

ARTÍCULO

CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ARGENTINA: CAMPOS DE PRESIÓN EN LA SUPERFICIE

*Dra Moira Evelina Doyle Dunne
Jefe de Trabajos Prácticos
doyle@cima.fcen.uba.ar*

CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ARGENTINA: CAMPOS DE PRESIÓN EN LA SUPERFICIE

Resumen en Español

El análisis de los campos medios de presión a nivel del mar (PNM) de los modelos representan adecuadamente las condiciones medias en comparación con las observaciones tomadas de los reanálisis de NCEP. Las principales características de estos campos, tanto en el semestre cálido como en el frío, concuerdan con la realidad. La variabilidad de los campos de presión fue estudiada aplicando el método de componentes principales a los campos mensuales de PNM de los semestres cálido y frío de las salidas de los modelos Echam5 y HadGEM1. Durante el semestre cálido se encuentra que los 3 principales modos de variabilidad obtenidos de los reanálisis, identificados como patrón **A**, **B** y **C**, se corresponden fuertemente con los obtenidos al aplicar el análisis de componentes principales a los modelos. Estos patrones son, en cierta medida, responsables de la generación de precipitaciones sobre Argentina al norte de 40° S. Resultados de los campos de presión de los modelos para el escenario A2 del período 2020-2040 son consistentes con los hallados durante 1960-1999.

Palabras clave: Argentina, Echam5, HadGEM1, presión a nivel del mar, variabilidad

CLIMATIC CHANGE IN ARGENTINA: SEA LEVEL PRESSURE FIELDS

Abstract

The analysis of sea level pressure mean fields of models Echam5 and HadGEM1 represent the mean circulation features as depicted by NCEP reanalysis, considered as observations. The variability of sea level pressure fields was studied applying a Principal Component Analysis to monthly mean sea level pressure fields of the warm (october – march) and cold (april-september) semestres of Echam5 y HadGEM1 model runs and NCEP/NCAR reanalysis data. During the warm semester 3 principal modes are found and identified as patterns **A**, **B** y **C** both in the observations and in both models. These patterns, are upto certain point, responsible for precipitation in subtropical argentina. Results of scenario A2 for period 2020-2040 are consistent with those found for the 1960-1999 period.

Keywords: Argentina, Echam5, HadGEM1, sea level pressure, variability

INICIO

El avance tecnológico ha permitido el desarrollo de complejos modelos numéricos que simulan el sistema climático permitiendo analizar las interacciones entre los distintos componentes del sistema y las posibles consecuencias debidas a modificaciones dentro del mismo. Por otro lado es posible hacer inferencias, a través de estos modelos, sobre la evolución del sistema climático en el futuro bajo distintos tipos de escenarios. Para poder inferir que validez tendrán estos resultados sobre escenarios futuros es necesario en primer lugar validar la respuesta de los modelos a la realidad observada en el presente.

Existen tres modos de variabilidad principales en los patrones de circulación a nivel del mar más frecuentemente observados y que influyen sobre la precipitación en las distintas regiones del país. Estos modos se mantienen a lo largo del año pero varía la frecuencia de ocurrencia de los mismos. A su vez estas circulaciones, si bien persisten durante las distintas estaciones, no siempre son las condiciones necesarias para generar precipitaciones.

Esta relación hallada entre los modos de variabilidad y las zonas de precipitación puede utilizarse como un elemento de verificación cualitativa de las proyecciones de los modelos climáticos utilizados para analizar escenarios futuros, y de esta forma intentar reducir la incertidumbre mencionada. En este sentido se propone verificar si los modelos climáticos reproducen adecuadamente los modos de variabilidad observados en el campo de presión a nivel del mar sobre la Argentina.

