

LOS INDICES DE CIRCULACION: UNA HERRAMIENTA PARA EL DOWNSCALING

José María Martín Herreros⁽¹⁾, Eduardo Petisco de Lara⁽²⁾, Julio Alonso Gómez⁽³⁾

(1) I.N.M. C/Leonardo Prieto Castro nº 8. Madrid ick@inm.es

(2) I.N.M. C/Leonardo Prieto Castro nº 8. Madrid icj@inm.es

(3) I.N.M. C/Leonardo Prieto Castro nº 8 . Madrid oasis@inm.es

RESUMEN

En los últimos años la comunidad científica ha lanzado la alarma sobre cambios antropogénicos inducidos en la composición atmosférica, cambios que a su vez son origen de alteraciones del balance de energía, y responsables de introducir incertidumbre en el conocimiento de los patrones de circulación atmosférica futuros, tanto en su frecuencia como en su intensidad. En la actualidad se invierten muchos esfuerzos en diseñar técnicas para detectar posibles cambios futuros en el comportamiento de la atmósfera.

El trabajo responde a esta motivación y trae al escenario unos índices de circulación atmosférica, el índice C, el índice S, el índice P y el índice M, que se han elaborado en el último tercio del siglo pasado. Se desarrolla en dos partes: en la primera se dan a conocer los índices su implementación y su utilidad. En la segunda se hace uso de los mismos como una herramienta para poder obtener, en distinta escala que la suministrada por los modelos del clima, las variables de salida de estos modelos, o variables derivadas.

En concreto se trabaja con los volúmenes de precipitación de las cuencas hidrográficas de la península Ibérica haciendo una estimación de los mismos para el periodo 2001-2100. El método se puede aplicar también para aumentar la resolución de las salidas de los modelos climáticos. En definitiva, tenemos un instrumento de downscaling, sencillo y útil que puede ensanchar el panorama de estudio, con nuevas perspectivas.

1. Introducción. Para hacernos una idea de las principales características de la situación atmosférica en un determinado periodo y lugar vamos a mostrar unos indicadores específicos, que permiten de una manera sencilla, medir la circulación atmosférica; comparar numéricamente situaciones sinópticas de distintos periodos de tiempo en el mismo lugar ó distintos lugares en el mismo periodo de tiempo, y también poder relacionarlas con los valores de las variables atmosféricas.

Los índices de circulación reflejan una característica de la circulación en un punto ó zona determinada (Niedzwiedz, 1994) y para un periodo determinado. Pueden desarrollarse muchos índices, dependiendo del problema que estemos tratando, pero nos vamos a limitar a unos índices, muy sencillos, desarrollados en los años 70 del pasado siglo por Murray and Lewis(1966). Estos autores construyen en cada punto geográfico escogido unos índices que informan de la situación atmosférica en dicho punto y conjuntamente de la situación sinóptica en el área. Son los llamados, índice de ciclonicidad, (índice C), índice de componente sur, (índice S), índice de meridionalidad (índice M) e índice de progresividad (índice P). Se calculan

para un punto dado y para un periodo determinado de días, como por ejemplo, un mes.

Los índices se obtienen a partir de los valores de geopotencial ó presión y se van a relacionar posteriormente con otras variables, como haremos en este trabajo, relacionándolos con los volúmenes de precipitación, calculados a partir de las observaciones en las cuencas hidrográficas de la Península Ibérica.

El principal objetivo del trabajo es mostrar cómo éstos índices pueden ser utilizados en técnicas de mejora de resolución, para obtener datos de las variables de salida de los modelos, en forma más útil en estudios de impacto.

La primera parte está relacionada con la implementación de dichas técnicas así como su validación a partir de datos observados o derivados de la observación; se empieza dando las definiciones de los índices y la manera de calcularlos, se enseñan las características de los mismos, se muestra su utilidad, y se destaca la propiedad que se utiliza en este trabajo, como es la relación de los mismos con las variables meteorológicas. A continuación se implementa y se valida una técnica de mejora de resolución.

En la segunda parte se aplica esta técnica a las salidas de geopotencial y presión de los modelos del clima, para dar como resultado una estimación de los valores de la precipitación atmosférica (en forma de volúmenes de precipitación) en el periodo de 2001 a 2099.

