemas frontales (fríos y cálidos), ondas frontales

y procesos de ciclogénesis (Zapperi, Casado, Gil & Campo, 2006). Sobre la radiación solar, el valor medio anual (2000-2019) es $179,09 \text{ W/m}^2$, con una máxima media estival de $288,7 \text{ W/m}^2$ y una mínima media invernal de $88,0 \text{ W/m}^2$ (Fernández, 2020).

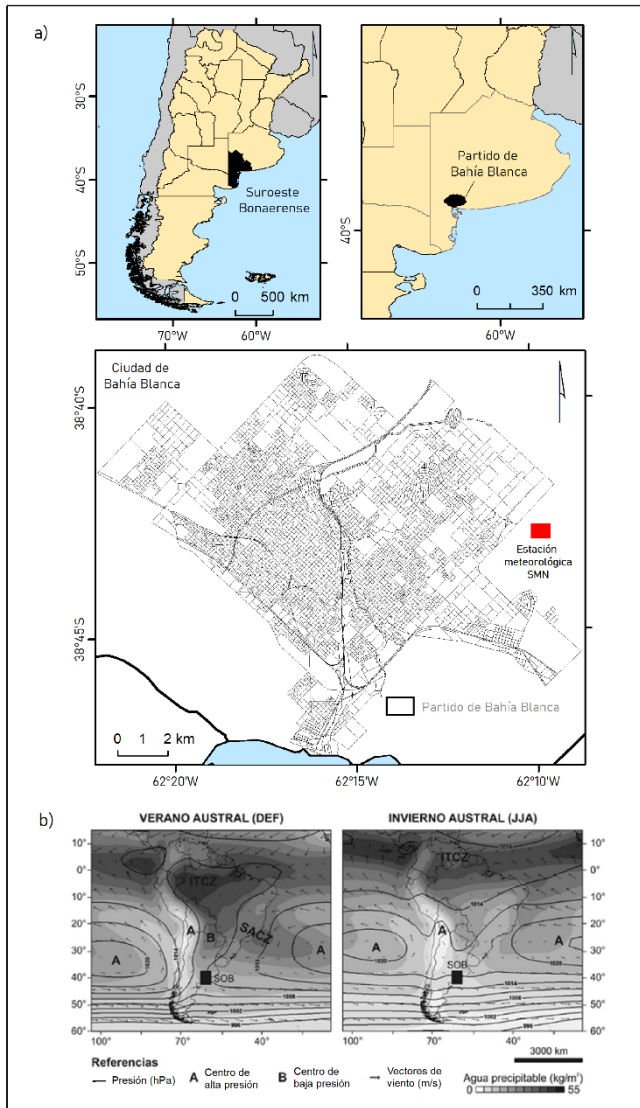


Figura 1. a) Ubicación y cartografía del área de estudio. b) Distribución espacial de del viento, agua precipitable y centros de presión característicos del extremo sur de América para verano (DEF) e invierno (JJA) 1981-2010. Fuente: a) Cartografía

generada sobre información provista por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y la Municipalidad de Bahía Blanca (MBB). b) Modificado de Casado y Campo (2019).

Entre 2010 y 2016, la población urbana aumentó el 0,5 % anual frente a un incremento del área urbanizada del 2,71 % en el mismo período (CIPPEC, 2017). Dicho crecimiento ha influido en el BEU y en la distribución de los elementos del tiempo. Estudios recientes relativos al BEU (Fernández, 2020; Fernández *et al.*, 2021c) mostraron que en las zonas centrales priman flujos caloríficos (calor sensible y calor antropogénico) vinculados con la presencia de la ICU (Alexander, Fealy & Mills, 2016; Oke, Mills, Christen & Voogt, 2017). Sobre la distribución a escala urbana de la temperatura y la humedad, Capelli de Steffens *et al.* (2005), Ferrelli (2016) y Ferrelli *et al.* (2016) hallaron evidencias de la existencia de IFU e ICU en Bahía Blanca.

Asimismo, la compacidad edilicia en el microcentro define el acceso al sol y la proyección de sombras (Capelli de Steffens, *et al.*, 2003; Fernández, 2020; Fernández & Gentili, 2021), así como la generación de vórtices en torno a los complejos de edificios (Capelli de Steffens *et al.*, 2005; Capelli de Steffens *et al.*, 2003)

Materiales y métodos

Se estudió la distribución temporal de tres tipos de eventos de diversas escalas temporales de ocurrencia: Período de Temperaturas Extremas Muy Bajas (PTEMB), Olas de Frío (OF), Días de Heladas (FD0). En todos los casos se utilizaron datos de temperatura máxima y mínima diaria de la ciudad de Bahía Blanca para el período 1961-2020.

El estudio de los PTEMB y las OF se circunscribió temporalmente al semestre frío del hemisferio sur (abril-septiembre). Se adoptaron las definiciones provistas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina en su sitio web oficial (www.smn.gov.ar/estadisticas):

- Período de Temperaturas Extremas Muy Bajas (PTEMB): período excesivamente frío en el cual las temperaturas máximas o mínimas igualan o son inferiores, por lo menos durante 3 días consecutivos, a ciertos valores umbrales que dependen de cada localidad (percentil 10 calculado a partir de los registros térmicos diarios correspondientes al semestre frío en el hemisferio sur –abril-septiembre- del período 1961-2010). Por lo tanto, en la evaluación de este parámetro se consideran dos formas de ocurrencia de PTEMB: por un lado, PTEMB relacionados con temperaturas máximas y por otro, PTEMB relacionados con temperaturas mínimas.

- Olas de Frío (OF): período en el cual las temperaturas igualan o son inferiores, por lo menos durante 3 días consecutivos y en forma simultánea, a ciertos valores umbrales que dependen de cada localidad (percentil 10 calculado a partir de los registros térmicos diarios correspondientes al semestre frío en el hemisferio sur –abril-agosto- del período 1961-2010 (Veiga *et al.*, 2015).

En su sitio web, el SMN define para Bahía Blanca los siguientes valores umbrales (calculados a partir del semestre frío período 1961-2010): temperatura máxima: 10,5 °C y temperatura mínima: -1,4 °C. En base a los eventos de OF, se realizó la sistematización de la información recolectada en una tabla. Se estudió la duración e intensidad de cada PTEMB y OF del período, así como su frecuencia. Se utilizaron cartas sinópticas y datos (registros horarios) provistos por el SMN de temperatura media, humedad (%), presión atmosférica (hPa), velocidad (m/s) y dirección de viento para conocer la situación sinóptica de los eventos de OF en Bahía Blanca.

Por otra parte, la investigación contempló el cálculo de los días con heladas, siguiendo las recomendaciones del Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) (Alexander *et al.*, 2006; Peterson *et al.*, 2001). Se adoptó la siguiente definición:

- Días de heladas (Frost Days, por sus siglas en inglés) (FD0): número de días en un año cuando la temperatura mínima diaria es igual o menor a 0°C.