Di Luca y otros (2006) evaluaron la habilidad de un conjunto de un conjunto de modelos climáticos globales para representar los patrones de presión a nivel del mar (PNM) sobre una extensa región del hemisferio sur, extendiéndose sobre el océano Pacífico, Sudamérica y el océano Atlántico. Encontraron que todos los modelos representan adecuadamente los campos de PNM durante la mayor parte del año. Los que mejor lo hicieron fueron UKMO_HadGEM1 (Johns y otros, 2004), UKMO_HadCM3 (Gordon y otros, 2000), ECHAM5/MPI-OM (Roeckner y otros, 1996), IPSL-CM4 (Marti y otros, 2005) y CNRM-CM3 (Salas-Mélia y otros, 2005). Todos los modelos presentan los mismos tres patrones dominantes y muestran un incremento del modo dominante durante los meses de verano a expensas de una disminución del modo de invierno.

Dados los resultados mencionados es de interés ver en particular como responden estos modelos principalmente sobre la Argentina y en las regiones circundantes al país donde se establecen las circulaciones que más influyen los patrones de precipitación. En este sentido se seleccionaron dos modelos: el ECHAM5/MPI-OM y el UKMO_HadGEM1, los cuales se compararán a nivel semestral contra los datos provistos por los reanálisis del NCEP/NCAR y se obtendrán coeficientes para ajustar las salidas de los modelos con respecto a la realidad. Estos coeficientes permitirán a su vez corregir las salidas de los modelos para escenarios futuros ajustando cualitativamente los resultados obtenidos por los mismos en los campos de precipitación.

Campos medios de presión

Las características principales de los patrones de circulación sobre la Argentina son: al norte de 40°S la circulación en superficie sobre el sur de Sudamérica está dominada por el Océano Atlántico (figura 1a). En la región centro-oeste de la Argentina y sur de Bolivia prevalece un sistema de baja presión durante gran parte del tiempo (Baja del NOA). Este sistema tiene origen en la interacción entre la Cordillera de los Andes, los vientos del oeste en altura y el calentamiento de la superficie (Seluchi y otros, 2003). Al sur de 40°S los intensos y persistentes vientos del oeste son perturbados por sistemas sinópticos de latitudes medias que ocasionalmente generan una circulación del este sobre el continente.

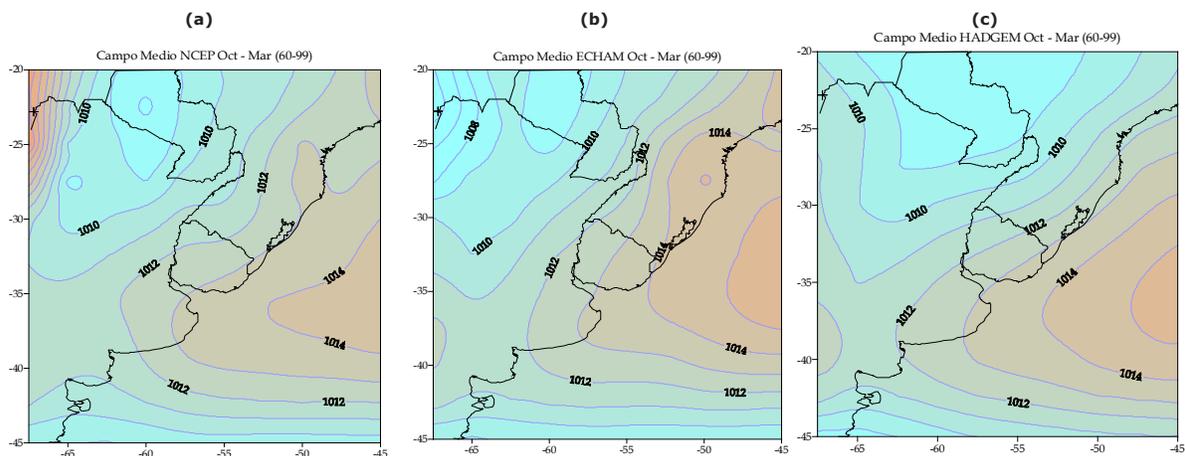


Figura 1: Campos medios de presión a nivel del mar del Semestre Cálido (octubre - marzo) a) Reanálisis de Ncep b) Modelo Echam5 y c) Modelo HadGEM1.

