

Influencia de los diferentes patrones de teleconexión en el Atlántico Norte sobre la lluvia y precipitación en Galicia (NO España)

D. GUARIN*

* guarindavid@yahoo.es

*Environmental Physics Laboratory, Facultade de Ciencias,
Universidade de Vigo
Campus As Lagoas s/n, Ourense, Spain*

J.J. TABOADA

*MeteoGalicia
Xunta de Galicia
Santiago de Compostela, Spain*

RESUMEN

Galicia se sitúa en el noroeste de la Península Ibérica, por tanto en latitudes medias, y su clima está caracterizado por la variabilidad y las influencias cruzadas, tanto oceánicas como continentales, árticas o tropicales. Esto hace de la variabilidad climática un parámetro de difícil caracterización. En el presente trabajo se pretende estudiar de forma sistemática la correlación lineal entre diferentes patrones de variabilidad atmosférica y las lluvias y temperaturas en promedio estacional. En cuanto a las lluvias, se obtiene una correlación significativa con los cuatro patrones y la lluvia invernal, mientras que el valor de las correlaciones a lo largo del resto de estaciones disminuye, en la mayoría de los casos hasta valores por debajo de la significancia estadística. Destaca a este respecto el verano, cuando ninguno de los patrones estudiados presenta correlación significativa con la lluvia, de lo que se deduce que las lluvias de verano tienen causas locales y no son debidas a la variabilidad sinóptica. En lo que respecta a las temperaturas la situación es diferente, puesto que en este caso se mantienen a lo largo del año correlaciones significativas con el patrón Eastern Atlantic en invierno y con el patrón Escandinavo en las otras estaciones del año. Es destacable, tanto para las temperaturas como para las lluvias que las correlaciones no son estacionarias a lo largo del tiempo, de manera que esto debe tenerse en cuenta si se pretenden utilizar estos resultados para proyectar el clima hacia el futuro.

Keywords: Patrones de teleconexión, temperatura, lluvia, Galicia

1 Introducción

La atmósfera es un sistema dinámico descrito por ecuaciones que tienen una gran sensibilidad ante las condiciones iniciales. Esto hace que su naturaleza sea en esencia caótica y por tanto con cambios bruscos y rápidos. En este sentido podríamos decir que se trata de un sistema dinámico 'sin memoria'.

A pesar de esto, dentro de esta dinámica caótica existen unos ciertos modos de variabilidad que subyacen a estas variaciones caóticas y que deben considerarse una característica natural del sistema atmosférico y particularmente un reflejo de los complejos procesos de la dinámica interna de la atmósfera y su interacción con otros sistemas naturales como los océanos. El modo de variabilidad más estudiado en el área del Atlántico norte es la denominada Oscilación del Atlántico Norte (Hurrell et al, 2003), más conocido por sus siglas en inglés (NAO: *North Atlantic Oscillation*). Este patrón tiene una existencia física, puesto que se puede detectar tanto en superficie como en altura y forma parte de un patrón más amplio denominado Oscilación Ártica que mide la intensidad del vórtice polar, siendo considerado un patrón anular (Thompson y Wallace, 1998; Thompson y Wallace, 2000).

Además del patrón NAO en este trabajo consideraremos otros patrones que, aunque posiblemente no tengan una existencia física (Quadrelli y Wallace, 2004) si pueden ser detectados en las capas medias de la troposfera mediante la técnica de componentes principales (Barnston y Livezey, 1987). Estos patrones de teleconexión explican parte de la variabilidad del clima en Galicia y se denominan: East-Atlantic (EA), Eastern Atlantic-Western Russia (EATL/WRUS), y patrón Escandinavo (SCA). Anteriores trabajos realizados con diferentes índices de teleconexión en