Se analizó la frecuencia e intensidad de las heladas a distintas escalas temporales y se estudió la ocurrencia de heladas tempranas (ocurridas entre enero y mayo) y tardías (ocurridas entre septiembre y diciembre) (Murphy & Hurtado, 2013). Para evaluar la intensidad de las heladas, se establecieron categorías térmicas definidas a partir del cálculo estadístico de intervalos y agrupación de datos.

Resultados y discusión

Caracterización de Temperaturas Extremas Muy Bajas (PTEMB).

Entre 1961 y 2020 se registraron un total de 230 PTEMB: 145 PTEMB de temperaturas máximas (PTEMB MAX) y 85 de temperaturas mínimas (PTEMB MIN). La Figura 2a permite observar una distribución interdecádica ascendente entre las décadas 1961-1970 y 1981-1990 y una descendente entre esta última y el decenio 2011-2020. La década 1981-1990 presentó el máximo número de eventos ocurridos: 29 PTEMB MAX y 18 PTEMB MIN. La última década analizada presentó el mínimo valor de ocurrencia de PTEMB de todo el registro: 20 PTEMB MAX y 6 PTEMB MIN. La mayor parte de PTEMB se produjeron entre junio y agosto, siendo julio el mes con mayor número de PTEMB MAX (21) y junio el mes con mayor número de PTEMB MIN (29). La mayoría de los PTEMB tuvieron una duración de tres días, aunque se registraron eventos de hasta 12 días de duración.

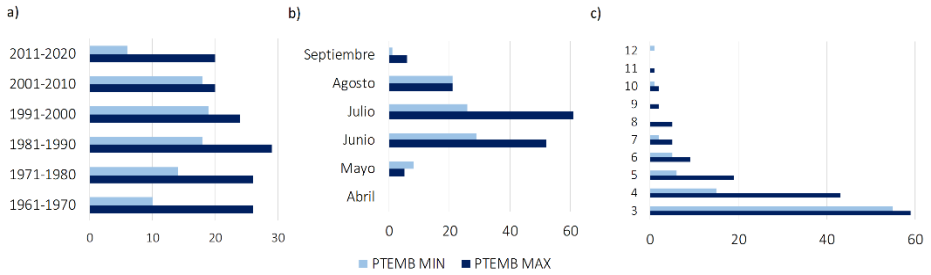


Figura 2. Frecuencia de PTEMB: a) decádica b) mensual c) según duración (días). Fuente: Elaboración propia.

Caracterización de las Olas de Frío.

Para todo el período se registraron un total de 23 OF. La Figura 3a permite observar que estos eventos presentan una frecuencia interdecádica variable. La distribución muestra una distribución ascendente entre 1961-1970 y 1991-2000 y una disminución desde esta última en adelante, no registrándose OF entre 2011-2020. La Figura 3b y 3c muestran que el mayor número de OF se registraron en los meses centrales del semestre frío (9 en junio y 11 en julio) y que la mayoría duraron tres días, si bien hubo eventos de hasta siete días de duración.

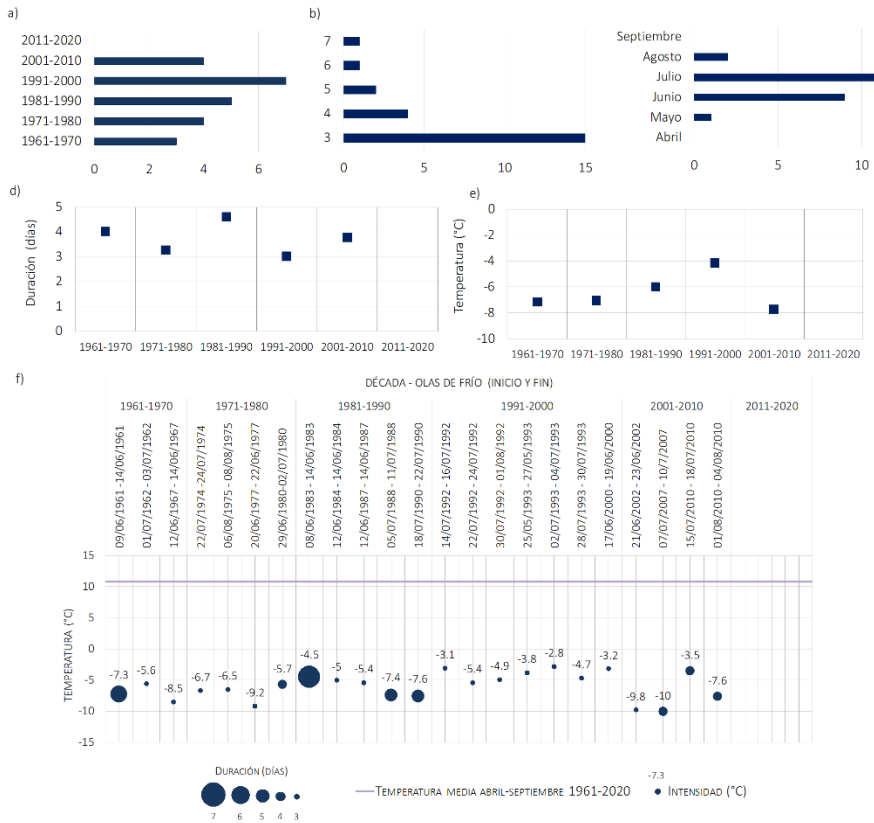


Figura 3. OF: a) Frecuencia decádica, b) frecuencia mensual, c) frecuencia según duración (días), d) valores medios decádicos de duración (días), e) valores medios decádicos de intensidad (°C) y f) duración (días) e intensidad (temperatura mínima absoluta) según década de las 23 OF registradas en la ciudad. Fuente: Elaboración propia.

Se calcularon los valores medios decádicos de duración (Figura 3d) y frecuencia de intensidad (Figura 3e) de las OF. Puede observarse una duración media de entre 3 y 4,6 días. El parámetro “duración” posee una variabilidad decadal entre 1961 y 2010, con un máximo en el decenio 1981-1990. Respecto a la intensidad, entre 1961 y 2000 se verifica una disminución en su intensidad media. En la década 2001-2010 la intensidad de los eventos alcanzó el mínimo valor medio. Es decir, se verificó que en la medida que las OF fueron más frecuentes, su intensidad media decádica aumentó y viceversa.

La Figura 3f muestra la duración e intensidad de cada una de las OF ocurridas en el período 1961-2020, desagregadas por década. Puede observarse que, en todas las décadas, las OF de tres días de duración fueron las más frecuentes. En 1961-1970

y 1981-1990 se registraron las OF de mayor duración (6 y 7 días): 9 al 14 de junio de 1961 y 8 al 14 de junio de 1983. Las OF más intensas (inferiores a $-9,0$ °C) se registraron durante las siguientes fechas: 20 al 22 de junio de 1977, 21 al 23 de junio del 2002 y 7 al 10 de julio del 2007. Se observa que la duración de las OF fue mayor durante las primeras tres décadas analizadas, ya que en ellas se concentran la totalidad de las OF de entre cinco y siete días de duración. Respecto a la intensidad, resultó variable. Entre 1991 y el 2000 se registraron las OF menos intensas, mientras que en la década siguiente algunas de las más intensas. Como se mencionó, entre el 2011 y el 2020 no se registraron OF en la ciudad. Este comportamiento coincide con la tendencia a nivel global relacionada con el cambio climático y documentado por numerosos investigadores (Cattiaux *et al.*, 2010; Ginés Llorens, 2012; Izquierdo *et al.*, 2010; Screen *et al.*, 2015; Van Oldenborgh *et al.*, 2019; Yagüe *et al.*, 2006).