Hay diferencias entre la circulación de los meses de verano y la de invierno como se puede observar en los campos medios de presión a nivel del mar para los semestres cálido (octubre a marzo) (figura 1) y frío (abril a setiembre) (figura 2). La baja del NOA y el anticiclón del Atlántico sur están posicionados más hacia el sur durante los meses de primavera – verano, el primero más intensificado por el mayor calentamiento mientras que el segundo se encuentra más debilitado y retirado hacia el centro del océano. Por otra parte, durante el verano, el flujo del oeste está restringido a mayores latitudes reflejando que las irrupciones de los sistemas polares sean menos frecuentes al norte de 40° S.

Durante el semestre cálido tanto el modelo Echam5 (figura 1b) como el HadGEM1 (figura 1c) representan las características principales de la circulación observadas en los reanálisis. El centro de baja presión del noroeste argentino está mejor desarrollado en el modelo Echam que en el HadGEM1. Por otra parte ambos modelos intensifican el centro de alta presión sobre el océano Atlántico y lo acercan más a la costa que lo que se observa en los datos de los reanálisis.

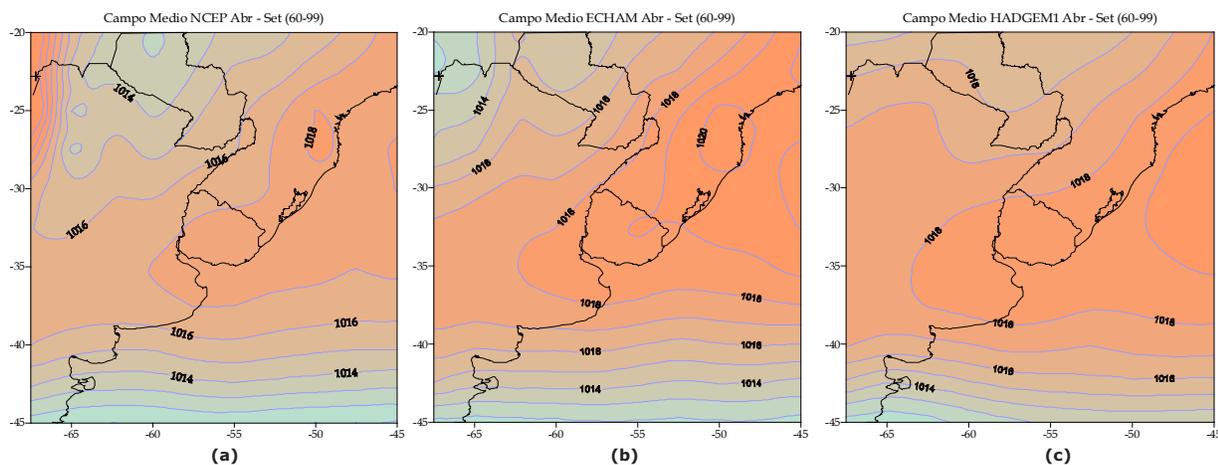


Figura 2: Campos medios de presión a nivel del mar del Semestre Frío (abril - setiembre) a) Reanálisis del Ncep b) Modelo Echam5 y c) Modelo HadGEM1.

Durante el semestre de invierno nuevamente el anticiclón del océano Atlántico es sobreestimado por ambos modelos (figura 2 c y d) en comparación con las observaciones (figura 2a). El sistema de baja presión del noroeste argentino esta mejor representado por el modelo Echam5 (figura 2b), mientras que en el modelo HadGEM1 se ve insinuado, pero sin llegar a marcar bien la disminución de la presión ni la formación de un centro cerrado. La circulación de vientos zonales en el sur de la región esta bien representada por ambos modelos.

Variabilidad de Campos de Presión

Para analizar la variabilidad a nivel mensual del campo de PNM se aplicó un análisis de componentes principales a las matrices de correlación correspondientes a los semestres cálido y frío. Este análisis se aplicó tanto a las observaciones (NCEP) como a los campos obtenidos de los modelos Echam5 y HadGEM1. La figura 3 muestra las tres primeras componentes halladas en cada caso.

