

¿Cómo distintas clasificaciones de tipos de circulación discriminan las fases de la NAO?

How different circulation-type classifications can discriminate NAO phases?

María Asunción PASTOR SAAVEDRA¹, María Jesús CASADO CALLE¹ &
Francisco Javier DOBLAS-REYES²

¹ Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Spain
a.pastor@inm.es

² European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), United Kingdom
f.doblas-reyes@ecmwf.int

Received: 30 May 2009

Accepted: 25 September 2009

RESUMEN

En este estudio se establece un ranking entre un conjunto de clasificaciones de tipos de circulación atmosférica procedentes del Proyecto Europeo Acción COST733, atendiendo a su mejor discriminación de las fases positiva y negativa de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). Como medida de evaluación se utiliza el estadístico χ^2 de Pearson. En segundo lugar, se analiza el impacto de utilizar diferentes números de tipos de circulación en la discriminación de dichas fases.

El interés de este estudio radica en la utilización conjunta de dos enfoques extensamente empleados en el estudio de la circulación general: modos de variabilidad y tipos de circulación, que normalmente, se estudian de forma separada. Su relación nos permitirá establecer un ranking entre clasificaciones.

Entre los resultados encontrados se observa que, como regla general, las clasificaciones discriminan mejor la fase negativa que la positiva de la NAO, y tanto más cuanto mayor sea el número de tipos de circulación considerados. Las clasificaciones que mejor discriminan la fase positiva de la NAO pertenecen a la misma familia de algoritmos de clasificación (Optimización) Por el contrario, las clasificaciones que mejor discriminan la fase negativa de la NAO pertenecen a dos familias de algoritmos (Optimización y Análisis en Componentes Principales) y muestran un impacto positivo más claro con el número de tipos de circulación que en el caso de la fase positiva.

Palabras clave: Oscilación del Atlántico Norte; fases de la NAO; modos de variabilidad; clasificaciones; tipos de circulación; algoritmos de clasificación; χ^2 de Pearson.

ABSTRACT

In this study, a ranking between a variety of atmospheric circulation classifications from the European Action COST733 is established attending to the best discrimination of positive and negative North Atlantic Oscillation (NAO) phases. As an evaluation measure, the χ^2 -Pearson

statistics has been used. Secondly, the impact of using different number of circulation types in the discrimination of NAO phases has been analysed.

The main interest of the study is in the joint use of two general circulation approaches: modes of variability and circulation classification methods, which usually are studied in a separate way. Their relationship will allow us to establish a ranking among classifications.

As a general rule, the classifications discriminate the negative NAO phase better than the positive NAO phase, and the larger the number of circulation types, the better the discrimination is. The classifications that best discriminate positive NAO phase belong to the same family of classification algorithms (optimization) and turn out to be independent of the number of circulation types considered. By contrast, the classifications that best discriminate negative NAO phase encompass two families of algorithms (optimization and principal component analysis) showing a more clear impact with the number of circulation types.

Key words: North Atlantic Oscillation; NAO phases; modes of variability; classifications; circulation types; classification algorithms; χ^2 -Pearson statistics.

SUMARIO: 1. Introducción. 2. Datos. 3. Métodos. 4. Resultados. 5. Conclusiones. 6. Agradecimientos. 7. Referencias

1. INTRODUCCIÓN

Los catálogos de tipos de tiempo sinópticos o clasificaciones cuentan con una gran tradición en Meteorología y Climatología. El empleo de clasificaciones se ha extendido en las últimas décadas, especialmente tras el extraordinario avance experimental por los ordenadores que han permitido el desarrollo y la aplicación rutinaria de métodos objetivos basados en el procesamiento de ingentes cantidades de datos. En el momento actual, asistimos a un renacimiento del empleo de las clasificaciones, existiendo una demanda creciente de las mismas en diversos campos de la ciencia atmosférica: desde la climatología histórica, predicción numérica por conjuntos, hasta la modelización climática –tanto simulaciones de clima actual como de clima futuro- (Huth et al., 2008; Philipp y Beck, en prensa).