2. Datos. Los datos de precipitación utilizados son los volúmenes de precipitación desde 1948 a 2003 en cada una de las 10 cuencas hidrográficas de la Península Ibérica. Los valores de los mismos se han obtenido por krigeado de las estaciones de la red pluviométrica aplicando la regla trapezoidal. Como variables atmosféricas disponemos de los valores de geopotencial en 500 y 1000 hPa. y presión en superficie sacados del reanálisis ERA-40 del Centro Europeo de predicción a plazo medio, como asimismo los reanálisis de los centros NCEP-NCAR de EEUU también en el periodo 1948 a 2003.

Los experimentos se refieren a una rejilla de paso 5° y de límites 20°N a 65°N y 35°W a 30°E que incluye gran parte de Europa y del Atlántico Norte y sitúa en la zona central a la Península Ibérica. Los datos están promediados para trabajar con un valor diario en vez de un valor cada seis o doce horas.

Para la segunda parte se utilizan las salidas de tres modelos del clima; se trata de disminuir la incertidumbre asociada a la utilización de un solo modelo; además en dos de ellos se utilizan dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero y aerosoles posibles, para el siglo XXI: los escenarios SRES A2 y B2. (IPCC, Special Report on Emission Scenarios)

En el experimento con el modelo Hadcm2 trabajamos con los datos de presión en superficie y geopotencial en 500 hPa procedente del conjunto de experimentos de clima desarrollados en el centro Hadley del Reino Unido facilitados mediante el proyecto LINK (Viner, 1996). Los otros datasets utilizados son los EH4_OPYC_SRES que provienen del modelo del clima ECHAM4 proporcionados por el Max-Planck-Institut fuer Meteorologie; y el CGCM2, proporcionado por Environment Canadá, cada uno de ellos trabajando con las dos hipótesis de emisión. De ellos utilizamos las salidas de geopotencial de 1000 y 500 hPa. Los datos de geopotencial se obtienen por interpolación de los datos originales, en todos los casos y se refieren a la misma rejilla utilizada para la obtención de las relaciones empíricas ya obtenidas con los datos de los reanálisis. También se trabaja con un solo dato promedio representativo del día en cuestión. A medida que se pueda disponer de los resultados de otros modelos del clima se incorporarán más resultados proporcionándonos una menor incertidumbre, ya que no existe criterio para decidir tanto sobre el modelo que más se aproxime al comportamiento futuro en el área de estudio, como para aceptar un escenario de emisiones determinado.

3. Definiciones y obtención de los índices. El índice C nos da cuenta del carácter ciclónico o anticiclónico de la circulación en dicho periodo. El índice S nos informa si ha habido gran advección de componente sur. El índice P nos indica el progreso o bloqueo de la situación. Por último el índice M nos indica el grado en que la circulación ha sido meridiana. Se calculan en cada punto y pueden adoptar diariamente los números enteros comprendidos entre +2 y -2. Su utilidad viene dada cuando se calculan para un periodo determinado de días.

A partir de los campos de geopotencial obtenemos diariamente en el punto los valores del viento y de la vorticidad geostrofica. Estos valores se comparan entre sí: según sea el valor absoluto de la vorticidad mucho mayor, mayor o igual aproximadamente al valor del flujo, asignamos al índice el valor 2, 1, ó 0 (Murray and Lewis.1966, Jenkinson and Collison. 1977, Jones, Hulme and Brifa, 1992) con signo positivo si la vorticidad es positiva y signo negativo si es negativa. Sumando estos valores para todos los días del periodo se obtiene el índice de ciclonicidad C del periodo (Figura 1)

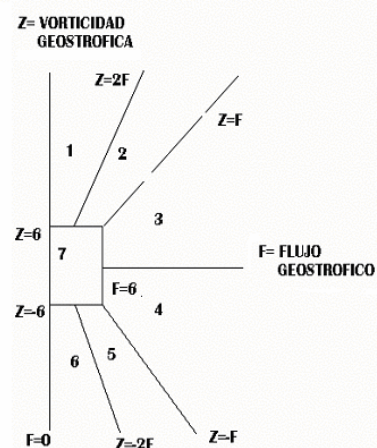


Fig. 1. Asignación del valor diario del índice ciclónico según sean los valores del flujo y vorticidad geostrofica. En zonas 1 y 6 se asigna valor +2 -2, en zonas 2 y 5 valor +1 -1, en zonas 3 4 valor 0. En la zona 7 de valores pequeños también se asigna el valor 0

Valores positivos del índice C en un periodo dado indican un predominio de las situaciones ciclónicas sobre las anticiclónicas en dicho periodo.