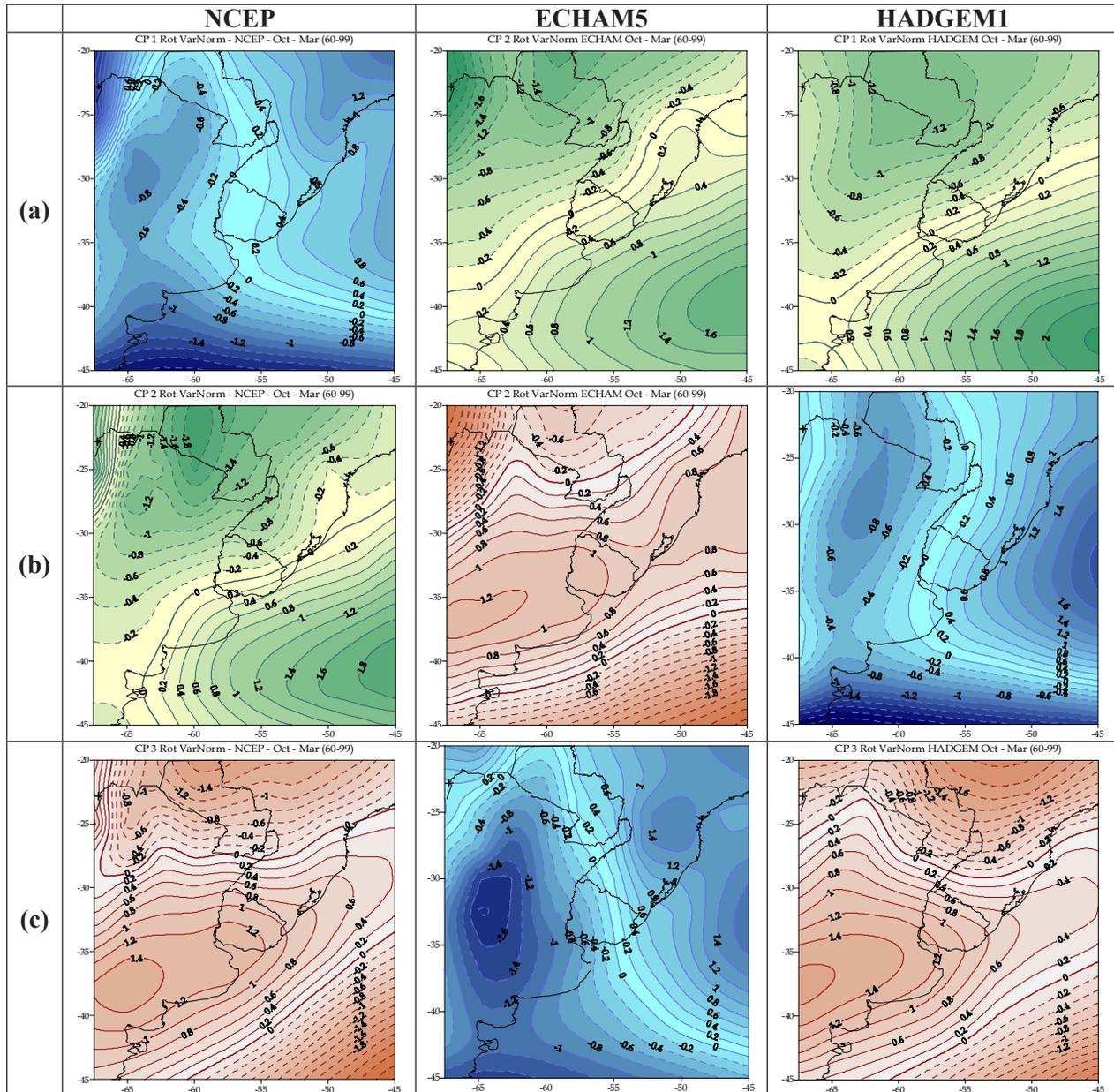


Figura 3: Modos de variabilidad mensual del campo de presión a nivel del mar obtenidos a partir de un análisis de CP correspondientes al semestre cálido para los reanálisis de NCEP y los modelos Echam5 y HadGEM1. a) Primera Componente Principal (CP 1) b) Segunda Componente Principal (CP 2) y c) Tercera Componente Principal (CP 3). (AL FINAL DEL ARTICULO)

Se observa que el análisis detecta tres modos de variabilidad principales que se repiten en los datos y en los modelos, aunque no siempre conservando el orden. Denominaremos estos patrones con las letras **A**, **B** y **C**. Asignaremos la letra **A** al patrón que en la figura aparece en color azul, **B** al que esta representado en color verde y **C** al patrón en color marrón.

