

**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E
HIDROLOGÍA DEL PERU - SENAMHI**

DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA

DIRECCIÓN DE METEOROLOGÍA APLICADA

**Estudio: DETERMINACION DE TIPOS DE TIEMPO EN
ESCENARIOS CLIMATICOS**

Por:

Alan Llacza ⁽¹⁾

¹ Centro de Predicción Numérica – CPN del SENAMHI



ÍNDICE DE MATERIAS

- I. Introducción.
- II. Objetivos.
- III. Metodología e información.
 - 3.1. Conceptos previos.
 - 3.2. Área de estudio.
 - 3.3. Datos utilizados.
 - 3.4. Metodología
- IV. Resultados
 - 4.1. Consideraciones para el análisis de los datos.
 - 4.2. Análisis de CPs de ERA-40 en 2 periodos.
 - 4.3. Construcción de los CPs para el Reanálisis ERA-40.
 - 4.4. Construcción de los CPs para los modelos del AR4 y AR5.
 - 4.5. Comparación de los modelos.
 - Correlación espacial.
 - Transición y persistencia.
 - Tendencia de los CPs.
- V. Conclusiones y recomendaciones.

Referencias

DETERMINACION DE TIPOS DE TIEMPO EN ESCENARIOS CLIMATICOS

Análisis de la variabilidad diaria en verano e invierno sobre Perú

Bach. Alan LLACZA

I. INTRODUCCION.

El estudio de la variabilidad climática y el cambio climático en el Perú, es una fuente importante de conocimiento, que nos permite inferir posibles cambios en la precipitación, temperatura superficial y otras variables, y como estos pueden afectar en sectores como la industria, la agricultura, y hasta la forma de cómo percibimos la vida cotidiana. Además esta información sirve como base para poder medir los efectos sobre la economía (Vargas 2009), y plantear mecanismos de mitigación o adaptación (MINAM 2010).

Los trabajos realizados sobre cambio climático para el área de Perú, consideran un análisis a escala mensual de variables como precipitación y temperatura. Para obtener una confiabilidad en los resultados de los modelos de escenarios climáticos del IPCC se realiza primero una evaluación de ellos para un periodo, denominado Control en el cual se valida con información observada o con Reanálisis, y concluir que modelos representan mejor las condiciones climáticas de Sudamérica y Perú (Vera 2006, SENAMHI 2005).

Estudios complementarios analizando la variación a escala intra-estacional y diaria de precipitación y temperatura para eventos extremos se han realizado. Sin embargo, los modelos tienden a representar mejor variables dinámicas como vientos, que variables de superficie como precipitación, entonces un estudio de la configuración de vientos a nivel diaria ayudaría a conocer y explicar la presencia de eventos extremos y a la vez validar a escala diaria un modelo del IPCC.

Por tanto en este estudio analizamos la variabilidad diaria en las estaciones de verano e invierno, mediante la metodología de Tipos de Tiempo, la cual permite encontrar un grupo mínimo de días posibles con los cuales podemos clasificar a los días de 38 años iniciando en marzo de 1961.

Hay pocos trabajos utilizando esta metodología sobre la región de Sudamérica y Perú. Gutiérrez 2005, aplico esta metodología para analizar campos atmosféricos sobre la costa norte de Perú, Espinoza 2011, obtuvo patrones de circulación para la cuenca amazónica e investigo su relación con las precipitaciones. Por otro lado, Bettolli et al 2010, realizo estudios sobre patrones de circulación sobre la zona sur de Sudamérica y su relación con las precipitaciones y la producción agrícola.

Por otro lado metodología puede ser aplicado a otras áreas de estudio como Hidrología, Calidad de aire, etc. (Demuzere 2008, Liu 2011).

II. OBJETIVOS.

2.1. Objetivo general

Determinación de Tipos de Tiempo en modelos de Escenario de Cambio Climático (IPCC) y análisis de la variabilidad diaria para verano e invierno austral, en el periodo de 1961 a 1999.

2.2. Objetivo específicos:

- Determinación de Patrones de Circulación y Tipos de Tiempo para Perú con ERA-40.
- Evaluación de la circulación atmosférica sobre Perú de 3 modelos del IPCC.
- Evaluación de una nueva herramienta para el análisis de variabilidad diaria.



III. METODOLOGIA E INFORMACION

En los últimos años se han desarrollado diversos métodos para la identificación de Tipos de Tiempo, estos están basados en distintas técnicas de agrupamiento como:

- a) Mapas auto-organizados.
- b) Clasificación ascendente jerárquica
- c) Método de agrupación K-means.
- d) Análisis de componentes principales, entre otros.

Para el presente estudio utilizo una metodología compuesta desarrollada en Gueye et al. 2010, Espinoza et al 2011 y Ley et al. 2011.

3.1. Conceptos previos.

Para el presente trabajo se utilizamos las siguientes definiciones o conceptos:

- a) **Configuración atmosférica:** Distribución espacial de una variable atmosférica en un tiempo específico (día) y un nivel específico de la atmósfera (nivel del mar y 850 hPa).
- b) **Patrón o Tipo de circulación** (Circulation pattern o Circulation regimes - CP): Es la representación de la distribución espacial de un grupo de Configuraciones atmosféricas con cierta similitud, como Presión a nivel del mar o las Componentes Zonal y Meridional del viento, etc. Este CP es completamente independiente de condiciones meteorológicas de superficie, [Philipp et al. 2009].
- c) **Tipo de tiempo** (Weather type - WT): Es la representación de la distribución espacial de un grupo de Configuraciones atmosféricas de distintas variables atmosféricas, en las cuales se incluyen variables de la dinámica de la circulación (ej. Patrones de presión) y condiciones meteorológicas de superficie (ej. Temperatura y humedad), [Philipp et al. 2009].
- d) **Modelo de Escenarios Climáticos** (MEC): Es la representación del clima presente y futuro en un Modelo de Circulación General en el cual se ha incluido los Escenarios de Emisión utilizados por el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2007.

3.2. Área de estudio.

Para poder definir el área de estudio se tuvieron presentes 3 consideraciones:

- El área de la Cuenca Amazónica estudiada por Espinoza et al 2011.
- La ubicación promedio de los centros del Anticiclón del pacífico sur en verano: 33 ° S y 93 ° W, e invierno: 27 ° S y 95 ° W a 100° W. (Satyamurty, 1998. CAF 2000).
- El área mínima en la cual se puedan encontrar manifestaciones de los procesos atmosféricos que tienen influencia directa sobre las condiciones atmosféricas sobre el territorio peruano. (Saavedra 2011).

La siguiente grafica representa la región seleccionada para el presente estudio (rectángulo rojo):

Latitud: 40° S - 10° N
Longitud: 100° W - 50° W

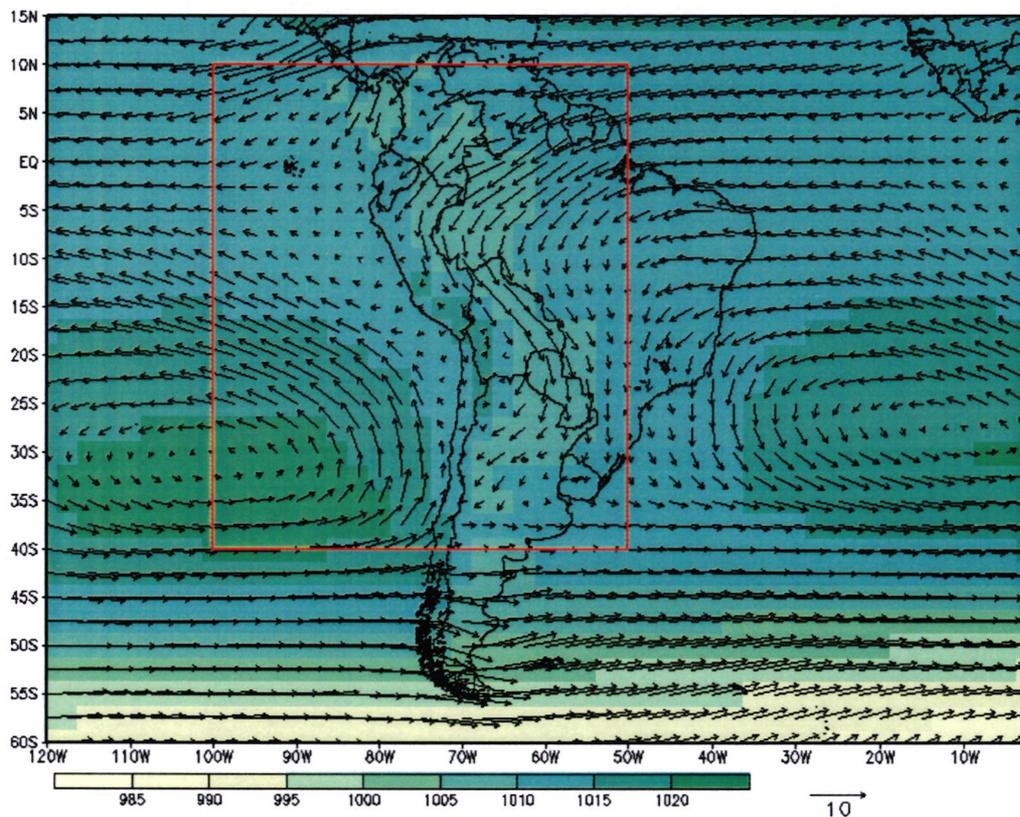


Fig.1. Presión a nivel del mar (hPa), en colores y viento a 850 hPa en vectores (m/s) para el área de estudio (rectángulo rojo), para el periodo de verano de 1961 a 1999.

3.3. Datos utilizados.

El estudio considero datos de 4 variables meteorológicas:

- Presión a nivel del mar (SLP).
- Componente zonal del viento a 850 hPa (UA).
- Componente meridional del viento a 850 hPa (VA).
- Precipitación (PREC).

Las fuentes de los datos fueron el Reanálisis ERA-40 (ECMWF) y 3 MEC utilizados en el cuarto (AR4) y quinto (AR5) reporte de cambio climático del IPCC, que pertenecen a las siguientes Instituciones:

- ECMWF: European Centre for Medium-Range.
- CCCma: Canadian Center for Climate Modelling and Analysis. Canadá.
- CNRM: Centre National de Recherches Meteorologiques. Francia.
- MPI-M: Max-Planck-Institute for Meteorology. Alemania.