Olas de frío: relación con elementos del tiempo.

La Figura 4 muestra las medias horarias de temperatura y humedad de los días con OF y del semestre frío del período 1961-2020 en Bahía Blanca. La marcha térmica diaria durante los días de OF muestra temperaturas mínimas por debajo de 0 °C durante la noche, y de $-2,4$ °C a las 09:00 h. Durante el día, las máximas se alcanzan a las 15:00, con un valor medio de $8,1$ °C. La temperatura media diaria es de $1,8$ °C. Durante el semestre frío la marcha térmica diaria posee similar distribución, con valores medios mínimos de $7,3$ °C y máximos de $16,3$ °C. La media térmica del semestre frío para dicho período fue de $10,8$ °C. La humedad posee un patrón opuesto a la temperatura. Durante las OF, presentó valores medios diarios de $76,9$ % y oscilantes entre $91,6$ % y $53,5$ %, mínimos en las horas centrales del día. Durante el semestre frío 1961-2020, los valores de humedad relativa oscilaron entre $80,9$ % y $49,9$ %.

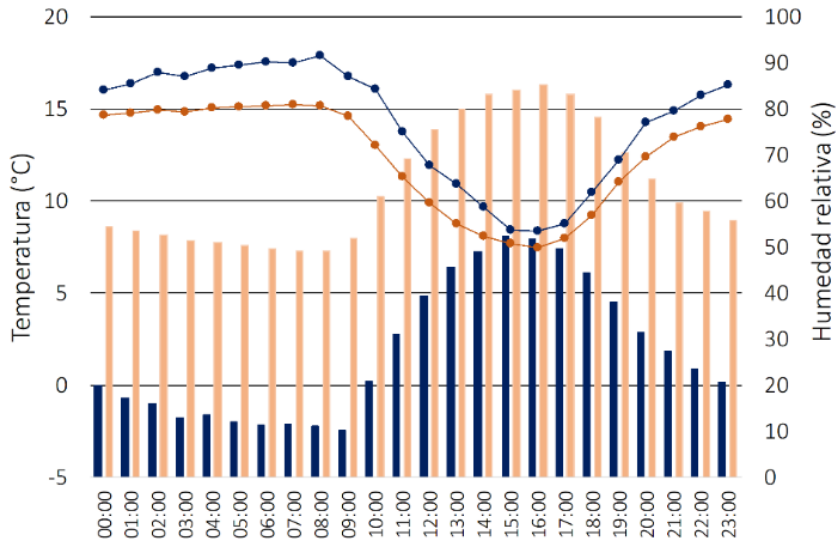


Figura 4. Distribución diaria de temperatura del semestre frío (1961-2020) (■) y temperatura durante OF (■), humedad relativa durante los eventos de OF (●) y humedad relativa del semestre frío (●). Fuente: Elaboración propia.

Se analizó la frecuencia de viento por dirección, en el día inicial, los días centrales y el día final de los eventos de OF (Figura 5). Durante el día inicial de los eventos predominan vientos del O y del SO. Durante los días centrales de las OF aumentó la frecuencia de calmas y de vientos del NO, mientras que los vientos del O mantienen igual frecuencia. En el día final de las OF las calmas disminuyen y predominan los vientos del NO. Respecto a la velocidad, las OF ocurrieron en su mayor parte, con vientos de hasta 5,5 m/s.

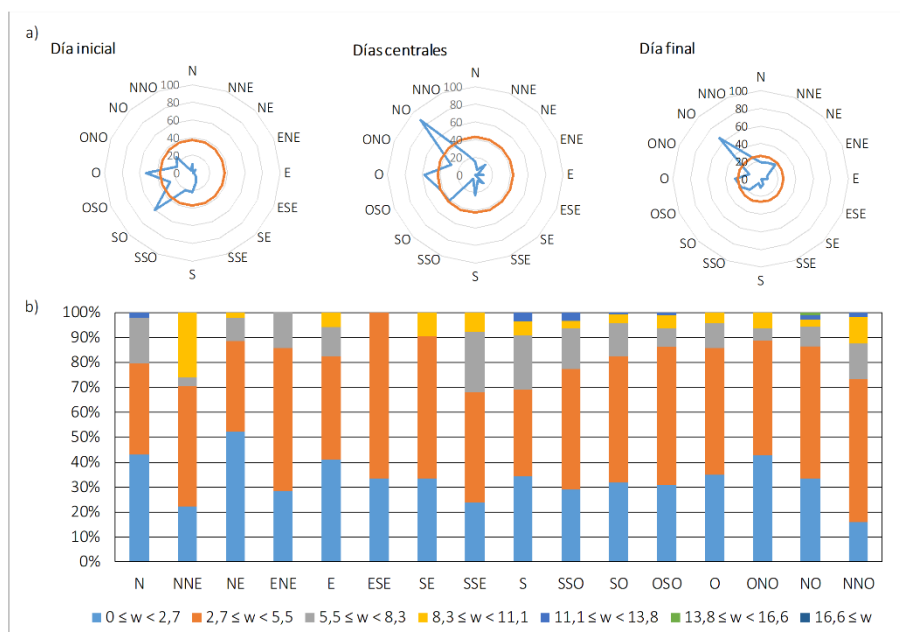


Figura 5. Frecuencia de viento a) según dirección y etapas de OF y b) según velocidad y dirección durante las OF (1961-2020). Fuente: Elaboración propia.

Se estudió la heliofanía efectiva y la nubosidad de los días con OF. Los días con OF registraron una heliofanía efectiva media de 10,3 h y una heliofanía relativa media del 59 %. Este valor es consistente con el hallado por Fernández, Gentili y Campo (2018) en el análisis de los registros invernales de heliofanía efectiva de Bahía Blanca. El 61,9 % de los registros de nubosidad durante las OF se corresponden con cielos despejados (entre 0 y 2 octas), el 18,1 % con cielos parcialmente cubiertos (entre 3 y 5 octas) y el 20 % con cielos cubiertos (entre 6 y 8 octas). Respecto a los géneros de nubes altas, medias y bajas, la Figura 6 muestra los porcentajes de ocurrencia cada uno de ellos durante las OF. Las nubes altas más frecuentes (79,9 %) durante las OF fueron los cirrus spissatus, cirrus que aparece en forma de parches densos, de color grisáceo cuando se observan en dirección al Sol. Este tipo de nubes se originan generalmente en la parte superior de un Cumulonimbus (Cohn, 2017). De los registros de nubosidad de nubes medias, un 33,3 % correspondieron a altocúmulus translúcidus dispuestos en bandas.