El objetivo de las clasificaciones de tipos de circulación es identificar patrones dinámicos recurrentes (por ejemplo, de presión a nivel del mar) para una región particular. El conjunto resultante de tipos de circulación (TC, de aquí en adelante) proporciona un marco de referencia conceptual sencillo donde, idealmente, la situación de tiempo específica de un día puede atribuirse a uno de los TC (Schiemann y Frei, en prensa). Como se ha apuntado anteriormente, existe un rango amplio de aplicaciones posibles: meteorológicas, climatológicas e hidrológicas de los TC, pero su utilidad en un caso concreto depende de cuán próximo esté asociado el fenómeno con el conjunto de TC.

En la reciente revisión realizada por Huth et al. (2008), se han considerado las clasificaciones de circulación en un contexto más amplio dentro de la climatología, más concretamente en un área de investigación perteneciente a la climatología sinóptica. En este trabajo se han sistematizado los distintos enfoques y métodos recogidos en el inventario de las clasificaciones generado en el desarrollo de la Acción COST733, dentro del marco de la Cooperación Europea en el campo de la Investigación Científica y Técnica (COST).

Es interesante subrayar el cambio cualitativo experimentado en la consideración de las clasificaciones que han pasado de ser una mera descripción de los estados atmosféricos a convertirse en una herramienta muy útil en la comprensión e interpretación de los procesos atmosféricos y modelización de la conexión entre circulación atmosférica y otros fenómenos de superficie o de altura.

En este punto, es importante distinguir entre los conceptos de tipos de circulación y modos de variabilidad. Los modos de variabilidad (definidos generalmente acudiendo al *análisis en componentes principales (ACP)*, conocido también como *análisis de las funciones ortogonales empíricas*), constan de un patrón espacial fijo y de una serie temporal asociada. Al concentrarse gran parte de la variabilidad en las primeras componentes principales, un campo de circulación en cada instante de tiempo puede, por tanto, aproximarse por una combinación lineal de los primeros modos de variabilidad.

En el enfoque de las clasificaciones de los tipos de circulación se dispone de una serie temporal en la que cada día se asigna a un tipo de circulación. El patrón espacial de cada TC se obtiene como el campo medio de los días pertenecientes a dicho TC.

En este estudio, nos centraremos en la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), un modo de variabilidad que se ha investigado extensivamente, habiéndose demostrado que para las latitudes medias es el modo climático invernal más importante en la parte occidental del continente europeo, explicando aproximadamente un tercio de la variabilidad interanual (Marshall et al., 2001; Schwierz et al., 2006; Demuzere et al., 2008).

La finalidad de este artículo es cuantificar la capacidad de las diferentes clasificaciones de TC consideradas en la Acción COST733 para discriminar las fases de la NAO. De esta forma relacionamos dos de los enfoques más utilizados en el estudio de la circulación general atmosférica: modos de variabilidad y tipos de circulación. Como objetivo secundario se ha prestado especial atención al impacto de operar con distintos números de tipos de circulación en cada clasificación considerada.

El artículo se estructura de la siguiente forma: la Sección 2 está dedicada a la descripción del conjunto de datos, la Sección 3 describe los métodos empleados. En la Sección 4, se presentan los resultados y las conclusiones se recogen en la Sección 5.

2. DATOS

Las fuentes de datos utilizadas son las siguientes:

1.- El índice de la NAO utilizado es el disponible en la página web del Climate Prediction Center (CPC) del NCEP/National Weather Service (NWS) /National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), correspondiente a los datos diarios del invierno extendido (Diciembre, Enero, Febrero y Marzo). El método empleado se basa en la técnica de funciones ortogonales empíricas rotadas (Barnston y Livezey, 1987). Las series temporales de los índices se han calculado proyectando los campos de anomalías de la altura de geopotencial de 500 hPa en los patrones espaciales calculados.

