

**BLOQUEOS ATMOSFÉRICOS EN LOS OCÉANOS PACÍFICO SUDESTE Y ATLÁNTICO SUR Y SU IMPACTO SOBRE URUGUAY**Gianina Giacosa<sup>1</sup>, Madeleine Renom<sup>1,2</sup>, Marcelo Barreiro<sup>2</sup><sup>1</sup>Instituto Uruguayo de Meteorología, Uruguay.<sup>2</sup>Departamento de Ciencias de la Atmósfera, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

(Manuscrito recibido el 3 de agosto de 2018, en su versión final el 16 de enero de 2019)

**RESUMEN**

En este trabajo se identifican los patrones de bloqueo en el hemisferio sur entre los años 1980 y 2016 en los Océanos Pacífico Sureste (región PAS) y Atlántico Sur (región ATS) para determinar su influencia sobre el clima de Uruguay. La ocurrencia de bloqueos se realiza a través de una metodología clásica que impone condiciones de persistencia en el tiempo al gradiente latitudinal de altura de geopotencial en una banda de al menos 15° de longitud. Se caracterizan bloqueos por región de preferencia de ocurrencia y se construyen composites para determinar las anomalías de circulación en altura y superficie así como sus consecuencias en la temperatura (mínima y máxima) y la precipitación en Uruguay. Los bloqueos que ocurrieron en la región PAS tuvieron efectos opuestos en los meses cálidos y fríos, provocando anomalías negativas significativas de temperatura y de precipitación durante el verano y anomalías positivas en las temperaturas y en la precipitación en la costa uruguaya durante otoño e invierno. La región ATS se caracterizó por ser la de menor frecuencia de ocurrencia de bloqueos generando durante todo el año temperaturas por debajo de la media, significativas principalmente en otoño, período durante el cual también la precipitación se mostró significativamente por debajo de lo normal. *Palabras clave: Bloqueos atmosféricos, temperatura y precipitación, Uruguay*

**ATMOSPHERIC BLOCKINGS IN THE PACIFIC SOUTHEAST AND ATLANTIC SOUTH OCEANS AND THEIR INFLUENCE ON THE CLIMATE OF URUGUAY****ABSTRACT**

In this work blocking patterns in the Southern Hemisphere are identified between 1980 and 2016 in the Southeast Pacific (PAS region) and South Atlantic (ATS region) Oceans in order to determine their influence on the climate of Uruguay. The occurrence of a block event is identified following a classical methodology for blocking detection where time persistence conditions are imposed to the gradient of the geopotential height in a band of at least 15° of longitude. Blocking patterns are classified by region of occurrence and composites are constructed to determine the upper level and surface circulation anomalies as well as their consequences on temperature (maximum and minimum) and precipitation in Uruguay. Blocking events occurred in the PAS region had opposite effects during warm and cold months, causing significant negative anomalies in temperature and precipitation during summer and leading to significant

positive anomalies of temperature in the uruguayan coast during autumn and winter. ATS region shows a lower frequency of 1 events resulting in temperatures below the mean throughout the year. These temperature anomalies are statistically significant in autumn, a period also characterized by significant rainfall anomalies below the normal.

*Keywords: Atmospheric blockings, temperature and precipitation, Uruguay*

## 1. INTRODUCCIÓN

Un bloqueo, desde el punto de vista sinóptico, corresponde a una anomalía persistente de alta presión en superficie, caracterizada por un desvío medio meridional de las perturbaciones atmosféricas transientes en relación a su trayectoria media zonal en latitudes medias y en los subtropicos. La predictibilidad del tiempo en la región afectada por este sistema aumenta durante los períodos de bloqueo, debido a su carácter persistente. Es por esto que el poder entender el proceso de formación, duración y disipación de este tipo de eventos abre la posibilidad de mejorar y extender el plazo de previsión del tiempo en la región (Cavalcanti et al., 2009). Van Loon (1956), quien fue el primero en iniciar los estudios de bloqueos atmosféricos en el HS, define los bloqueos como un centro de alta presión con un movimiento longitudinal menor a  $25^\circ$  y latitudinal menor a  $45^\circ$  durante todo el período de bloqueo, que precisa ser de al menos 6 días. Además, es necesario que el centro de la alta presión este como mínimo  $10^\circ$  al sur respecto de la posición climatológica del cinturón de altas subtropicales.

El estudio de bloqueos atmosféricos se ha concentrado en el hemisferio norte debido a una mayor densidad tanto en población como en datos disponibles, sin embargo, existen algunos trabajos enfocados en el Hemisferio Sur (HS). Los siguientes estudios de bloqueos en el HS fueron realizados por Casarin y Kousky (1982), quienes estudian los bloqueos ocurridos en el HS entre 1975 y 1979 a partir de observaciones, ya que en ese momento no se contaba aún con un algoritmo automatizado para identificar bloqueos. Luego Trenberth y Mo (1985) se enfocaron en la frecuencia y la

distribución espacial de los mismos. El criterio que utilizaron para identificarlos consistió en seleccionar aquellos días en los que la altura de geopotencial en 500 hPa se mantuvo por encima de cierto umbral durante un mínimo de 5 días. Encontraron que el sector de Nueva Zelanda es el que presenta mayor frecuencia de ocurrencia, seguido por la región sudeste de Sudamérica y del Océano Índico Sur. En un trabajo para el HN, Lejenäs and økland (1983) propusieron un índice automatizado para identificar flujo bloqueado. A partir de la diferencia de altura geopotencial en 500 hPa entre  $40^\circ\text{N}$  y  $60^\circ\text{N}$  obtenida de reanálisis e imponiendo condiciones de persistencia en el tiempo y continuidad en la longitud definieron eventos de bloqueo atmosférico. Los autores denominaron flujo bloqueado cuando dichas condiciones se satisfacen para un día, y bloqueo cuando un sector mantiene esta configuración durante al menos 5 días. Basándose en esta metodología, Tibaldi y Molteni (1990) analizan los días con flujo bloqueado y con ocurrencia de bloqueos para los inviernos entre 1980-1987 utilizando también altura geopotencial en 500 hPa obtenida de reanálisis. Se propone una restricción a la metodología original de manera que las bajas segregadas, cuando no están asociadas a un patrón de alta presión, no sean erróneamente clasificadas como bloqueos. Como continuación del trabajo previo, Tibaldi et al. (1994) presentan uno de los primeros trabajos para ambos hemisferios donde estudian la frecuencia de bloqueos por estaciones y su predictibilidad. Los autores observan que en el HS los bloqueos son menos frecuentes y con una estacionalidad menos marcada respecto al HN.

Kayano (1999) estudia episodios de bloqueos entre 1979 y 1995 en la región Pacífico Sureste a partir de datos de reanálisis de NCEP (National

Center for Environmental Prediction). El análisis fue dividido en verano austral, desde noviembre a marzo, e invierno austral, entre mayo y setiembre. En ambos casos se realizaron los composites de agua precipitable y anomalías de temperatura en 925 hPa para estudiar los efectos de estos bloqueos en Sudamérica. En este trabajo se estudian también los campos de viento en 250 hPa para observar la estructura del jet en los composites y anomalías de altura de geopotencial en 500 hPa que acompañan las anomalías detectadas en superficie. Kayano (1999) consideró un mínimo de 7 días para identificar bloqueos, encontrando 39 eventos de bloqueos en invierno y 34 en verano para los 17 años empleados.

Comenzando en 2005 y en sucesivos trabajos, Mendes et al. (2005, 2008, 2012) caracterizan los bloqueos en todo el HS dividiendo el dominio en 5 regiones: Pacífico Suroeste, Pacífico Sureste (PAC), Atlántico Sur (ATL), Índico y Oceanía. Comenzaron caracterizando bloqueos entre los años 1960 y 2000 usando datos de reanálisis de NCEP/NCAR (National Center for Atmospheric Research) siguiendo la metodología de Tibaldi et al. (1994). Asimismo, evaluaron el impacto en los campos de temperatura y precipitación. En estos estudios, observaron que los meses de invierno son aquellos donde predominan los bloqueos, y también encontraron una variabilidad interanual muy grande. Posteriormente realizaron una 3 comparación entre los bloqueos obtenidos con los datos de NCEP/NCAR y con los datos de ECMWF centrándose en el HS. Los autores muestran que ambos reanálisis detectan los bloqueos de manera similar. Sin embargo, encontraron ciertas discrepancias en cuanto a la duración particular de cada evento y en el número total de eventos, probablemente debido al esquema de asimilación para producir el reanálisis y a la resolución de cada conjunto de datos (Mendes et al., 2012).