El índice de componente Sur tiene en cuenta la dirección de donde viene el viento asignando los mayores valores (+2) a los vientos provenientes del sur y los menores (-2) a los del norte. Los vientos del oeste y del este aportan 0 puntos. Los intermedios, un punto positivo ó negativo. Valores altos de este índice indican que en el periodo dado ha predominado la advección de viento del sur. El índice M se calcula de igual manera salvo que nunca adjudica valores negativos, obteniendo como

consecuencia un índice de meridionalidad al no considerar si el viento es de componente norte o sur

El índice de progresión P considera progresivas las situaciones del oeste (+2), bloqueadas las del este (-2) y en menor grado las meridionales (-1). En situaciones ciclónicas o anticiclónicas se tiene en cuenta la evolución en días anteriores (Murray and Lewis).

En un periodo determinado el valor de los índices es la suma algebraica de los valores asignados para cada uno de los días del periodo. Con la ayuda de estos índices se puede estudiar la circulación atmosférica de un periodo dado de una manera cuantitativa y sencilla.

En la figura 2 se observa el mapa medio de un mes cualquiera (Febrero 1949) y los valores correspondientes del índice P, del índice S y del índice C para ese mes. Se ve la fuerte relación de los índices con la estructura del campo de geopotencial en 1000 hPa.

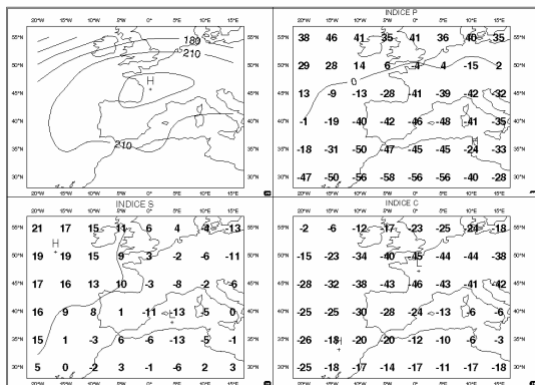


Fig. 2. Arriba a la izda. Valores medios de geopotencial de 1000 hPa. Y en sentido de las agujas del reloj los correspondientes valores del índice P, C, y S para ese mes.

4. Utilidad de los índices. La utilidad de los índices es manifiesta: Podemos comparar periodos de tiempo utilizando gráficos con el valor de los índices, ver la evolución secular de los índices, (Murray and Lewis 1966) (Figura 3) estudiar el carácter de cada mes y en el punto deseado etc.

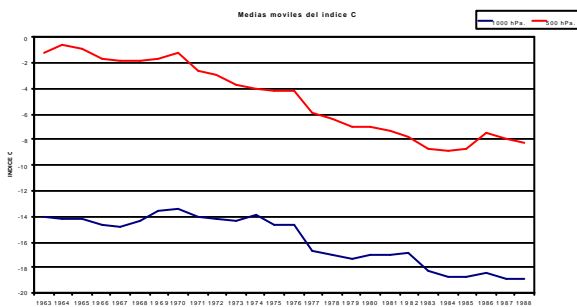


Fig.3. Se observa la evolución de los índices C en 500 hPa. Y 1000 hPa. el mes de noviembre durante el periodo 1948 -2003 en el punto de malla 40°N, 5°W . Se ve una disminución continuada en ambos lo que indica un aumento de situaciones anticiclónicas en ambos niveles en dicho punto (Medias móviles de 30 años; comienzo: 1963)

Si se trabaja con las anomalías de geopotencial, se puede observar también que las mismas, están muy relacionadas con los valores de los quintiles de los índices.(Murray 1967, Murray and Benwell, 1970).

Carácter sinóptico del mes: superponiendo en un gráfico los valores medios mensuales de los quintiles en todo el periodo con el valor de los quintiles cada mes, un año concreto, se observa muy bien como ha sido el carácter de cada mes del año frente a una media climatológica. En este sentido serían útiles en vigilancia del clima.

