

DISTRIBUCIÓN CONJUNTA DE EVENTOS EXTREMOS DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN INTENSA EN EL SUR DE SUDAMÉRICA Y SU CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA ASOCIADA

Bárbara Tencer¹, María Laura Bettolli^{2,3}, Matilde Rusticucci^{2,3}

btencer@uvic.ca

¹ School of Earth and Ocean Sciences, University of Victoria, Canada

² Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEyN, UBA

³ CONICET, Argentina

RESUMEN

En este trabajo se analiza la ocurrencia conjunta (simultánea o desfasada) de eventos extremos de temperatura y precipitación en el sur de Sudamérica en el período 1961-2000 y la circulación atmosférica predominante asociada a la ocurrencia de eventos extremos compuestos. Se observa que la probabilidad de ocurrencia de precipitación intensa es más alta de lo esperado durante o a continuación de una noche cálida, pero disminuye cuando coincide con una noche fría. Los días cálidos en general ocurren el mismo día que la precipitación intensa o el día anterior, pero rara vez ocurren al día siguiente. Por el contrario, los días fríos suelen ocurrir luego de un evento de precipitación intensa. La circulación asociada a la ocurrencia de precipitación intensa y noches cálidas se caracteriza principalmente por una vaguada sobre el Océano Pacífico y un frente frío sobre el continente que dan lugar a advección de aire cálido y húmedo sobre el este de la región.

ABSTRACT

In this paper we analyse the joint distribution of extreme temperature and precipitation events (simultaneous or lagged) in southern South America during 1961-2000, and the predominant atmospheric circulation associated to the occurrence of compound extreme events. The probability of occurrence of an intense precipitation increases during or following a warm night, but decreases during a cold night. Warm days are usually associated to the occurrence of heavy precipitation events on the same day or the day before, but they rarely occur afterwards. On the contrary, cold days happen more often after an intense rain. The associated circulation during a compound event of warm days and heavy precipitation shows a trough over the Pacific Ocean and a cold front over the continent that lead to warm and wet air advected to the east of the region of study.

Palabras clave: extremos compuestos, temperatura, precipitación, circulación atmosférica, dominio

1) INTRODUCCIÓN

Los eventos extremos del tiempo y del clima afectan severamente los ecosistemas y la sociedad. En forma individual, tanto los eventos extremos de temperatura como los de precipitación tienen un alto grado de impacto en la agricultura (muchos cultivos son afectados por el número de días con helada o el número de días cálidos por año, y por la cantidad de días secos o con lluvias extremas), la salud humana (las olas de calor o de frío pueden producir muertes, mientras que las inundaciones pueden

generar la dispersión de enfermedades con mayor rapidez), la ganadería (los animales sufren tanto las altas temperaturas como la falta de agua), la demanda de energía, la disponibilidad de agua potable, etc. Sin embargo, la ocurrencia conjunta de ambos extremos puede traer consecuencias aún mayores y no ha sido suficientemente estudiada. Según define el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) en su informe especial sobre extremos climáticos y desastres naturales (IPCC, 2012) los extremos compuestos pueden deberse a la ocurrencia simultánea o sucesiva de dos o más extremos, a la combinación de eventos extremos cuyas condiciones subyacentes amplifican su impacto, o a la combinación de eventos que no son extremos en forma individual pero que conllevan a un evento extremo cuando ocurren conjuntamente. Por ejemplo, si un período de sequía ocurre simultáneamente o es seguido por un período de temperaturas altas extremas las consecuencias sobre la agricultura pueden ser aún más graves que si los cultivos son expuestos a condiciones de sequía solamente (Jiang y Huang, 2000). A su vez, los riesgos de incendio se incrementan cuando estos dos eventos ocurren en forma simultánea (Bradstock et al, 2009).