Un estudio reciente con datos desde 1960 hasta el 2011 fue realizado por Alessandro (2014), quien centró su análisis en la región PAC-ATL utilizando una metodología diferente.

Los bloqueos fueron identificados a partir de la componente zonal del viento a las 12Z en 500 hPa. Este índice se basa en anomalías negativas persistentes en la componente zonal del viento durante la ocurrencia de un bloqueo. Estos eventos fueron detectados en las regiones B40, B70 y B100 definidas por las longitudes 40°, 70°, 100°, respectivamente, más 20° de longitud hacia el este o el oeste, dependiendo de la extensión y posición del bloqueo. La extensión latitudinal para las tres regiones es desde 20° S a 60° S. Si bien los eventos de bloqueo son más frecuentes en primavera e invierno, la autora encontró una tendencia negativa en la frecuencia de bloqueos durante estos meses, mientras que la frecuencia de eventos durante los meses de verano y otoño presenta una tendencia positiva. Por otro lado, los eventos en los meses de verano y otoño presentan tendencia a aumentar. En este trabajo también se estudió el efecto de los bloqueos sobre Argentina, evidenciando influencias en la precipitación y la temperatura, dependiendo el valor de la anomalía de la época del año y de la ubicación en longitud del bloqueo.

En resumen, numerosos estudios muestran que los bloqueos en el HS son más frecuentes en los meses fríos (Mendes et al. (2012, 2008, 2005), Marques et al (1996), Alessandro (2014, 2005), Kayano (1999), Tibaldi et al (1994)). El mecanismo de formación y mantención de los bloqueos es aún tema de investigación y varias teorías han sido propuestas (Woollings et al., 2018). Entre ellas se encuentran el forzamiento de ondas de baja frecuencia desde los trópicos y la interacción entre los transientes baroclínicos y el flujo medio (Hoskins and Karoly (1981), Hoskins et al. (1983)). Además, según Trenberth y Mo (1985) ondas cuasi-estacionarias, como la onda 3 en el hemisferio sur, juegan un rol en establecer las regiones más favorables para el desarrollo de bloqueos. Estos autores también encuentran que la división del jet en invierno sobre Australia favorece la formación de bloqueos en el Pacífico oeste. Además, Mendes et al (2012, 2008, 2005) encuentran que los bloqueos que duran 5 o 6 días son los más frecuentes en el Océano Pacífico Sudeste y en el Océano Atlántico

Sur y que si bien los bloqueos ocurren con más frecuencia en Oceanía y en el Océano Pacífico Suroeste, estos eventos no muestran impactos significativos en la temperatura y la precipitación sobre Sudamérica. Como ejemplo, en invierno y otoño se encontraron precipitaciones por encima de la climatología para la región sudeste-centro de Sudamérica durante eventos de bloqueos en ATL (Mendes et al., 2008). También encuentran una gran variabilidad interanual para los bloqueos en el HS. A la fecha no existen trabajos centrados en el impacto de los bloqueos sobre el clima de Uruguay. Así, el presente trabajo apunta a determinar este impacto, considerando una base de datos geográficamente más densa que las analizadas en trabajos anteriores para todo el continente y se considerarán temperatura mínima y temperatura máxima, siguiendo metodologías previamente consideradas en la literatura. En los trabajos mencionados, el impacto en las temperaturas en Uruguay solamente se estudió a partir de reanálisis, y el efecto de los vientos y las anomalías de precipitación fueron estudiadas a una escala espacial grande en comparación al tamaño de Uruguay.

## 2. DATOS Y METODOLOGÍA

### 2.1 Datos utilizados en la identificación de bloqueos

Existe una gran deficiencia de cobertura de datos en el HS. Esto se debe principalmente a las grandes áreas oceánicas y a la precariedad de la red de superficie y de radiosondeos sobre los continentes en este hemisferio. Sin embargo, desde 1980 este problema se ha amortiguado con la información satelital y su incorporación en los sistemas globales de asimilación de datos (Marques, 1996). En este estudio se utilizan datos diarios de reanálisis de NCEP/DOE (Kanamitsu et al., 2002) para la variable altura geopotencial del nivel de 500 hPa ( $z_{500}$ ), los cuales están distribuidos espacialmente en una retícula de  $2.5^\circ$  de latitud por  $2.5^\circ$  de longitud. El período a estudiar comprende los años 1980 hasta 2016 y el dominio es el comprendido entre las latitudes  $35^\circ$  S -  $65^\circ$  S y las longitudes  $120^\circ$

W -  $0^\circ$  E. El dominio elegido para identificar bloqueos se basa en las regiones B70 y B40 propuestas por Alessandro (2014), donde los bloqueos atmosféricos encontrados evidenciaron influencia sobre la región noreste de Argentina, la cual limita con Uruguay. También se utilizan datos de viento zonal (u) y meridional (v) a 10 metros para la región definida por [ $65^\circ$ - $45^\circ$  W] y [ $45^\circ$ - $20^\circ$  S].

Los datos de reanálisis de NCEP/DOE están clasificados en cuatro clases, dependiendo del grado de influencia que posean del modelo o de las observaciones asimiladas. La altura de geopotencial es clasificada en la categoría A, la cual indica que esta variable es fuertemente influenciada por los datos observados y por lo tanto, constituye la clase más confiable (Kalnay et al., 1996). Como además la mayor parte del análisis realizado es a partir de composites de anomalías (calculadas quitando el valor medio de cada día calculado con una ventana móvil de 5 días centrada en el día de interés), se filtra el impacto del bias sistemático del modelo en estos resultados (Trigo et al., 2004).

### 2.2 Datos de temperatura y precipitación

Los datos a utilizar para describir el impacto de los bloqueos sobre Uruguay provienen de series de temperatura máxima diaria ( $T_x$ ) y temperatura mínima diaria ( $T_n$ ) de diez estaciones meteorológicas del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET) y una estación del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA). En la Tabla I se describen las características de las estaciones. La Figura 1 muestra la ubicación de las mismas. Si bien todas estas estaciones inician sus mediciones en la primer mitad del siglo XX, solo se utilizan para este trabajo los registros desde enero de 1980 para ser consistente con la detección de bloqueos. Se trabaja con datos de temperatura hasta octubre de 2014 ya que es el período disponible con un análisis de calidad previo el cual se encuentra descrito en la tesis de grado de De Mello (2013) y de doctorado de Renom (2009). Los datos de temperatura máxima

Estación	Código OMM	Latitud(°)	Longitud(°)	Altitud (m)	Datos Tx faltantes (%)	Datos Tn faltantes (%)
Rivera (RI)	83953	-30,90	-55,54	241,9	15,14	15,09
Artigas (AR)	86330	-30,40	-56,51	120,4	0,19	0,15
Salto (SA)	86360	-31,44	-57,98	41,0	0,15	0,08
Paysandu (PA)	86430	-32,38	-58,03	61,1	0,10	0,07
Paso de los Toros (PT)	86460	-32,80	-56,53	75,5	0,67	0,05
Melo (ME)	86440	-32,37	-54,19	100,4	3,05	0,10
Mercedes (ME)	86490	-33,25	-58,07	17,0	0,06	1,12
Estanzuela (ES)	NC	-34,45	-57,84	80,0	0,01	0,01
Prado (PR)	86585	-34,86	-56,21	16,3	3,63	3,60
Carrasco (CA)	86580	-34,83	-56,01	32,9	0,25	1,31
Rocha (RO)	86565	-34,49	-54,31	18,2	0,61	0,18

Tabla I: Ubicación y características de las estaciones meteorológicas utilizadas. El porcentaje de datos faltantes está expresado en base al período 1980-2014.