el hemisferio norte (Lorenzo y Taboada, 2005; DeCastro et al., 2006) han demostrado que son estos índices los que explican de forma estadísticamente significativa la variabilidad interanual de la lluvia en Galicia. Es necesario decir en este momento que Galicia se encuentra en un área de transición por lo que respecta al índice NAO, tal como se pone de manifiesto en la bibliografía. Así por ejemplo, Zorita et al. (1992) encontró que la relación entre la precipitación invernal y la NAO es más importante en el cuadrante suroeste de la península Ibérica, con una correlación en Galicia entre 0.3 y 0.4. Esteban-Parra et al., 1998 obtuvo el mismo valor para la zona noroeste, con valores más altos también en el suroeste y en el interior de la península. Este resultado fue confirmado en posteriores trabajos. (Rodríguez-Puebla et al., 2001; García et al., 2005). Los valores obtenidos en general por estos autores para la correlación entre NAO y la lluvia invernal en Galicia son algo menores que los obtenidos por Lorenzo y Taboada (2005), debido a que en la mayor parte de los trabajos citados se utiliza una sola estación, normalmente la situada en A Coruña, que se corresponde con la parte de Galicia que presenta menor correlación entre la lluvia y la NAO. De cualquier forma esta baja correlación entre NAO y lluvia en Galicia hace imprescindible trabajar con más de un índice si queremos explicar la variabilidad climática gallega.

Además se debe tener en cuenta que la definición de NAO no es única. Este modo de oscilación ha sido definido en superficie de diferentes maneras. Se han elaborado índices teniendo en cuenta la diferencia de presión entre Azores e Islandia, entre Portugal e Islandia e incluso entre Gibraltar e Islandia.

Por otra parte a través de un análisis de componentes principales sobre diferentes alturas geopotenciales se puede asimilar

la primera componente principal en el área del Atlántico Norte con la NAO. Las siguientes componentes principales pueden ser entendidas como patrones de variabilidad atmosférica y ser tenidas en cuenta en un análisis de variabilidad climática, tal como se explica en el párrafo anterior.

El objetivo del presente trabajo será el de caracterizar las relaciones entre los diferentes índices y las lluvias y temperaturas registradas en Galicia. Para ello se utilizarán dos estaciones diferentes situadas en las ciudades más importantes de Galicia, al norte y sur de la Comunidad, respectivamente: Vigo (Peinador) y A Coruña.

2 Materiales y métodos

Los datos de lluvia y temperatura utilizados en este estudio fueron obtenidos de la base de datos general de MeteGalicia.

Las estaciones utilizadas fueron sometidas a un proceso de análisis y validación. Se escogieron dos estaciones que por su longitud y calidad eran aptas para un estudio de tendencias.

En lo tocante a los patrones de teleconexión se utilizaron los índices obtenidos por el Climate Prediction Center de la NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) de los Estados Unidos. Estos índices son obtenidos mediante un análisis de componentes principales a 500 hPa. Los índices están disponibles en la página web www.cpc.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml.

Para obtener los índices NAO en superficie se han utilizado los elaborados en la sección de análisis climáticos del NCAR (National Center for Atmospheric Research) y disponibles en la página web

<http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html>

Para la caracterización de la influencia de los patrones de teleconexión sobre la variabilidad del clima se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson entre las diferentes variables. Las lluvias y temperaturas estacionales fueron correlacionadas con los diferentes índices que caracterizan los patrones de teleconexión y con la frecuencia de aparición de los diferentes tipos de tiempo sinóptico. Para los valores de estas correlaciones se establecieron dos niveles de significancia estadística, marcados con * para $P < 0.05$ y ** para $P < 0.01$, es decir significativos al 95% y 99% respectivamente.

La división del año en 4 estaciones se hizo desde un punto de vista climatológico y no astronómico. De esta forma el invierno abarca los meses de Diciembre, Enero y Febrero, la primavera tendría en cuenta los meses de Marzo, Abril y Mayo, Junio, Julio y Agosto caracterizarían el verano y por último el otoño quedaría delimitado por los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre

3 Resultados

3.1 Correlaciones de lluvia con patrones de oscilación.

En primer lugar se muestran los resultados de las correlaciones de los diferentes índices con las lluvias acumuladas estacionales en los dos puntos de Galicia considerados

En estos resultados destaca la influencia que presentan todos los índices en invierno.

Se puede apreciar además como la influencia de NAO disminuye de sur a norte, mientras que el comportamiento de SCA es el inverso.

	NAO	EA	EA/WR	SCA
Inv.	-0.45**	0.42**	-0.51**	0.46**
Prim.	-0.30**	0.17	0.08	0.13
Ver.	-0.18	0.02	0.17	0.10
Out.	-0.22*	0.23*	0.04	0.66**

CORUÑA – COMPLETA

	NAO	EA	EA/WR	SCA
Inv.	-0.36**	0.39**	-0.52**	0.36**
Prim.	-0.36**	0.15	0.16	0.20
Ver.	-0.35**	0.03	0.05	0.11
Out.	-0.24*	0.35**	-0.09	0.66**

TABLA 1: Correlaciones de los diferentes patrones de teleconexión con la lluvia en dos puntos de Galicia, para las 4 estaciones del año. Niveles de significancia: *:P<0.05; **:P<0.01.