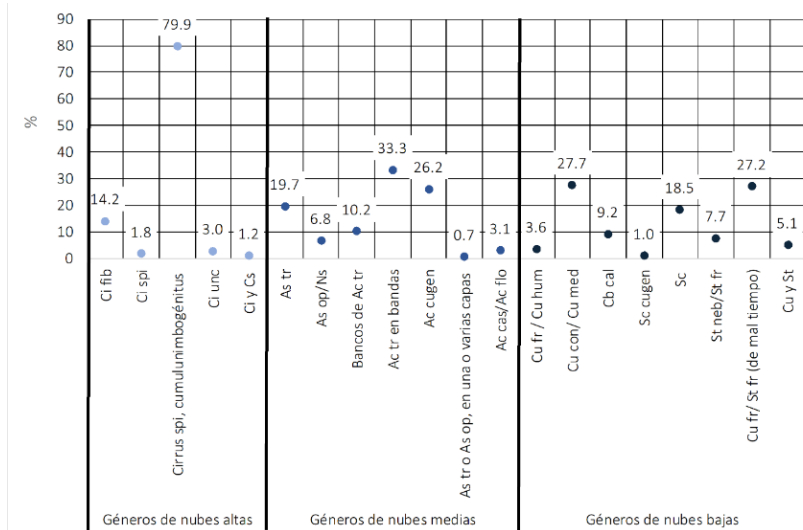


Figura 6. Porcentajes de ocurrencia de tipos (géneros) de nubes altas, medias y baja durante OF en Bahía Blanca. Elaboración propia.

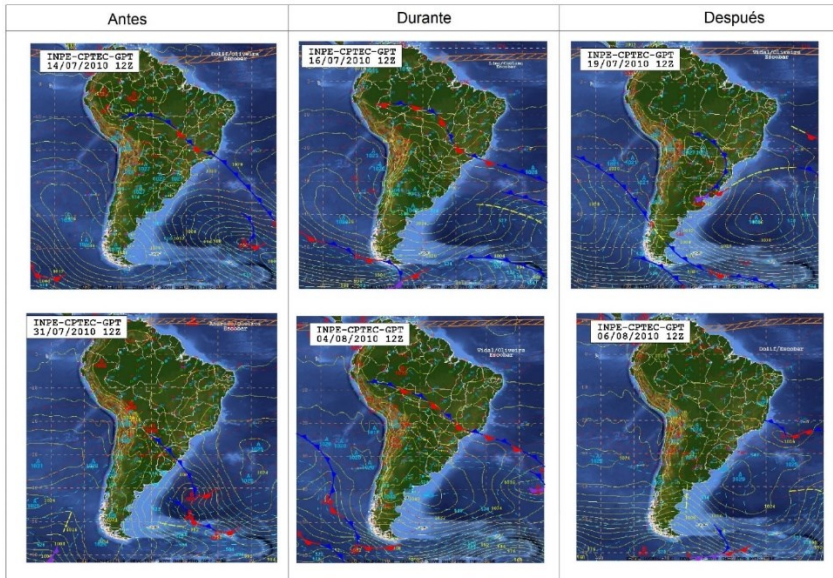


Figura 7. Situación sinóptica de a) antes, b) durante y c) después de dos OF registradas en Bahía Blanca (12 UTC, 09:00). Elaboración propia.

Respecto a las nubes bajas, el mayor porcentaje de los registros correspondieron a cumulus mediocris o congestus (27,7 %) y fractocúmulus o fractostratus (27,7 %) de mal tiempo.

La Figura 7 muestra cartas sinópticas de dos OF registradas en el período de estudio. Previa a la ocurrencia de la OF, la circulación asociada con el Anticiclón del Pacífico Sur (APS) tiene un centro de más de 1030 hPa y el borde occidental del AAS opera en el sector centro-oriental de Brasil, con presiones superiores a 1020 hPa. Se observa un sistema frontal que avanza sobre el territorio del país, conectado con el centro de bajas presiones localizado en el Sur del océano Atlántico, con una presión menor a 1000 hPa. El pasaje de estos frentes define para el área de estudio una presión atmosférica en ascenso y vientos mayormente del SO y SSO. Celemín (1984) menciona a los principales géneros de nubes asociados al paso de frentes fríos por el área de estudio: altostratus, altocúmulus, cirrus y cirrostratus. Estos géneros coinciden con los mayores porcentajes de nubes medias y altas halladas en la ciudad durante los eventos (Figura 6). Durante las OF hay un frente estacionario que se extiende por el centro de Brasil. El pasaje del frente frío da lugar a altas presiones sobre Argentina, Uruguay, Paraguay y sur de Brasil, con núcleos centrales que alcanzan los 1043 hPa en el centro de la Argentina. En el área de estudio el aire es frío, seco y los cielos mayormente despejados. Después de la ola de frío (Figura 7c) el anticiclón se desplaza hasta el este y penetra en el océano Atlántico. En la región los vientos comienzan a soplar del NE.

Heladas.

La Figura 8a muestra la frecuencia interdecádica de días con heladas (FD0) en Bahía Blanca. Los días con heladas muestran un patrón ascendente en dos períodos: entre 1961-1970 y 1981-1990 y entre 1991-2000 y 2001-2010. Se observa una frecuencia descendente entre 2001-2010 y 2011-2020. Las tres últimas décadas presentaron menores valores que las tres primeras. La última década es la que menos días con heladas registró en el período de análisis: un total de 250. La Figura 8b muestra la frecuencia interanual de FD0. Puede observarse que se produjeron entre 1 y 58 registros anuales de heladas. Los años 1964, 1983, 1988 y 2007 fueron los que presentaron mayores registros de FD0 del período, con más de 45 días con heladas en el año. El máximo registro anual fue en 1988 con un total de 58 heladas. Los años 1963, 2011, 1998 y 2017 registraron menos de 15 heladas anuales. La Figura 8c muestra la frecuencia mensual de FD0. Las FD0 ocurrieron en la ciudad entre marzo y noviembre y presentaron mayor frecuencia en los meses invernales (junio, julio, agosto). Se verifica la ocurrencia de heladas tardías y tempranas. Las heladas tardías (entre septiembre y diciembre) tuvieron más frecuencia de ocurrencia que las tempranas, principalmente en septiembre y octubre. Estos hallazgos son consistentes con las tendencias identificadas por Lambrecht (2021) para el caso de las heladas agrometeorológicas del suroeste bonaerense.

La tabla 1 permite observar la variación interdecádica de las heladas tempranas, tardías e invernales en la ciudad. Las heladas se produjeron principalmente en los meses invernales y las heladas tardías fueron más frecuentes que las tempranas en

todas las décadas analizadas, a excepción de 2001-2010. El período 2011-2020 registró la menor frecuencia hallada de heladas tempranas.