El patrón **A** corresponde a la intensificación tanto de la circulación del anticiclón del Atlántico sur sobre el este del continente y el mar como del sistema de baja presión del NO argentino; por otro lado se observa al sur de 40° S una intensa circulación del oeste. Esta circulación asociada al primer modo de variabilidad favorece el ingreso de aire cálido y húmedo de la foresta tropical (Wang y Paegle, 1996). En el caso de los reanálisis el patrón **A** esta dado por la CP 1. Ambos modelos representan bien este patrón aunque con algunas diferencias. En el caso del modelo Echam5 (figura 3c, medio), el patrón **A** aparece recién en la tercera componente principal. En este caso la zona de baja presión es más intensa que en la realidad y que en el modelo HadGEM1, y a su vez está más desplazada hacia el sur. La segunda componente principal del model HadGEM1 es la que representa el modo de variabilidad dado por el patrón **A** (figura 3b, derecha). El patrón muestra que el anticiclón del Atlántico en el modelo HadGEM1 ingresa más sobre el continente desviando la circulación proveniente de la floresta tropical. La circulación de los oestes esta un poco sobrestimada por el modelo HadGEM1 y subestimada por el Echam5.

El patrón **B** corresponde a casos donde el sistema de alta presión del Océano Atlántico esta desplazado hacia el sur favoreciendo la entrada de aire húmedo desde el océano al continente. En el caso de los datos de NCEP este patrón está asociado a la segunda componente principal. Este patrón **B** aparece en ambos modelos como primera CP, es decir el modo más frecuente. De los dos modelos el Echam5 es el que mejor representa si bien ambos centros, el de alta y baja presión, están un poco subestimados. El modelo HadGEM1 intensifica la circulación anticiclónica sobre el océano, pero no llega a desarrollar bien el centro de baja presión en el norte de la región. Esto hace que el gradiente de presión sobre el continente sea menor en este caso, aunque en la zona costera alcanza una magnitud considerable.

El tercer patrón de variabilidad, llamado **C** es la tercera componente principal de las observaciones. Corresponde a los casos donde la circulación anticiclónica domina la región continental entre 30° y 40° S. Este patrón se asemeja al campo de presión que se observa luego del pasaje de sistemas frontales fríos sobre Uruguay y la Argentina. Los dos modelos representan el patrón **C** correctamente pero con algunas diferencias con respecto al obtenido de los datos NCEP. Este modo de variabilidad en el modelo Echam5 esta dado por la CP 2 mientras que en el HadGEM1 aparece como tercera componente principal. En ambos modelos el centro del anticiclón del Atlántico está más desplazado hacia el sur ubicándose al sur de los 37.5° S. A su vez la extensión del centro del área de alta presión es considerablemente mayor en los modelos con respecto a las observaciones. Por otro lado el centro de baja presión ubicado en el norte de la región es más intenso en los modelos, particularmente en el HadGEM1, el cual, a su vez, está más desplazado hacia el océano Atlántico que en la realidad.

Tanto en las observaciones como en los modelos, estos 3 patrones de variabilidad representan más del 90% de la varianza del campo de presión a nivel del mar, como se observa de la Tabla 1. De allí que solamente se analizarán estas 3 componentes.