En primavera solamente la NAO presenta correlaciones significativas. En verano, debido a que las situaciones sinópticas se presentan generalmente mucho menos marcadas, no existen correlaciones significativas, que se recuperan nuevamente en el caso del otoño. En esta última estación del año destaca la alta correlación que se observa con el índice SCA.

El índice NAO tiene la particularidad de que puede ser definido en las capas intermedias de la troposfera como la primera componente principal en el Atlántico Norte, pero también tiene una definición en superficie (Hurrell et al., 2003). De hecho la definición en superficie es más antigua que la que deriva de las componentes principales, ya que esta oscilación fue descubierta a principios del siglo XX comparando diferencias de presión en superficie entre observatorios meteorológicos de todo el mundo. Además anteriores trabajos en el área de estudio (Martí-Ezpeleta, 2001) han mostrado valores de la correlación entre NAO en superficie y la lluvia en Galicia considerablemente superiores a los obtenidos en nuestro trabajo utilizando los valores de NAO obtenidos

de un análisis de componente principales. Es por esto que realizamos también nuestro cálculo teniendo en cuenta dos series temporales de NAO definidas a través de las diferencias de presión entre Azores e Islandia o Gibraltar e Islandia.

En la tabla 2 se incluyen los cálculos de las correlaciones con la NAO en superficie. En este caso no presentan grandes variaciones con respecto a las obtenidas con la primera componente principal en el análisis de 500 hPa, siendo significativas al 99% las correlaciones en invierno y primavera. También se observa la disminución del valor de la correlación en invierno entre el norte y el sur de Galicia, pasando de un valor de -0.46 en Peinador a otro de -0.38 en Coruña.

El siguiente paso del estudio consistió en realizar las correlaciones, pero en este caso distinguiendo los valores positivos y negativos. Para determinar estos valores se extrajo de la serie los valores de una desviación estándar (σ) alrededor del cero. Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes tablas

PEINADOR

	NAO Azores-Island	NAO Gibrab-Island
Inv.	-0,46**	-0,43
Prim.	-0,48**	-0,27
Ver.	-0,14	-0,21
Out.	0,01	-0,32

CORUÑA – COMPLETA

	NAO Azores-Island	NAO Gibrab-Island
Inv.	-0,38**	-0,42
Prim.	-0,41**	-0,25
Ver.	-0,24	-0,40
Out.	0,08	-0,25

TABLA 2: Correlaciones de los índices de la NAO en superficie (entre Azores e Islandia y entre Gibraltar e Islandia) con la precipitación en dos puntos de Galicia, para las 4 estaciones del año. *:P<0.05; **:P<0.01.

PEINADOR

+	NAO	NAO Az-Is	NAO Gi-Is	EA	EA/WR	SCA
Inv.	-0.22	-0,25	0,12	0.03	-0.29	-0.14
Prim.	0.3	0,02	0,04	0.14	0.28	0.16
Ver.	-0.1	-0,12	0,08	0.23	-0.06	-0.02
Out.	-0.82**n	0,15	-0,41	0.37	-0.12	0.5
-	NAO	NAO Az-Is	NAO Gi-Is	EA	EA/WR	SCA
Inv.	-0.28	-0,38	-0,22	0.21	-0.07	0.44*
Prim.	0.28	-0,14	0,26	0.37	0.12	0.15
Ver.	0.2	0,31	0,12	0	0.44*	0.11
Out.	-0.15	0,33	0,06	0.43	0.17	0.23

CORUÑA – COMPLETA

+	NAO	NAO Az-Is	NAO Gi-Is	EA	EA/WR	SCA
Inv.	-0.03	-0,01	0,31	0.14	-0.42	-0.15
Prim.	-0.12	0,05	0,13	-0.01	0.46*	0.33
Ver.	-0.28	-0,26	-0,18	0.27	-0.01	0.03
Out.	-0.7**n	0,26	-0,55	0.54*n	-0.27	0.44
-	NAO	NAO Az-Is	NAO Gi-Is	EA	EA/WR	SCA
Inv.	-0.26	-0,34	-0,31	0.38	0.09	0.18
Prim.	0.12	-0,14	0,05	0.25	-0.14	0.26
Ver.	0.01	0,34	0,13	0.3	0.21	-0.04
Out.	-0.19	0,30	0,06	0.43	0.14	0.39

TABLA 3: Correlaciones de los diferentes patrones de teleconexión con la lluvia considerando valores negativos y positivos, considerando solamente valores absolutos mayores que $1/2\sigma$. *:P<0.05; **:P<0.01. Se incluye una n en aquellos casos en los que quitando un solo punto de la serie de datos la correlación deja de ser estadísticamente significativa.