Se señala la utilidad de los índices de circulación en el análisis de situaciones sinópticas ya que son índices con significado físico, muy sencillos, flexibles, y de fácil manejo, pudiéndolos superponer gráficamente y comparar tanto por niveles como geográfica ó temporalmente.

Son útiles para analizar la variabilidad del clima, (Tadeus et al.1994) posibles cambios con el tiempo de los patrones de circulación atmosférica, evolución de los tipos de tiempo y de la circulación general sobre España, análisis sobre el Mediterráneo búsqueda de situaciones análogas (Waldo and Murray 1965) etc.

5. Relación de los índices con variables climatológicas. Una aplicación de la que haremos uso es poder establecer relaciones de estos índices con otras variables climatológicas: Por ejemplo lo podemos hacer entre una combinación de los índices y la temperatura. Una ecuación empírica tipo, por ejemplo, para el mes de enero podría ser:

$$T^a = 2.7 - 0.13 * P + 0.16 * S + 0.66 * C \quad (1)$$

Indicaría que el valor de la temperatura, para los meses de enero, se obtiene como combinación de los Índices P S y C. En la ecuación P S y C pueden ser positivos ó negativos. La ecuación sugiere que eneros muy fríos se asociarían con tipos progresivos (P>0), del norte (S<0), y anticiclónicos (C<0.) (Murray and Lewis 1966, Murray and Benwell, 1970 ,Tadeus Niedzwiedz 1994) .

Las ecuaciones pueden a veces ser muy consistentes: en la figura 4 se observan las isolíneas de correlación del valor del volumen de precipitación de la cuenca Norte con el valor del índice C, en el mes de noviembre, en el periodo 1948-2003. Se observa un máximo de correlación (0.85) entre los volúmenes de precipitación de la cuenca Norte y el valor del índice C en un punto situado al norte de Francia; por tanto dicho volumen se puede obtener de manera aproximada a partir de los valores del índice C, en el punto de máxima correlación.

Estas relaciones encontradas entre los valores de los índices y las variables climatológicas más utilizadas en superficie, pueden ser de mucha utilidad en el análisis sinóptico y es fácil deducirlas para muchas variables, hemos trabajado de esta

manera con los volúmenes de precipitación y hemos utilizado los resultados encontrados en implementar una técnica de downscaling, como vemos a continuación.

La idea del método es relacionar la precipitación mensual observada (volúmenes de precipitación) en cuencas hidrográficas de la Península Ibérica y los valores de índices de circulación derivados del geopotencial en 500 y 1000 hPa. y de la presión a nivel del mar, durante un conjunto determinado de años (1948-2003)

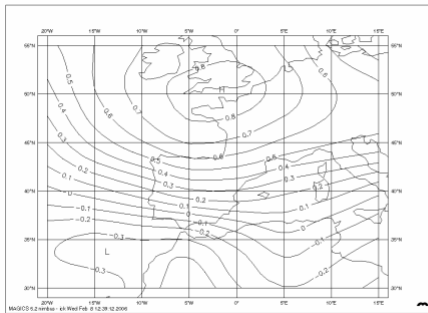


Fig. 4 Isocorrelaciones de igual correlación del volumen de precipitación en la cuenca Norte con el valor del índice C en el mes de noviembre (periodo 1948-2003)

Los resultados se utilizan posteriormente como base, para, trabajando con los valores de presión y geopotencial en otro periodo, calcular los índices correspondientes y obtener los valores de volúmenes de precipitación en ese nuevo periodo. (Figura 7)

Construimos los índices C, S y P en todos y cada uno de los puntos de la malla mostrada en la figura 4 en los niveles de 1000 y 500 hPa. cada mes en el periodo dado (1948-2003). En total disponemos de los valores de tres índices, en dos niveles, en 8x6 puntos de malla lo que da 288 puntos cada uno de ellos con 56 datos correspondientes a cada año del periodo dado (1948-2003).

Para cada mes y cada cuenca se obtiene una relación empírica entre el volumen de precipitación de la cuenca y los valores de los índices C S y P. La misma se obtiene mediante un método de regresión paso a paso en el que como variable dependiente se utiliza el volumen de precipitación. Como variables independientes se utilizan los valores de los índices citados (los 288 que caracterizan el mes) previamente calculados El proceso de regresión solo selecciona algunos de los 288 valores citados.