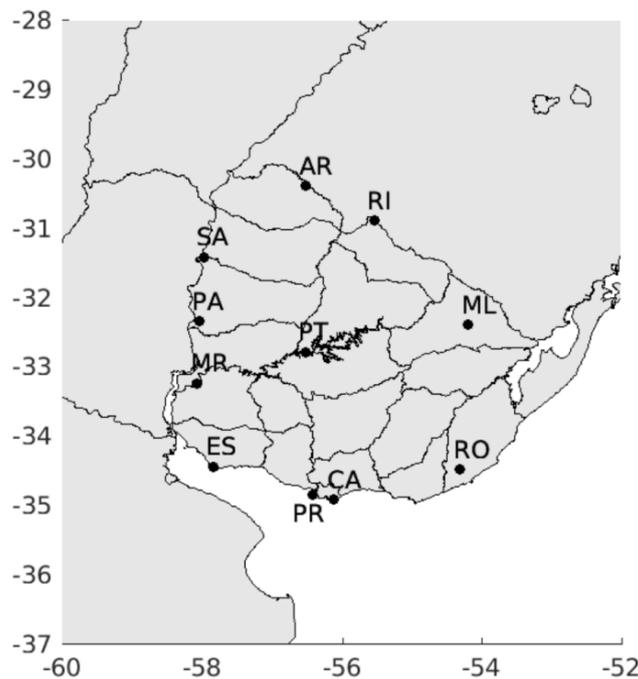


Figura 1: Ubicación de las estaciones meteorológicas de superficie mencionadas en la Tabla I.

días con bloqueos	region	verano	otoño	invierno	primavera
total	PAS	35	101	239	66
	ATS	20	94	87	54
cantidad de eventos con datos de precipitación	PAS	25	59	129	23
	ATS	5	56	42	17

Tabla II: Cantidad de días identificados con bloqueo discriminados por estación y por sector de ocurrencia. Se muestran el total de días con bloqueo entre 1980 y 2016, y la cantidad de días con bloqueo para el período con datos de precipitación.

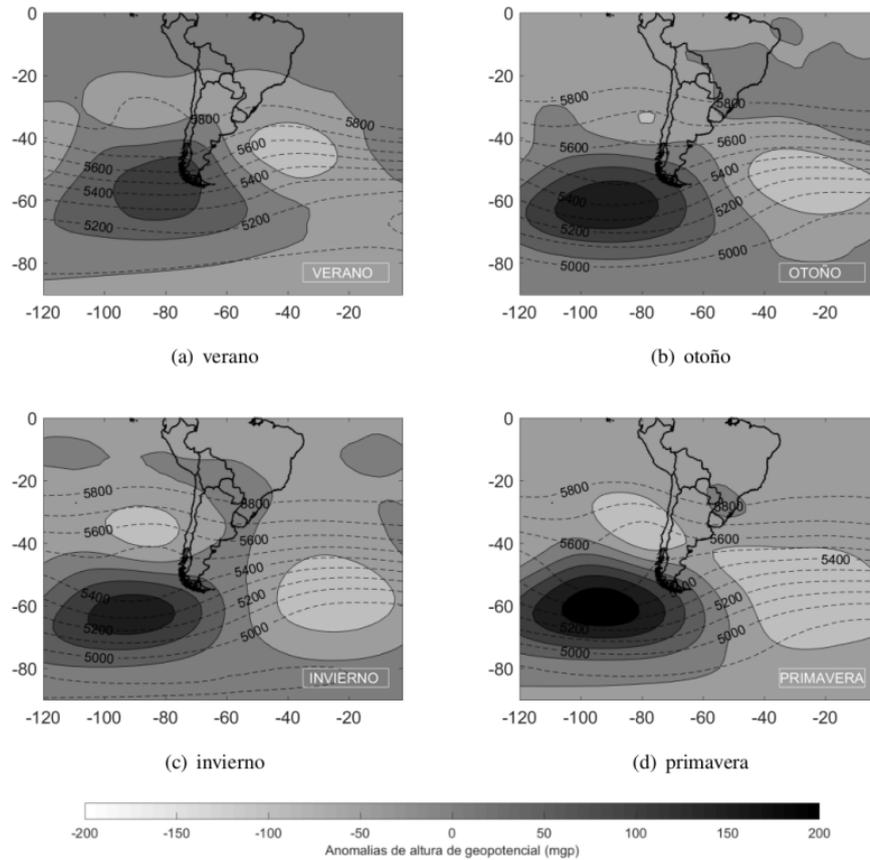


Figura 2: Composite de altura geopotencial en líneas punteadas y de su anomalía en coloreado, para bloqueos en la región PAS. (a) verano, (b) otoño, (c) invierno y (d) primavera.

son obtenidos con mediciones de termómetro de máxima ubicado en la casilla meteorológica y el dato diario corresponde a la máxima temperatura registrada a las 21 horas (hora local) comprendiendo las 24 horas previas a la medición. Por su parte la temperatura mínima es registrada con un termómetro de mínima también ubicado en el abrigo meteorológico y la observación es realizada a las 9 horas (hora local) abarcando las 24 horas previas a la medición.

Para complementar el análisis con datos de temperatura se evalúa también el efecto en la precipitación en Uruguay. Los datos utilizados corresponden a las estimaciones de precipitación del Tropical Rainfall Measure Mission (TRMM) Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) que surgen de un proyecto entre la National Aeronautics and Space Administration (NASA) de Estados Unidos

y la National Space Development Agency (NASDA) de Japón diseñado para estimar lluvia en los trópicos y extratropicos (Hou et al., 2001). Se realizaron estimaciones entre 1998-2015 con un dominio espacial abarcando desde 50°S hasta 50°N latitudinalmente y cubre toda la extensión longitudinal. Cuenta con una resolución horizontal de 0.25° x 0.25° y el producto primario se obtiene con una frecuencia de 3 horas, donde cada dato es obtenido promediando en la retícula de 0.25° en un período de  $\pm 90$  minutos, centrado en las horas de observación meteorológica (0000, 0300, ..., 2100 UTC) (Huffman et al., 2007). Para este trabajo se utiliza todo el período de datos disponible en la base TRMM a escala diaria ([https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NASA/.GES-DAAC/.TRMM\\_L3/.TRMM3B42/.v7/.daily/.precipitation/](https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NASA/.GES-DAAC/.TRMM_L3/.TRMM3B42/.v7/.daily/.precipitation/)). El dominio espacial abarca la misma región que

