

PATRONES DE CIRCULACIÓN ATMÓSFERICA Y SU RELACIÓN CON LA TEMPERATURA GLOBAL

Moira E. Doyle^{1,2}, Vicente R. Barros^{1,2}
doyle@cima.fcen.uba.ar

¹Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera CONICET/UBA - UMIIFAECI

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

RESUMEN

Este trabajo describe los patrones de circulación predominantes en el campo de altura geopotencial en el nivel de 925hPa durante el semestre cálido (Oct-Mar) y frío (Abr-Sep). El período considerado es entre 1960 y 2009 abarcando el sur del continente sudamericano y los océanos adyacentes. Los resultados muestran que las primeras cinco componentes se mantienen a lo largo del año siendo las dos primeras las que explican el mayor porcentaje de varianza. La varianza explicada por las 6 componentes es algo mayor en el período cálido, si bien en ambos casos explican más del 90%. Se encontró que la primera componente principal ha disminuido su frecuencia y si bien la segunda ha aumentado, no es lo suficiente para compensar el cambio en la primera. Por último se intentó encontrar una relación entre la circulación y la temperatura global anual. Si bien las correlaciones muestran valores significativos, lo son recién para la cuarta componente.

ABSTRACT

This work describes the main circulation patterns of the 925hPa geopotential height fields during de warm (Oct-Mar) and cold (Apr-Sep) semesters. The period analyzed is between 1960 and 2010 and the region covers most of southern South America and the adjacent oceans. Results show that the first five principal components are present in the same order both during winter and summer semesters with the first two explaining the highest variance percentage. During summer the 6 components explain more variance than in winter though in both cases it is above 90%. It is shown that the frequency of the first component has decreased in summer and winter and though the second has a positive trend the increase is not enough to compensate the negative trend in the first component. Finally the relationship between the increase of annual global temperature and the circulation trends is explored. Though there are significant correlations they only appear in the fourth component.

Palabras clave: circulación atmosférica, temperatura global, tendencias.

1) INTRODUCCIÓN

Utilizando isotopos de oxígeno 18 Barros y otros (2002) mostraron que el origen del agua que da lugar a precipitaciones sobre la Argentina tiene distintos orígenes. En el oeste de Argentina y al norte de 40°S el agua tiene su origen Atlántico, mientras que el agua de la precipitación en el NE de Argentina tiene un origen sobre el continente en la región selvática. Asimismo, Barros y otros (2008) estudiaron la relación entre las tendencias de la precipitación y la variabilidad interanual de la circulación atmosférica en capas sobre el sur de Sudamérica utilizando los campos de presión a nivel del mar sobre Sudamérica y el océano Atlántico. Encontraron que el modo que advecta humedad desde el océano Atlántico sobre la mayor parte de la Argentina y Uruguay se incrementó durante el período 1960-1999 a expensas de un debilitamiento del patrón que favorece el flujo desde la selva tropical sobre el este del continente. Dado el origen del agua de las precipitaciones, los autores solo consideraron el flujo sobre el continente y sobre el océano Atlántico y no analizaron los patrones sobre el océano Pacífico. Sin embargo encuentran que un alto porcentaje de la varianza de la precipitación en la región esta

explicado por el fenómeno del ENSO en el océano Pacífico como han mostrado y discutido muchos autores (Ropelewski y Halpert 1987; Aceituno 1988; Rao y Hada 1990).

A diferencia de Barros y otros (2008) en este trabajo se analizan los patrones de circulación a través de los campos de altura geopotencial en 925hPa y considerando una región continental de América del Sur e incluyendo parte de los océanos Atlántico y Pacífico circundantes, con el objetivo de ver si los mismos se han modificado entre 1960 y 2009 y si es posible que los posibles cambios en los mismos estén relacionados con el aumento en la temperatura global.

2) DATOS Y METODOLOGIA

Los campos de altura geopotencial en el nivel de 925hPa utilizados para estudiar los patrones de circulación fueron elaborados por el 40-Year Reanalysis Project (Kalnay y otros, 1996) del National Centers for Environmental Prediction-National Center for Atmospheric Research (NCEP-NCAR). Se utilizaron datos medios mensuales para la región comprendida entre 10°- 45°S y 100° - 20°O del periodo 1960-2009. Los datos se encuentran en un reticulado de 2.5° x 2.5°.