2.- Las clasificaciones de tipos de circulación consideradas son las obtenidas en el desarrollo de la Acción COST733 ‘Harmonisation and applications of Weather

Types Classifications for European Regions' y disponibles en el portal <http://www.cost733.org>. Esta colección de clasificaciones comprende tanto métodos objetivos como subjetivos (Huth et al., 2008). Las clasificaciones objetivas, es decir, aquellas cuyos métodos de clasificación son realizados por ordenador, se han aplicado al conjunto de datos del re-análisis ERA40 del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (Uppala et al., 2005) para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 1957 y el 31 de agosto de 2002, para un dominio espacial que cubre toda Europa y diversos dominios regionales, y para diferentes números de tipos de circulación, aproximadamente 9, 18 y 27 TC. Para simplificar, nos referiremos en los resultados a los subcatálogos C09, C18 y C27, que englobarán a aquellas clasificaciones con aproximadamente 9, 18 y 27 TC. Finalmente, en este estudio se han considerado 18 clasificaciones objetivas disponibles para los tres subcatálogos y 4 subjetivas. Estas clasificaciones (Tabla 1) cubren un rango amplio de métodos de clasificación: (1) métodos basados en la *optimización de algoritmos* (OPT), muchos de los cuales se refieren a análisis de conglomerados, desde el denominado k-medias con diferentes procedimientos para la selección de las semillas hasta el "simulated annealing" tanto de patrones diarios como secuencias de 3 días, y un método basado en redes neuronales; (2) métodos basados en la fijación o selección de *umbrales* de las variables de circulación (THR, de sus siglas en inglés); (3) métodos basados en el *análisis de componentes principales* (PCA, por sus siglas en inglés); (4) métodos basados en un *algoritmo dominante* (LDR, de sus siglas en inglés) y (5) métodos subjetivos. Una descripción técnica detallada de las clasificaciones utilizadas aparece recogida en Philipp et al. (en prensa), Philipp y Beck (en prensa) y Cahinová y Huth (2009).

El dominio espacial utilizado cubre toda Europa (30°N - 76°N , 37°O - 56°E) y el dominio temporal comprende el conjunto de inviernos extendidos (DEFM) que se extienden desde diciembre de 1957 a marzo de 2002 (un total de 5456 días).

Clasificación	Método
CKMEANS	k-medias
ESLP	Algoritmo dominante
GWT	Selección de umbrales /Prototipos de circulación
HBGWL/HBGWT	Subjetiva
KH	Algoritmo dominante
LITADVE	Selección de umbrales
LITC	Selección de umbrales
LUND	Algoritmo dominante
LWT2	Selección de umbrales/Catálogo Lamb objetivado
NNW	Redes neuronales artificiales
OGWL	Subjetiva
OGWLSLP	Subjetiva
P27	Subdivisión según los “scores” del ACP en modo S
PCACA	k-medias
PCACTR	“Scores” extremos del ACP en modo S sin iteraciones
PCACTRKM	“Scores” extremos del ACP en modo S con iteraciones
PERRET	Subjetiva
PETISCO	k-medias
SANDRA	“Simulated Annealing”
SANDRAS	“Simulated Annealing” con secuencias de 3 días
TPCA	ACP en modo T
WLK	Selección de umbrales

Tabla 1. Lista de las clasificaciones de circulación disponibles en el inventario de COST733 (<http://www.cost733.org>).

3. MÉTODOS

Previamente al análisis de la relación entre los TC y la NAO, se ha normalizado el índice de la NAO y definido la fase positiva (NAO^+) cuando los valores sean superiores a 1.0 y la fase negativa de la NAO (NAO^-) cuando los valores sean inferiores a -1.0.

En segundo lugar, para cada clasificación y para cada tipo de circulación (TC), se ha determinado el número de días pertenecientes a cada TC que pertenecen a las fases positiva (NAO^+) y negativa (NAO^-). Por último, se ha calculado el estadístico χ^2 para cada una de las fases de la NAO y para cada clasificación.