Los cambios observados en la temperatura y la precipitación pueden estar físicamente relacionados entre sí. En Norteamérica y Europa, Madden y Williams (1978) y Zhao & Khalil (1993) analizaron correlaciones entre temperatura media estacional y precipitación en Norteamérica y Europa y encontraron que los veranos frescos suelen estar relacionados con condiciones húmedas, mientras que las sequías tienden a ocurrir con mayor frecuencia en conjunto con olas de calor. En escala global, Trenberth y Shea (2005) muestran una fuerte correlación negativa entre la temperatura media mensual y la precipitación en verano sobre los continentes en ambos hemisferios, indicando que los veranos tienden a ser calurosos y secos o fríos y húmedos. Esto se debe a que las condiciones secas favorecen la radiación directa y un menor enfriamiento por evaporación. Sin embargo, en latitudes superiores a 40° en invierno dominan las correlaciones positivas ya que la escasa capacidad de retención de agua en la atmósfera en condiciones frías limita la cantidad de precipitación, mientras que la advección de aire cálido durante las tormentas ciclónicas está acompañada de precipitación. En regiones dominadas por las condiciones oceánicas, las altas temperaturas están asociadas a mayor precipitación, como por ejemplo, durante eventos El Niño (Trenberth et al, 2007). En Canadá, el análisis de los eventos extremos de temperatura y precipitación muestra que la ocurrencia de precipitaciones intensas no es independiente de la ocurrencia de eventos extremos de temperatura (Tencer et al, 2014). Los autores encontraron una relación significativa entre noches cálidas (días con temperatura mínima por encima del percentil 90) o días cálidos (temperatura máxima por encima del percentil 90) y eventos de precipitación intensa (precipitación diaria superior al percentil 75), con las mayores frecuencias observadas en las zonas costeras, especialmente durante el otoño e invierno. Por el contrario, los extremos fríos resultaron más frecuentemente asociados a precipitaciones intensas en los meses de primavera y verano.

En Sudamérica, Rusticucci y Penalba (2000) también encontraron una relación inversa entre la temperatura y la precipitación durante los meses más cálidos (diciembre a abril), con veranos más cálidos asociados a una menor precipitación, principalmente en el noreste y centro-oeste de Argentina, sur de Chile y Paraguay, y veranos más fríos asociados a una mayor precipitación debido al aumento en la frecuencia de pasaje de frentes fríos. Más recientemente, Barrucand et al (2014) observaron que los meses cálidos y secos son significativamente más frecuentes que los meses fríos y secos durante la temporada cálida (octubre a marzo) en 3 estaciones de referencia en Argentina. Si bien durante

la temporada fría (abril a septiembre) el centro del país también presentó una mayor ocurrencia de meses secos y cálidos, el este de la región mostró una mayor ocurrencia de meses fríos y secos, que se incrementó luego del año 1976.

En este trabajo analizamos la distribución conjunta de eventos extremos de temperatura y precipitación en el sur de Sudamérica y la circulación atmosférica predominante asociada a la ocurrencia de extremos compuestos.

2) DATOS Y METODOLOGÍA

Para este estudio se utilizaron datos diarios de precipitación y de temperatura mínima y máxima, observados en estaciones meteorológicas durante el período 1961-2000 en el sur de Sudamérica. Los datos fueron obtenidos de la base de datos del proyecto CLARIS-LPB (Penalba et al, 2014) y se muestran en la Figura 1. Sólo se utilizaron estaciones con más de 20 años de datos diarios y menos de 10% de datos faltantes en el período 1961-2000.

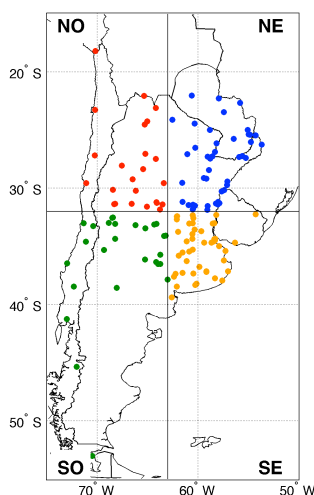


Figura 1: Estaciones y subregiones utilizadas en este trabajo.

A partir de los datos diarios de temperatura mínima y máxima definimos cuatro eventos extremos de temperatura: días cálidos son aquellos en los que la temperatura máxima supera el percentil 90 de la distribución (Tx90), mientras que en los días fríos la temperatura máxima no supera el percentil 10 (Tx10); análogamente, las noches cálidas corresponden a temperaturas mínimas por encima del percentil 90 (Tn90), y noches frías, por debajo del percentil 10 (Tn10). En todos los casos, los valores de los percentiles fueron obtenidos a partir de la distribución empírica de cada día calendario, utilizando una ventana móvil de 5 días centrada en cada día del año, siguiendo la recomendación del *World Meteorological Organization Commission for Climatology/Climate Variability and Predictability/Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (Zhang et al, 2011).