Las correlaciones lineales en invierno no son buenas porque obtenemos valores significativos para la serie completa pero

no para los valores positivos y negativos por separado. Sin embargo, el índice EA/WR para valores positivos tiene una

correlación positiva en primavera con lluvia, particularmente en la estación de A Coruña. Para valores negativos de EA/WR presenta correlación con lluvia positiva. En Otoño la NAO positiva

presenta fuerte correlación negativa con la lluvia, aunque este valor se debe a un solo caso y por tanto no es particularmente significativa (figura 1).

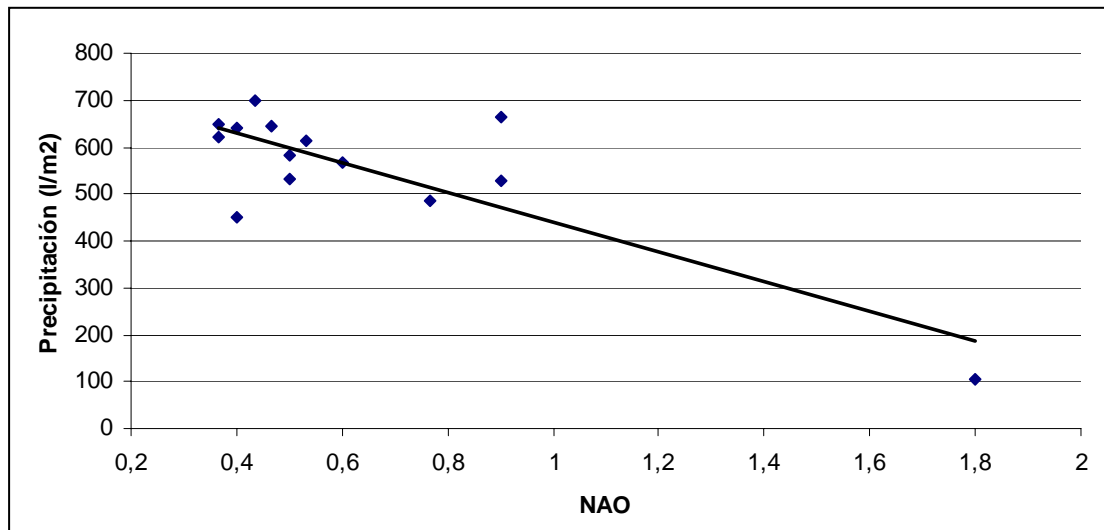


FIG 1: Correlaciones del índice NAO, teniendo en cuenta solo los valores positivos (valor absoluto superior a $1/2\sigma$), con la precipitación en Peinador en otoño.

A este respecto, los resultados aparecen a lo largo de este trabajo, en muchos casos, modificados por un caso extremo que realza el valor de la correlación. Para corregirlo sólo consideramos como resultados significativos los valores de correlación que se mantenían, al menos con una significancia del 95% al eliminar el citado caso extremo. Para el resto de casos donde la correlación presentaba, en un principio, valores significativos, pero que no cumplían la dicha condición, aparecen marcados con una 'n'.

Otro caso donde ocurre este fenómeno es con la EA positiva, que presenta correlación positiva con lluvia en otoño en A Coruña, pero que se ha visto realizada por un caso extremo.

Por último, para completar el análisis se utilizó un índice adimensional denominando NWIPR (North-Western

Iberian Peninsula Rain) que ha sido utilizado recientemente para caracterizar la influencia de las anomalías de la temperatura superficial del mar sobre las lluvias mensuales en Galicia (Lorenzo et al., 2010). Este índice se calcula de la siguiente forma:

$$NWIPR = 100 \sum_1^N (X / \bar{X}) \quad (1)$$

donde X representa la anomalía de lluvia mensual, \bar{X} es el promedio de lluvia anual y N el número de estaciones. De la misma forma que para los casos anteriores, se procedió a calcular las correlaciones lineales con cada uno de los índices distinguiendo entre la serie completa, valores positivos y negativos, pero esta vez utilizando el índice NWIPR.