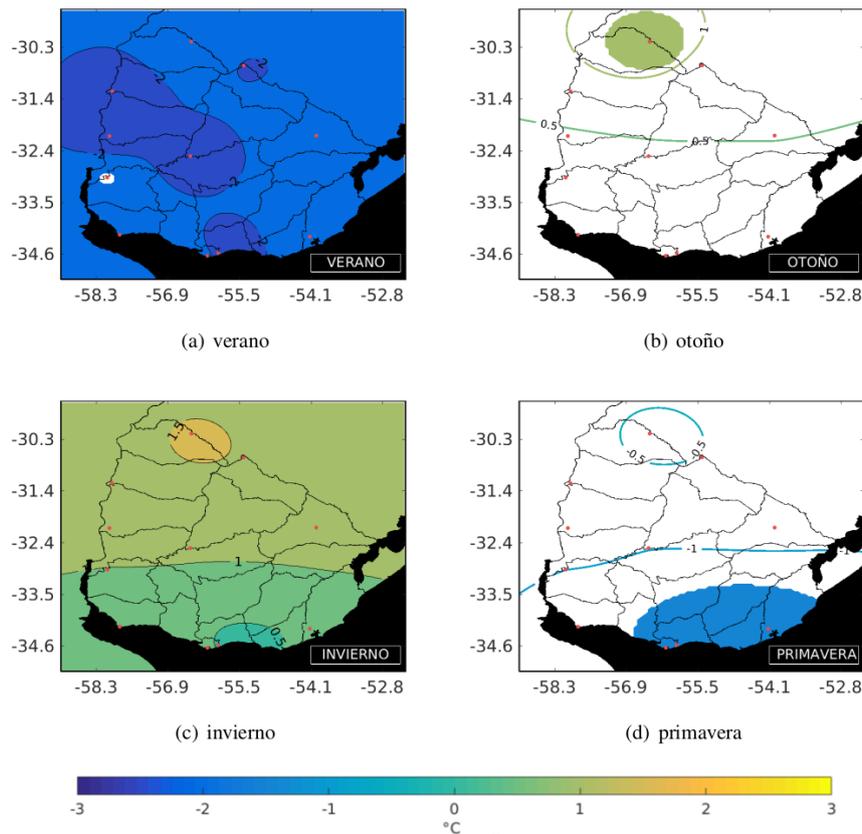


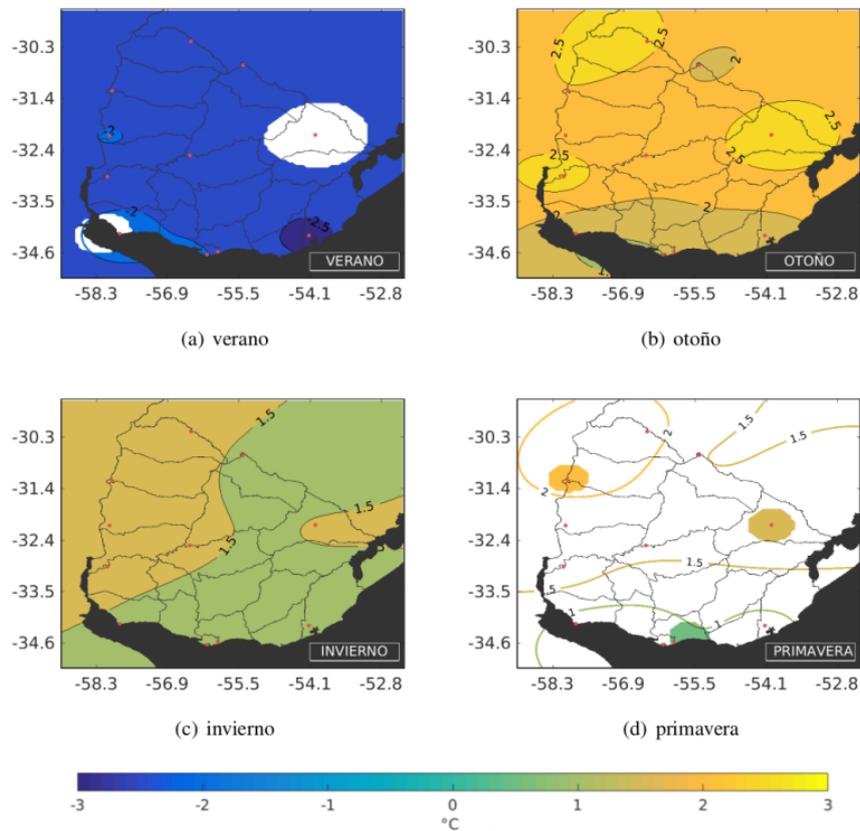
Figura 3: Composites de anomalía de temperatura máxima para bloqueos en la región PAS. (a) verano, (b) otoño, (c) invierno y (d) primavera. Los contornos representan las anomalías y el coloreado donde estas anomalías son estadísticamente significativas. Las áreas en blanco representan regiones donde las anomalías no son estadísticamente significativas.

para los vientos en superficie.

La precipitación es una variable compleja de medir adecuadamente con instrumentos desde la superficie terrestre debido a su gran variabilidad de pequeña escala en el espacio y el tiempo. Es por esto que los sensores a bordo de satélites juegan un rol fundamental en la estimación de precipitación. TMPA depende de dos tipos de sensores diferentes, de microonda e infrarrojo. Si bien en la escala diaria estas estimaciones tienen errores relativos importantes, cuando se los utiliza sobre escalas de tiempo más largas (como por ejemplo acumulados mensuales o acumulados promediados sobre un gran número de eventos) las estimaciones resultan ser confiables (Huffman et al. (2007), Gebremichael and Hossain (2010)). Como este es el caso parece adecuado utilizar esta

base de datos para estimación de precipitación.

Se construyeron composites de anomalías de  $T_x$ ,  $T_n$ ,  $u$ ,  $v$  y precipitación para días de bloqueos comparando con días sin bloqueos, y se cuantificó su significancia estadística con un T-test al 5%. Los composites se presentan clasificados por estaciones del año, donde verano corresponde a los meses diciembre, enero y febrero; otoño a marzo, abril y mayo; invierno respresenta junio, julio y agosto y setiembre, octubre y noviembre corresponden a la primavera. El campo de anomalías de temperatura es obtenido a partir de las medidas en superficie a través de la técnica de krigging. En el caso de la temperatura, la base de datos utilizada abarca prácticamente todo el período en el cual se identificaron bloqueos, faltando únicamente datos de temperatura en



*Figura 4:* Composites de anomalía de temperatura mínima para bloqueos en la región PAS. (a) verano, (b) otoño, (c) invierno y (d) primavera. Los contornos representan las anomalías y el coloreado donde estas anomalías son estadísticamente significativas. Las áreas en blanco representan regiones donde las anomalías no son estadísticamente significativas.

los dos últimos años de estudio. El periodo considerado contiene el 94% de la cantidad total de bloqueos, por lo que los composites de temperatura no se ven afectados. Por otro lado, como el período disponible con estimaciones de precipitación corresponde a aproximadamente la mitad de los bloqueos estudiados, se explicita en la Tabla II en la sección de Resultados el número de eventos de bloqueo considerados para los composites de precipitación.

### 2.3 Metodología de detección de bloqueos

Si bien no existe una definición única y objetiva para identificar los bloqueos, los métodos previamente utilizados en la literatura se basan en los siguientes elementos:

- Existencia de un gradiente de altura geopotencial meridional, para alguna latitud fija (condición de longitud bloqueada)
- Al menos 3 puntos de retícula alineados meridionalmente en donde se cumpla con la condición de bloqueo.
- Persistencia temporal de la configuración indicada en los ítems anteriores.

En este trabajo se siguió la metodología clásica propuesta originalmente por Lejenäs and økland (1983) y modificada posteriormente por Tibaldi et al. (1994), combinado con una adaptación implementada por Mendes et al. (2005) para identificar específicamente los bloqueos en la región elegida. Con esta metodología los índices para identificar patrones de bloqueo se calculan a partir de las series de altura geopotencial en las

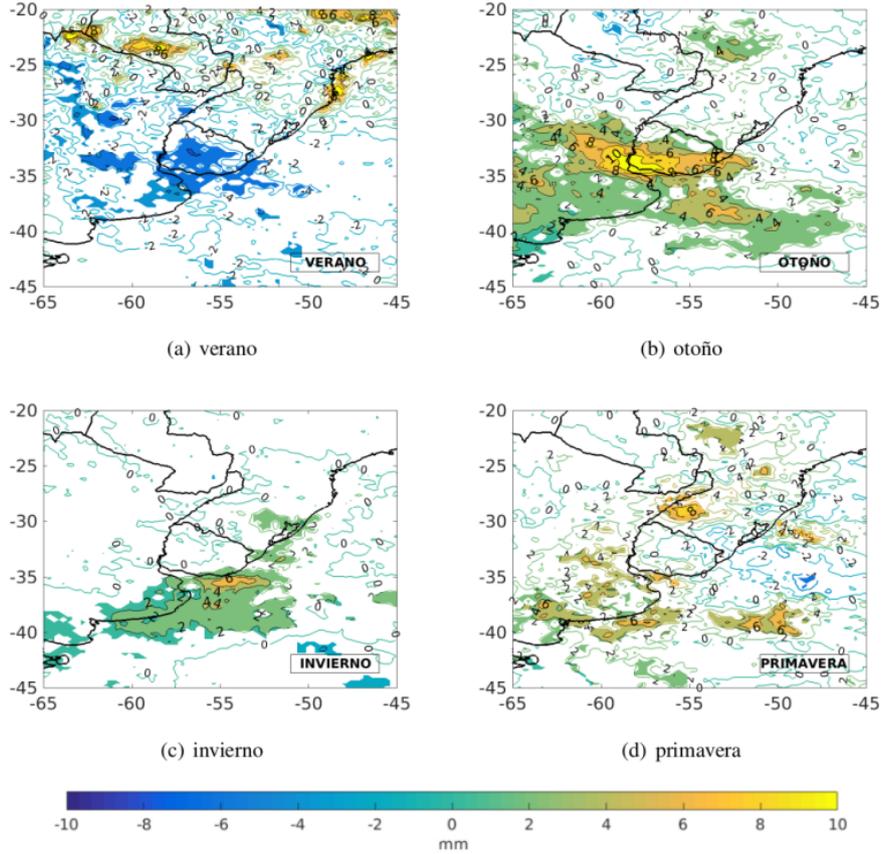


Figura 5: Composite de anomalía de precipitación diaria para bloqueos en la región PAS. (a) verano, (b) otoño, (c) invierno y (d) primavera. Los contornos representan las anomalías y el coloreado donde estas anomalías son estadísticamente significativas. Las áreas en blanco representan regiones donde las anomalías no son estadísticamente significativas.

regiones comprendidas por los Océanos Pacífico Sureste y Atlántico Sur.