Asimismo, definimos un evento de precipitación intensa (Pr75) como aquel en que la precipitación diaria supera el valor del percentil 75 de la distribución empírica de los días de lluvia (precipitación superior a 0.1mm) en una ventana móvil de 29 días centrada en cada día calendario.

A partir de estos eventos extremos individuales definimos para nuestro estudio cuatro extremos compuestos dados por la ocurrencia de un evento de precipitación intensa en forma simultánea -o desfasada en un día- con uno de los cuatro extremos de temperatura definidos anteriormente. Así, la distribución conjunta de extremos de temperatura y precipitación se puede describir mediante una tabla de contingencia con valores n_{pt} , donde $p=1$ ó 2 dependiendo de si se trata de una precipitación intensa o no respectivamente, $t = 1$ ó 2 dependiendo de si ocurrió un evento extremo de temperatura o no respectivamente, y n es la frecuencia absoluta observada en el período de estudio del extremo compuesto correspondiente. En base a esta información calculamos el porcentaje de días con ocurrencia de ambos extremos (n_{11}) sobre el total de días con un extremo de temperatura ($n_{11}+n_{21}$), es decir, la probabilidad condicional de que ocurra un extremo de precipitación dado que ocurrió un extremo de temperatura. Este análisis se hace para la ocurrencia conjunta (ambos extremos en el mismo

día) o desfasada en un día (ocurrencia de precipitación el día anterior o al día siguiente de la ocurrencia de temperatura) y separando el año en una temporada cálida (octubre a marzo) y una temporada fría (abril a septiembre). En ausencia de una dependencia entre la ocurrencia de un extremo de temperatura y una precipitación intensa, la probabilidad condicional está dada por la probabilidad de que ocurra un evento de precipitación intensa. Dado que el percentil de precipitación se calcula sobre los días de lluvia solamente, la probabilidad de ocurrencia de precipitación intensa es la probabilidad de superar el umbral establecido para definir el evento extremo (25%) por la probabilidad de lluvia en esa época del año y ubicación geográfica.

En todas las figuras que se muestran a continuación, la ocurrencia de eventos extremos compuestos se expresa como un cociente entre el valor observado y el valor esperado, manifestando así la relación directa entre la ocurrencia de los dos tipos de extremos cuando este cociente es mayor que 1 (mayor frecuencia de eventos de precipitación dado un día con extremo de temperatura que lo esperado en ausencia de relación entre los extremos) e inversa cuando este cociente es menor que 1 (menor frecuencia que la esperada). Para evaluar la significancia de la relación obtenida entre los extremos de temperatura y precipitación, se utiliza el test de Chi cuadrado con la corrección de Yates (Wilks, 2011; Yates, 1934, 1984) con un nivel de significancia de 5%.

Con el fin de analizar la circulación asociada a los eventos extremos compuestos, se utilizó una clasificación sinóptica realizada por Barrucand et al. (2014). Dicha clasificación fue elaborada en base a campos medios diarios de altura geopotencial de 500 hPa en la región del sur de Sudamérica (15°S a 60°S y desde 30°O a 90°O) provenientes de los reanálisis II del NCEP (Kanamitsu et al. 2002) para el período de referencia 1979-2008. Los campos de anomalías diarias fueron clasificados en 10 tipos de circulación dominante (CT) en base a un análisis de componentes principales combinado con un análisis de *cluster* utilizando el algoritmo de clasificación *k-means* (Figura 2). Más detalles sobre esta metodología pueden encontrarse en Barrucand et al. (2014). Se analizó entonces qué tipo de CT ocurrió los días en que al menos un 30% de las estaciones de cada subregión fueron afectadas por un extremo compuesto.