Se aplicó la metodología de componentes principales a los campos mensuales separados en dos períodos del año: período frío (Abril a Septiembre) y período cálido (Octubre a Marzo). El modo utilizado en el análisis es el modo T. Los valores mensuales de los factor loadings, tanto para el período cálido como para el frío, fueron promediados para obtener un valor por año en cada caso.

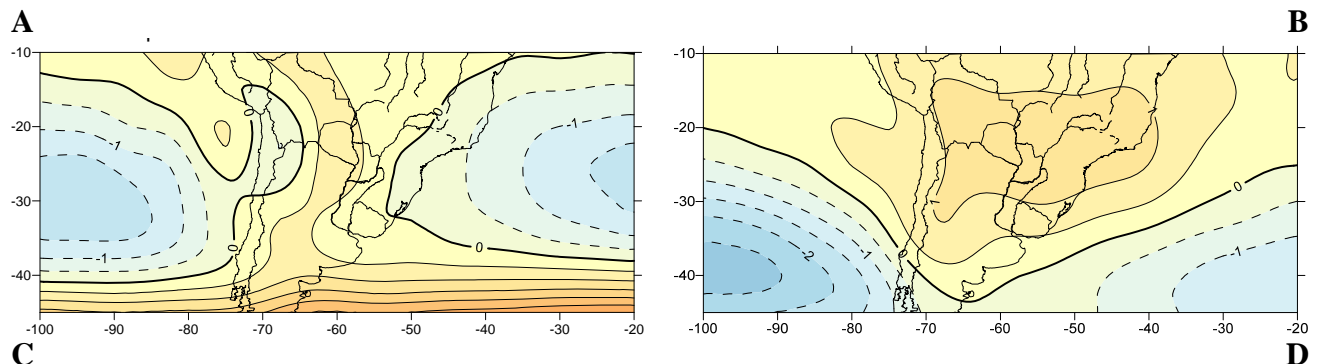
La serie temporal de anomalías de temperatura global del período 1960-2009 provienen del conjunto de datos Global Mean Land/Ocean Temperature Index de NASA/GISS (Hansen y otros 1999)

3) RESULTADOS

3.1 Patrones de circulación

3.1.1 Período Frío

La figura 1 presenta las 6 primeras componentes principales del campo de altura geopotencial en 925hPa que predominan durante la época invernal en el sur de Sudamérica. La primer componente representa el campo medio de circulación, donde se destacan las circulaciones anticiclónicas que gobiernan los océanos en latitudes medias, estando centrado el centro de alta presión del Atlántico levemente más al norte que el del Pacífico. Al sur de esta circulación se observa un fuerte gradiente que da lugar a los vientos intensos del oeste en esta región. Este patrón explica la mayor varianza de la circulación en este nivel, más del 70% según la Tabla I.