Se categorizó la intensidad interdecádica de los eventos de heladas de acuerdo a su período de ocurrencia (heladas tempranas, invernales y tardías) (Figura 9). Las heladas invernales fueron las más intensas en todas las décadas analizadas. Se observaron un total de 7 eventos con una intensidad entre $-8,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-11,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (4 de los cuales ocurrieron en la década 2001-2010) y 61 eventos de intensidad entre $-5,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-8,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las heladas tardías fueron más frecuentes e intensas que las tempranas. Se registraron un total de 51 heladas tardías de intensidad entre $-2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 227 entre $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que las tempranas registraron frecuencias absolutas de 25 y 85 respectivamente. Durante la última década de análisis (2011-2020) se observó una disminución en la intensidad de las heladas tempranas, ya que la totalidad de ellas presentó valores de temperatura no menores a $-2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por otra parte, las heladas tardías presentaron un aumento en la frecuencia de ocurrencia y la intensidad. Entre 1971-1980 y 2001-2010, entre 5 y 6 eventos adquirieron una intensidad de entre $-2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-5,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que en 2011-2020 la frecuencia en dicha categoría subió a 12 eventos.

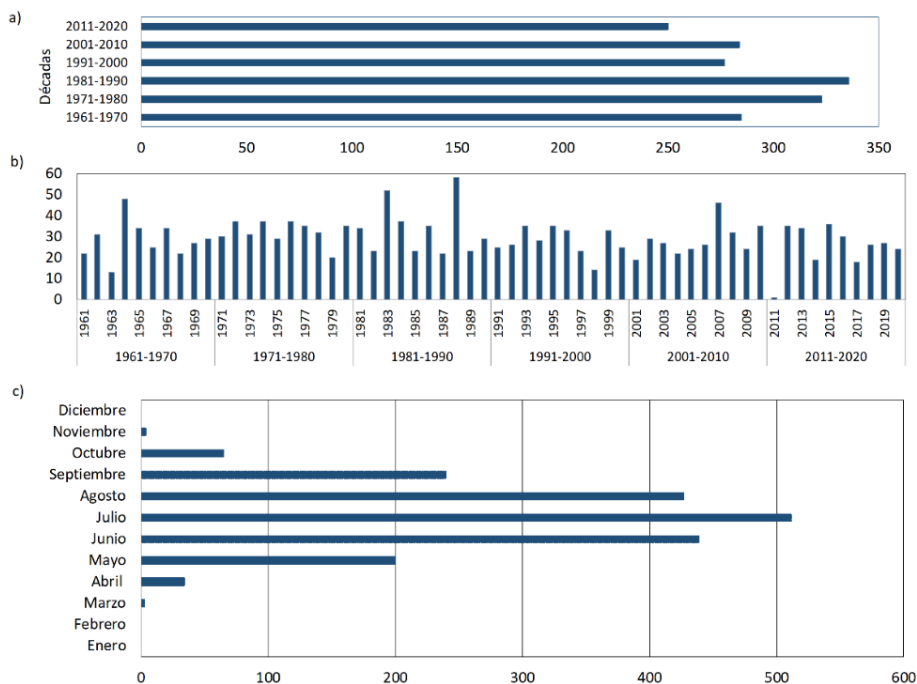


Figura 8. Frecuencia de FDO (1961-2020): a) interdecádica b) interanual c) mensual. Fuente: Elaboración propia.

Década	Tempranas	Invernales	Tardías
1961-1970	37	196	52
1971-1980	39	226	58
1981-1990	48	234	54
1991-2000	25	212	40
2001-2010	43	211	30
2011-2020	20	182	48

Tabla 1. Distribución interdecádica de heladas tempranas, invernales y tardías en Bahía Blanca

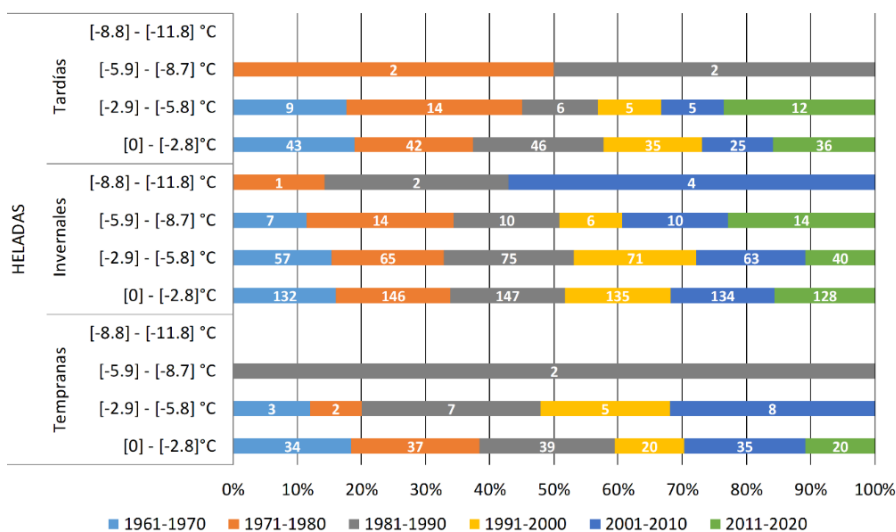


Figura 9. Frecuencia absoluta de intensidad de FDO tempranas, invernales y tardías según categorías para el período 1961-2020 en Bahía Blanca. Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Se caracterizaron eventos térmicos fríos extremos en Bahía Blanca (período 1961-2020): períodos de temperaturas extremas muy bajas, olas de frío (frecuencia, duración e intensidad) y días con heladas. También se analizaron las situaciones sinópticas asociadas a su ocurrencia.

La mayoría de los PTEMB y las OF ocurrieron entre junio y julio. Sobre su frecuencia decádica, los decenios 1981-1990 y 1991-2000 tuvieron los mayores valores de todo el registro, mientras que en 2011-2020 se halló la mínima frecuencia de ocurrencia de PTEMB y no se registraron OF. La mayor parte de los PTEMB y las OF tuvieron tres días de duración. La variación decádica de duración de las OF mostró un máximo en el decenio 1981-1990. Respecto a la relación entre la intensidad y la frecuencia absoluta de OF, se verificó que en la medida que las OF fueron más frecuentes, su

intensidad media decádica aumentó. Sobre los días con heladas, se verificó que existieron dos períodos con tendencia interdecádica ascendente (entre 1961-1970 y 1981-1990 y entre 1991-2000 y 2001-2010) y una tendencia descendente en la última década de análisis. Las heladas se produjeron principalmente en los meses invernales y las heladas tardías fueron más frecuentes que las tempranas en todas las décadas excepto 2001-2010. Las heladas invernales fueron las más intensas en todas las décadas analizadas y las heladas tardías más intensas que las tempranas. En el rango de mayor intensidad analizado solo hubo registro de ocurrencia para las invernales y solo en los primeros tres decenios. Para el segundo rango de mayor intensidad analizado, solo hubo ocurrencia de heladas tempranas y tardías hasta la primera mitad del período. Durante 2011-2020 se observó una disminución en la intensidad de las heladas tempranas, y las heladas tardías presentaron un aumento en la frecuencia de ocurrencia y la intensidad.