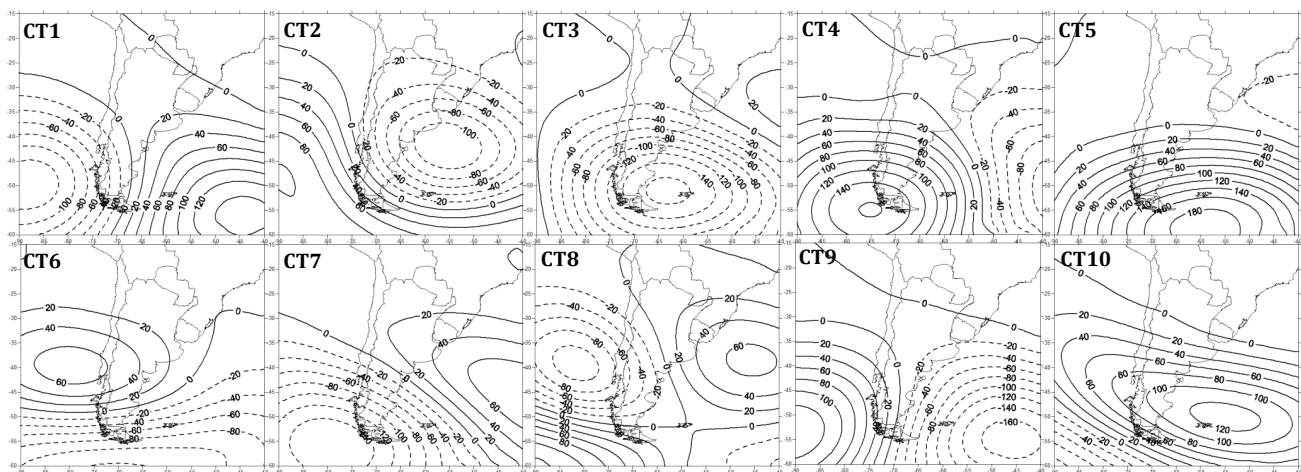


Figura 2. Tipos de circulación (CT). Isolíneas: anomalías de altura geopotencial en 500 hPa en metros. Adaptada de Barrucand et al. (2014).

3) RESULTADOS

3.1) Análisis de la ocurrencia de extremos compuestos

El análisis de la distribución de la ocurrencia simultánea de noches cálidas y precipitación intensa muestra una relación directa en toda la región de estudio, es decir, con mayor frecuencia de ocurrencia de precipitación intensa durante una noche cálida que lo esperado en ausencia de relación entre estos dos tipos de eventos extremos. Esta relación directa resulta significativa en más del 80% de las estaciones durante la temporada cálida y hasta 3 veces el valor esperado en la región SE durante la temporada fría (Figuras 3 y 4, primera fila). Esta relación se mantiene en el caso de que la precipitación ocurra al día siguiente, pero se invierte en las regiones NO, NE y parte de SO, donde menos del 3% de las noches cálidas de verano son precedidas por precipitación intensa.

La ocurrencia de precipitación intensa luego de un día cálido resulta mayor a lo esperado (10% de los días cálidos de la época cálida son seguidos por precipitación intensa en promedio en toda la región), pero rara vez una precipitación intensa precede un día cálido.

La ocurrencia de noches frías previene en general la ocurrencia de eventos de precipitación intensa, mientras que los días fríos rara vez son seguidos de precipitación intensa. Sin embargo, los días fríos son precedidos por precipitación intensa durante la temporada cálida con mayor frecuencia que lo esperado (en promedio 13% de los eventos de Tx10 son precedidos por un evento Pr75), siendo esta relación significativa en más del 80% de las estaciones de la región de estudio.

En resumen, el análisis de la distribución conjunta de los extremos de temperatura y de precipitación muestra que la ocurrencia de uno de estos extremos no es estadísticamente independiente de la ocurrencia del otro. En general, la precipitación intensa tiende a ocurrir con mayor frecuencia que lo esperado el mismo día o al día siguiente de un extremo cálido, con una señal más intensa observada en la época fría en la región SE. Por el contrario, la precipitación intensa se ve inhibida durante una noche fría o al día siguiente de un día frío, pero es mayor a lo esperado el día anterior a un día frío, especialmente en la temporada cálida. Estos resultados son consistentes con el comportamiento de los eventos extremos compuestos en Canadá descritos por Tencer et al (2014) con la misma metodología.

3.2) Análisis de la circulación dominante asociada a los eventos extremos compuestos

Una vez identificados los días en que ocurrió cada uno de los extremos compuestos en cada estación se buscaron los días en que al menos 30% de las estaciones de cada subregión se vieron afectadas por un extremo compuesto en forma simultánea. Para dichos días se analizó cuál fue la circulación asociada predominante.