El estadístico χ^2 se define como:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^I \left((k_i - N p_i^{teor})^2 / N p_i^{teor} \right)$$

siendo $p_i^{teor} = (n_i/N) * (K/N)$, k_i número de días de NAO^+ (NAO^-) para cada TC de una clasificación dada, n_i número total de días correspondientes a cada TC de cada clasificación, K número total de días NAO^+ (NAO^-) en el periodo Diciembre 1957-

Marzo 2002, N número total de días (5456 días), I número de TC considerado en una clasificación dada (9,18 ó 27).

Como criterio de evaluación se considera que cuánto mayor sea el valor de la χ^2 , mayor será el poder discriminante de la clasificación con respecto a las fases NAO⁺ o NAO⁻.

4. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados del estadístico χ^2 para cada uno de los subcatálogos y para cada una de las fases (Tablas 2-4 y Fig.1-3).

En el subcatálogo C09 (Tabla 1, Fig. 1), se observa que, como regla general, los valores del χ^2 para la fase NAO⁻ son superiores a los valores mostrados en la fase NAO⁺, lo que indica una mejor discriminación y una mayor variabilidad de los tipos de circulación. Las excepciones se encuentran en las clasificaciones ESLP, PCACA, LUND y TPCA. Las clasificaciones que muestran los valores de χ^2 más altos para la NAO⁺, pertenecen a la familia de métodos basados en algoritmos de optimización (OPT). Respecto a la fase NAO⁻, las clasificaciones que muestran los valores más elevados de χ^2 son: P27, SANDRAS, NNW y CKMEANS; pertenecientes a la familia de PCA y a la de métodos basados en algoritmos de optimización. Las clasificaciones WLK y KH son las que presentan menor capacidad discriminatoria para ambas fases de la NAO.

Subcatálogo C09			
NAO+		NAO-	
SANDRAS	754,6	P27	999,7
SANDRA	734,8	SANDRAS	940,5
CKMEANS	694,0	NNW	852,2
NNW	678,9	CKMEANS	834,5
PCACA	649,5	PCAXTRKM	818,8
LITADVE	604,2	SANDRA	818,3
PCAXTRKM	594,7	GWT	737,3
ESLP	588,0	PCAXTR	735,7
LUND	536,9	PETISCO	617,1
GWT	456,4	LITADVE	601,6
TPCA	455,4	PCACA	524,5
HBGWT	390,9	HBGWT	449,3
LWT2	380,9	ESLP	433,8
P27	378,7	LUND	407,1
PCAXTR	343,0	LWT2	359,4
PETISCO	211,3	TPCA	341,9
WLK	58,9	WLK	84,5
KH	36,4	KH	65,2

Tabla 2. Ranking de los valores del estadístico χ^2 de Pearson correspondientes a las fases positiva y negativa de la NAO para las clasificaciones de tipos de circulación incluidas en el subcatálogo C09.

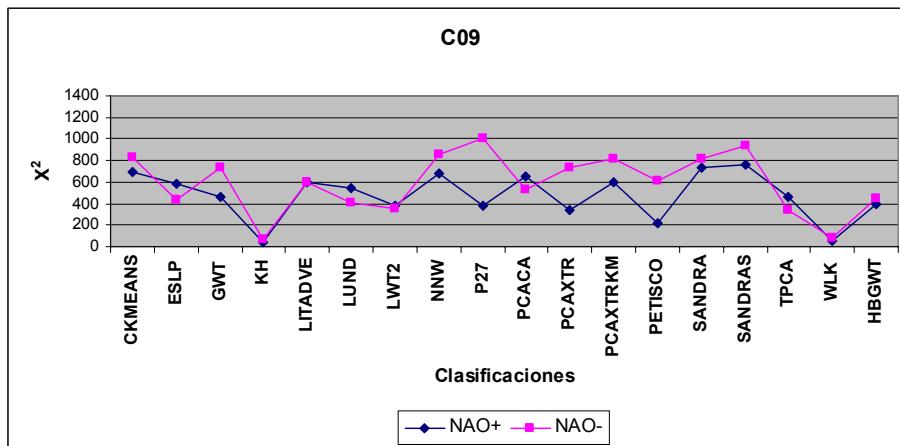


Figura 1. Valores del estadístico χ^2 correspondientes a las fases positiva y negativa de la NAO para las clasificaciones pertenecientes al subcatálogo C09.