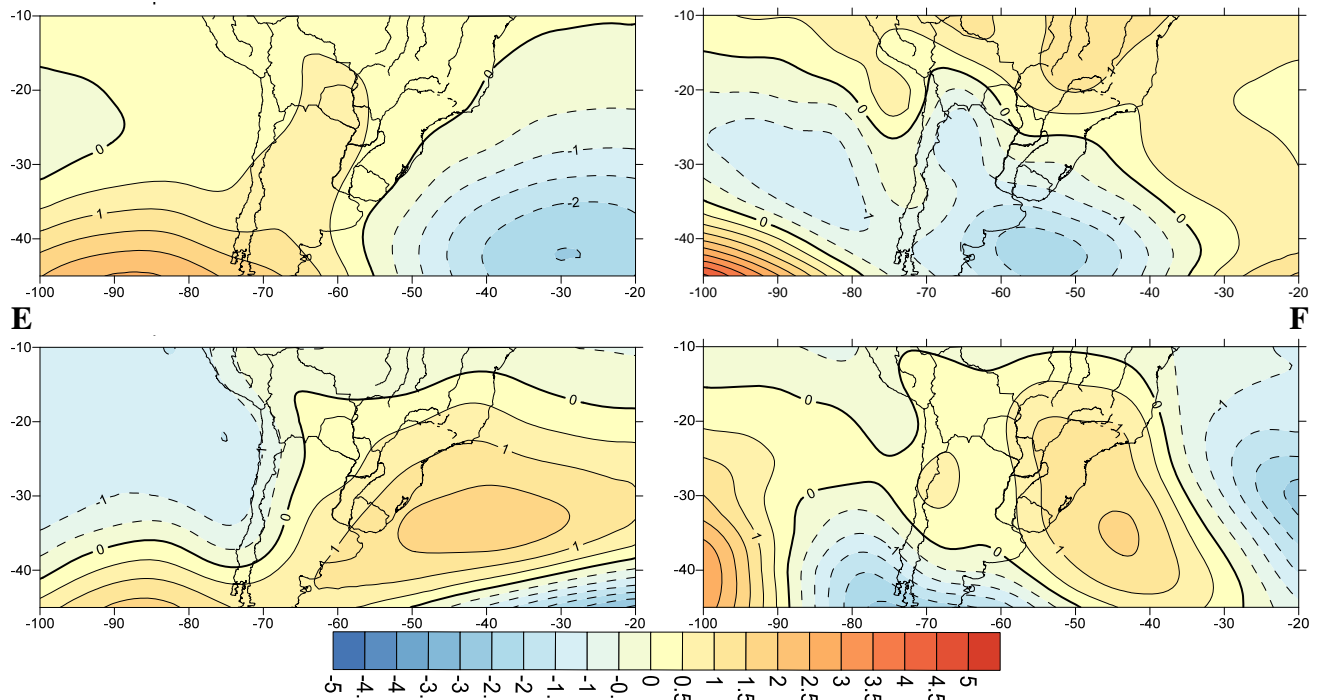


FIGURA 1. Patrones de circulación del período frío del campo de altura geopotencial en el nivel de 925hPa dados por las 6 primeras componentes principales: a) CP1, b) CP2, c) CP3, d) CP4, e) CP5 y f) CP6

TABLA I. Varianza explicada por las 6 primeras componentes principales del campo de altura geopotencial en 925hPa en el período frío

COMPONENTE PRINCIPAL	VARIANZA EXPLICADA (%)
1	71.23
2	14.39
3	5.22
4	2.68
5	1.67
6	1.15
TOTAL	96.34

La segunda componente principal (fig. 1b) muestra las circulaciones anticiclónicas desplazadas hacia el sur, haciendo desaparecer los vientos del oeste en la región analizada, mientras que la zona central del continente es ocupada por una circulación ciclónica. Esta es la segunda componente más frecuente que explica algo más del 14% de la varianza (Tabla I). En la tercer componente la circulación anticiclónica del Pacífico se debilita alejándose del mientras que la circulación anticiclónica del Atlántico se ve desplazada hacia el SE. Esto da lugar a que se forme un centro de baja presión sobre el continente abarcando gran parte de la Argentina. El patrón de la cuarta componente presenta un gradiente muy intenso en el SO de la región de estudio, sobre el océano Pacífico que viene empujando a los anticiclones formados sobre los océanos y que tienen a unirse sobre la Argentina generando una zona continental de altas presiones (Figura 1d). Estas cuatro primeras componentes suman más del 93% de la varianza, mientras que al tomar 6 componentes se supera el 96%. Las componentes 5 y 6 (figura 1 e y f) muestran patrones más complejos pero cada vez menos frecuentes en la circulación atmosférica.