Para considerar la diferencia entre los valores de altura de geopotencial a lo largo de cierta longitud, se definen dos gradientes meridionales de altura de geopotencial, Gradiente Sur de Altura de Geopotencial (GHGS) y Gradiente Norte de Altura de Geopotencial (GHGN), según la ecuación 1

$$GHGS = \frac{z500(\lambda, \phi_S) - z500(\lambda, \phi_0)}{\phi_S - \phi_0} \quad (1)$$

$$GHGN = \frac{z500(\lambda, \phi_0) - z500(\lambda, \phi_N)}{\phi_0 - \phi_N}$$

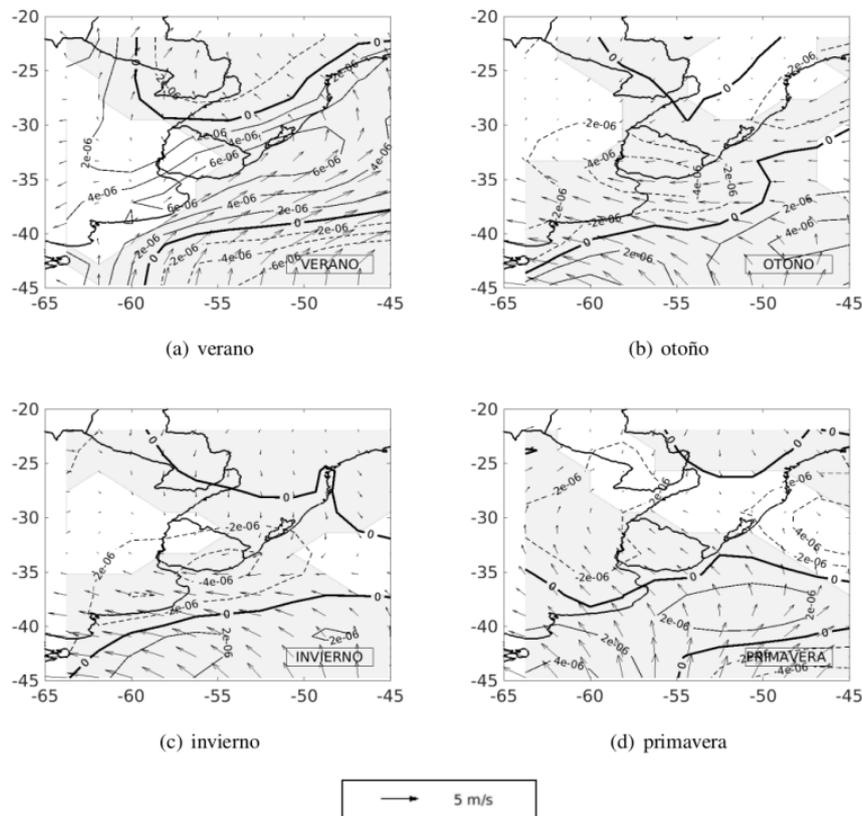
donde  $\phi$  es la latitud a la cual se busca el bloqueo y puede tomar los valores:  $\phi_S = 65^\circ S + \Delta$ ,  $\phi_0 = 50^\circ S + \Delta$ ,  $\phi_N = 35^\circ S + \Delta$ , siendo

$\Delta = -10^\circ, -5^\circ, 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ$ . O sea, cuando  $\Delta = -10^\circ \rightarrow \phi_S = 55^\circ S, \phi_0 = 40^\circ S$  y  $\phi_N = 25^\circ S$ , y  $\lambda$  varía en el dominio fijado. Considerando el trabajo de Alessandro (2014), se utilizaron dos bandas de longitudes para caracterizar los bloqueos:

- Pacífico Atlántico Sur - PAS:  $95^\circ W - 65^\circ W$
- Atlántico Sur - ATS:  $60^\circ W - 0^\circ W$

siendo PAS (ATS) similar a la región B70 (B40) definidas en ese trabajo. Para identificar primero una longitud bloqueada para cierto día, se buscan las fechas que cumplen simultáneamente las condiciones:

$$GHGS < -10 \text{ m/gp/deg} \quad (2)$$



*Figura 6:* Composite de anomalía de viento en 10 metros para bloqueos en la región PAS. (a) verano, (b) otoño, (c) invierno y (d) primavera. El sombreado gris representa donde estas anomalías son estadísticamente significativas. Las áreas en blanco representan regiones donde las anomalías no son estadísticamente significativas. En contornos punteados y línea sólida se presenta la convergencia y divergencia del viento, respectivamente.

$$GHGN > 0 \quad (3)$$

De estas configuraciones, se eligen aquellas que cumplen la condición 2 al menos en 3 puntos de retícula consecutivos en longitud (que corresponden a  $15^\circ$  de longitud de acuerdo a la resolución de los datos NCEP/NCAR y a que se utilizó un intervalo  $\Delta$  de  $5^\circ$  para identificar eventos de gran extensión espacial). Por último, se seleccionan como episodios de bloqueos estas configuraciones cuando se mantienen durante al menos 5 días consecutivos para asegurar que el flujo tenga carácter de bloqueo y no de flujo bloqueado.

Cabe destacar dos aspectos en el cálculo del índice. Si bien la condición 3 se satisface con frecuencia, es agregada por Tibaldi y Molteni

(1990) respecto a la condición 2 propuesta originalmente por Lejenäs and økland (1983) para no considerar como bloqueos aquellos casos en que un ciclón se posiciona anómalamente hacia el norte. Por otro lado, siguiendo la metodología de Mendes et al. (2005), solo se permite que un único día intermedio durante el episodio de bloqueo no cumpla con las condiciones 2 y 3. La elección de 5 días como mínimo está basada en el criterio de Tibaldi et al. (1994) y Mendes et al. (2008), donde si bien se afirma que no hay una duración mínima globalmente aceptada para definir eventos de bloqueo, fijan el valor de 5 días para el HS.