En la Tabla 1 se muestra el análisis regional de la circulación asociada al evento extremo compuesto por Tn90 y Pr75. Se puede observar que el tipo de circulación asociada a este evento extremo depende de la región en cuestión. En las subregiones NE y SE el tipo de circulación más frecuente es CT8. Dicho patrón presenta una estructura de anomalías de altura geopotencial en 500 hPa negativas en el sector del Océano Pacífico y positivas en el sector del Océano Atlántico (ver Figura 2). Esta disposición de anomalías corresponde a una vaguada ubicada en el Océano Pacífico con un frente frío asociado en superficie, posicionado sobre el continente (no mostrado) responsable de la advección cálida y húmeda en el sector delantero del frente en superficie y de los mecanismos de ascenso forzado para la generación de precipitaciones extremas.

CT	NW	NE	SW	SE
CT1	12.5	2.8	12.5	19.4
CT2	0.0	2.8	0.0	0.0
CT3	12.5	13.9	0.0	3.1
CT4	12.5	2.8	6.3	1.0
CT5	0.0	5.6	12.5	10.2
CT6	0.0	11.1	0.0	3.1
CT7	12.5	16.7	12.5	19.4
CT8	0.0	33.3	25.0	34.7
CT9	25.0	8.3	6.3	2.0
CT10	25.0	2.8	25.0	7.1
N	8	36	16	98

Tabla 1. Frecuencia relativa porcentual de cada tipo de circulación (CT) asociado a Tn90-Pr75 para cada subregión. N: cantidad total de días con el extremo compuesto ocurriendo en al menos 30% de las estaciones de cada subregión en el período 1979-2000.

onda más larga mientras que CT3 presenta un centro de anomalías negativas con centro en el borde sudeste del continente y anomalías positivas en las latitudes subtropicales de ambos océanos. Esta configuración favorece un flujo intensificado del oeste en latitudes medias y del noreste en latitudes subtropicales del sur de Sudamérica, favoreciendo el evento extremo compuesto en la subregión NE.

En la subregión SO, si bien se presentaron una menor cantidad total de eventos extremos compuestos, se puede distinguir la influencia de los patrones que predominan en la subregiones NE y SE a las que se suma la influencia del patrón CT10. La configuración de este patrón presenta un centro de anomalías positivas con eje en dirección NO-SE extendido desde el Océano Pacífico al Océano Atlántico que se asocia a la acción de una cuña con eje en la misma dirección y con un anticiclón en superficie con centro al sudeste de la provincia de Buenos Aires favoreciendo las altas temperaturas en la región SO. La subregión NO presenta muy pocos casos como para concluir un tipo de circulación predominante asociado a las noches cálidas y días con precipitación intensa.

Es interesante destacar que este tipo de eventos extremos no está asociado a determinados patrones de circulación, como es el caso de CT2 que presenta frecuencias nulas o mínimas en todas las subregiones analizadas. Esto es coincidente con lo hallado con Barrucand et al (2014) quienes encontraron que este patrón se encuentra asociado principalmente con los meses fríos y secos en la región centro y noreste de Argentina.

El análisis de la circulación asociada a los días cálidos y con precipitación intensa muestra resultados similares (no mostrado), con una ocurrencia predominante de los patrones CT8 y CT7, especialmente para las subregiones NE y SE, lo cual es congruente con lo encontrado para las noches cálidas y días con precipitación intensa. En tanto que los eventos de días fríos y precipitación intensa en la región SO se encuentran asociados principalmente a los patrones CT4 y CT5, caracterizados por una anomalía positiva de altura geopotencial ubicada al sur del continente generando una circulación anómala con componente este en la región.

En ambas subregiones (NE y SE) el patrón que sigue en importancia es el CT7 que presenta una estructura similar al CT8 pero con un centro de anomalías negativas posicionado hacia el extremo sudoeste del continente sobre el Océano Pacífico y un centro de anomalías positivas sobre el Océano Atlántico, que se extiende hacia el centro del continente induciendo un flujo anómalo del noroeste sobre la región. El CT7 se asocia a una intensificación del anticiclón semipermanente del Atlántico Sur y una perturbación de tipo frontal en la región Patagónica afectando principalmente la subregión SE.