Modelo	Institución	Resolución	Periodo	Área	Días por año
ERA-40	ECMWF	2.5° x 2.5° L60	1960 – 2001	Latitud: 60° S – 15° N Longitud: 120° W – 0° W	Gregoriano
CGCM3	CCCma [a]	T42 (2.8° x 2.8°) L31	1961 – 2000		365 días
CM3	CNRM [a]	T42 (2.8° x 2.8°) L45	1961 – 2000		Gregoriano
ECHAM5	MPI-M [a]	T63 (1.9° x 1.9°) L31	1961 – 2000		Gregoriano
CanESM2	CCCma [b]	T42 (2.8° x 2.8°) L	1961 – 2000		365 días
CM5	CNRM [b]	T85 (1.4° x 1.4°) L	1961 – 1999		Gregoriano
ESM	MPI-M [b]	T63 (1.9° x 1.9°) L	1961 – 2000		Gregoriano

Tabla 1. Especificaciones de los MEC y Reanálisis utilizados. [a] representa a los modelos del AR4 y [b] a los del AR5. Gregoriano significa que los modelos consideran años bisiestos.

A continuación colocamos las direcciones de descarga de los datos:

- Reanalysis ERA-40: http://data-portal.ecmwf.int/data/d/era40_daily/
- Modelos del AR4: <https://esg.llnl.gov:8443/home/publicHomePage.do>
- Modelos del AR5: <http://ipcc-ar5.dkrz.de/home.htm>

3.4. Metodología.

Para la obtención de los Patrones de circulación y Tipos de tiempo en el estudio se siguieron los siguientes pasos:

a) Preparación de los datos:

Descarga de datos y selección de las variables y niveles verticales para el periodo de 01 enero 1961 al 31 de diciembre de 1999.

b) Interpolación espacial de los datos.

Debido a que los modelos (Tabla1), tienen distinta resolución espacial, mediante la interpolación bilinear se uniformizo a 2.5°x2.5°.

c) Obtención de los Patrones de Circulación

Para la generación de los Patrones de circulación (CPs) y Tipos de Tiempo (WTs), se utilizaron programas desarrollados por Espinoza et al 2011, en la cual se considera 2 técnicas estadísticas de agrupamiento:

- Mapas Auto organizados (Self Organization Maps – SOM, Kohonen 2001): Algoritmo de agrupación no supervisado que permite disminuir la dimensionalidad de unos datos sin perder información, teniendo como salida la proyección de los datos originales sobre una matriz cuadrada de 2 dimensiones (Carta de Kohonen), siendo cada elemento de la matriz una neurona que representa el promedio de todas las configuraciones atmosféricas de un grupo.
- Clasificación ascendente jerárquica (Hierarchical Agglomerative Clustering, HAC, Jain and Dubes 1988): Es un método de agrupación el cual va agrupando pares de grupos hasta que se logra tener todos los datos en un solo grupo.

El procedimiento empleado se resume en los siguientes pasos:

- Lectura de archivos NetCDF, de la presión a nivel del mar y componentes zonal y meridional del viento a 850 hPa.
- Filtrado de los datos para remover el ciclo estacional de cada año, para esto se realiza un promedio móvil de 30 días (Gueye et al. 2010, Espinoza et al 2011).
- Estandarización de los datos, para poder trabajar con distintas variables y tener datos de anomalías estandarizadas.
- Elección del trimestre de estudio: verano (DJF) e invierno (JJA) austral.
- La agrupación se realiza utilizando primero SOM y luego para obtener una información mas reducida HAC (Gueye et al. 2010, Espinoza et al 2011, Ley et al. 2011).

d) Construcción de los Tipos de Tiempo.

Obtenido el orden de los CPs por día, se considera el mismo orden para obtener los mapas de precipitación.

e) Análisis de la frecuencia temporal y comparación espacial de los patrones de circulación.

Obtenido el orden de los CPs por día, se obtiene la probabilidad de transición de CPs de un día a otro, además de conocer la persistencia de algunos CPs.

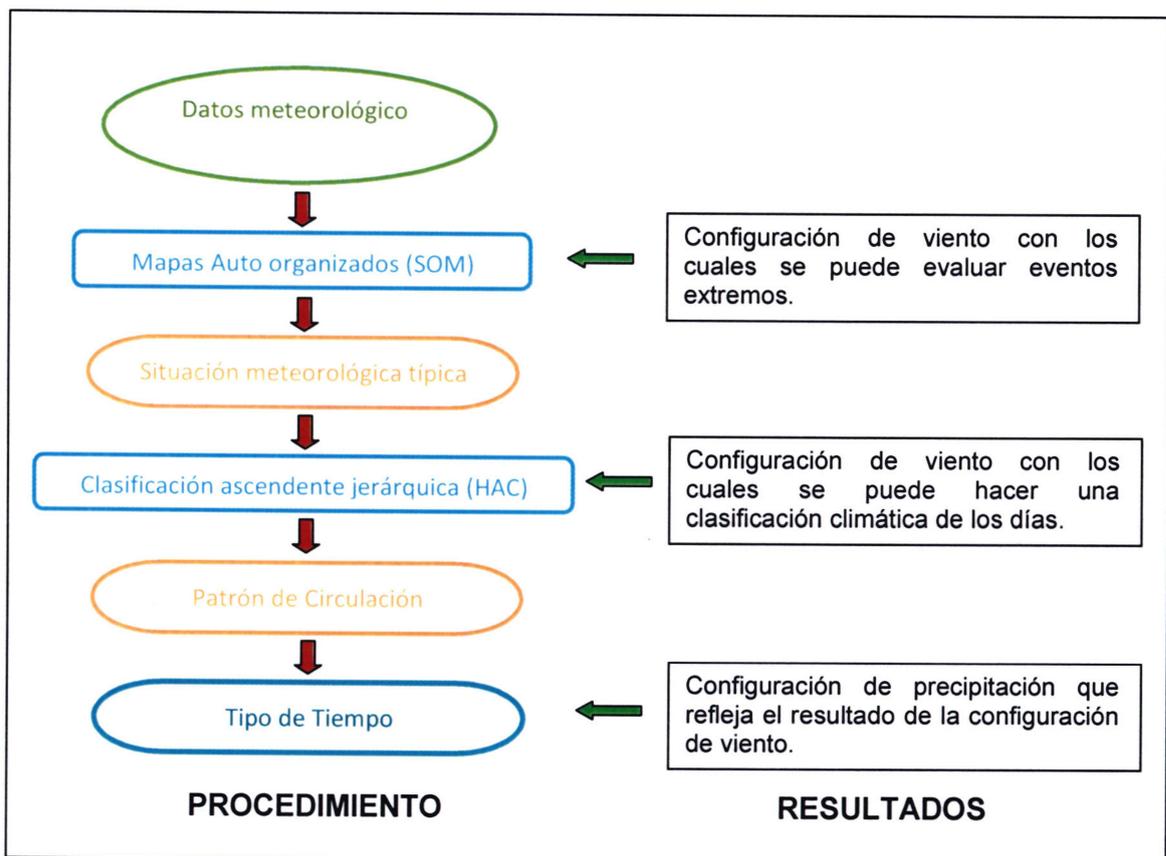


Fig. 2. Procedimiento empleado y resultados para las diferentes etapas, considerando la variables viento v precipitación.

IV. RESULTADOS.

4.1. Consideraciones para el análisis de los datos.

Debido a la presencia de la Cordillera de los Andes, las grillas que sobrepasan los 1500 metros (aprox. 850 hPa), no deben considerarse para analizar los campos de viento.

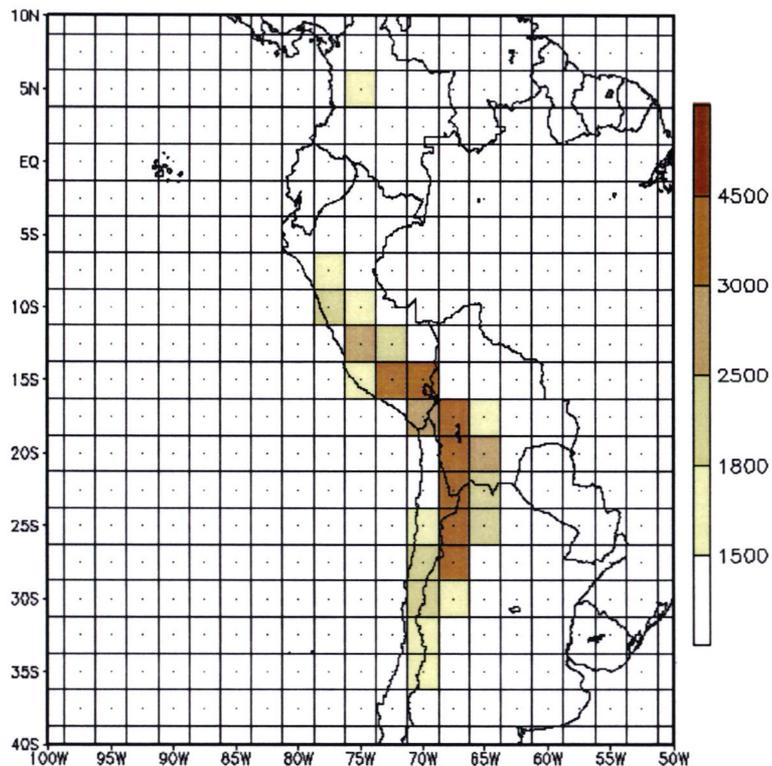


Fig.3. Mapa considerando las grillas correspondientes a una altura superior a 1500 metros (850 hPa).

El periodo de trabajo es de 1961 a 2000, sin embargo se considera empezar desde el 1 de marzo de 1961, y escoger los trimestres de la siguiente manera:

Invierno (JJA): Inicia el 1 de julio de 1961 al 31 de agosto de agosto de 1999 (38 años).

Verano (DJF): Inicia el 1 de diciembre de 1961 al 28 de febrero del 2000 (38 años).

Se debe considerar los años bisiestos, para esto se tiene que el primer año bisiesto el 1964 y en todo el periodo de estudio hay 9 años bisiestos.



4.2. Análisis del tamaño de grillado a utilizar con el SOM.

Se analizó el trimestre de verano para los 38 años. A continuación se muestra una tabla con los valores de los errores debido a la elección del tamaño de la Carta de Kohonen (TCK), desde 6x6 a 9x9 grillas considerando una matriz de 3 variables atmosféricas: presión a nivel del mar y las componentes zonal y meridional del viento.