El volumen de precipitación un mes dado en una cuenca determinada vendría dado la ecuación de regresión obtenida y nos da una expresión similar a:

$$V = a_0 + \sum a_i \cdot \text{ind}(P_i) \quad (2)$$

Donde a_0 es el termino independiente, a_i los coeficientes de la regresión, e $\text{ind}(P_i)$ el valor del

índice en el punto i. Este proceso lo realizamos para todos los meses y todas las cuencas hidrográficas.

6. Validación de las relaciones: Se construye la ecuación de regresión para el periodo de 1948 a 1993. Se valida en el periodo 1994-2003. Los resultados del coeficiente de correlación (por cien) obtenidos mes a mes para todas las cuencas y todos los meses son los descritos en la tabla 1 (con N=10 datos). En las columnas se representan los meses. En filas las distintas cuencas.

Se observa una correlación buena en las cuencas atlánticas (Co,C1,C2,C3,C4) para los meses que no son de verano y regular salvo excepciones para las mediterráneas (C5,C6,C7,C8,C9).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
C0	78	92	98	64	78	40	73	93	88	95	90	92
C1	87	79	88	94	95	87	61	43	82	93	97	96
C2	95	82	88	82	90	87	54	72	67	86	91	98
C3	96	85	89	78	78	82	39	56	61	86	86	93
C4	95	85	89	77	81	80	55	69	54	82	84	92
C5	96	78	86	53	74	65	27	4	59	82	71	92
C6	87	68	50	19	83	31	67	84	49	63	46	35
C7	85	80	69	13	36	40	70	84	71	54	54	76
C8	81	65	82	77	25	58	64	58	-7	79	82	84
C9	91	95	85	46	27	74	73	56	10	67	23	83

Tabla 1: Valores de los coeficientes de correlación encontrados en el proceso de validación dados por meses y cuencas. La nominación de las cuencas va en sentido contrario a las agujas del reloj. C0 Norte, C1 Duero, C2 Tajo etc .

Se pueden ver en la figura 5 y 6 para la cuenca cantábrica (C0) y la cuenca del Ebro (C8) los volúmenes medios de precipitación real y los volúmenes calculados en el periodo 1994-2003 también se representan las medias para el periodo 1948-1993). Obsérvese como la precipitación calculada sigue el valor real y no el climatológico.

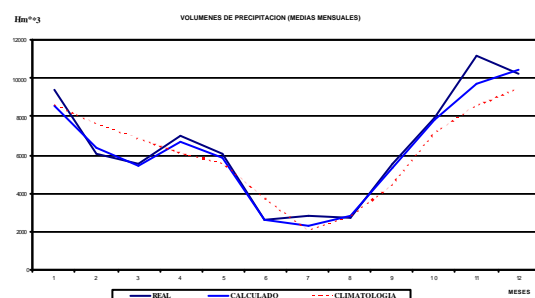


Figura 5: Medias mensuales de volúmenes de precipitación en la cuenca Norte en el periodo de validación 1994-2003. También están representados los valores medios obtenidos en el periodo 1948-1993.

El siguiente paso es utilizar estas ecuaciones de regresión para hallar los valores de los volúmenes de precipitación en el periodo 2001 a 2100: para ello

calculamos previamente los índices C S y P a partir de las salidas del geopotencial de 1000 y 500 que nos proporciona el modelo climático.

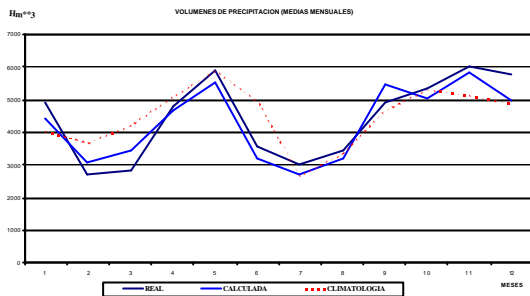


Figura 6: Lo mismo que la figura 5 para la cuenca del Ebro

7. Downscaling. Con la denominación de downscaling se agrupan una serie de técnicas cuya finalidad es obtener, los valores de las variables meteorológicas que nos proporcionan las salidas de los modelos del clima, u otras variables derivadas, con una mayor resolución y/o fiabilidad que las suministradas por dichos modelos, ya que dicha resolución y fiabilidad aunque válida en muchos aspectos es insuficiente para su utilización a escala regional y local.