En la subregión SE, el tipo de circulación CT1 también muestra relación con este tipo de eventos, mientras que en la subregión NE es el patrón CT3 el que sigue en orden de importancia. CT1 presenta una configuración de anomalías de altura geopotencial similar a CT8 pero con estructura de

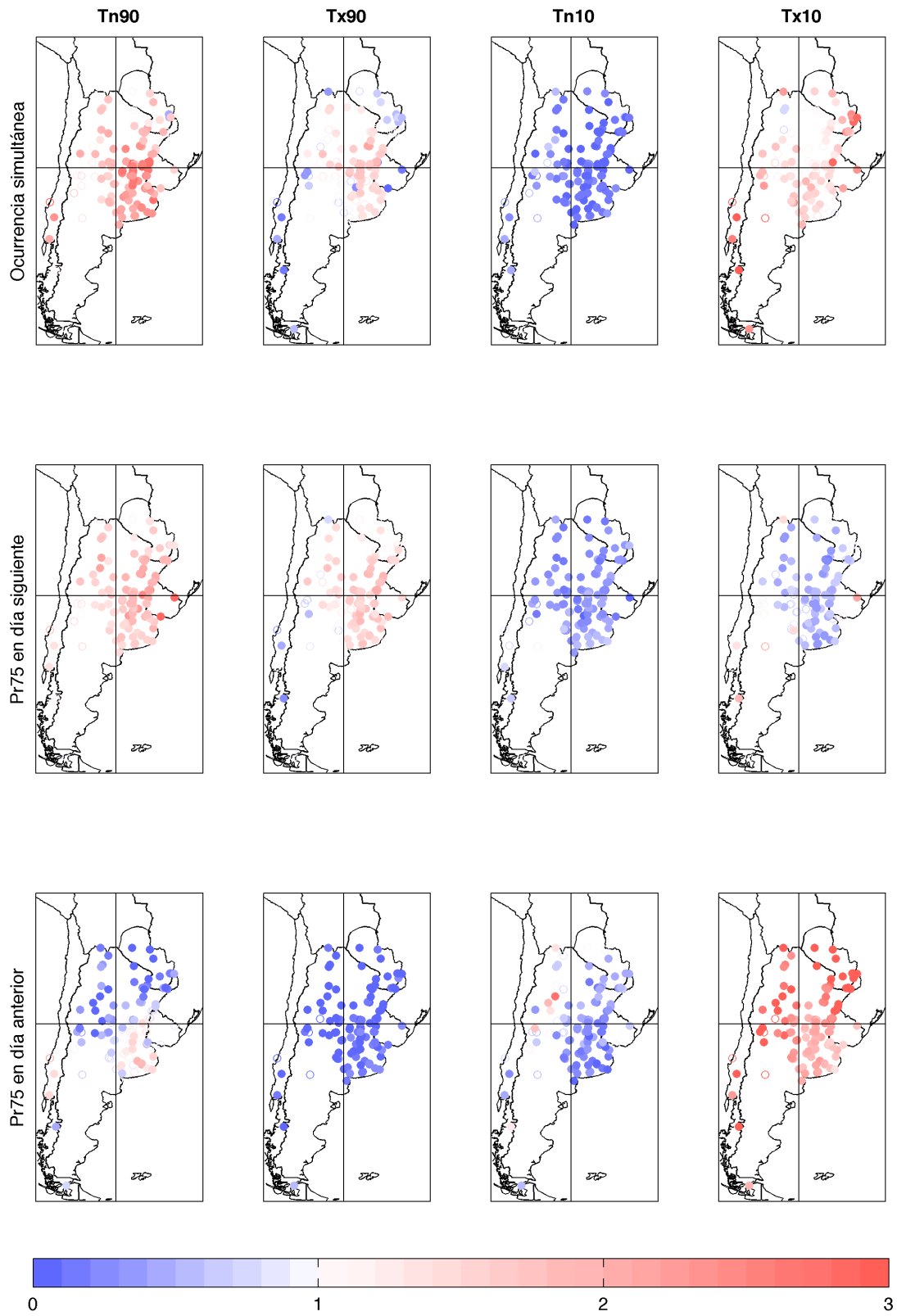


Figura 3. Porcentaje de eventos de precipitación intensa sobre el total de eventos extremos de temperatura para la época cálida (octubre a marzo) expresado en relación al valor esperado (ver texto para más detalles) para los distintos extremos compuestos en ocurrencia simultánea (primera fila), con la precipitación ocurriendo al día siguiente de un extremo de temperatura (segunda fila) o el día anterior (tercera fila). Los símbolos llenos indican una relación significativa al 5%.