	NAO	EA	EA/WR	SCA	NAO Az_Is	NAO Gi-Is
Inv.	-0,29**	0,45**	-0,43**	0,22**	-0.28**	-0.30**
Prim.	-0,37**	0,30**	0,10	0,32**	-0.39**	-0.32**
Ver.	-0,11	0,13	-0,02	0,17	-0.2	-0.32**
Out.	-0,29**	0,25**	-0,11	0,54**	-0.19	-0.27**

NWIPR Vi-Co (Positivos)

+	NAO	EA	EA/WR	SCA	NAO Az_Is	NAO Gi-Is
Inv.	0,1	0,32**	-0,12	-0,1	0.06	-0.06
Prim.	-0,1	0,28*	-0,14	0,33**	-0.12	-0.11
Ver.	0,06	0,36**	-0,15	0,04	-0.01	0.1
Out.	0,12	0,14	-0,28*	0,2	-0.13	-0.21

NWIPR Vi-Co (Negativos)

-	NAO	EA	EA/WR	SCA	NAO Az_Is	NAO Gi-Is
Inv.	-0,16	0,2	-0,34**	0,12	-0.2	-0.02
Prim.	-0,12	0,38**	-0,11	0,36**	-0.16	-0.31**
Ver.	0,11	-0,04	-0,06	0,24	-0.08	0.0
Out.	-0,23	0,31*	-0,27*	0,09	-0.06	-0.2

TABLA 4: Correlaciones, aplicando el índice de correlación múltiple NWIPR, de los diferentes patrones de teleconexión con las precipitaciones en dos puntos de Galicia, para las 4 estaciones del año. *:P<0.05; **:P<0.01. Los valores positivos y negativos son aquellos con valores absolutos mayores que $1/2\sigma$.

Encontramos valores significativos de correlación tomando la serie completa en todas las estaciones del año salvo en verano, tanto con la NAO en superficie como en altura. Sin embargo, estos son valores bajos de correlación, siendo significativos por el mayor número de datos utilizados que para anteriores análisis. Además, esta correlación se pierde si tenemos en cuenta los valores positivos y negativos por separado. En el caso del EA si nos encontramos correlaciones positivas tanto para la serie completa como para valores positivos y negativos, destacando la de los valores positivos en primavera, con valores

positivos en verano y, sobre todo, utilizando la serie completa en invierno. En esta misma estación obtenemos una correlación significativa con el EA/WR, aunque en este caso de signo negativo, destacando también la serie completa y, en menor medida, al tomar los valores negativos. Es con el patrón escandinavo donde se obtiene la mayor correlación con el índice NWIPR. Se produce en otoño (figura 2) pero se vuelve a manifestar sólo para la serie completa. Si se muestra significativa en primavera tanto para la serie completa como tomando valores positivos y negativos.