TCK	6	7	8	9	10
QE	31.235	30.839	30.538	30.261	29.920
TE	0.030	0.055	0.066	0.068	0.067
Matriz dato	36x441	49x441	64x441	81x441	100x441

Tabla 2. Errores debido elección del tamaño de matriz para elegir la cantidad de grupos para analizar con la técnica de SOM.

Donde:

- QE: Error de cuantización promedio, es la distancia promedio entre cada elemento de un grupo y el elemento que representa el valor promedio del grupo (centroide).
- TE: Error topográfico, medida de la diferencia entre los centroides de 2 grupos vecinos.

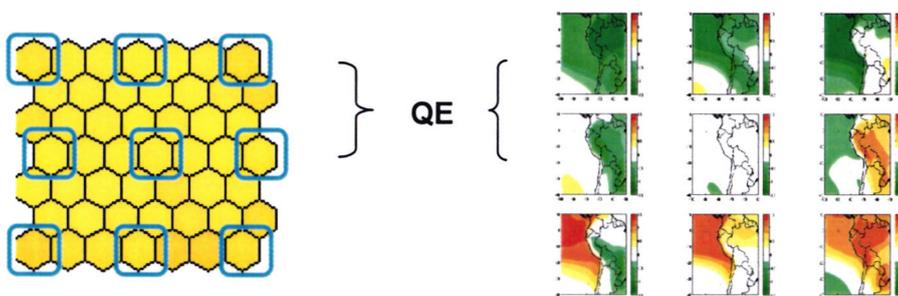
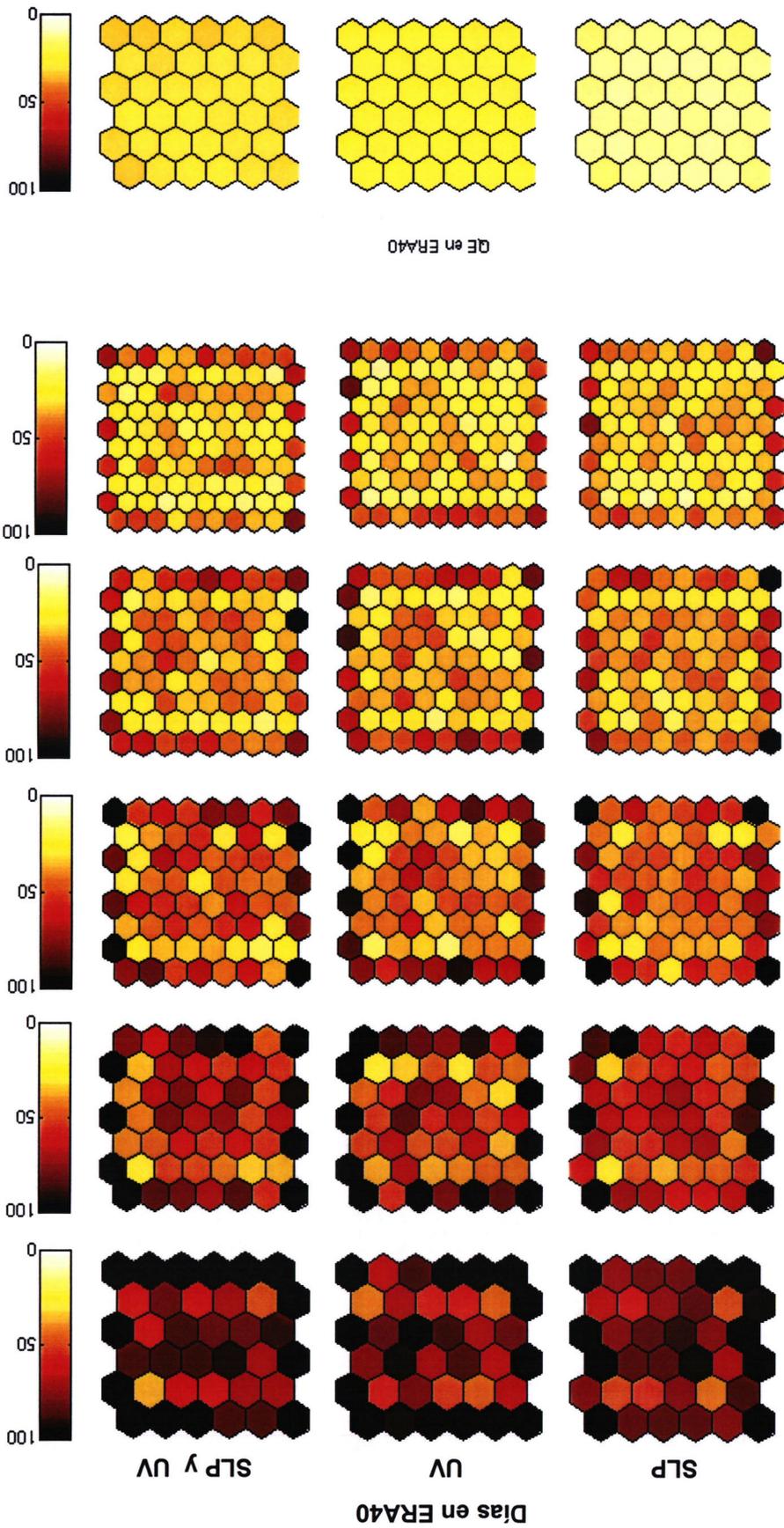


Fig.4. Carta de Kohonen para verano de ERA-40 y distribución de las Configuraciones de presión a nivel del mar correspondientes. El valor QE, es la diferencia entre dos centroides vecinos.

Se ha realizado 3 análisis: considerando solo presión a nivel del mar, solo las componentes de viento zonal y meridional y la última considerando las tres variables. Los valores de errores para los 2 primeros casos no son mostrados en la tabla 2. Recordar que la carta de Kohonen o SOM no es una carta geográfica.

Según Liu et al, 2006 para la elección del tamaño de grilla correcto o la cantidad de patrones obtenidos con el SOM los valores de los errores QE y TE deben ser mínimos, sin embargo aquí consideramos además que la distribución de los días no debe ser muy bajo, como lo muestra Espinoza et. al, 2011, y en conclusión elegimos trabajar con una matriz de 7x7.



Analisis del tamaño de la rejilla a utilizar con el SOM. La figura adjunta muestra, la distribución de la cantidad de días de los patrones de:

- Presión a nivel del mar (SLP).
- Viento zonal y meridional (UV)
- SLP y UV

Correspondientes a la primera, segunda y tercera columna respectivamente.

El tamaño de las rejillas está en orden ascendente, empezando con 6x6 en la parte superior y terminando con 10x10 en la parte inferior.

En la parte inferior se muestra los valores de error \bar{Q}_E , en lo que se muestra que a mayor cantidad de datos trabajados hay mayor error introducido en la determinación de los grupos.

4.3. Análisis de CPs de ERA-40 en 2 periodos.

Para verificar si existe una permanencia en la cantidad de CPs utilizados, se trabajo con los datos del Reanálisis ERA-40 para los periodos:

- A. 38 años iniciando en 1961.
- B. 28 años iniciando en 1961.

Analizando los dendrogramas obtenidos desde el HAC para DJF (Fig. 6) y los mapas de presión a nivel del mar (Fig. 7.), obtenemos 7 grupos o PCs para ambos periodos.

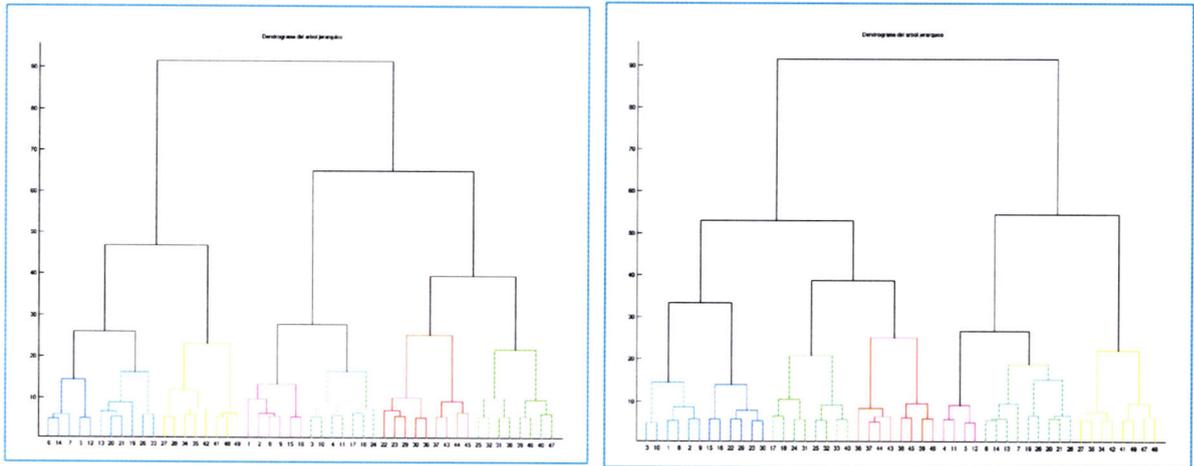


Fig.6. Dendrogramas para el periodo 1961 a 1990 (derecha) y 1961 a 2000 (izquierda).

A continuación se muestra la tabla resumen que indica cuales son los números de CPs (nCPs) obtenidos para cada trimestre: verano (DJF), otoño (MAM), invierno (JJA) y primavera (SON).

A	DJF	MAM	JJA	SON
QE	30.839	30.63	29.512	30.652
TE	0.055	0.071	0.059	0.065
Días	29 - 145	28 - 176	29 - 167	30 - 144
nCPs	7	8	6	8
B				
QE	30.700	30.611	29.557	30.655
TE	0.054	0.074	0.056	0.047
Días	21 - 104	22 - 125	21 - 128	22 - 110
nCPs	7	7	7	8

Tabla 3. Errores (QE y TE), días en los mapas de Kohonen (Días) y número de CPs (nCPs) para verano, otoño, invierno y primavera.