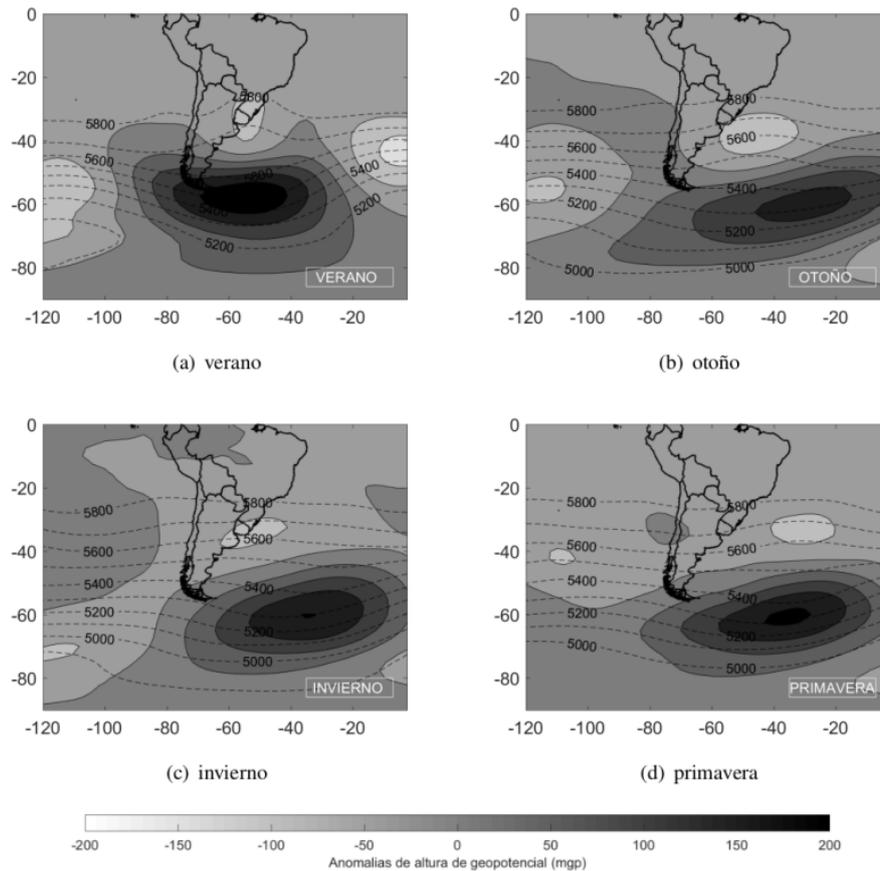


Figura 7: Idem Figura 2 para bloqueos en la región ATS.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Climatología de bloqueos

La ocurrencia de eventos identificados por región y por estación se describen en la Tabla II, donde se indica la cantidad total de días en los que se identificó bloqueo. La distribución de ocurrencias según la longitud es similar a la obtenida por Tibaldi et al. (1994), con baja frecuencia de ocurrencia entre  $60^{\circ}$  W y  $0^{\circ}$  W. En términos estacionales, los bloqueos identificados en PAS ocurren con mayor frecuencia en invierno, seguido por otoño, mientras que en ATS el otoño presenta más bloqueos que el invierno. Verano es la estación con menor cantidad de eventos identificados para las dos regiones. Se muestra también la cantidad de días utilizados para los composites de precipitación, ya que es un período significativamente más corto que el considerado para identificar los bloqueos.

#### 3.2 Bloqueos en la región PAS

Los composites de  $z_{500}$  y su anomalía para los bloqueos ocurridos en la región PAS se muestran en la Figura 2.

Los eventos identificados en esta región muestran menor intensidad y extensión espacial durante el verano que durante la primavera cuando son máximos. Al comparar las Figuras 2(c) con 2(d), lo que correspondería a invierno y primavera, el patrón espacial de  $z_{500}$  es muy similar. En ellos, la anomalía positiva de altura de geopotencial es acompañada al norte y al este por anomalías negativas de altura de geopotencial, siendo esta última de mayor extensión espacial. En verano y otoño la anomalía negativa situada al norte es mucho más débil. Las anomalías en temperatura máxima, mínima y precipitación asociados a estos eventos de bloqueos se muestran en las Figuras 3, 4 y 5, respectivamente.

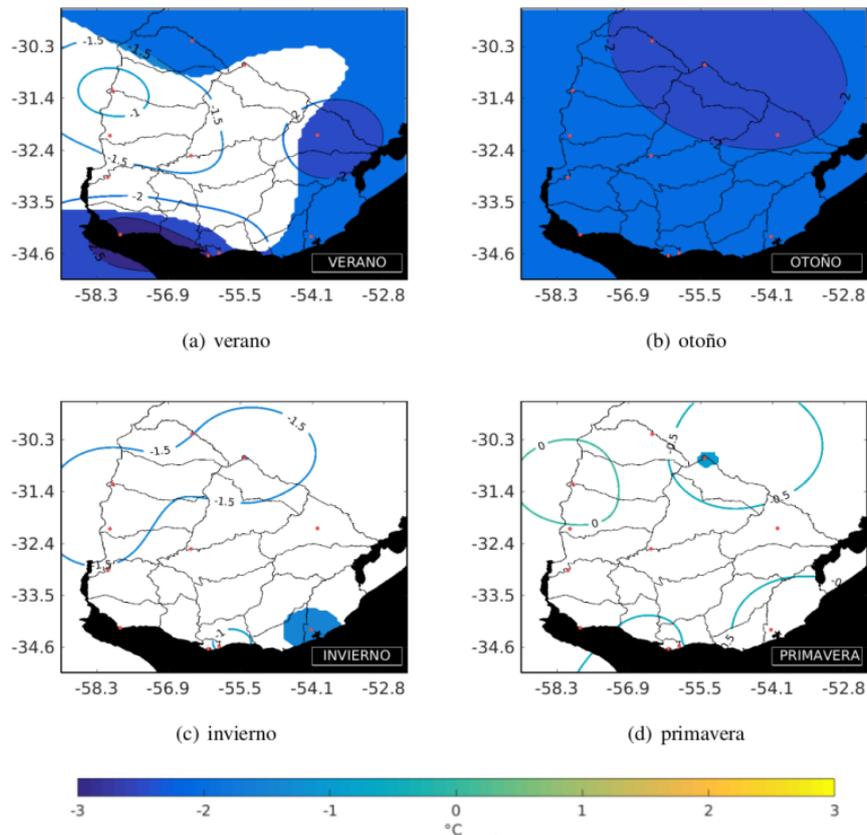


Figura 8: Idem Figura 3 para bloqueos en la región ATS.

Los bloqueos ocurridos muestran impactos opuestos en verano e invierno, tanto en temperatura como en precipitación, como se observa al comparar los paneles (a) y (c) de las Figuras 3, 4 y 5. Por un lado en verano los bloqueos inducen un déficit en la precipitación sobre Uruguay, siendo estadísticamente significativo en gran parte del territorio. Las anomalías de temperaturas máxima y mínima son significativas en casi todo el territorio y se encuentran  $2.5^{\circ}\text{C}$  por debajo de la media en todo el país. Por otro lado, durante el invierno se observan anomalías estadísticamente significativas y positivas de hasta  $2^{\circ}\text{C}$  en todo el país. Las mismas se observan tanto en temperatura máxima como mínima. Sobre la costa sureste uruguaya, las anomalías de precipitación son positivas y estadísticamente significativa. Durante otoño ocurre precipitación estadísticamente significativa por encima de la media entre la banda de latitudes  $30^{\circ}\text{S}$  a  $40^{\circ}$

S, donde se estiman anomalías de hasta 10 mm diarios en el suroeste de Uruguay y temperatura mínima de hasta  $2.5^{\circ}\text{C}$  por encima de lo normal. En primavera en Uruguay, las anomalías de temperatura mínima son entre 1.5 y  $2^{\circ}\text{C}$  por encima de lo normal y no son significativas. Mientras tanto, las anomalías de temperatura máxima son significativas únicamente en la costa sur-sureste. La precipitación no parece verse afectada por bloqueos ocurridos en primavera en la región PAS.