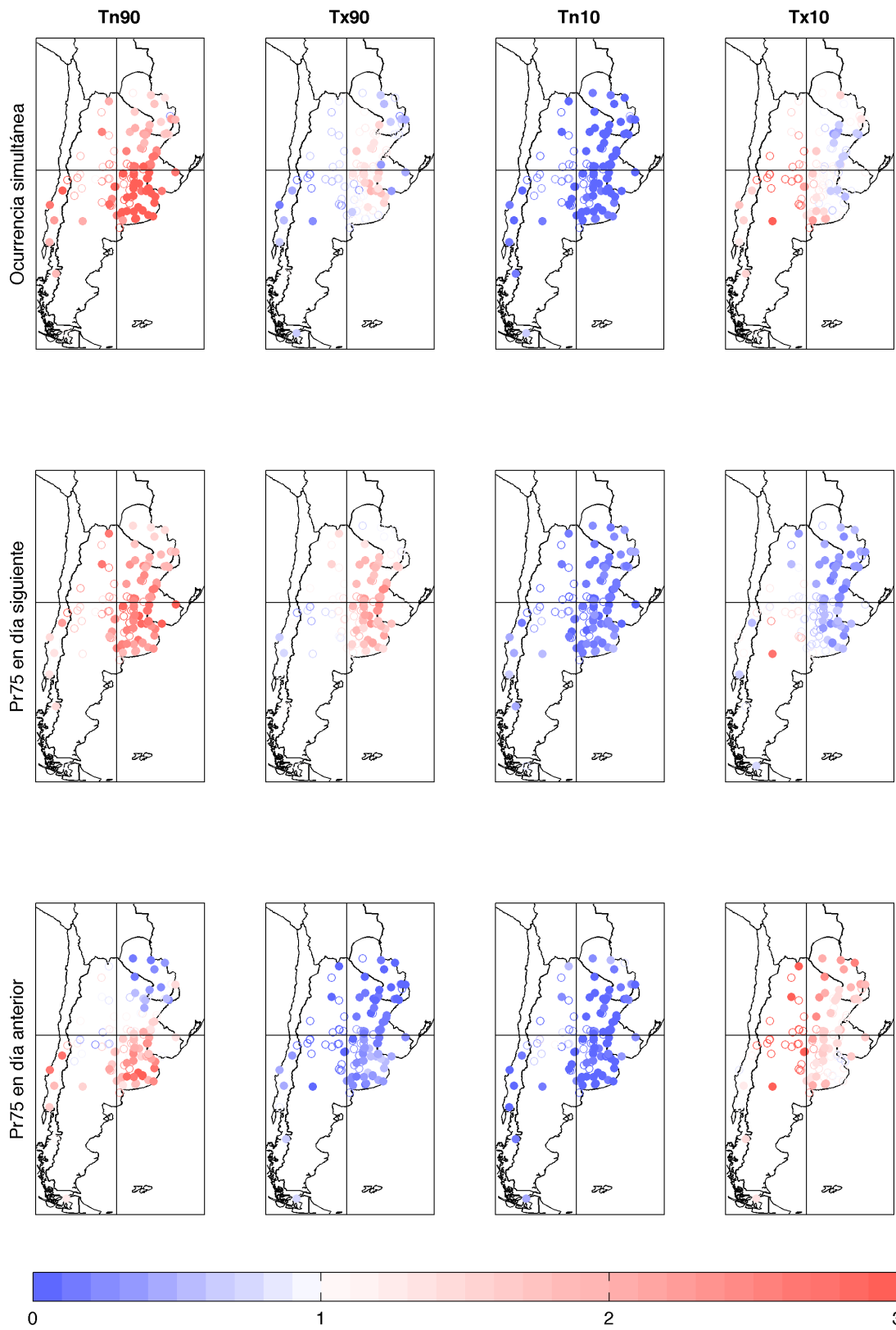


Figura 4. Ídem figura 3 para la época fría (abril a septiembre).

4) CONCLUSIONES

En este trabajo analizamos la ocurrencia conjunta de eventos extremos de temperatura (temperatura por encima del percentil 90 o por debajo del percentil 10) y de precipitación intensa (precipitación superior al percentil 75) en base a datos diarios de precipitación y temperatura mínima y máxima en estaciones meteorológicas del sur de Sudamérica en el período 1961-2000.