En el subcatálogo C18 (Tabla 3, Fig. 2) se muestra que, con la excepción de PCACA, los valores χ^2 para la NAO⁻ son superiores a los mostrados para la NAO⁺, y mayores que los correspondientes al subcatálogo C09. No hay cambios respecto al tipo de familias de métodos que mejor y peor discriminan las fases de la NAO respecto al subcatálogo C09.

Subcatálogo C18			
NAO+		NAO-	
CKMEANS	962,7	SANDRAS	1202,2
SANDRAS	952,1	P27	1128,3
SANDRA	941,4	CKMEANS	1101,5
NNW	912,9	SANDRA	1007,9
PCACA	738,5	NNW	969,6
LUND	625,3	PETISCO	818,3
LITC	619,9	GWT	785,5
PETISCO	600,0	ESLP	752,3
PCAXTRKM	549,9	PCAXTRKM	751,9
P27	527,6	PCAXTR	710,3
GWT	464,4	LUND	630,2
TPCA	444,1	TPCA	624,9
LWT2	425,3	LITC	621,2
ESLP	424,2	PCACA	535,3
PCAXTR	385,3	LWT2	509,2
KH	147,0	KH	140,8
WLK	103,6	WLK	119,9

Tabla 3. Como la Tabla 2 pero referente al subcatálogo C18.

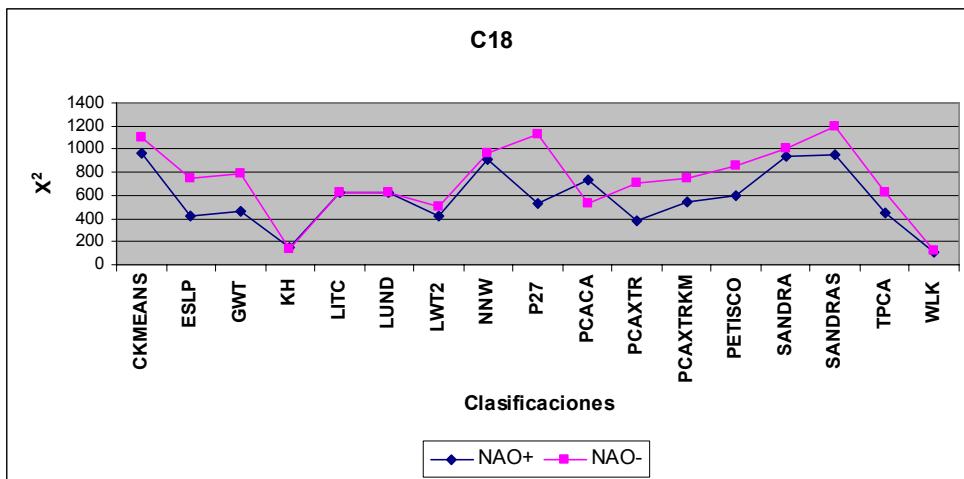
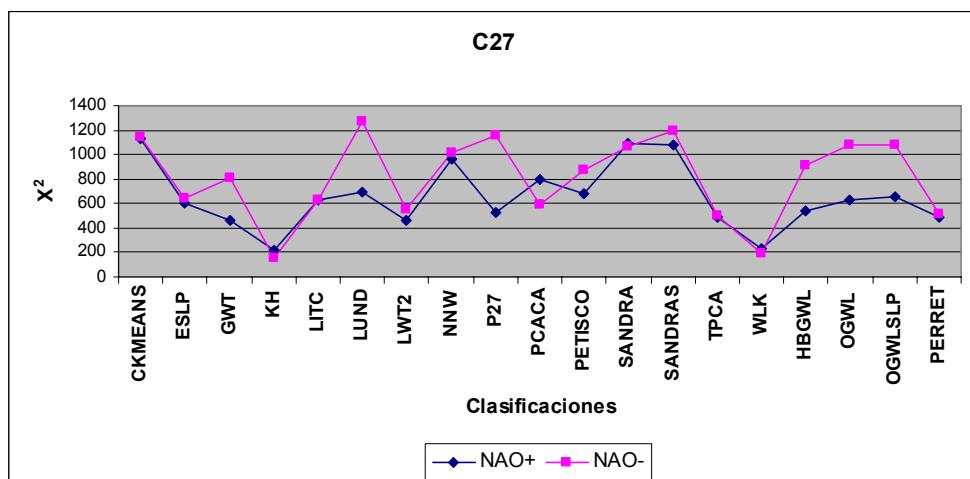