3.1.2 Período Cálido

Durante la época estival la primera componente principal (figura 2a) sigue describiendo un patrón de campo medio muy similar al de los meses del período frío, explicando en este caso más varianza ya que supera el 76%. En la segunda componente el anticiclón del Atlántico es desplazado hacia el SE prácticamente desapareciendo de la región de estudio lo que permite que la circulación ciclónica que durante el período frío predominaba sobre el continente, durante esta época del año se vea más expandida abarcando parte del océano Atlántico. Debido a que la primera componente del período cálido explica mayor porcentaje de la varianza, y siendo que el porcentaje explicado por las 6 primeras componentes es similar durante las dos épocas del año, se evidencia una disminución de la varianza explicada por las 5 componentes restantes (Tabla II) durante el período cálido con respecto al frío. El patrón de la tercera componente es muy similar al descrito para el período frío con la diferencia que la circulación ciclónica se encuentra más desplazada hacia el sur, permitiendo que se siga observando la circulación anticiclónica en el Pacífico aunque más debilitada. La cuarta y quinta componente (figura 2 d y e) presentan patrones similares a los del período frío (figura 1 d y e) pero con signo opuesto mientras que el patrón de la sexta componente (figura 2f) no aparece dentro de los principales patrones del período frío.

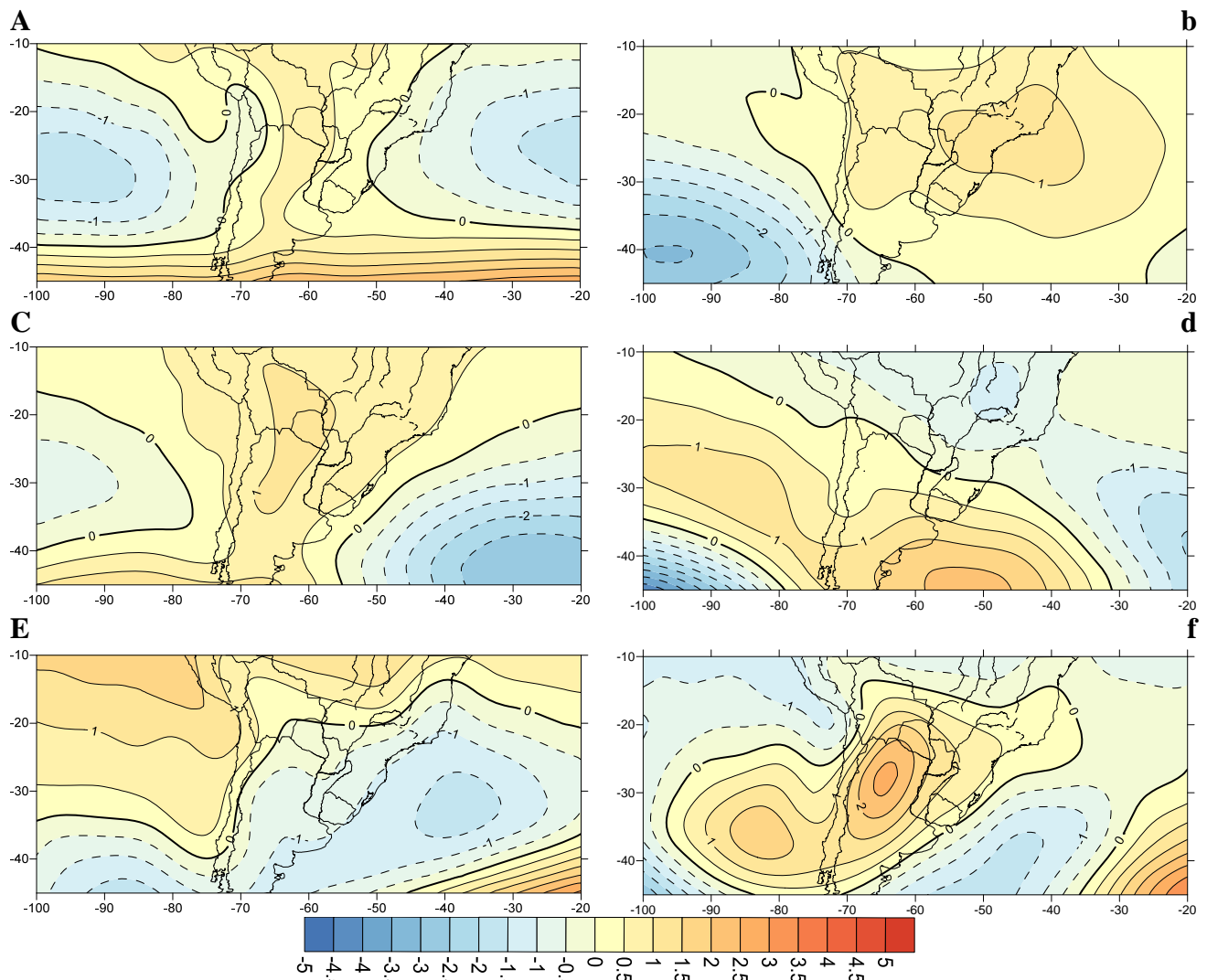


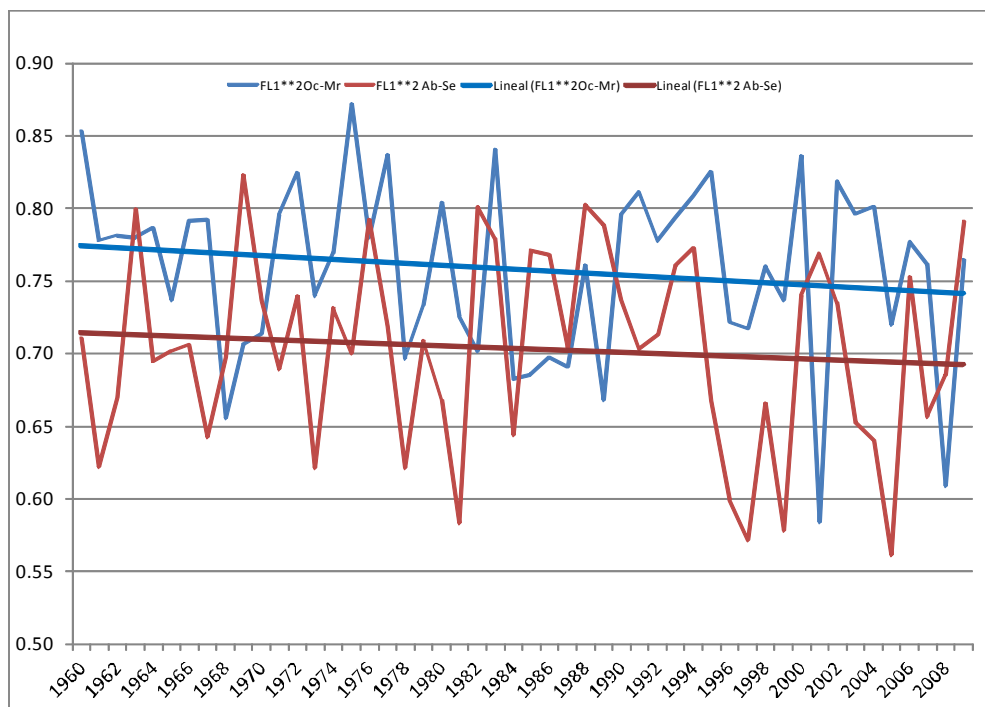
FIGURA 2. Patrones de circulación del *período cálido* del campo de altura geopotencial en el nivel de 925hPa dados por las 6 primeras componentes principales: a) CP1, b) CP2, c) CP3, d) CP4, e) CP5 y f) CP6

TABLA II. Varianza explicada por las 6 primeras componentes principales del campo de altura geopotencial en 925hPa en el período cálido