Este trabajo, no es de downscaling propiamente hablando, porque no se realiza un aumento de resolución, pero utilizamos este término ya que la técnica desarrollada puede aplicarse perfectamente a puntos de una malla con mayor resolución que la que dan los modelos o en lugares escogidos siendo por consiguiente una técnica de downscaling. En la actualidad estas técnicas se encuentran en estado de desarrollo y se pueden agrupar en varios tipos. El trabajo que se presenta a continuación pertenece al tipo de downscaling estadístico (Boren 1995, Petisco 2005)

El downscaling estadístico encuentra, a partir de los datos observados relaciones de tipo empírico entre distintas variables atmosféricas en la zona de estudio. Estas relaciones se suponen inalterables en un contexto de cambio climático y se aplican a los campos de salida de los modelos obteniéndose estimaciones futuras de alguna variable particular, en la zona de interés. De esta manera podemos incorporar de manera implícita más información (como por ejemplo la orografía, de muy pobre representación en los modelos). También suponemos de manera implícita una buena representación sinóptica de las variables que utilizamos del modelo. Los campos de geopotencial son los mejor simulados en general y se suelen utilizar en la mayor parte de los trabajos como punto de partida. La mayor parte de los trabajos están enfocados a obtener valores de temperatura y precipitación en superficie con mayor resolución de lo que se obtiene con la salida de los modelos del clima.

8. Metodología. Como hemos dicho el método utiliza las relaciones encontradas entre los valores de presión y/o geopotencial y los valores de precipitación en superficie a través de los índices de circulación, para aplicarlas posteriormente a las salidas de los modelos climáticos de las mismas variables y obtener los valores de precipitación asociados (figura 7).

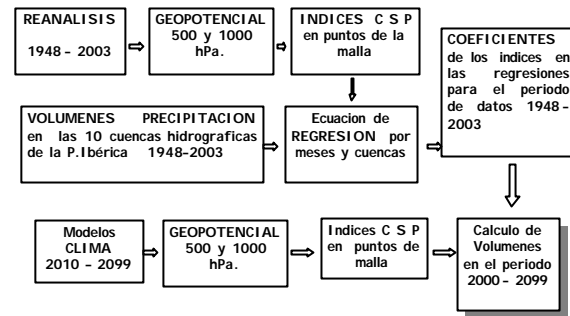


Figura 7. Se muestra el esquema de trabajo. En las dos primeras filas se trabaja con datos observados. En la última, con salidas del modelo.

9. Resultados. Los resultados se obtienen como volúmenes de precipitación mensuales en cada una de las cuencas y para cada uno de los modelos desde el año 2001 al 2009. Estos resultados son muy diferentes de unos modelos a otros y concuerdan razonablemente bien con los resultados obtenidos por el método de los análogos. La enorme variabilidad de los regímenes de precipitación en la Península Ibérica tanto geográfica como estacionalmente hace imposible una exposición detallada. Se resumen los resultados, señalando que son promedios de entidades heterogéneas como son las cuencas, los periodos del año, y los mismos modelos.

Los resultados del downscaling con los modelos Echam4 y Cgcm2 en el periodo 2070-2099 nos presentan una península en general más seca; en el escenario de emisiones A2 las diferencias aun son más grandes que en los escenarios B2: unos 7 a 8 litros de disminución de precipitación por metro cuadrado y mes en el escenario A2 y del orden de 2 a 5 litros por metro cuadrado y mes en el B2. El Modelo HADCM2 nos da en general una península un poco más húmeda ó sin variación.

Por meses, mayo, octubre y noviembre son los que presentan mayor caída de la precipitación (11 litros por metro cuadrado y mes) aunque en todos los meses, menos en enero, se produce un descenso de precipitación (entre 2 y 6 litros por metro cuadrado y mes).

Por cuencas la Cantábrica presenta disminuciones del unos 10 litros mensuales. La del Guadalquivir de 6 litros y solo las cuencas del Sudeste español parece que mantienen la precipitación, aunque dados los resultados de la validación en estas cuencas los resultados no parecen aplicables.