Figura 2. Como Figura 1 pero referente al subcatálogo C18.

En el subcatálogo C27 (Tabla 4, Fig. 3) se muestra que con la excepción de PCACA y KH, los valores χ^2 para la fase negativa son superiores a los valores mostrados en la fase positiva. Análogamente a lo sucedido en los subcatálogos C09 y C18, las clasificaciones que muestran los valores de χ^2 más altos para la NAO⁺ pertenecen a la familia de algoritmos de optimización. En la NAO⁻, la clasificación que mejor discrimina es LUND, perteneciente a la familia de algoritmo dominante (LDR), junto a las familias mencionadas en los otros subcatálogos; destacando el buen papel de las subjetivas OGWL y OGWLSP, dos versiones objetivadas de la clasificación alemana de gran tradición en Centroeuropa, denominada Hess-Brezowsky.

Subcatálogo C27			
	NAO+		NAO-
CKMEANS	1132,7	LUND	1271,5
SANDRA	1095,2	SANDRAS	1200,2
SANDRAS	1076,6	P27	1152,5
NNW	969,1	CKMEANS	1138,7
PCACA	800,4	OGWLSP	1081,2
LUND	692,2	OGWL	1075,7
PETISCO	683,4	SANDRA	1060,4
OGWLSP	657,3	NNW	1014,5
OGWL	629,9	HBGWL	913,6
LITC	627,5	PETISCO	870,9
ESLP	599,0	GWT	803,6
HBGWL	535,4	ESLP	641,8
P27	528,3	LITC	630,9
PERRET	492,6	PCACA	590,6
TPCA	482,6	LWT2	548,6
GWT	466,4	PERRET	515,9
LWT2	461,0	TPCA	495,6
WLK	230,3	WLK	189,5
KH	214,6	KH	154,0

Tabla 4. Como la Tabla 2 pero referente al subcatálogo C27.**Figura 3.** Como Figura 1 pero referente al subcatálogo C27.

5. CONCLUSIONES

En este estudio nos hemos centrado en la identificación de las clasificaciones de tipos de circulación atmosféricas (TC) desarrolladas en la Acción COST733 ('Harmonisation and Applications of Weather Types Classifications for European Regions') que mejor discriminan las fases de la NAO. Asimismo se ha analizado el posible impacto de considerar distintos números de TC.

Un resultado importante es que las clasificaciones tienen una mayor capacidad discriminatoria para la fase negativa de la NAO. Tal vez pueda atribuirse al hecho de que la fase negativa se produce durante episodios en los que la circulación normal se interrumpe, y esto ocurre con patrones espaciales que pueden tener más variabilidad y que se distribuyen entre más tipos de circulación que los que se producen durante la fase positiva de la NAO.