Al final seleccionamos las siguientes cantidades para los trimestres analizados:

- nCPs para verano (DJF): 6
- nCPs para otoño (MAM): 7
- nCPs para invierno (JJA): 7
- nCPs para primavera (SON): 8



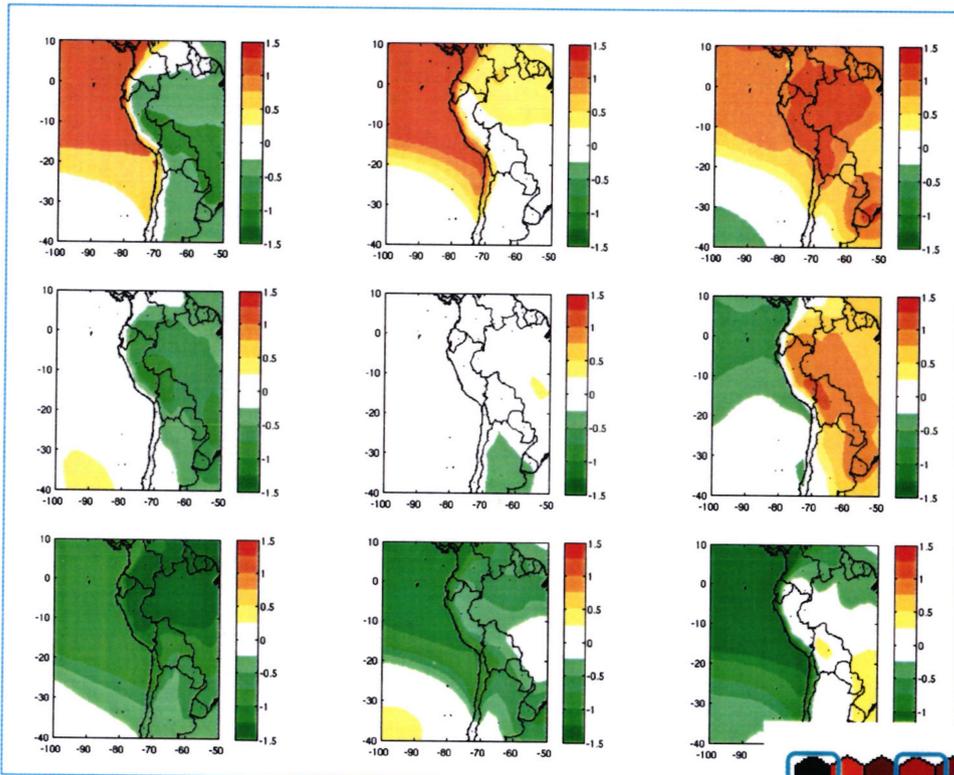
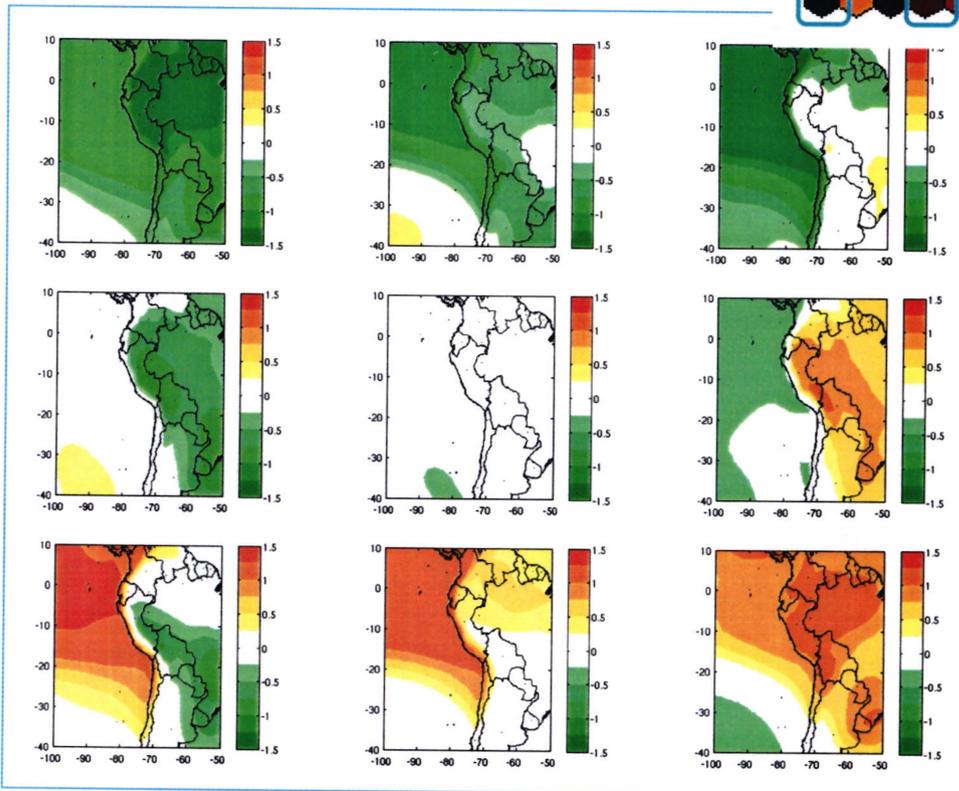
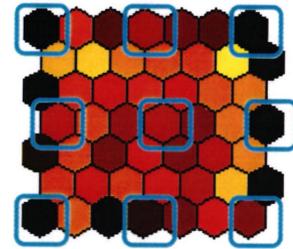


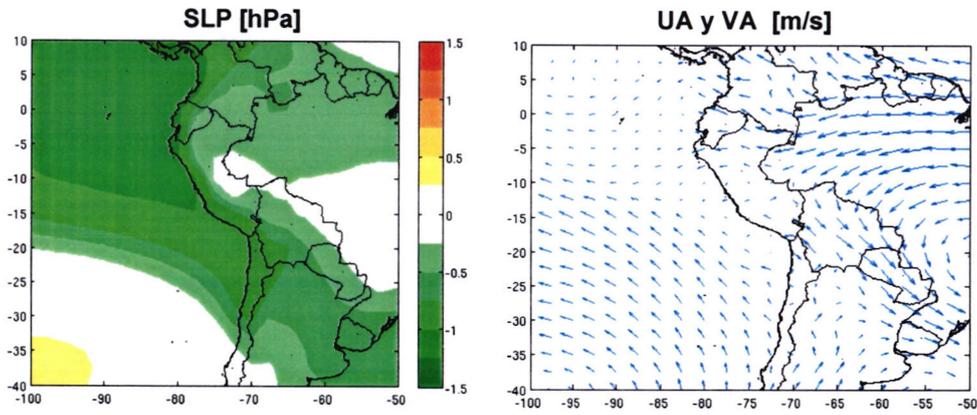
Fig. 7. Mapas de presión a nivel del mar (SLP), de las neuronas ubicadas en los rectángulos celestes dentro del mapa de Kohonen. La grafica superior pertenece al periodo B y el inferior al A.



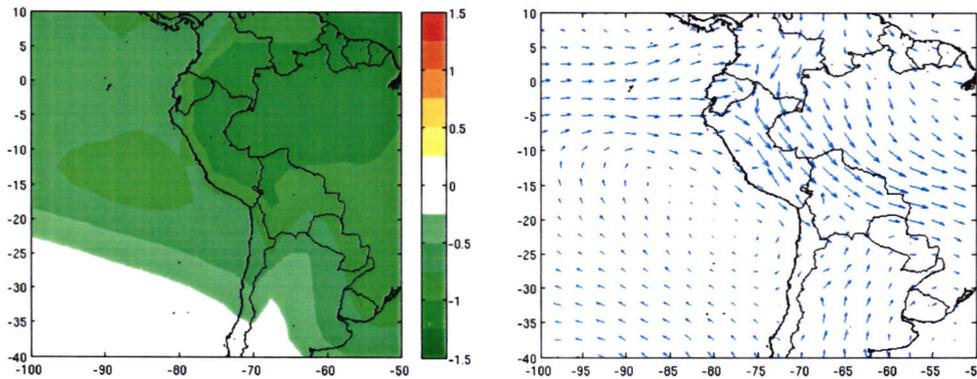
4.4. Construcción de los CPs para el Reanálisis ERA-40.

Se generaron Patrones de Circulación considerando la información de 3 variables: Presión a nivel del mar que nos da información de la circulación en niveles de superficie para la zona costera y componentes de viento en 850 hPa para la información de viento aproximadamente a 1500 metros de altura. Aquí mostramos los mapas correspondientes a dichas variables para verano e invierno:

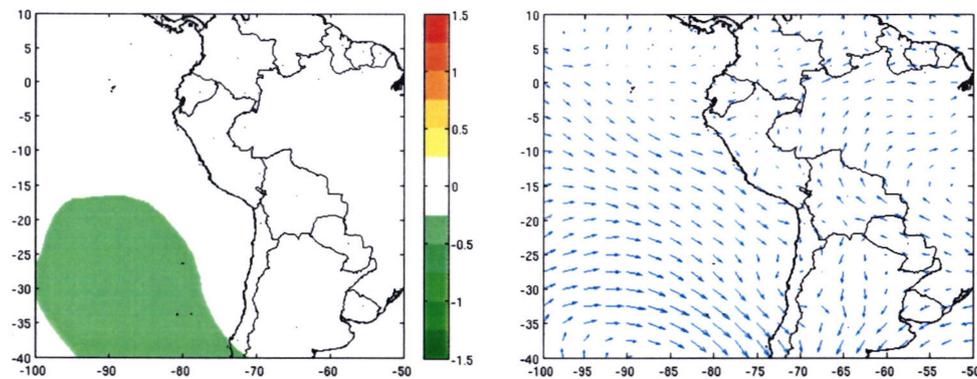
Verano (DJF):



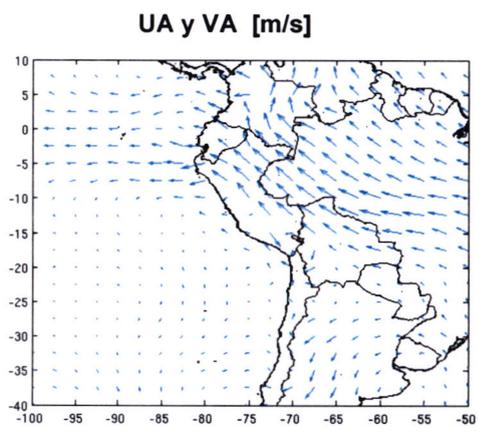
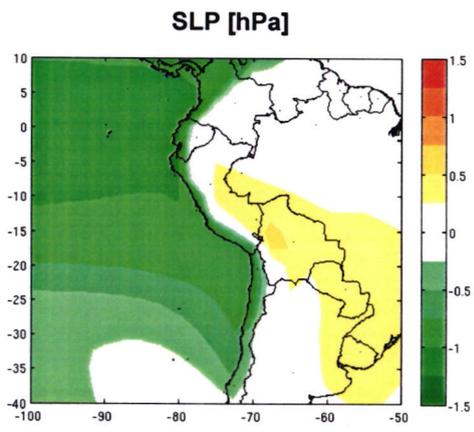
CP1: Las anomalías de Presión a nivel del mar son negativas y viento muestran (Terminar de describir – mostrar ejemplo)