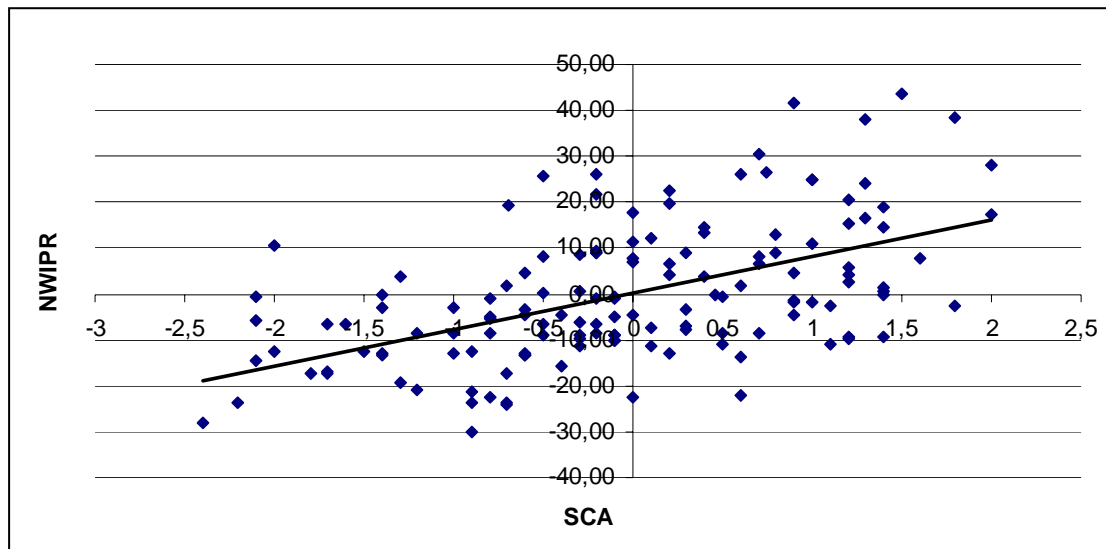


FIG 2: Correlaciones, aplicando el índice de correlación múltiple NWIPR, del patrón escandinavo (SCA) con las precipitaciones en 2 puntos de Galicia en otoño.

3.2 Variabilidad decadal en los índices de teleconexión y en las correlaciones de estos índices con la lluvia en Galicia

Las correlaciones de la lluvia acumulada en cada estación del año con los diferentes patrones de teleconexión

cambian en función del período considerado. Esto es particularmente visible en las correlaciones invernales. Para capturar esta variabilidad calculamos las correlaciones en períodos de 20 años comenzando desde 1960 hasta la actualidad.

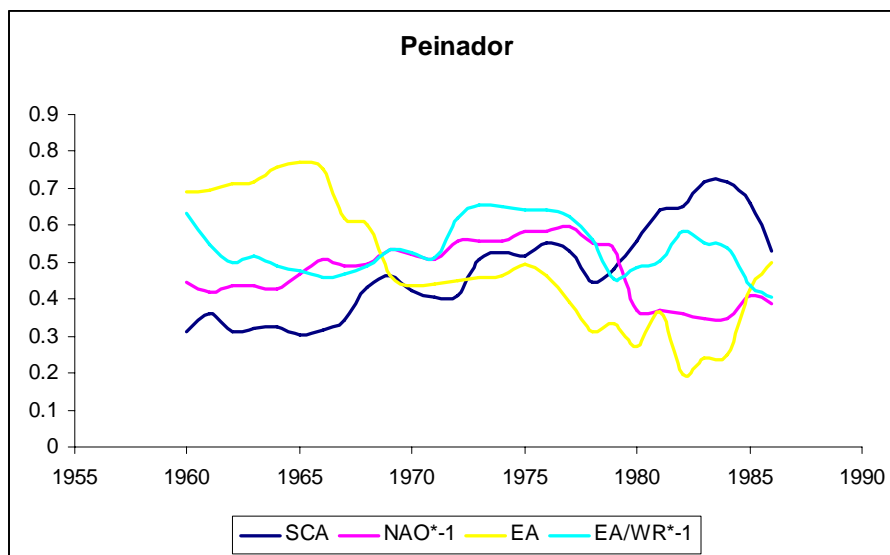


FIG 3: Correlaciones en ventanas de 20 años entre la lluvia invernal en Peinador y los diferentes patrones de teleconexión. El eje x representa el primer año del período de 20.

En la figura 3 se puede ver el valor de estas correlaciones en la estación de Peinador, siendo muy semejantes en el resto de Galicia. Si concentramos nuestra atención en NAO podemos

apreciar como en los períodos que comienzan a finales de los años 70 se produce un cambio muy significativo en las correlaciones entre NAO y lluvia. Un cambio semejante se produce en las

correlaciones con los otros índices. Esto sugiere la idea de que los regímenes de circulación que afectan a Galicia pueden variar de forma relativamente brusca de manera que Galicia, durante ciertos períodos, pueda estar muy influenciada por la NAO y en otros estar más desconectada de este modo de variabilidad. Para tratar de buscar una

explicación a esta variabilidad seguimos la idea ya publicada anteriormente por uno de los autores (L. Gimeno et al., 2003) y comprobamos como existe una muy alta correlación entre la actividad solar, medida a través del registro de las manchas solares y la correlación de la lluvia invernal con el índice NAO ($r = -0.82$) (figura 4).