El hecho de que la validación con los datos observados sea en general bastante aceptable, (por lo menos para varias cuencas), parece indicarnos que los modelos climáticos no tienen todavía capacidad para predecir (directa ó indirectamente) los regímenes de precipitación con nivel detallado, quizás debido a la falta de inclusión en los modelos climáticos de procesos físicos que no es posible incluir, a la tosca orografía y a la definición del tamaño de grid. Cuando se comparan los valores de precipitación que obtenemos con los modelos con los observados en el periodo común (1961-1990) existen diferencias entre el dato real y el simulado por cada modelo y entre los datos simulados por los modelos entre sí, pero hay que resaltar que obteniendo el dato predicho como una media de los valores simulados por los distintos modelos, el valor promedio se aproxima mucho más al valor observado

En la figura 8 se representan los valores de precipitación mensuales, promedio de todos los modelos, en toda la Península, en litros por m² en el periodo común 1961-1990, observándose, que este promedio se aproxima mejor a los valores reales. Por tanto esperamos una mejor aproximación cuando trabajamos con varios modelos y escenarios de emisiones que con un solo modelo y un solo escenario.

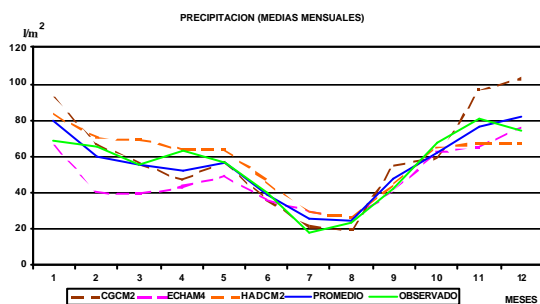


Figura 8. Precipitación promedio mensual en la Península Ibérica en l/m² dada por los modelos Cgcm2, Echam4, y Hadcm2 (líneas a trazos) .Se representa su promedio y los valores reales (lineas continuas)

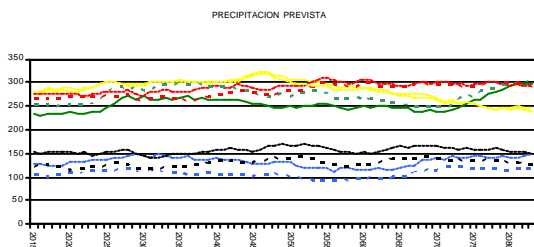


Figura 9. Se presentan conjuntamente los resultados del método de los índices y del método de los análogos para los cinco experimentos. En amarillo y rojo el modelo CGCMA. En verde el HADCM2 .En negro y azul el modelo ECHAM. La cuenca representada es la del Tajo. El punto representado por el método de los análogos es un punto de Extremadura. Los valores son medias móviles de 30 años

Por último en la figura 9 se comparan los resultados de este método con el resultado obtenidos aplicando el método de los análogos. Este método calcula la precipitación en puntos determinados de una malla con una distancia aproximada de nodos de red de unos 55 Km. (Petisco, E) Los datos vienen dados en ambos métodos, en litros por metro cuadrado en el periodo invernal. El lugar escogido pertenece a la zona de Extremadura. La cuenca por consiguiente es la cuenca del Tajo. Se presentan los resultados con los tres modelos y con los dos escenarios de emisión. El periodo representado es el periodo invernal (Diciembre, Enero y Febrero).

10. Conclusiones: Se ha presentado un método de downscaling que hace uso de una herramienta como los índices de circulación atmosférica. Estos índices son muy útiles para detectar comportamientos y variaciones de la circulación atmosférica. También son útiles como herramientas intermedias entre campos de salida de los modelos del clima y otras variables que nos interese obtener a mayor resolución aplicando métodos de downscaling.

Esta herramienta, sencilla, potente y con claro significado físico, ha trabajado con volúmenes de precipitación, pero no ofrece ningún problema adicional el poder trabajar con distintas variables o puntos geográficos, y se une a las demás técnicas utilizadas, con el fin de determinar escenarios de valores de precipitación y temperatura, u otras variables derivadas de una manera alternativa a la salida de los modelos climáticos.