La marcha térmica diaria durante los días de OF muestra temperaturas mínimas por debajo de 0 °C durante la noche y de -2,4 °C luego del amanecer. Respecto a la dirección y velocidad de viento, las OF se produjeron en su mayor parte, con vientos de hasta 5,5 m/s. En los días centrales del evento fueron frecuentes las calmas o los vientos del NO y O. Sobre la nubosidad, durante las OF primaron los cielos despejados con valores medios de 10,3 h de luz solar. Sobre las situaciones sinópticas asociadas a su ocurrencia, las OF se asocian a la presencia de un centro anticiclónico en el centro del país, que define la dominancia de aire frío, seco y cielos despejados.

Agradecimientos

El presente trabajo realizado en el marco de los siguientes proyectos “Radiación solar aplicada a la gestión local del cambio climático en Bahía Blanca” (PGI 24/ZG23) y “Geografía Física Aplicada al estudio de la interacción sociedad-naturaleza. Problemáticas a diversas escalas témporo-espaciales” (PGI 24/G078), ambos 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) por proveer los datos necesarios para la realización de esta investigación.

Referencias

- Alessandro, A. P. (1998). *Contribuciones al estudio de la climatología sinóptica en la Argentina*. Universidad de Buenos Aires.
- Alexander, P. J., Fealy, R., & Mills, G. M. (2016). Simulating the impact of urban development pathways on the local climate: A scenario-based analysis in the greater Dublin region, Ireland. *Landscape and Urban Planning*, 152, 72–89. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.02.006>
- Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A.,

- Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D. B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., ... Vazquez-Aguirre, J. L. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, *111*(5), 1–22. <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>
- Ambrizzi, T., & Pezza, A. B. (1999). Cold waves and the propagation of extratropical cyclones and anticyclones in South America: A synoptic-climatological overview. *Revista Geofísica*, *51*, 45–67.
- Añel, J. A., Fernández-González, M., Labandeira, X., López-Otero, X., & de la Torre, L. (2017). Impact of cold waves and heat waves on the energy production sector. *Atmosphere*, *8*(11), 1–13. <https://doi.org/10.3390/atmos8110209>
- Barlow, K. M., Christy, B. P., O’Leary, G. J., Riffkin, P. A., & Nuttall, J. G. (2015). Simulating the impact of extreme heat and frost events on wheat crop production: A review. *Field Crops Research*, *171*, 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.11.010>
- Basarin, B., Lukić, T., & Matzarakis, A. (2016). Quantification and assessment of heat and cold waves in Novi Sad, Northern Serbia. *International Journal of Biometeorology*, *60*(1), 139–150. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1012-z>
- Bejarán, R. A., & Camilloni, I. A. (2003). Objective method for classifying air masses: An application to the analysis of Buenos Aires’ (Argentina) urban heat island intensity. *Theoretical and Applied Climatology*, *74*(1–2), 93–103. <https://doi.org/10.1007/s00704-002-0714-4>
- Bruniard, E. (1981). *El clima de las planicies del norte argentino*. Universidad Nacional del Nordeste.
- Cai, W., Xu, X., Cheng, X., Wei, F., Qiu, X., & Zhu, W. (2020). Impact of “blocking” structure in the troposphere on the wintertime persistent heavy air pollution in northern China. *Science of the Total Environment*, *741*, 140325. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140325>
- Campo, A. M., Fernández, M. E., & Gentili, J. O. (2018). Relación entre CO, NOX, SO2, O3 y factores naturales y antropogénicos en Bahía Blanca (Argentina). *Pesquisas Em Geociências*, *45*(1), e0661. <https://doi.org/https://doi.org/10.14712/23361980.2021.14>
- Campo, A. M., Capelli de Steffens, A. M., & Diez, P. (2004). *Clima del Suroeste bonaerense*. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur.
- Capelli de Steffens, A. M., Campo, A. M., & Gil, V. (2003). Condiciones climáticas generadas en el área céntrica de la ciudad de Bahía Blanca. *Contribuciones Científicas GAEA*, *15*, 125–130.
- Capelli de Steffens, A. M., Piccolo, M. C., & Campo, A. M. (2003). Condiciones climáticas generadas en el área céntrica de la ciudad de Bahía Blanca. *Contribuciones Científicas GAEA*, *15*, 125–130.
- Capelli de Steffens, A. M., Piccolo, M. C., & Campo, A. M. (1989). La circulación del aire en torno a complejos edificios bahienses. *Revista Universitaria de Geografía*, *4*, 39–53.

- Capelli de Steffens, A. M., Piccolo, M. C., & Campo, A. M. (2005). *Clima urbano de Bahía Blanca*. Dunken.
- Casado, A., & Campo, A. M. (2019). Extremos hidroclimáticos y recursos hídricos: estado de conocimiento en el suroeste bonaerense, Argentina. *Cuadernos Geográficos*, 58(1), 6–26. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i1.6751>
- Cattiaux, J., Vautard, R., Cassou, C., Yiou, P., Masson-Delmotte, V., & Codron, F. (2010). Winter 2010 in Europe: A cold extreme in a warming climate. *Geophysical Research Letters*, 37(20), 1–6. <https://doi.org/10.1029/2010GL044613>
- Celemín, A. (1984). *Meteorología práctica*. Edición del Autor.
- Chen, J., Zhou, M., Yang, J., Yin, P., Wang, B., Ou, C. Q., & Liu, Q. (2020). The modifying effects of heat and cold wave characteristics on cardiovascular mortality in 31 major Chinese cities. *Environmental Research Letters*, 15(10). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abaca0>
- Chiozza, E., & Figueras, R. (1982). *Atlas total de la República Argentina. Tomo II*. Centro Editor de América Latina.
- CIPPEC. (2017). *Hacia el desarrollo urbano integral de Bahía Blanca. Una propuesta de co-creación de políticas públicas y planificación*.
- Cohen, J., Pfeiffer, K., & Francis, J. A. (2018). Warm Arctic episodes linked with increased frequency of extreme winter weather in the United States. *Nature Communications*, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-02992-9>
- Cohn, S. A. (2017). *International Cloud Atlas. Manual on the Observation of Clouds and Other Meteors*. WMO.
- Collazo, S., Barrucand, M., & Rusticucci, M. (2019). Variability and predictability of winter cold nights in Argentina. *Weather and Climate Extremes*, 26, 100236. <https://doi.org/10.1016/J.WACE.2019.100236>
- Dugarova, E., & Gülasan, N. (2017). *Global Trends. Challenges and opportunities in the implementation of the Sustainable Development Goals*.
- Fernández, M. E. (2020). *Radiación Solar en Bahía Blanca*. Universidad Nacional del Sur.
- Fernández, M. E., Buscarini, J., Pellejero, J., & Gentili, J. O. (2022). Olas de Frío y Calor en Bahía Blanca (Argentina): impactos en el ambiente urbano analizados a través de la prensa escrita local. *Geográfica Digital*, 19(37), 80–101. <https://doi.org/https://doi.org/10.30972/geo.19375834>
- Fernández, M. E., Campo, A. M., & Gentili, J. O. (2018). Análisis bioclimatológico en la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *XII Jornadas Nacionales de Geografía Física “Contribuciones de La Geografía Física a La Gestión de Los Territorios,”* 280–285.
- Fernández, M. E., & Gentili, J. O. (2021). Radiación solar y planeamiento urbano: factores e interacciones en Bahía Blanca, Argentina. *Revista de Urbanismo*, 45, 4–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.5354/0717-5051.2021.58824>
- Fernández, M. E., Gentili, J. O., & Campo, A. M. (2018). Sunshine duration analysis as a first step to estimate solar resource for photovoltaic electricity production in middle latitudes. *Environmental Processes*, 5(2), 313–328.