Tabla 1: Porcentaje de Varianza explicada Semestre Cálido

	NCEP	ECHAM5	HADGEM1
CP 1	0.44	0.36	0.45
CP 2	0.36	0.33	0.34
CP 3	0.13	0.26	0.15
TOTAL	0.93	0.94	0.94

La tabla 2 muestra las correlaciones entre los componentes principales del modelo Echam5 y HadGEM1 con las obtenidas de los reanálisis para el semestre cálido. Los valores indicados en rojo son las correlaciones más altas y corresponden a las componentes que hemos identificado como patrones **A**, **B** y **C**. Se puede observar que lo que las observaciones (NCEP) detectan como un modo de variabilidad no siempre tiene la misma importancia en los patrones de variabilidad resultantes de los modelos.

Tabla 2: Correlación entre CPs de NCEP y las CPs de los Modelos ECHAM5 y HADGEM1. Semestre Cálido

		NCEP		
		CP 1 (Patrón A)	CP 2 (Patrón B)	CP 3 (Patrón C)
ECHAM5	CP 1	-0.31	0.73	0.01
	CP 2	-0.14	0.38	0.70
	CP 3	0.83	-0.08	-0.32
HADGEM1	CP 1	-0.29	0.91	-0.15
	CP 2	0.83	0.15	0.12
	CP 3	-0.26	0.02	0.88

Durante el semestre cálido hay una alta y significativa correlación entre las componentes principales obtenidas de los reanálisis con las de los modelos. En el caso del modelo HadGEM, las correlaciones son mayores que en el del modelo Echam5. La primera componente principal siempre es la que explica el mayor porcentaje de varianza, el modo de variabilidad más frecuentemente hallado en los campos de presión. El primer modo obtenido por los datos de los reanálisis, es decir el patrón **A**, se encuentra bien representado por ambos modelos, pero en ninguno de los dos es el modo que explica el mayor porcentaje de varianza. En el caso del Echam5 el patrón **A** esta dado por la tercera componente principal, mientras que en el modelo HadGEM1 se encuentra en la segunda CP. Al mirar las correlaciones entre la segunda componente principal de NCEP, patrón **B**, con los distintos modos de los modelos, vemos que en ambos casos este modo esta dado por la CP 1. El tercer modo de variabilidad de NCEP, patrón **C**, esta representado por la CP2 en el caso de Echam5 y por la tercera en el modelo HadGEM1.

Las series temporales (Factor Loadings) que acompañan a las componentes principales muestran que la frecuencia del primer patrón, según los reanálisis, ha ido decreciendo en los últimos años aumentando la frecuencia del segundo modo. Este segundo modo de variabilidad que detectan los datos de los reanálisis, en los modelos Echam5 y HadGEM1 corresponde al modo que explica el mayor porcentaje de varianza en esta época del año (Tabla 1).
Escenario socio-económico A2 (2020-40)