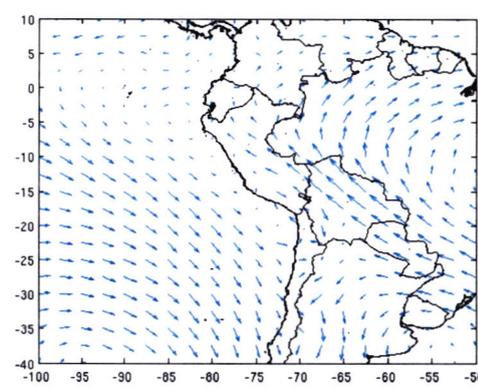
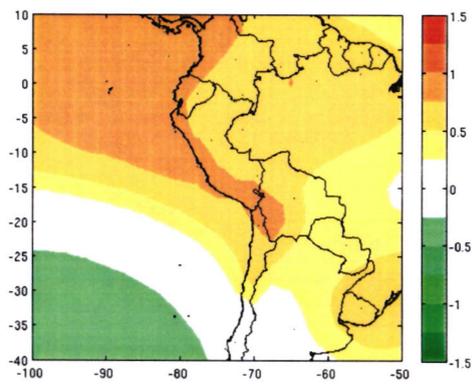
CP2:



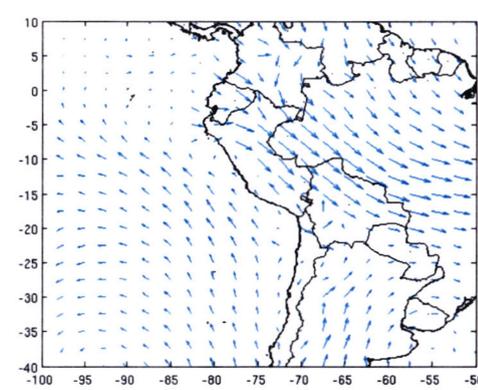
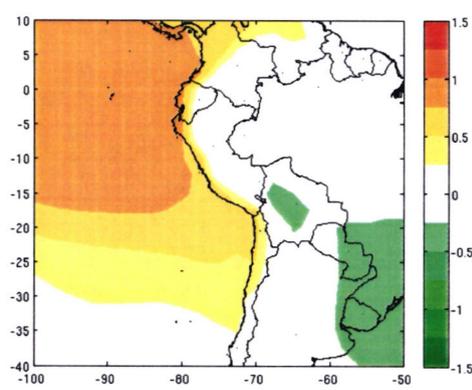
CP3:



CP4:



CP5:

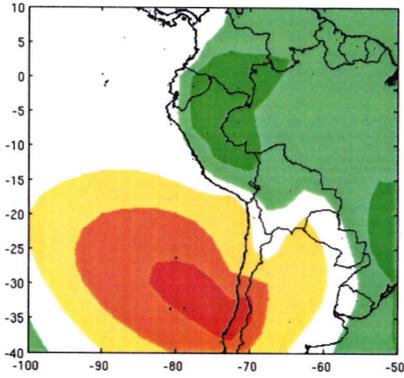


CP6:

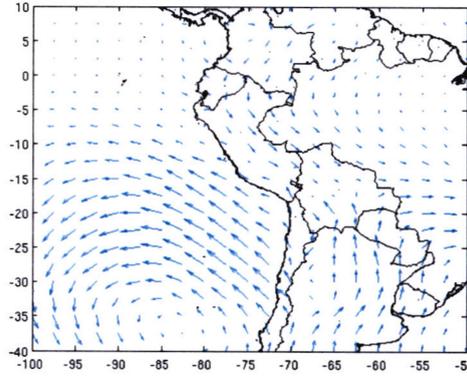


Invierno (JJA):

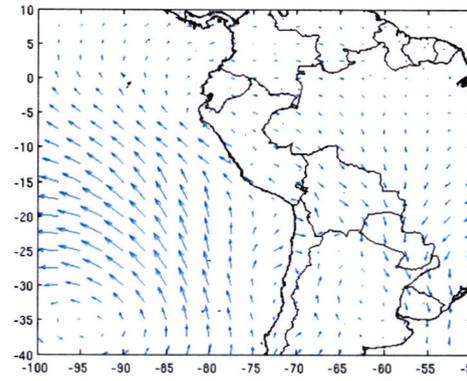
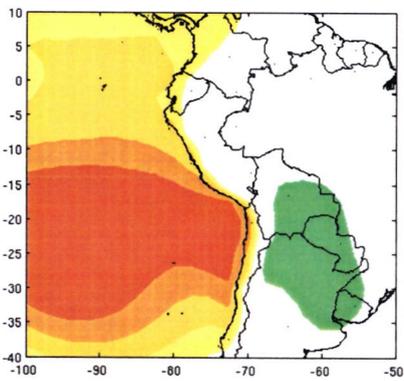
SLP [hPa]



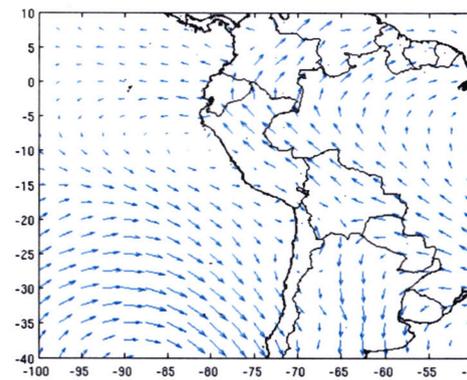
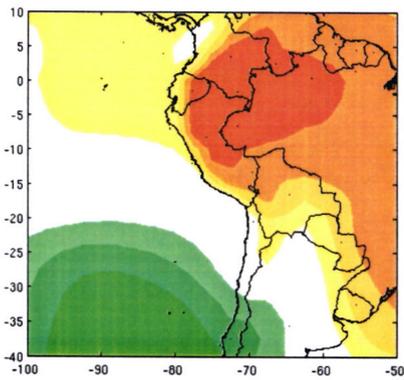
UA y VA [m/s]



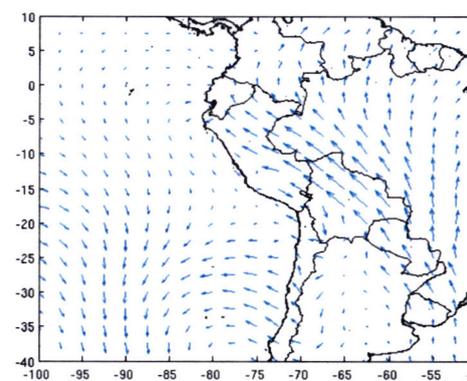
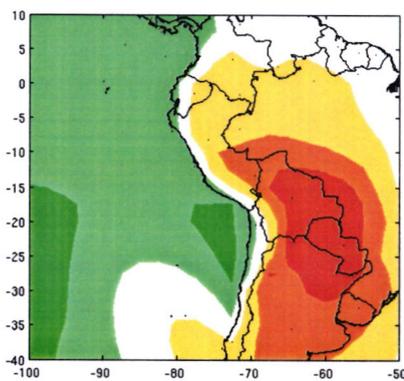
CP1:



CP2:

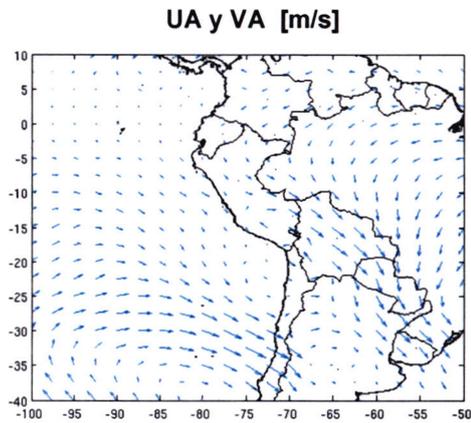
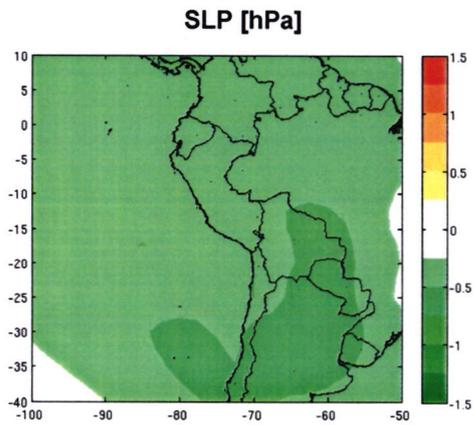


CP3:

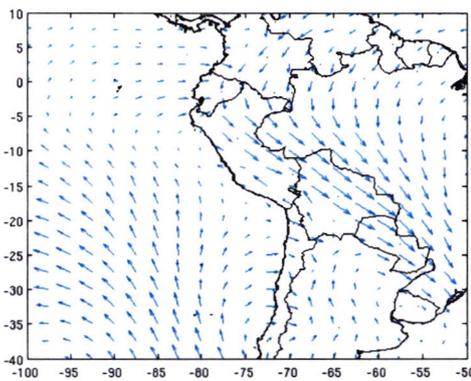
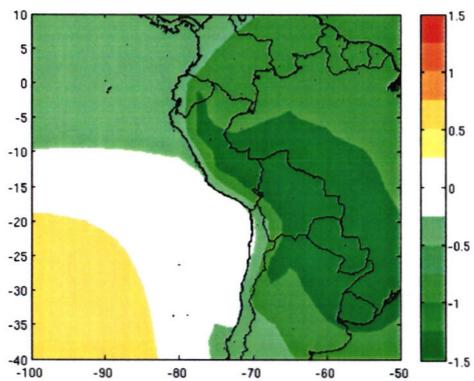


CP4:

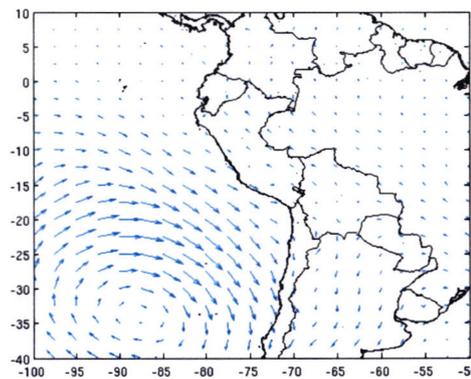
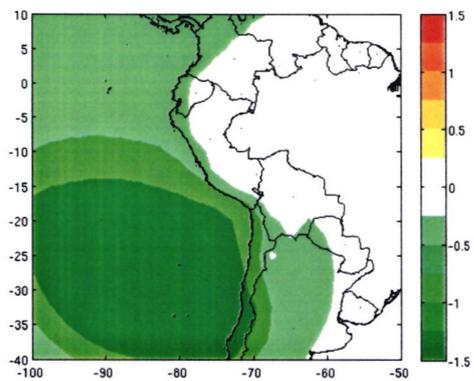