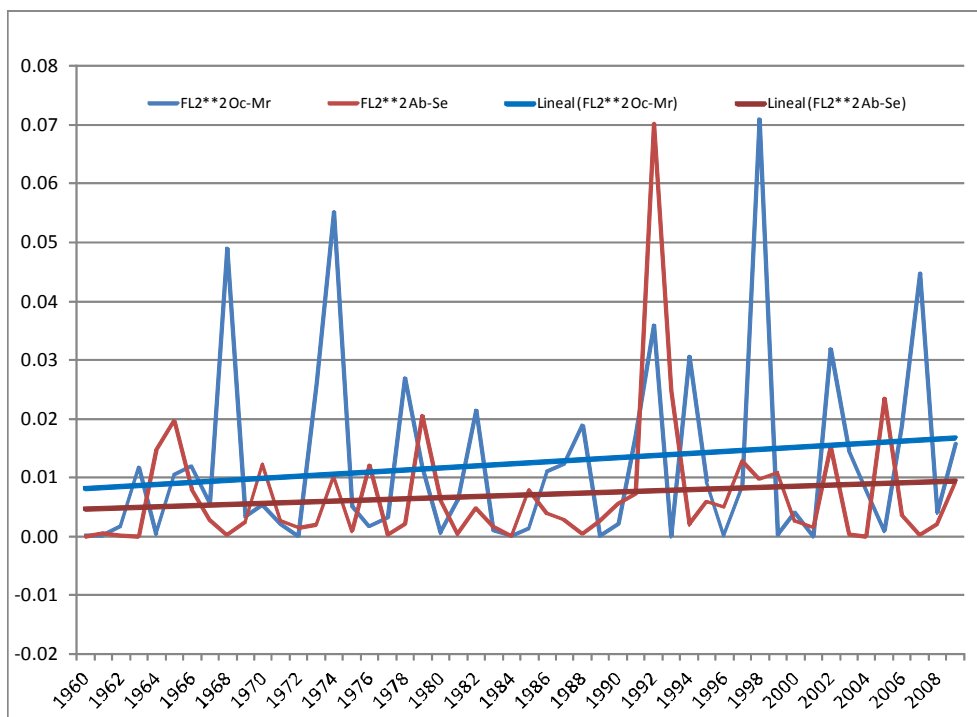
COMPONENTE PRINCIPAL	VARIANZA EXPLICADA (%)
1	76.32
2	11.81
3	4.36
4	2.32
5	1.36
6	0.72
TOTAL	96.89

3.1.3 Variación temporal de los patrones

En la figura 3 se presentan los factor loadings 1 y 2 al cuadrado correspondientes a las CPs de la altura geopotencial en 925hPa, para el semestre cálido y frío. El factor loading 1 al cuadrado presenta una tendencia negativa, tanto durante el período frío como el cálido (figura 3a). Por su parte, la figura 3b indica que el segundo patrón de circulación ha ido aumentando en importancia, haciéndose más frecuente principalmente durante el semestre cálido. Sin embargo el aumento de la varianza explicada por la segunda componente es mucho menor que lo encontrado por Barros y otros (2008). Es decir que el cambio en la primera componente no solo esta compensada por el aumento en la segunda sino que involucra patrones de ordenes mayores.



A



B

FIGURA 3. Factor loadings al cuadrado (varianza explicada) de la primera (a) y segunda (b) componentes principales del semestre cálido (azul) y frío (rojo)

3.2 Temperatura Global

De acuerdo con el índice de temperatura de NASA/GISS la temperatura global anual entre 1960 y el 2010 se ha incrementado aproximadamente en 0.6°C . Para ver si este aumento esta asociado a la modificación observada en la circulación se correlacionaron los factor loadings de las componentes principales, tanto del período cálido como del frío, con las anomalías de temperatura globales, como así también con los promedios móviles de la temperatura. De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla III, para los meses del período cálido, y para los del período frío (Tabla IV) se ve que el patrón que parece estar más influenciado por este cambio es el cuarto tanto en el período cálido como en el período frío, siendo mayor en este último que en el primero.

Tabla III. Correlación entre la Temperatura Global y sus promedios móviles con los factor loadings de la época estival. Correlación significativo al 95% en rojo y al 90% en azul. Las significancias fueron calculadas aplicando el test t-student

OC-MR	FL1	FL2	FL3	FL4	FL5	FL6
Tglobal	0.088	-0.037	0.054	0.311	-0.121	0.332
Movil 2	0.112	0.011	0.068	0.356	-0.133	0.389
Movil 3	0.138	0.069	0.064	0.329	-0.124	0.385
Movil 4	0.109	0.048	0.084	0.298	-0.137	0.387
Movil 5	0.136	0.098	0.043	0.327	-0.204	0.374
Movil 6	0.037	0.079	0.079	0.258	-0.213	0.361