En la Figura 6 se muestran los composites para anomalías de vientos en superficie, su significancia estadística y la divergencia. Durante el verano la estructura del bloqueo es tal que favorece la entrada de aire frío desde el sur, consistente con las anomalías de  $T_x$  y  $T_n$ , lo cual también contribuiría a reducir la magnitud del transporte de humedad desde el norte hacia la región. En invierno el bloqueo se

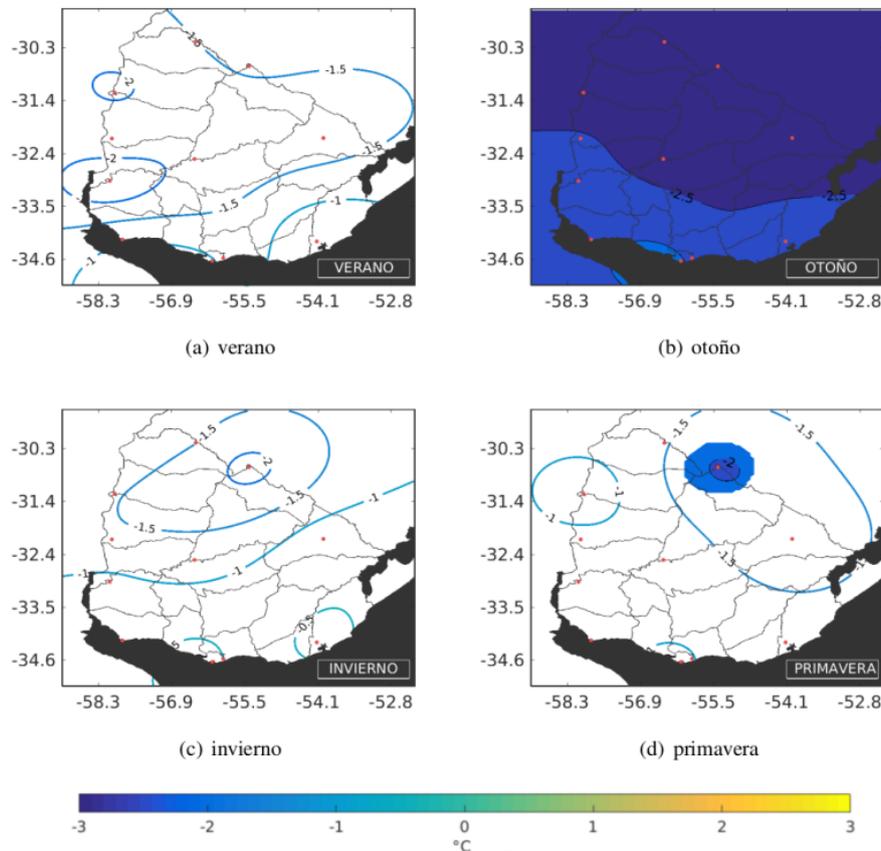


Figura 9: Idem Figura 4 para bloqueos en la región ATS.

encuentra en latitudes mayores, existiendo una circulación anticiclónica en latitudes tropicales. Esta circulación favorece los vientos del norte hacia Uruguay induciendo un aumento en las temperaturas. Los vientos en otoño e invierno muestran una circulación similar, siendo estadísticamente significativos al norte del país y contribuyendo al aumento de temperaturas en esta región. Asimismo, las anomalías de circulación en superficie durante otoño e invierno dan lugar a convergencia en el sur de Uruguay favoreciendo el aumento de lluvias en esa región.

### 3.3 Bloqueos en la región ATS

Los composites del campo total y de anomalía de z500 para los bloqueos ocurridos en la región ATS se muestran en la Figura 7. En todas las estaciones se identifica la alta presión al sureste del continente, siendo verano la época en que se encuentra desplazada más hacia

el oeste. El patrón dipolo durante los meses de verano e invierno presenta una estructura similar donde se observa una pequeña anomalía negativa de altura de geopotencial situada sobre Uruguay. Esta anomalía se observa sobre la costa uruguaya durante otoño, época en la cual los eventos parecen tener una mayor extensión espacial. En general, los bloqueos atmosféricos ocurridos en la región ATS se caracterizan por un patrón espacial de z500 que presenta mayor variabilidad interestacional. Del mismo modo, en comparación con los bloqueos en PAS, el anticiclón extratropical (en este caso) ubicado al sureste de Sudamerica tiene una mayor extensión longitudinal.

Las anomalías respecto a la media estacional en temperatura máxima y mínima y precipitación durante eventos de bloqueos en la región ATS se muestran en las Figuras 8, 9 y 10,

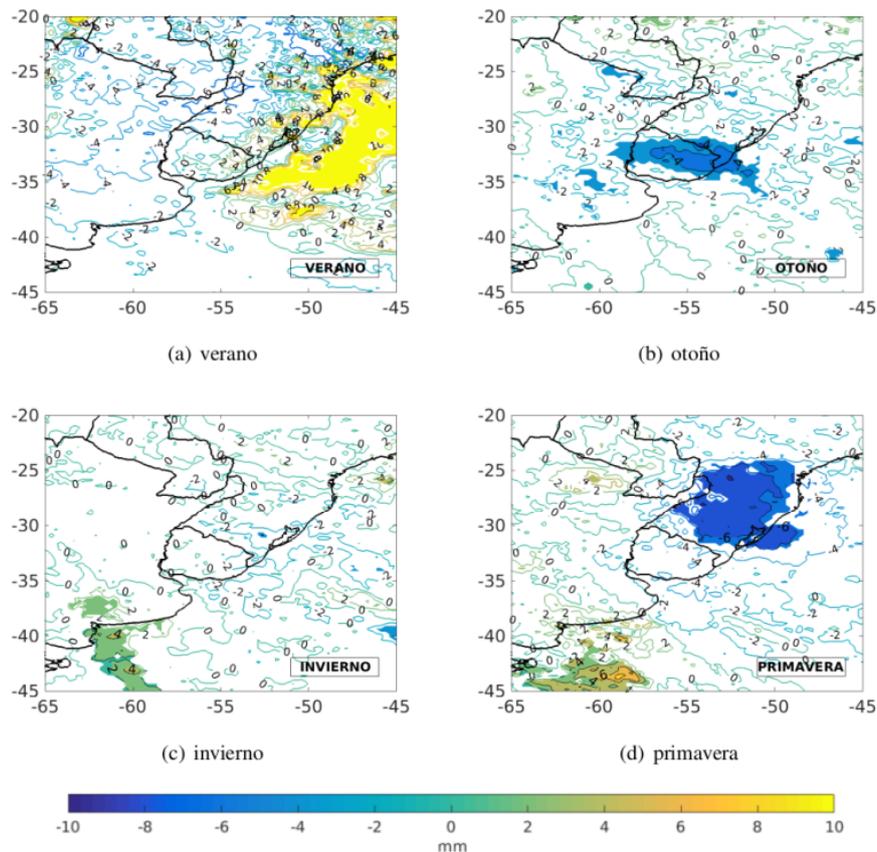


Figura 10: Idem Figura 5 para bloqueos en la región ATS.

respectivamente. Estos bloqueos producen una caída en la temperatura para todo el país de al menos  $1^{\circ}\text{C}$  durante todo el año. En particular, durante los meses de otoño, estos valores medios de  $-2,5^{\circ}\text{C}$  son estadísticamente significativos para todo el país en la mínima y la máxima. En otoño la circulación ciclónica está ubicada de tal forma que genera vientos del sur anómalos sobre Uruguay, lo cual favorece el enfriamiento observado. Este resultado es consistente con Mendes et al (2008), aunque en ese estudio también se encontraron anomalías negativas estadísticamente significativas en las temperaturas medias durante invierno y primavera. Durante otoño la circulación en altura muestra una anomalía ciclónica al este de Uruguay y en superficie se observa divergencia, lo cual son condiciones desfavorables para las lluvias, resultando en un déficit como se observa en la Figura 10.

Durante el resto del año no ocurren impactos significativos en la precipitación sobre Uruguay, aunque en verano sobre el Océano Atlántico se observan anomalías de precipitación significativas y en primavera anomalías negativas al noreste sobre el estado brasileiro de Río Grande do Sul.

La anomalía positiva de lluvia al este de Uruguay en verano es consistente con la vaguada observada en altura y el desarrollo de una anomalía de baja presión en superficie (ver Figuras 7 y 11). Asimismo, los vientos de componente sur favorecen el enfriamiento sobre Uruguay. El déficit de precipitación observado en primavera sobre el sur de Brasil podría deberse a la circulación anticiclónica presente en la región que favorece la divergencia en superficie y disminuye los vientos de componente norte que transportan la humedad.