CP5:



CP6:

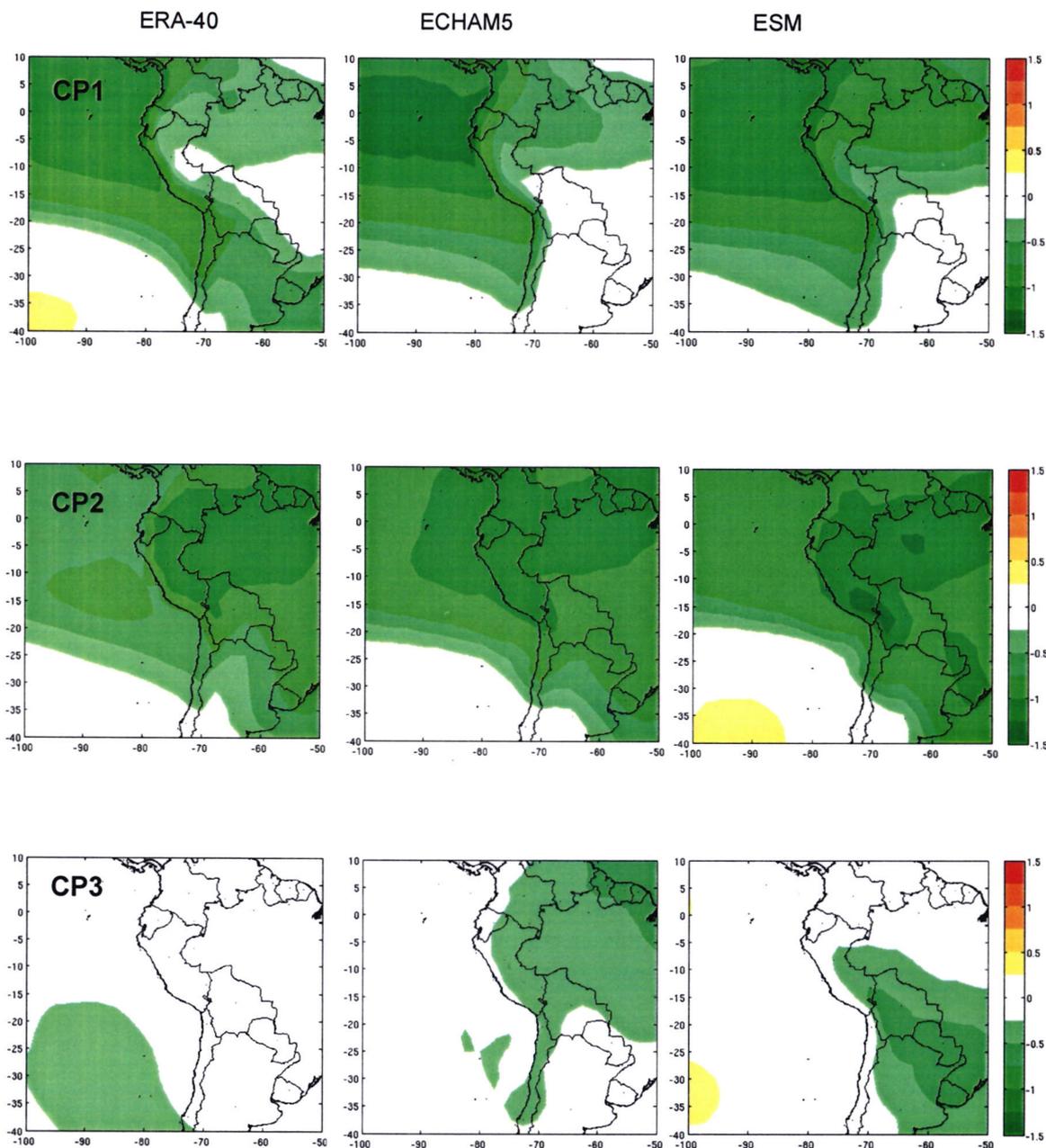


CP7:

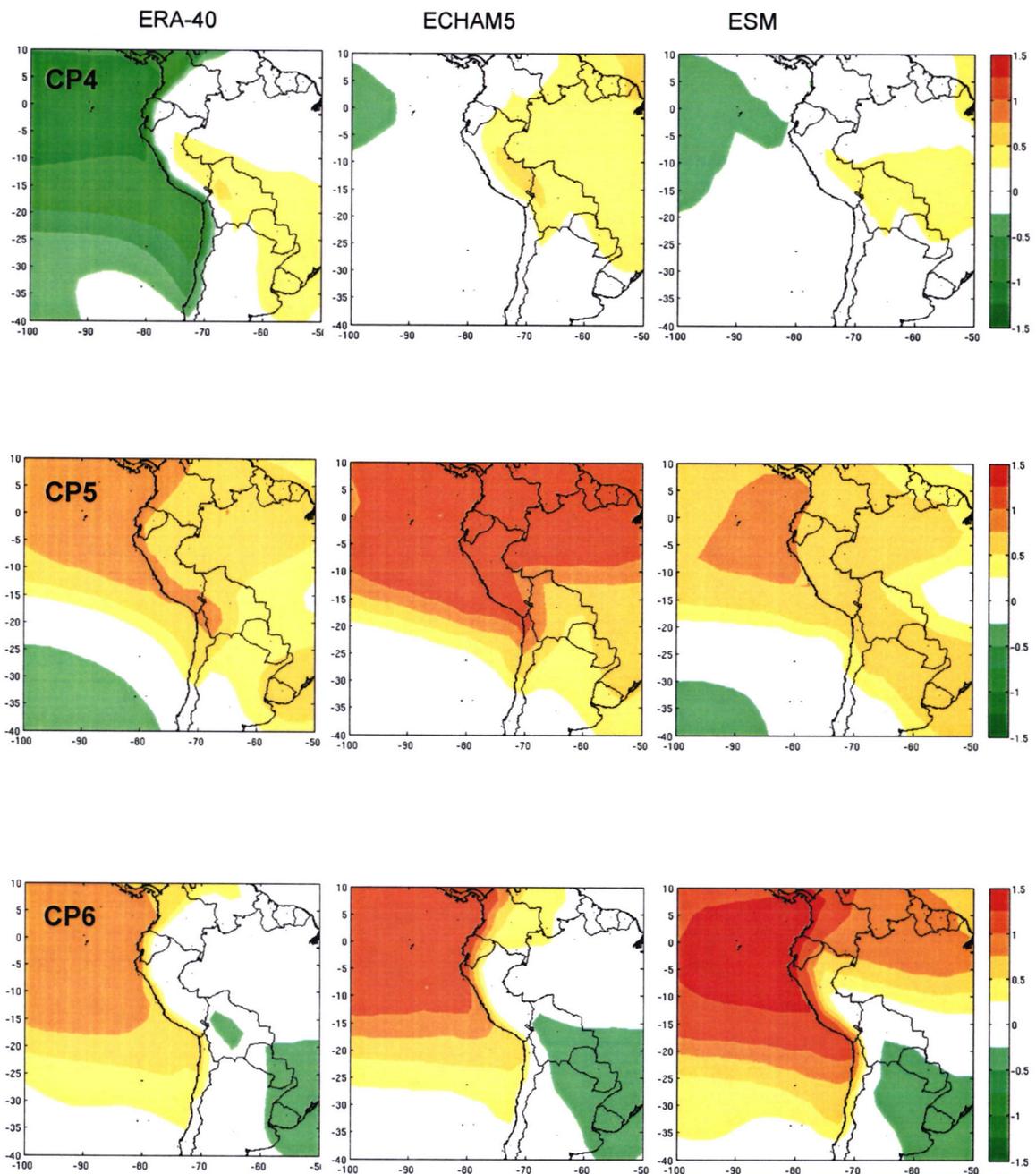
De lo observado arriba, se puede concluir que invierno presenta mayor variabilidad diaria, esto se manifiesta al tener $nCPs=7$. Además se observa una presencia mas definida centro del Anticiclón del Pacifico Sur, como era de esperarse al estar este centro mas al norte en invierno.

4.5. Construcción de los CPs para los modelos del AR4 y AR5.

De los 6 modelos trabajados presentamos solo el análisis del modelo perteneciente al MPI-M (Max-Planck-Institute for Meteorology), en sus versiones para el AR4 (ECHAM5) y AR5 (ESM), para el verano (DJF), considerando las anomalías de presión a nivel del mar [hPa]; el análisis de los otros modelos para verano e invierno será presentado numéricamente en la siguiente sección.



Los CPs del modelo ECHAM5 y ESM han sido ordenados de acuerdo al orden a los CPs del Reanálisis ERA40.



Realizando un análisis visual, observamos que:

- Los CPs 1, 2, 5 y 6 de ECHAM5 y ESM están bien representados respecto al ERA-40.
- El CP 4 presenta las zonas positivas y negativas de las anomalías de presión a nivel del mar, sin embargo hay una pérdida del CP en la representación con la nueva versión ESM.
- EL CP 3 no es bien representado en ambas versiones del modelo del MPI.

Para poder decir si la nueva versión del modelo (ESM) representa mejor los CPs para verano, que el ECHAM5 es necesario realizar una comparación cuantitativa de la diferencia o similitud de los campos espaciales, es decir, hacer una correlación espacial, presentada mas adelante.



4.6. Comparación de los modelos

4.6.1. Correlación espacial

Siguiendo la metodología de Di Luca 2006, se obtuvo la correlación espacial, entre los CPs de ERA-40 y los modelos del IPCC.

Los resultados se muestran en tablas, en forma separada para cada variable.

Verano (DJF):

Presión a nivel del mar.

	ECHAM5	ESM	CM3	CM5	
CP1	0.84	0.83	0.88	0.81	Es representado bien en todos los modelos.
CP2	0.87	0.88	0.88	0.78	Es representado bien en todos los modelos.
CP3	0.01	-0.61	-0.08	-0.68	No esta presente en los modelos.
CP4	0.86	0.91	0.87	0.92	Es representado bien en todos los modelos.
CP5	0.93	0.96	0.83	0.95	Es representado bien en todos los modelos.
CP6	0.96	0.90	0.82	0.99	Es representado bien en todos los modelos.