- Fernández, M. E., Gentili, J. O., & Campo, A. M. (2021a). Air Pollutants in an Intermediate City: Variability and Interactions with Weather and Anthropogenic Elements in Bahía Blanca, Argentina. *Environmental Processes*, 8(1), 349–375. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40710-021-00502-6>
- Fernández, M. E., Gentili, J. O., Casado, A., & Campo, A. M. (2021b). Global horizontal irradiation: spatio-temporal variability on a regional scale in the south of the Pampeana region (Argentina). *AUC Geográfica*, 56(2), 220–233.
- Fernández, M. E., Picone, N., Gentili, J. O., & Campo, A. M. (2021c). Analysis of the Urban Energy Balance in Bahía Blanca (Argentina). *Urban Climate*, 37, 100856. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100856>
- Ferrelli, F. (2016). *Análisis del clima local y micro-local de la ciudad de Bahía Blanca*. Universidad Nacional del Sur.
- Ferrelli, F. (2017). Análisis del clima local y micro-local de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Geográfica Digital*, 13(26), 1–6.
- Ferrelli, F., Brendel, A. S., Perillo, G. M. E., & Piccolo, M. C. (2021). Warming signals emerging from the analysis of daily changes in extreme temperature events over Pampas (Argentina). *Environmental Earth Sciences* 2021 80:12, 80(12), 1–13. <https://doi.org/10.1007/S12665-021-09721-4>
- Ferrelli, F., Bustos, M. L., Huamantínco-Cisneros, M. A., & Piccolo, M. C. (2015). Utilización de imágenes satelitales para el estudio de la distribución térmica en distintas coberturas del suelo de la ciudad de Bahía Blanca (Argentina). *Revista de Teledetección*, 44, 31–42. <https://doi.org/10.4995/raet.2015.4018>
- Ferrelli, F., Bustos, M.L., & Piccolo, M. C. (2016). La expansión urbana y sus impactos sobre el clima y la sociedad de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Estudios Geográficos*, 77, 469–489. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201615>
- García, M. (2013). *Clima urbano costero de Mar del Plata y Necochea-Quequén*. BMPress.
- Garreaud, R. D., & Aceituno, P. (2007). Atmospheric Circulation and Climatic Variability. In T. Veblen, Y. K., & A. Orme (Eds.), *The Physical geography of South America* (pp. 45–59). Oxford University Press.
- Gentili, J. O., Fernández, M. E., & Gil, V. (2020). Influence of Topography on Local Atmospheric Features in a Peri-urban Area of Bahía Blanca (Argentina). *Environmental Processes*, 7, 23–40.
- Gil Olcina, A., & Olcina Cantos, J. (2017). *Tratado de climatología aplicada*. Universitat d' Alacant.
- Ginés Llorens, F. (2012). *Olas de aire frío y temporales de nieve en Castellón*. Universitat Jaume I.
- Goggins, W. B., Chan, E. Y., Yang, C., & Chong, M. (2013). Associations between mortality and meteorological and pollutant variables during the cool season in two Asian cities with sub-tropical climates: Hong Kong and Taipei. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-59>
- Grimm, A. M., Barros, V. R., & Doyle, M. E. (2000). Climate Variability in Southern South America Associated with El Niño and La Niña Events. *Journal of*

- Climate*, 13(1), 35–58. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<0035:CVISSA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<0035:CVISSA>2.0.CO;2)
- Hajat, S., & Haines, A. (2002). Associations of cold temperatures with GP consultations for respiratory and cardiovascular disease amongst the elderly in London. *International Journal of Epidemiology*, 31(4), 825–830.
- Hoffmann, J. A. J. (1992). The continental atmospheric pressure and precipitation regime of South America. *Erdkunde*, 46, 40–51.
- Horton, D. E., Johnson, N. C., Singh, D., Swain, D. L., Rajaratnam, B., & Diffenbaugh, N. S. (2015). Contribution of changes in atmospheric circulation patterns to extreme temperature trends. *Nature*, 522(7557), 465–469. <https://doi.org/10.1038/nature14550>
- INDEC. (2010). *Censo Nacional de Población, hogares y vivienda*. Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina.
- Inzunza, J. (2012). Circulación de la atmósfera. In *Meteorología Descriptiva* (pp. 225–260). Universidad de Concepción.
- IPCC. (2014a). : *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokke, K. J. Mach, M. D. Mastandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, P. R. MacCracken, Sandy Mastandrea, & L. L. White (eds.)). Cambridge University Press.
- IPCC. (2014b). *Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core*. Gian-Kasper Plattner.
- IPCC. (2019). Informe especial sobre los impactos de un calentamiento global de 1,5°C y las sendas de emisión relacionadas. español. In *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Izquierdo, Á. L. L., Martín, Q. M., & Montero, J. L. (2010). Tendencia De Las Frecuencias De Las Olas De Frío En La Meseta Central Española , Entre 1961 Y 2010. *VIII Congreso Internacional de La Asociación Española de Climatología*, 431–439.
- Lambrecht, Y. (2021). *Estados de tiempo y su relación con eventos de heladas agrometeorológicas. Un aporte para la actividad agrícola del Suroeste Bonaerense*. Universidad Nacional del Sur.
- Lambrecht, Y., & Ramos, M. B. (2019). Heladas agrometeorológicas en el suroeste bonaerense Un aporte a la planificación agrícola. *XXI Jornadas de Geografía de La UNLP*.
- Li, Q., Wang, E., Zhang, T., & Hu, H. (2017). Spatial and temporal patterns of air pollution in chinese cities. *Water, Air, & Soil Pollution*, 228(3), 1–22. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3268-x>
- López-Bueno, J. A., Linares, C., Sánchez-Guevara, C., Martínez, G. S., Mirón, I. J., Núñez-Peiró, M., Valero, I., & Díaz, J. (2020). The effect of cold waves on daily