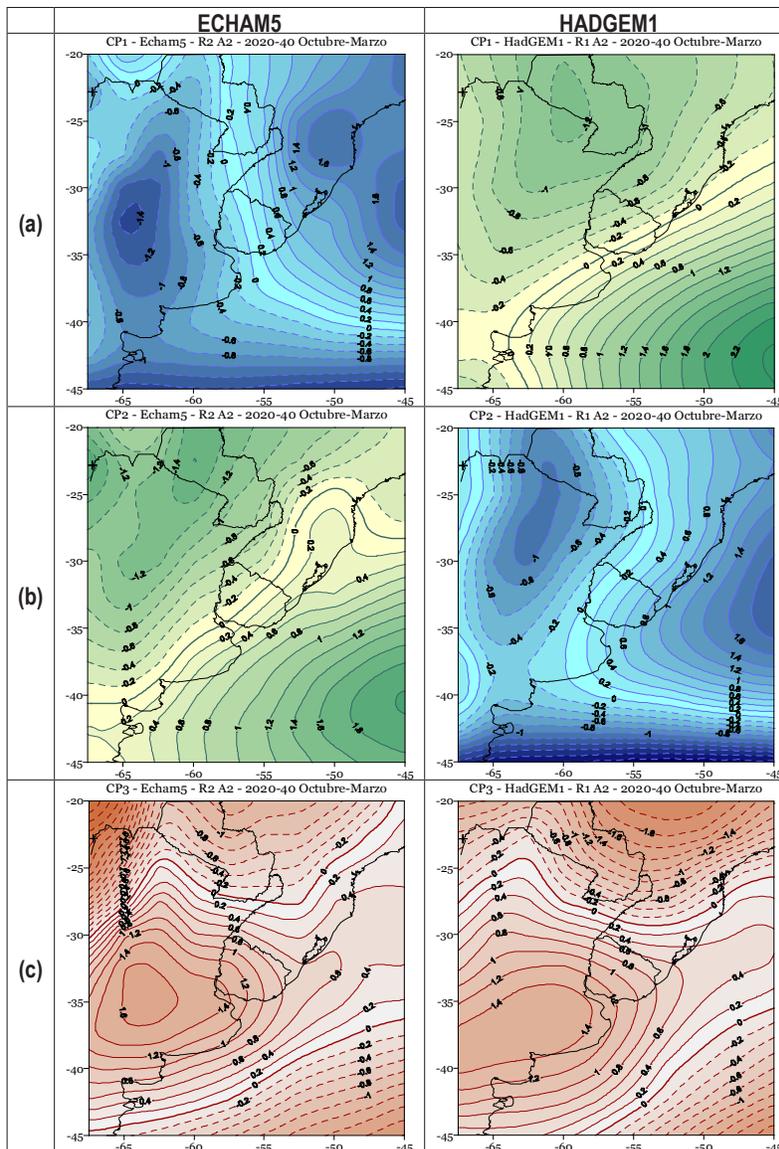


Figura 4: Modos de variabilidad mensual del campo de presión a nivel del mar obtenidos a partir de un análisis de componentes principales correspondientes al semestre cálido para el escenario A2 2020-2040. a) Primera Componente Principal (CP 1) b) Segunda Componente Principal (CP 2) y c) Tercera Componente Principal (CP 3)

Para analizar la variabilidad a nivel mensual del campo de PNM correspondiente al escenario socio-económico A2 se aplicó un análisis de componentes principales a las matrices de correlación correspondientes a los semestres cálido y frío del período 2020-2040. Este análisis se aplicó a los campos obtenidos de los modelos Echam5 y HadGEM1 para estudiar si los patrones de variabilidad obtenidos durante el período 1960-1999 se mantienen en el futuro y cuál es la preponderancia de los mismos. La figura 4 muestra las tres primeras componentes halladas en cada caso.

Se observa que el análisis detecta tres modos de variabilidad principales que se repiten en los modelos, aunque no siempre conservando el orden. Estos corresponden a los patrones **A**, **B** y **C**. Estos tres patrones representan, en ambos modelos, más del 90% de la varianza de los campos de presión a nivel del mar (Tabla 3).

En el caso del modelo HadGEM1 se observa que se repiten los mismos patrones en el escenario futuro, conservando incluso el orden de importancia. El porcentaje de varianza explicado por cada patrón (Tabla 3) se mantiene en valores semejantes a los del período actual. El orden de los patrones hallados para el modelo Echam5 es totalmente distinto al hallado para el período 1960-99. El patrón más frecuente y que explica mayor porcentaje de varianza en el escenario futuro era el menos frecuente en el período actual.

Tabla 3: Porcentaje de Varianza explicada Semestre Cálido

	ECHAM5	HADGEM1
CP 1	0.39	0.43
CP 2	0.31	0.34
CP 3	0.25	0.17
TOTAL	0.95	0.94

CONCLUSIONES

El análisis de los campos medios de PNM indica que los modelos representan adecuadamente las condiciones medias en comparación con las observaciones tomadas de los reanálisis de NCEP. Las principales características de estos campos, tanto en el semestre cálido como en el frío, concuerdan con la realidad.