Las clasificaciones que mejor discriminan la fase negativa de la NAO pertenecen a las familias de algoritmos de optimización, SANDRA, SANDRAS, CKMEANS y NNW y, de métodos basados en el *análisis de componentes principales*, P27. En el caso del subcatálogo C27, la clasificación que mejor discrimina es LUND, de la familia de algoritmo dominante.

Las clasificaciones que mejor discriminan la fase positiva de la NAO son las mismas en los tres subcatálogos y pertenecen a la familia de *algoritmos de optimización*. Estos algoritmos son enfoques combinatorios que disponen el conjunto completo de días en el interior de grupos de forma que una cierta función se optimiza.

Para ambas fases, aunque más notorio en el caso de la fase negativa, se observa un impacto positivo en la discriminación cuando se incrementa el número de TC.

Las clasificaciones subjetivas: OGWL, OGWLSP y HBGWL discriminan mejor la fase negativa que la fase positiva de la NAO.

Por último, aquellas clasificaciones que peor discriminan ambas fases de la NAO para todos los subcatálogos son la WLK perteneciente a métodos basados en la *selección de umbrales* y la KH que utiliza el procedimiento denominado *algoritmo dominante*, cuyo enfoque está próximo al análisis de conglomerados no jerárquico.

En un estudio futuro, se aplicarán otros estadísticos para analizar la posible dependencia de los mismos en los resultados.

6. AGRADECIMIENTOS

Este artículo no se hubiera podido llevar a cabo sin el trabajo desarrollado por la Acción COST733 con título ‘Harmonisation and Applications of Weather Types Classifications for European Regions’. El programa COST está financiado por la Unión Europea.

Nuestro recuerdo especial y emocionado a Elvira Zurita, por su delicadeza en el trato y por su continuo magisterio.

7. REFERENCIAS

- BARNSTON, A.G. & R.E. LIVEZEY (1987). Classification, seasonality, and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1083- 1126.
CAHYNOVÁ, M. & R. HUTH (2009). Enhanced Lifetime of atmospheric circulation types over Europe: factor or fiction? *Tellus A*, DOI: 10.1111/j.1600-0870.2009.00393.x

- HUTH, R., C. BECK, A. PHILIPP, M. DEMUZERE, Z. USTRNUL, M. CAHYNOVÁ, J. KYSELY & O.E. TVEITO (2008). Classifications of Atmospheric Circulation Patterns-Recent Advances and Applications. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1146, 105-152.
- DEMUZERE, M., M. WERNER, N.P.M. VAN LIPZIG & E. ROECKNER (2008). An analysis of present and future ECHAM5 pressure fields using a classification of circulation patterns. *Int. J. Climatol.*, doi: 10.1002/joc.1821.
- MARSHALL , J., Y. KUSHNIR, D. BATISTI, P. CHANG, R. CZAJA, R. DICKSON, J. HURRELL, M. McCARTNEY, R. SARAVANAN & M. VISBECK (2001). North Atlantic climate variability: phenomena, impacts and mechanisms. *J. Climatol.*, 31, 1863-1898.
- PHILIPP, A. & 15 co-authors (2009). COST733CAT-a database of weather and circulation type classifications. *Phys. Chem. Earth* (submitted).
- PHILIPP, A. & C. BECK (2009). Similarity and diversity of weather and circulation type classifications for the European domain. *Phys. Chem. Earth* (submitted).
- SCHIEMANN, R. & C. FREI (2009). How to quantify the resolution of surface climate by circulation types: an example for Alpine precipitation. *Phys. Chem. Earth* (submitted).
- SCHWIERZ, C., C. APPENZELLER, H.C. DAVIES, M.A. LINIGER, W. MULLER, T.F. STOCKER & M. YOSHIMORI (2006). Challenges posed by and approaches to the study of seasonal-to-decadal climate variability. *Climatic Change*, 79, (1-2), 31-63.
- UPPALA, S.M. & 45 co-authors (2005). The ERA-40 re-analysis. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 131, 2961-3012.