- mortality in districts in Madrid considering sociodemographic variables. *Science of the Total Environment*, 749, 142364. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142364>
- Mäkinen, T. M., Juvonen, R., Jokelainen, J., Harju, T. H., Peitso, A., Bloigu, A., Silvennoinen-Kassinen, S., Leinonen, M., & Hassi, J. (2009). Cold temperature and low humidity are associated with increased occurrence of respiratory tract infections. *Respiratory Medicine*, 103(3), 456–462. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2008.09.011>
- Mendes, D. (2006). *Regimes de circulação no Atlântico Sul e sua relação com a localização e intensidade de sistemas ativos e com o balanço de vapor na região*. Universidad de Lisboa.
- Minetti, J. L. (2007). La respuesta del Anticiclón Del Pacífico Sur en la costa de Chile frente al cambio climático-impactos. *Boletín Geográfico*, 30(1), 9–22.
- Monteiro, A., Carvalho, V., Góis, J., & Sousa, C. (2013). Use of “Cold Spell” indices to quantify excess chronic obstructive pulmonary disease (COPD) morbidity during winter (November to March 2000-2007): Case study in Porto. *International Journal of Biometeorology*, 57(6), 857–870. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0613-z>
- Murphy, G., & Hurtado, R. (2013). *Agrometeorología*. Editorial Facultad de Agronomía.
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). *Urban Climates*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
- Overland, J. E., Wood, K. R., & Wang, M. (2011). Warm Arctic-cold continents: Climate impacts of the newly open arctic sea. *Polar Research*, 30(SUPPL.1). <https://doi.org/10.3402/polar.v30i0.15787>
- Panteli, M., & Mancarella, P. (2015). Influence of extreme weather and climate change on the resilience of power systems: Impacts and possible mitigation strategies. *Electric Power Systems Research*, 127, 259–270. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.06.012>
- Peterson, T. C., Folland, C. C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., & Plummer, N. (2001). Report on the activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998–2001. *Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, March*, 143.
- Pezza, A. B., & Ambrizzi, T. (2003). Variability of Southern Hemisphere Cyclone and Anticyclone Behavior: Further Analysis. *Journal of Climate*, 16(7), 1075–1083. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<1075:voshca>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<1075:voshca>2.0.co;2)
- Pezza, A. B., & Ambrizzi, T. (2005). Cold waves in South America and freezing temperatures in São Paulo: historical background (1888-2003) and case studies of cyclone and anticyclone tracks. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 141–158.
- Roshan, G. R., Ghanghermeh, A. A., & Kong, Q. (2018). Spatial and temporal analysis of outdoor human thermal comfort during heat and cold waves in Iran. *Weather and Climate Extremes*, 19(September 2017), 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2018.01.005>

- Scian, B. (2010). Clima - Bahía Blanca y Sudoeste Bonaerense. In J. D. Paoloni (Ed.), *Ambiente y Recursos Naturales del Partido de Bahía Blanca. Clima, Geomorfología, Suelos y Aguas* (pp. 27–83). EdiUns.
- Screen, J. A., Deser, C., & Sun, L. (2015). Reduced risk of North American cold extremes due to continued arctic sea ice loss. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(9), 1489–1503. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00185.1>
- Ley Provincial N° 13647, Pub. L. No. 13647 (2007).
- Sinclair, M. R. (1996). A climatology of anticyclones and blocking for the Southern Hemisphere. *Monthly Weather Review*, 124, 245–263.
- United Nations General Assembly (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*.
- Urban, A., Davidková, H., & Kyselý, J. (2014). Heat- and cold-stress effects on cardiovascular mortality and morbidity among urban and rural populations in the Czech Republic. *International Journal of Biometeorology*, 58(6), 1057–1068. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0693-4>
- Van Oldenborgh, G. J., Mitchell-Larson, E., Vecchi, G. A., De Vries, H., Vautard, R., & Otto, F. (2019). Cold waves are getting milder in the northern midlatitudes. *Environmental Research Letters*, 14(11). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4867>
- Veiga, H., Stella, J. L., Herrera, N., Gatto, M., Garay, N., & Skans, M. de los M. (2015). Monitoreo operativo de olas de calor y de frío en el Servicio Meteorológico Nacional. *CONGREMET XII*.
- Verdes, P. F., Granitto, P. M., Navone, H. D., & Ceccatto, H. A. (2000). Frost prediction with machine learning techniques. *VI Argentine Congress on Computer Science*, 1423–1433.
- WMO. (2015). *Guidelines on the Definition and Monitoring of Extreme Weather and Climate Events*. World Meteorological Organization (WMO).
- WMO. (2016). *Guidelines on the Definition and Monitoring of Extreme Weather and Climate Events (TT-DEWCE W)*.
- WMO. (2019). *WMO Atlas of Mortality and Economic Losses From Weather , Climate and Water Extremes (Issue 1267)*.
- Wu, B., Yang, K., & Francis, J. A. (2017). A cold event in Asia during January-February 2012 and its possible association with Arctic sea ice loss. *Journal of Climate*, 30(19), 7971–7990. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0115.1>
- Wu, P., Ding, Y., & Liu, Y. (2017). Atmospheric circulation and dynamic mechanism for persistent haze events in the Beijing–Tianjin–Hebei region. *Advances in Atmospheric Sciences*, 34(4), 429–440. <https://doi.org/10.1007/s00376-016-6158-z>
- Yagüe, C., Martija, M., & Torres, J. (2006). Análisis estadístico de las olas de calor y frío en España. In A. M. Española (Ed.), *XXIX Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española* (Issue 1, pp. 1–6).
- Yoo, J. M., Lee, Y. R., Kim, D., Jeong, M. J., Stockwell, W. R., Kundu, P. K., Oh, S. M., Shin, D. Bin, & Lee, S. J. (2014). New indices for wet scavenging of air

- pollutants (O₃, CO, NO₂, SO₂, and PM₁₀) by summertime rain. *Atmospheric Environment*, 82, 226–237. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.10.022>
- Yosu Rodríguez, A. (2018). *Potenciar la resiliencia de las ciudades y sus territorios de pertenencia en el marco de los acuerdos sobre cambio climático y de la Nueva Agenda Urbana*. CEPAL.
- Zapperi, P. A. (2012). *Hidrografía Urbana de Bahía Blanca*. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur.
- Zapperi, P. A., Casado, A., Gil, V., & Campo, A. M. (2006). Caracterización de las precipitaciones invernales en el Suroeste bonaerense. In N. Cazzaniga & M. Vaquero (Eds.), *Ambiente natural, campo y ciudad: Estrategias de uso y conservación en el Sudoeste Bonaerense* (pp. 63–68). EdiUNS.
- Zapperi, P. A., Ramos, M. B., Gil, V., & Campo, A. M. (2007). Caracterización de las precipitaciones estivales en el Suroeste bonaerense. *Contribuciones Científicas GAEA*, 19, 483–491.
- Zhang, Y., Ding, A., Mao, H., Nie, W., Zhou, D., Liu, L., Huang, X., & Fu, C. (2016). Impact of synoptic weather patterns and inter-decadal climate variability on air quality in the North China Plain during 1980–2013. *Atmospheric Environment*, 124, 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.05.063>