A través de un análisis de componentes principales aplicado a los campos mensuales de PNM de los semestres cálido y frío tanto a los reanálisis como a las salidas de los modelos Echam5 y HadGEM1 se estudió la variabilidad de los campos de presión. Durante el semestre cálido se encuentra que los 3 principales modos de variabilidad obtenidos de los reanálisis, identificados como patrón **A**, **B** y **C**, se corresponden fuertemente con los obtenidos al aplicar el análisis de componentes principales a los modelos. Es de notar que si bien los patrones se corresponden, no siguen el mismo orden en cada caso, es decir que en los modelos los patrones no explican siempre el mismo porcentaje de varianza. El patrón **A**, que identificado con la CP1 en los reanálisis, en los modelos aparece en segundo lugar en el caso de HadGEM1 y en tercero en el caso de Echam5. El patrón B, dado por la segunda componente principal de NCEP, es en ambos modelos la componente que mayor porcentaje de varianza explica. Esta componente principal en el caso de los reanálisis es la que ha ido creciendo en importancia en los últimos años a expensas de la primera componente, indicando un cambio en la circulación de superficie.

El análisis realizado para el semestre frío no muestra resultados consistentes como los hallados para el semestre cálido. Los patrones obtenidos por los modelos no se corresponden en su totalidad con los que surgen del análisis aplicado a los datos de NCEP. Consecuentemente es difícil obtener factores de corrección para estos modelos en base a esta metodología.

El análisis de componentes principales de la presión a nivel del mar para el escenario socio económico A2 en el período 2020-2040 de los modelos Echam5 y HadGEM1 señala los mismos patrones de variabilidad que los observados en el período actual, si bien se observan en algunos casos modificaciones en la varianza explicada por los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

DiLuca A., I. Camilloni y V. Barros, 2006: *Sea-level pressure patterns in South America and the adjacent oceans in the IPCC-AR4 models*. 8th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. Foz do Iguazu, Brasil. 24 – 28 de Abril 2006. CDRom.

Gordon, C., C. Cooper, C. A. Senior, H. Banks, J. M. Gregory, T. C. Johns, J. F. B. Mitchell, and R. A. Wood, 2000: *The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transport in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments*. *Climate Dynamics*, **16**, 147-168.

Johns, T., C. Durman, H. Banks, M. Roberts, A. McLaren, J. Ridley, C. Senior, K. Williams, A. Jones, A. Keen, G. Rickard, S. Cusack, M. Joshi, M. Ringer, B. Dong, H. Spencer, R. Hill, J. Gregory, A. Pardaens, J. Lowe, A. Bodas-Salcedo, S. Stark, Y. Searl, 2004: *HadGEM1 - Model description and analysis of preliminary experiments for the IPCC Fourth Assessment Report*. Hadley Centre Technical Note **55**, Hadley Centre, Met Office Fitzroy Road, Exeter, UK.

Marti O, P. Braconnot, J. Bellier, R. Benshila, S. Bony, P. Brockmann, P. Cadulle, A. Caubel, S. Denvil, J.L. Dufresne, L. Fairhead, M.-A. Filiberti, T. Fichet, P. Friedlingstein, J.-Y. Grandpeix, F. Hourdin, G. Krinner, C. L'evy, I. Musat, C. Talandier, 2005: *The new IPSL climate system model: IPSL-CM4*. Institut Pierre Simon Laplace des Sciences de l'Environnement Global. <http://dods.ipsl.jussieu.fr/omamce/IPSLCM4/DocIPSLCM4/FILES/DocIPSLCM4.pdf>

Roeckner, E. et al., 1996: *The atmospheric general circulation model ECHAM-4: Model description and simulation of present-day climate*. Report **218**, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg.

Salas-Mélia, D., F. Chauvin, M. Déqué, H. Douville, J.F. Gueremy, P. Marquet, S. Planton, J.F. Royer and S. Tyteca, 2005: *Description and validation of the CNRM-CM3 global coupled model*. Enviado a *Climate Dynamics*. http://www.cnrn.meteo.fr/scenario2004/references_eng.html

Seluchi, M., Saulo, C.A., Nicolini, M. and P. Satyamurti, 2003: *The Northwestern Argentinean Low: a study of two typical events*. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 2361-2378.

Wang, M., and J. Paegle, 1996: *Impact of analysis uncertainty upon regional atmospheric moisture flux*. *J. Geophys. Res.*, **101**, 7291– 7303.