Se observó que la ocurrencia de un evento de precipitación intensa no es estadísticamente independiente de la ocurrencia de extremos de temperatura. En general, la ocurrencia de lluvias intensas se relaciona de forma directa con la ocurrencia de noches cálidas en el mismo día o el día anterior, especialmente en la región SE durante la temporada fría. En cuanto a la relación con los extremos fríos, la precipitación intensa es muy poco frecuente durante una noche fría o al día siguiente de un día frío, aunque se observa con mayor frecuencia precediendo un día frío.

El análisis de la circulación asociada a los eventos extremos estudiados revela que los mismos se encuentran favorecidos por distintos patrones sinópticos según la subregión considerada, mostrando la necesidad de sectorizar el análisis para el desarrollo del evento extremo y la circulación que lo domina.

En el este de la región estudiada, la circulación durante la ocurrencia de una noche cálida y un evento de precipitación intensa (Tn90 y Pr75) se caracteriza por una vaguada sobre el Océano Pacífico y un frente frío en superficie sobre el continente, que generan advección cálida y húmeda en el sector delantero del frente, el cual a su vez favorece el ascenso forzado dando lugar así a precipitaciones extremas.

Si bien no fue posible encontrar un patrón único para cada uno de los extremos compuestos estudiados, patrones de circulación como el CT2, asociado a condiciones de sequía en el centro y noreste de Argentina según Barrucand et al (2014), tuvieron frecuencias de ocurrencias mínimas o nulas en casi todos los casos.

Agradecimientos. Los autores agradecen al Dr. Andrew Weaver, y a los proyectos UBA 20020130200142BA, UBA 20020130100263BA y CONICET PIP 0227.

REFERENCIAS

- Barrucand M., W. Vargas, M.L. Bettolli, 2014:** Warm and cold dry months and associated circulation in the humid and semi-humid Argentina region. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **123**, 143-154.
- Bradstock, R.A., J.S. Cohn, A.M. Gill, M. Bedward, C. Lucas, 2009:** Prediction and probability of large fires in the Sydney Region of South-eastern Australia using fire weather. *International Journal of Wildland Fire*, **18**, 932-943.
- IPCC, 2012:** *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- Jiang, Y., B. Huang, 2000:** Effects of Drought or Heat Stress Alone and in Combination on Kentucky Bluegrass. *Crop. Sci.*, **40**, 1358-1362.
- Kanamitsu, M., W. Ebisuzaki, J. Woollen, S.-K. Yang, J. J. Hnilo, M. Fiorino, and G. L. Potter, 2002:** NCEP-DEO AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **83**, 1631-1643
- Madden R.A., J. Williams, 1978:** The correlation between temperature and precipitation in the United States and Europe. *Mon. Weather Rev.*, **106**, 142-147.

- Penalba O.C., J.A. Rivera, V.C. Pántano, 2014:** The CLARIS LPB database: constructing a long-term daily hydro-meteorological dataset for La Plata Basin, Southern South America. *Geoscience Data Journal*. doi: 10.1002/gdj3.7
- Rusticucci M., O.C. Penalba, 2000:** Interdecadal changes in the precipitation seasonal cycle over Southern South America and their relationship with surface temperature. *Clim. Res.*, **16**, 1-15.
- Tencer B., A. Weaver, F. Zwiers, 2014:** Joint occurrence of daily temperature and precipitation extreme events over Canada. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **53**, 2148-2162.
- Trenberth K.E., D.J. Shea, 2005:** Relationships between precipitation and surface temperature. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L14703, doi:10.1029/2005GL022760.
- Trenberth K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden, P. Zhai, 2007:** Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Wilks, D. S., 2011:** *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press, 676 pp.
- Yates, F., 1934:** Contingency tables involving small numbers and the χ^2 test. *Supplement to the J. Roy. Stat. Soc.*, **1** (Suppl.), 217–235. [Available online at <http://www.jstor.org/stable/2983604>.]
- —, **1984:** Tests of significance for 232 contingency tables. *J. Roy. Stat. Soc.*, **147A**, 426–463, doi:10.2307/2981577.
- Zhang, X., L. V. Alexander, G. C. Hegerl, P. Jones, A. M. G. Klein Tank, T. C. Peterson, B. Trewin, and F. W. Zwiers, 2011:** Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *Wiley Interdiscip. Rev.: Climate Change*, **2**, 851–870, doi:10.1002/wcc.147.
- Zhao W., M. Khalil, 1993:** The relationship between precipitation and temperature over the contiguous United States. *J Climate*, **6**, 1232–1236.