Referencias

- Balairón, L., Martín, J., Petisco E., 2002: Escenarios de Cambio Climático para la Cuenca del Guadalquivir obtenidos a partir de un experimento HADCM2, *Tercera Asamblea Luso-Española de Geodesia y Geofísica*.
- Balairón, Petisco E., Martín J., y Gil D. 2004: Escenarios de Alta Resolución para Estudio de Impactos climáticos sobre Sistemas Agrícolas y Recursos Hídricos en las Cuencas Atlánticas Españolas. XXVIII Jornadas Científicas de la AME. *5º Encuentro Hispano-Luso de Meteorología*.
- Barry R.G., and Perry A.H., 1973: *Synoptic Climatology , Methods and Applications* , Metuen , London ,pp 139-142.
- Boren R., Ribalaygua J., Balairón L., 1977: Método Analógico de Simulación de Escenarios Climáticos a escala Comarcal. *Informe Técnico nº 4. Servicio de Variabilidad y Predicción del Clima, INM, Madrid*.
- Deliang Chen, 2000: A monthly circulation climatology for Sweden and its application to a winter temperature case study. *International Journal of Climatology*, **20**: 1067-1076.

- Hulme M., Briffa, K.R., Jones, P.D. and Senior, C.A., 1993: Validation of CGM control simulations using indices of daily airflow types over the British Isles. *Climate Dynamics* **9** 95-105.
- IPCC Special Report on Emisión Scenarios Intergovernmental Panel on Climate Change
- Jenkinson, A.F. and Collison B.P., 1977: An initial climatology of gales over the North Sea *Synoptic Climatology Branch Memorandum No. 62* UK Met Office, Bracknell, 18pp.
- Jones, P.D., Hulme M., and Briffa, K.R. 1993: A comparison of Lamb circulation types with an objective classification scheme. *Int. J. Climatol.* **13**, 665-663.
- Jones, P.D., E.B. Horton, C.K. Folland, M. Hulme, D.E. Parker and T.A. Basnett 1999: The use of indices to identify changes in climatic extremes. Climatic Research Unit, University of East Anglia Hadley Centre, Meteorological Office, Bracknell. *Climate Change* **42**: 131-149.
- Kilsby C.G., 1998: Predicting rainfall statistics in England and Wales using atmospheric circulation variables. *Int. J. Climatol.* **18**: 523-539.
- Martín J. 2001: Escenarios de Precipitación en Cuencas Hidrográficas de la Península Ibérica: Aplicación de un Método con Índices de Circulación al Experimento Hadcm2sul. *Nota técnica nº 7 del Servicio de Variabilidad y Predicción del Clima, INM, Madrid.*
- Martín J. 2001: Caracterización de la circulación atmosférica en un entorno de la Península Ibérica mediante cuatro índices reticulares. *Nota técnica nº 8 del Servicio de Variabilidad y Predicción del Clima. INM. Madrid.*
- Murray R. 1967: Cyclonic Junes over the British Isles and the synoptic character of the following septembers. *The Meteorological Magazine*, **Vol 96** Nº 1136, pp 65-69. March 1967
- Murray R. and Lewis R. P. W., 1966: Some aspects of the synoptic climatology of the British Isles as measured by simple indices. *The Meteorological Magazine*, **Vol 95**, Nº 1128, pp 193-203, July 1966
- Murray R and Benwell P.R. 1970: PSCM indices in synoptic climatology and long-range forecasting. *The Meteorological Magazine*, **Vol 99**, pp 232-244.
- Petisco de Lara S.E., Martín J. y Gil D.F., 2005: Método de estima de precipitación mediante "downscaling". *Nota técnica nº 11 del Servicio de Variabilidad y Predicción del Clima, INM, Madrid.*
- Tadeus Niedzwiedz, Zbigniew Ustrnul, Elzbieta Cebulak and Danuta Limanowka. 1994: Long-term climate variations in Southern Poland due to atmospheric circulation variability. *Climate Variations in Europe*, pp 263-277, Publications of the Academy of Finland 3/94
- Trigo Ricardo M., Palutikof Jean P.: 2001 Precipitation Scenarios over Iberia: A comparison between Direct GCM Output and Different Downscaling Techniques. *Journal of Climate* Vol **14**. No. 23 pp. 4422-4446.
- Viner D., 1996: "The Climate Impacts LINK Project 1996". *Climate Monitoring*, ol. **23**, Nos. 3-5
- Waldo R.P. Lewis and R. Murray. 1965: The limitations of analogue sequences of daily weather types over the British Isles. *Meteorological Office, Bracknell.*