Tabla IV. Correlación entre la Temperatura Global y sus promedios móviles con los factor loadings de la época invernal. Correlación significativo al 95% en rojo y al 90% en azul
Las significancias fueron calculadas aplicando el test t-student

AB-SE	FL1	FL2	FL3	FL4	FL5	FL6
Tglobal	0.193	-0.070	0.140	-0.593	-0.288	0.026
Movil 2	0.209	-0.022	0.061	-0.580	-0.254	0.028
Movil 3	0.173	-0.003	0.058	-0.555	-0.232	-0.011
Movil 4	0.182	0.019	0.047	-0.546	-0.256	0.007
Movil 5	0.248	0.074	0.035	-0.548	-0.252	-0.072
Movil 6	0.241	0.061	0.043	-0.546	-0.243	-0.056

4) CONCLUSIONES

En este trabajo se analiza la circulación sobre Sudamérica y los océanos Atlántico y Pacífico en el nivel de 925hPa considerando el campo de altura geopotencial durante el período cálido (Octubre-Marzo) y el frío (Abril-Septiembre). Los tres primeros patrones de circulación determinados mediante el análisis de componentes muestran comportamientos similares durante las estaciones fría y cálida. Asimismo, focalizando solamente sobre la circulación en el océano Atlántico de las dos primeras componentes los resultados para la altura geopotencial en 925hPa muestran el mismo patrón que Barros y otros (2008) analizan en el campo de presión a nivel del mar y que encontraron que esta relacionado con las tendencias en la precipitación estival de la región. Al analizar la varianza explicada dada por los factor loadings al cuadrado de la presión a nivel del mar, Barros y otros (2008) mostraron que la primera componente de la época estival se había hecho menos frecuente durante la segunda mitad del siglo pasado, mientras que la segunda componente había aumentado, particularmente después de 1980. En este trabajo también se observa que ha disminuido la varianza explicada por la primera componente dada por una tendencia negativa, tanto durante el período frío como el cálido. Sin embargo el aumento de la varianza explicada por la segunda componente es mucho menor que lo encontrado por Barros y otros (2008). Es decir que el cambio en la primera componente no solo esta compensada por el aumento en la segunda sino que involucra patrones de ordenes mayores.

Si bien los cambios en la circulación están afectando los patrones de circulación esta relación se ve debilitada al considerar no solo la circulación del Atlántico sino también la del Pacífico. Por otro lado el aumento en la temperatura global esta teniendo un impacto sobre la precipitación, pero este no es tan evidente al correlacionar la temperatura con los patrones de circulación, ya que los factor loadings de las primeras componentes no presentan una correlación significativa con la serie de temperatura global.

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo fue financiado por los proyectos UBACYT 2014-17 y CONICET PIP 2013-2015.

REFERENCIAS

- Aceituno, P., 1988:** On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface Climate. *Monthly Weather Review*, 116, 505–524.
- Barros, V., Doyle, M., González, M., Camilloni, I., Bejarán, R. y Caffera, R. M., 2002:** Revision of the South American monsoon system and climate in subtropical South America south of 20° S. *Meteorológica*, 27, 33–57.
- Barros, V. R., Doyle, M. E., y Camilloni, I. A., 2008:** Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation. *Theoretical and Applied Climatology*, 93, 19–33.

Hansen, J., Ruedy, R., Glascoe, J., y Sato, M., 1999. GISS analysis of surface temperature change. *Journal of Geophysical Research*, 104, 30997-31022.

Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, Collins W, Deaven D, Gandin L, Iredell M, Sha S, White G, Woollen J, Zhu Y, Chelliah M, Ebisuzaki W, Higgins W, Janowiak J, Mo KC, Ropelewski C, Wang J, Leetmaa A, Reynolds R, Jenne R, Joseph D., 1996: The NCEP-NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society* 77, 437–471.

Rao, V. B. y Hada, K., 1990: Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with the Southern Oscillation. *Theoretical and Applied Climatology*, 42, 81–91.

Ropelewski, C. H. y Halpert, M. S., 1987: Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 115, 1606–1626.