Componente zonal del viento.

	ECHAM5	ESM	CM3	CM5	
CP1	0.50	0.68	0.79	0.64	
CP2	0.73	0.69	0.42	0.41	
CP3	0.19	-0.46	0.14	-0.62	No esta presente en los modelos.
CP4	0.76	0.80	0.70	0.63	
CP5	0.87	0.84	0.56	0.91	
CP6	0.75	0.82	0.49	0.78	

Componente meridional del viento.

	ECHAM5	ESM	CM3	CM5	
CP1	0.13	0.45	0.66	0.57	
CP2	0.79	0.75	0.56	0.47	
CP3	0.12	-0.58	-0.22	-0.63	No esta presente en los modelos.
CP4	0.79	0.78	0.56	0.53	
CP5	0.90	0.93	0.81	0.91	Es representado bien en todos los modelos.
CP6	0.78	0.69	0.35	0.81	

Los valores de correlación espacial para los modelos CGCM3 y CanEMS2, no han sido calculados debido a tener un calendario que considera 365 días por año. Por otro lado valores de color anaranjado son los valores más altos mayores 0.6.

La presión a nivel del mar, muestra los valores mas altos, es decir, es mejor representada en todos los modelos, excepto para el CP3, el cual ningún modelo logra representar. Además se observa que no hay una mejora significativa desde la versión del AR4 (ECHAM5 y CM3) hacia AR5 (ESM y CM5)

Con respecto a las componentes de viento zonal y meridional, tampoco representan bien el CP 3. Sin embargo se observa que existe una mejora en la representación de los CPs desde los modelos ECHAM5 y CM3 hacia ESM y CM5 respectivamente.

Invierno (JJA):

Presión a nivel del mar.

	ECHAM5	ESM	CM3	CM5	CGCM3	CanEMS2	
CP1	0.97	0.95	0.94	0.94	0.95	0.95	Es representado bien en todos los modelos.
CP2	0.97	0.96	0.07	0.03	0.53	0.97	
CP3	0.77	0.21	0.83	-0.12	0.26	0.98	
CP4	0.86	0.86	0.87	0.84	0.81	0.96	Es representado bien en todos los modelos.
CP5	-0.40	-0.54	0.65	0.68	-0.42	-0.58	
CP6	0.09	0.94	0.95	0.98	0.97	0.36	
CP7	0.99	0.87	0.93	0.92	0.97	0.91	Es representado bien en todos los modelos.

Componente zonal del viento a 850 hPa.

	ECHAM5	ESM	CM3	CM5	CGCM3	CanEMS2	
CP1	0.91	0.80	0.84	0.81	0.92	0.89	Es representado bien en todos los modelos.
CP2	0.81	0.86	0.14	0.46	0.61	0.83	
CP3	0.54	0.29	0.69	-0.05	0.32	0.89	
CP4	0.59	0.63	0.63	0.67	0.71	0.81	
CP5	-0.34	-0.54	0.51	0.45	-0.37	-0.34	
CP6	0.09	0.78	0.76	0.84	0.89	0.26	
CP7	0.95	0.90	0.93	0.95	0.95	0.91	Es representado bien en todos los modelos.

Componente meridional del viento a 850 hPa.

	ECHAM5	ESM	CM3	CM5	CGCM3	CanEMS2	
CP1	0.89	0.86	0.93	0.87	0.88	0.87	Es representado bien en todos los modelos.
CP2	0.94	0.90	-0.17	-0.13	0.61	0.92	
CP3	0.53	-0.05	0.69	-0.16	0.10	0.93	
CP4	0.86	0.89	0.83	0.82	0.81	0.94	Es representado bien en todos los modelos.
CP5	-0.63	-0.77	0.69	0.70	-0.72	-0.62	
CP6	0.40	0.95	0.87	0.95	0.95	0.55	
CP7	0.97	0.87	0.92	0.95	0.96	0.88	Es representado bien en todos los modelos.

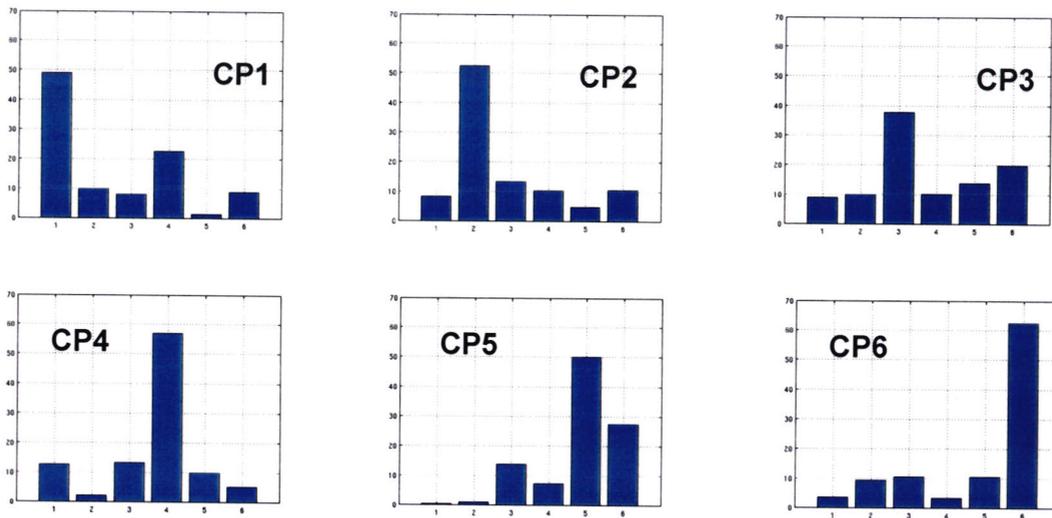
Para invierno, los modelos solo logran representar bien los CPs 1, 4 y 6. Además se observa que los valores de correlación no dan preferencia a ninguna variable.

No existe una mejora en forma general de los CPs des los modelos de AR4 hacia AR5, como el caso de CP6 en ECHAM5 que mejora para ESM, mientras que el CP3 va perdiendo representatividad.

4.6.2. Transición y persistencia

Mostramos como ejemplo las graficas para el Reanálisis para verano de ERA – 40.

Las primeras 6 graficas de barras presentan el valor de transición entre los CPs, considerando por ejemplo que si uno se encuentra hoy en el día de CP 1, cual es la probabilidad de que el día siguiente se encuentre en cualquiera de los otro 5 CPs o permanezca en si mismo. Los valores de las probabilidades están dados en la tabla inferior.



	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
CP1	49.1	8.3	8.8	12.6	0.	3.5
CP2	10.0	52.6	9.9	2.2	1.0	9.3
CP3	8.1	13.4	37.7	13.1	13.8	10.5
CP4	22.6	10.	10.1	57.0	7.3	3.
CP5	1.3	4.7	13.8	9.9	50.1	10.6
CP6	8.9	10.6	19.7	5.2	27.	62.6

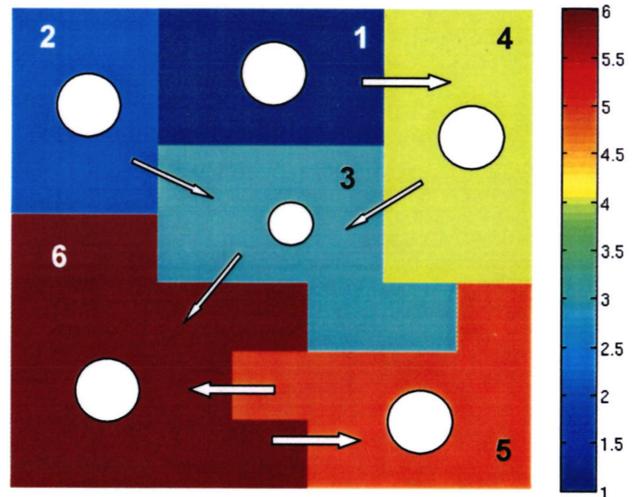
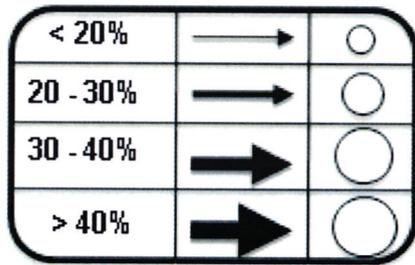
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7
CP1	40.0	26.6	0.6	1.	2.2	22.5	0.0
CP2	8.8	44.0	19.8	4.4	8.8	11.5	5.1
CP3	4.4	4.9	44.8	27.7	7.5	0.2	13.2
CP4	33.6	4.0	2.2	51.3	6.0	2.9	0.8
CP5	9.7	9.1	22.7	4.2	41.2	12.	25.3
CP6	3.3	11.2	2.3	0.8	21.5	49.5	4.0
CP7	0.2	0.2	7.6	10.1	12.9	1.0	51.5

La tabla superior muestra los valores de transición y persistencia para ERA – 40 para verano y la inferior para invierno.

Los valores de color anaranjado muestran el valor de persistencia, y los valores de color verde el valor de transición mas probable hacia otro CP.



La grafica inferior presenta un esquema representando las probabilidades de transición para los CPs de verano en ERA – 40. Los círculos de color blanco representan el valor de persistencia y las flechas negras la transición.



Los modelos del AR4 y AR5 también muestran mayores valores de permanencia que de transición para verano, como por ejemplo los modelos ECHAM5 y ESM perteneciente al AR4 y AR5 respectivamente. Se puede identificar que no existe similar transición de un CP a otro CP de la misma manera que el ERA-40 excepto para el CP5. Los demás modelos muestran resultados similares.

ECHAM5	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
CP1	49.7	25.8	14.9	1.4	0.9	7.0
CP2	14.3	46.3	4.2	6.3	0.4	12.6
CP3	26.8	6.9	50.6	7.5	20.7	12.6
CP4	1.2	2.8	4.7	49.7	22.7	14.4
CP5	1.2	0.2	13.3	12.9	52.2	5.3
CP6	6.8	18.0	12.3	22.2	3.1	48.2

ESM	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
CP1	43.0	20.9	11.3	6.7	9.6	8.
CP2	10.1	48.2	3.0	0.6	1.3	10.8
CP3	17.3	6.7	47.4	21.5	13.5	15.8
CP4	9.7	0.6	14.8	56.9	30.1	3.9
CP5	11.6	2.5	2.6	10.9	42.0	2.1
CP6	8.4	21.2	21.0	3.3	3.5	59.0



4.6.3. Tendencia de los CPs

El numero de CPs en cada estación varia de año en año. A continuación mostramos la tendencia para los 38 años para los CPs de verano e invierno obtenida por medio de la aplicación de Excel: MAKESENS_1_0. La tendencia es calculada según el método de Sen y la significancia de la tendencia según Mann-Kendall.