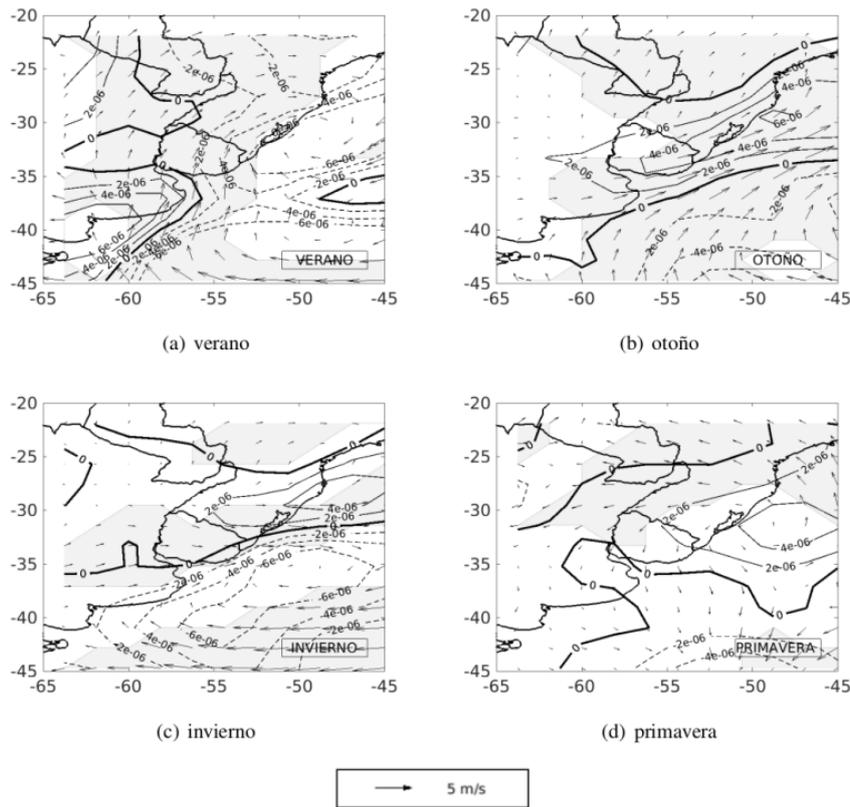


Figura 11: Idem Figura 6 para bloqueos en la región ATS.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se implementó un índice clásico para la identificación de bloqueos atmosféricos en medias y altas latitudes para el HS, en particular para las regiones Océano Pacífico Sureste y Océano Atlántico Sur. Para esto se trabajó con datos de reanálisis de z500 para el período comprendido entre 1980 hasta 2016. Al realizar la climatología se observó que estos eventos ocurren con mayor frecuencia en los meses fríos y al oeste de la costa del continente sudamericano. A partir de las estructuras de bloqueo identificadas con los campos de altura de geopotencial se determinaron dos regiones características para la ocurrencia de bloqueos: la región Pacífico-Atlántico Sur que comprende las longitudes 95°W-65°W y la región Atlántico Sur que abarca desde 60°W hasta el meridiano de Greenwich. Los bloqueos que ocurrieron en la región PAS tuvieron efectos opuestos en los meses cálidos y fríos en Uruguay,

provocando anomalías negativas significativas de temperatura y de precipitación durante el verano y anomalías positivas en las temperaturas y en la precipitación en la costa uruguaya durante otoño e invierno. Esto responde a la ubicación relativa del bloqueo respecto a Uruguay. Durante verano la estructura del bloqueo es tal que favorece la entrada de aire frío desde el sur y disminuye el transporte de humedad desde el norte induciendo anomalías negativas de lluvia principalmente al sur del país. En invierno el bloqueo se encuentra en latitudes mayores lo cual favorece los vientos del norte hacia Uruguay e induce un aumento en las temperaturas. Asimismo, las anomalías de circulación en superficie dan lugar a convergencia en el sur de Uruguay favoreciendo el aumento de lluvias en esa región. Por otro lado, la región ATS se caracterizó por ser la de menor frecuencia de ocurrencia de bloqueos generando durante todo el año temperaturas por debajo de la media, significativas principalmente en otoño,

período durante el cual también la precipitación se mostró significativamente por debajo de lo normal.

## REFERENCIAS

- Alessandro, A. P. (2014). Incidence and trend of blocking action situations on the temperature and precipitation in Argentina. *Atmosfera*, 27, 141–163.
- Casarin, D. P. and Kousky, V. E. (1982). Um estudo observacional sobre os sistemas de bloqueio no hemisfério sul. INPE, page 82.
- Cavalcanti, I., Ferreira, N., Da Silva, A., and Justi, G. (2009). Bloqueios Atmosféricos. *Tempo e Clima no Brasil*. page 468. Oficina de textos, Sao Pablo, Brasil, 1 edition.
- De Mello, S. (2013). Estudio climatológico y regionalización de heladas meteorológicas en Uruguay. Tesis de grado, Universidad de la República, Uruguay.
- Gebremichael, M. and Hossain, F. (2010). *Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology*. Springer Science, Springer Dordrecht Heidelberg London New York.
- Hoskins, B. J., James, I. N., and White, G. H. (1983). The shape, propagation and mean-flow interaction of large-scale weather systems. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 40, 1595–1612.
- Hoskins, B. J. and Karoly, D. J. (1981). The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 38, 1179–1196.
- Hou, A. Y., Zhang, S. Q., Da Silva, A. M., Olson, W. S., Kummerow, C. D., and Simpson, J. (2001). Improving global analysis and short-range forecast using rainfall and moisture observations derived from TRMM and SSM/I passive microwave sensors. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82, 659–679.
- Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., Wolff, D. B., Adler, R. F., Gu, G., Hong, Y., Bowman, K. P., and Stocker, E. F. (2007). The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *Journal of Hydrometeorology*, 8, 38–55.
- Kalnay, E. y coautores, 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 437–471.
- Kanamitsu, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, S.-K., Hnilo, J. J., Fiorino, M., and Potter, G. L. (2002). NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83, 1631–1643.
- Kayano, M. (1999). *Meteorology and Atmospheric Physics Southeastern Pacific Blocking Episodes and their Effects on the South American Weather*. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 155, 145–155.
- Lejenäs, H. and Økland, H. (1983). Characteristics of northern hemisphere blocking as determined from a long time series of observational data. *Tellus A*, 35, 350–362.
- Marques, R. d. F. C. (1996). *Bloqueios Atmosféricos no Hemisfério Sul*. Phd thesis, Sao Jose dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil.
- Mendes, M. C. D., Trigo, R. M., Cavalcanti, I. F. A., and DaCamara, C. C. (2005). Bloqueios Atmosféricos de 1960 a 2000 sobre o Oceano Pacífico Sul: Impactos Climáticos e Mecanismos Físicos Associados. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 20, 175–190.
- Mendes, M. C. D., Trigo, R. M., Cavalcanti, I. F. A., and DaCamara, C. C. (2008). Blocking episodes in the Southern Hemisphere: Impact on the climate of adjacent continental areas. *Pure and Applied Geophysics*, 165, 1941–1962.
- Mendes, M. C. D., Trigo, R. M., Cavalcanti, I. F. A., and DaCamara, C. C. (2012). Southern Hemisphere Atmospheric Blocking Diagnostic By Ecmwf and Ncep/Ncar Data. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 27, 263–271.
- Renom, M. (2009). *Temperaturas extremas en Uruguay. Análisis de la variabilidad temporal de baja frecuencia y su relación con la circulación de gran escala*. Tesis de doctorado, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

- Tibaldi, S. and Molteni, F. (1990). On the operational predictability of blocking. *Tellus A*, 42, 343–365.
- Tibaldi, S., Tosi, E., Navarra, A., and Pedulli, L. (1994). Northern and Southern Hemisphere Seasonal Variability of Blocking Frequency and Predictability. *Monthly Weather Review*, 122, 1971–2003.
- Trenberth, K. F. and Mo, K. C. (1985). Blocking in the Southern Hemisphere. *Monthly Weather Review*, 113, 3–21.
- Trigo, R. M., Trigo, I. F., DaCamara, C. C., and Osborn, T. J. (2004). Climate impact of the European winter blocking episodes from the NCEP/NCAR reanalyses. *Climate Dynamics*, 23, 17–28.
- Van Loon, H. (1956). Blocking action in the Southern Hemisphere. Part I. *Notos* 5, 171–177.
- Woollings, T., Barriopedro, D., Methven, J., Son, S.-W., Martius, O., Harvey, B., Sillmann, J., Lupo, A. R., and Seneviratne, S. (2018). Blocking and its response to climate change. *Current Climate Change Reports*, 4, 287–300.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo la licencia Creative Commons, que permite el uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.