Los valores de significancia se muestran en la tabla del lado derecho, indicando 0.001 como una significancia al 99.9 %, 0.01 al 99 %, etc.

	alpha
***	0.001
**	0.01
*	0.05
+	0.1

	WTs	ERA-40		ECHAM5		ESM		CM3		CM5		CGCM3		CanEMS2	
		Td	Si	Td	Si	Td	Si	Td	Si	Td	Si	Td	Si	Td	Si
VERANO	WT1	-0.045		0.000		0.000		0.10	*	-0.061		0.038		-0.040	
	WT2	0.000		0.000		0.000		0.05		0.000		-0.050		-0.050	
	WT3	0.033		-0.037		-0.029		0.00		0.033		0.077		0.000	
	WT4	-0.048		0.077		-0.048		0.03		-0.053		0.000		0.000	
	WT5	0.000		0.083		0.063		-0.10		-0.059		-0.087		0.000	
	WT6	0.050		-0.03		0.063		-0.20	*	0.056		0.000		0.083	
VERANO	WT1	0.000		0.083	*	0.037		0.00		0.000		0.048		0.000	
	WT2	-0.167	**	0.000		0.000		0.06		0.043		0.030		0.000	
	WT3	-0.069		0.067		-0.050		0.00		-0.045		-0.100	*	0.000	
	WT4	0.167	***	-0.111	+	-0.056		0.11	*	0.000		0.000		0.000	
	WT5	-0.030		0.000		-0.043		0.07		0.000		0.000		0.000	
	WT6	0.056		0.000		0.143	**	0.00		-0.034		-0.080		-0.150	*
	WT7	-0.036		0.000		0.000		-0.16	**	0.000		0.095		0.000	

Tabla. 3. Tendencia de los CPs para verano e invierno del Reanálisis ERA40 y de los modelos del IPCC para los 38 años de estudio.

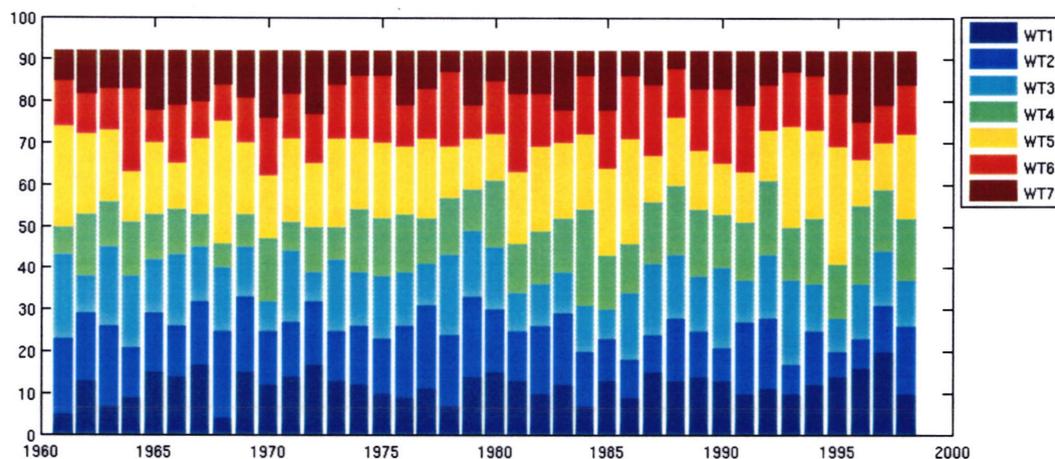


Fig. 12. Numero de CPs para invierno (JJA) de 38 años iniciando en 1961.



5. CONCLUSIONES

- La metodología utilizando las 2 técnicas de agrupamiento: SOM (Self Organization Maps) y HAC (Hierarchical Agglomerative Clustering), muestran tener un buen desempeño para el análisis de la variabilidad a escala diaria de la circulación, a nivel de superficie mediante la presión a nivel del mar y a 850 hPa par el periodo de 1961 – 2000.
- El número de patrones de circulación por cada estación son: 6 para verano (DJF), 7 para otoño (MAM), 7 para invierno (JJA) y 8 para primavera (SON), mostrando la menor variabilidad para la temporada de verano.
- El numero de patrones de circulación obtenido para cada trimestre (DJF, MAM, JJA y SON), permanecen utilizando los dos periodos de referencia 1961 – 1990 y 1961 -2000.
- El patrón de circulación (CPs 3) para verano del ERA-40 no esta presente en ninguno de las 3 variables analizadas [capitulo 4.6.1], mientras que para invierno los CPs 2, 3 y 5 muestran presencia en algunos modelos mientras que en otros no para todas las variables, los demás CPs para ambos trimestres si están bien representados en todos los modelos.
- La variable presión a nivel del mar de los modelos AR4 y AR5 presentan un mayor valor de correlación espacial respecto al ERA-40, es decir, es mejor representada.
- El patrón de circulación presente en mayor numero para ERA-40 para verano es el CP6 y para invierno el CP5.
- Los modelos del AR4 y AR5 no muestran una convergencia respecto a la tendencia de cada patrón de circulación, mientras que algunos dan signo positivo hay otros con signo negativo y viceversa.

6. RECOMENDACIONES

- Todas las conclusiones acerca de los patrones de circulación (CPs) son validas para los Tipos de tiempo de precipitación (WTs) que corresponden a los mismos días de cada patrón de circulación.
- Un trabajo complementario seria analizar la relación de los patrones de circulación de ERA-40 con datos de precipitación observada.

6. REFERENCIAS.

- Bermejo M. 2010. Cambios recientes en los tipos de tiempo. Tesis de Maestría. Universidad de Cantabria.
- Bettolli ML, Penalba OC, Vargas VM. 2010. Synoptic Weather types in the south of South America and their relationship to daily precipitation in the core production region of crops in Argentina. *Aust. Meteorol. Oceanogr. J.* 60:37-48.
- CAF (Corporación Andina de Fomento). Prevención y mitigación de desastres naturales. 2000. El Fenómeno El Niño 1997 – 1998, memoria, retos y soluciones. Volumen V: Perú. 270 pp.
- Demuzere, M.; Ustrnul, Z.; Bardossy, A.; Bertalanic, R.; Bogucka, M.; Cahyanova, M.; Caian, M.; Casado, M.J.; Fleig, A.; Frei, C.; Georgescu, F.; Godlowska, J.; Kassomenos, P.; Latinov, L.; Pastor, M.A.; Pianko-Kluczynska, K.; Pongracz, R.; Prudhomme, C.; Schiemann, R.; Sepp, M.; Stefan, S.; Tallaksen, L.; Tomaszewska, A.M.. 2008 COST 733 - WG4: Applications of weather type classification. [Poster] In: *COST 733 mid-term conference, Krakow, Poland, 22-24 October 2008*.
http://nora.nerc.ac.uk/4554/1/Krakow_WG4_poster.pdf
- Di Luca A, Camilloni I, Barros V. 2006. Sea level pressure patterns in South America and the adjacent oceans in the IPCC-AR4 models. 8 ICSHMO.
- Espinoza JC., Lengaigne M. Ronchail J., Janicot S. 2011. Large-Scale circulation Patterns and related rainfall in the Amazon basin: a Neuronal Networks approach. *Climate Dynamics*. DOI. 10.1007/s00382-011-1010-8
- Garcia L.E. 2007. Aplicación de medidas estadísticas de similitud al registro de imagen multimodo. Proyecto de fin de carrera. Universidad politécnica de Cartagena.
- Gueye AK, Janicot S, Niang A, Sawadogo S, Sultan B, Diongue-Niang A, Thiria S (2010). Weather regimes over Senegal during the summer monsoon season using self-organizing maps and hierarchical ascendant classification. Part I: synoptic time scale. *Climate dynamics*. DOI:10.1007/s00382-010-0782-6
- Gutierrez J.M., Cano R., Cofiño A. S., Sordo C. 2005. Analysis and downscaling multi-model seasonal forecast in Peru using self-organizing maps. *Tellus*.
- IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- Ley R., Casper M. C., Hellebrand H., and Merz R. 2011. Catchment classification by runoff behavior with self-organizing maps (SOM). *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 8, 3047-3083.
- Liu, Y.; Weisberg, R. H. & Mooers, C. N. K. 2006. Performance evaluation of the self-organizing map for feature extraction, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 111, C05018, doi:10.1029/2005JC003117, ISSN 0148-0227

Liu, Y., and R.H. Weisberg, 2011: A review of Self-Organizing Map applications in meteorology and oceanography, in *Self-Organizing Maps - Applications and Novel Algorithm Design*, edited by J. I. Mwasiagi, InTech, Rijeka, Croatia, ISBN 978-953-307-546-4, pp.253-272
http://ocgweb.marine.usf.edu/~liu/Papers/Liu_Weisberg_2011_SOM.pdf

Martínez D. 2005. Redes neuronales artificiales y mapas autoorganizados. Curso 2004-05. Universidad de Burgos.

Philipp, A., P. M. Della-Marta, J. Jacobeit, D. R. Fereday, P. D. Jones, A. Moberg, and H. Wanner, 2007: Long-term variability of daily North Atlantic-European pressure patterns since 1850 classified by simulated annealing clustering. *J. Climate*, 20, 4065-4095.

Rusticucci M, Marengo J, Penalba O, Renom M. An intercomparison of model-simulated in extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century. Par 1: mean values and variability.

Saavedra M., Calvo M., Jimenez C. 2011. Caracterización climática de la circulación atmosférica en América del Sur. *Revista de Investigación de Física* 14. UNMSM.

Satyamurty P, Nobre CA, Silva Dias PL. 1998. Tropics – South America. In: Karoly DJ, Vincent DG (Org.) *Meteorology and Hydrology of the Southern Hemisphere*. Boston: Meteorology Monograph. 49:119-139.

SENAMHI (2009). Escenarios climáticos en el Perú para el año 2030.

Vera C, Silvestre G, Liebmann B, Gonzalez P. 2006. Climate change scenarios for seasonal precipitation in South America from IPCC-AR4 models. *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, L13707, doi:10.1029/2006GL025759.

Vrac M, Hayhoe K, Stein M. Identification and intermodel comparison of seasonal circulation patterns over North America. *International Journal of Climatology* 2007;27(5):603-620.