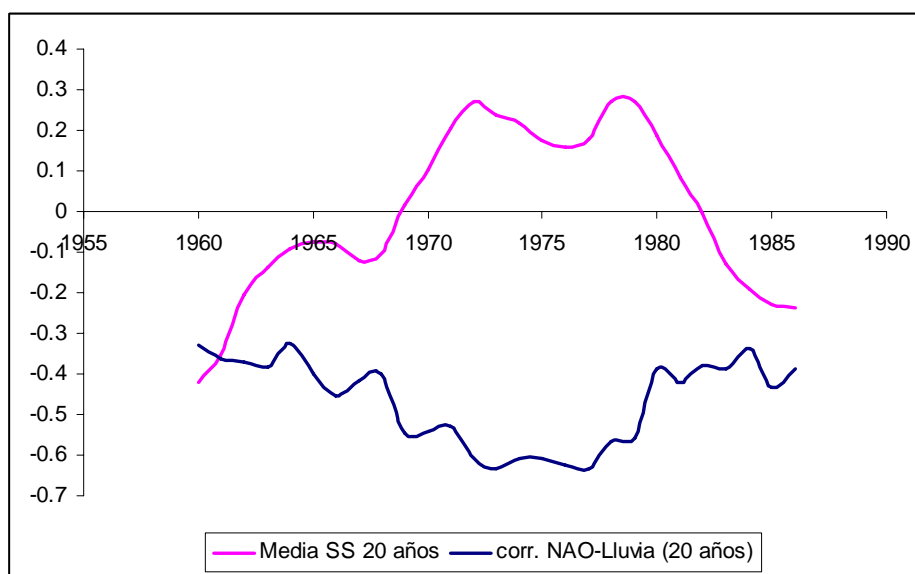


FIG 4: Relación entre las correlaciones NAO-Lluvia invernal, con la media de las manchas solares a lo largo de una ventana móvil en períodos de 20 años. La línea rosa representa la media de manchas solares (sunspots) en ventanas de 20 años, siendo el año del eje X el primer año de la ventana.

Esto puede ser explicado fácilmente si tenemos en cuenta que, tal como explicamos en la introducción, NAO es el único patrón que tiene existencia física real, siendo una manifestación local de un índice anular, llamado Oscilación Ártica (AO). Esta oscilación ártica es el resultado del acoplamiento del vórtice polar estratosférico con la circulación en la troposfera. Dado que la actividad del sol tiene influencia sobre este vórtice polar (Shindell et al, 2001), consecuentemente puede tener también influencia sobre el modo de oscilación del Atlántico norte.

3.3 Influencia de los diferentes índices sobre la temperatura:

Para encontrar la influencia de los diferentes patrones sobre las temperaturas seguimos la misma estrategia adoptada para las lluvias. En este caso no existen variaciones muy significativas de las influencias de los diferentes índices de teleconexión en función de la posición de las estaciones. Como ejemplo representativo de los cálculos, se muestran a continuación (tabla 5) las correlaciones entre los patrones de teleconexión y las temperaturas en las cuatro estaciones del año para dos estaciones representativas del norte y el sur de Galicia.

PEINADOR				
	NAO	EA	EA/WR	SCA
Inv.	0.15	0.70**	0.10	-0.24*
Prim.	0.17	0.15	0.16	-0.57**
Ver.	0.04	0.13	-0.37**	-0.46**
Out.	-0.08	0.20	0.16	-0.61**

CORUÑA – COMPLETA				
	NAO	EA	EA/WR	SCA
Inv.	0.25*	0.73**	0.08	-0.24*
Prim.	0.12	0.29*	0.26*	-0.50**
Ver.	0.03	0.15	-0.27*	-0.33**
Out.	-0.31*	0.35**	0.08	-0.51**

TABLA 5: Correlaciones de los diferentes patrones de teleconexión con la temperatura en dos puntos de Galicia, para las 4 estaciones del año. *:P<0.05; **:P<0.01.

En este caso podemos ver como las correlaciones más altas se producen en el invierno con el patrón EA y en la primavera y otoño con el patrón SCA. Las temperaturas medias del verano muestran también unas correlaciones estadísticamente significativa al 99%, aunque no tan alta con el índice SCA. Aparece también una correlación significativa, pero más baja que las anteriores con el índice NAO en invierno y otoño en la zona norte de Galicia. El patrón EA/WR tiene valores de correlación bajos, pero significativos en verano, mientras que EA también presenta correlaciones significativas en otoño en la zona norte de Galicia. Al igual que sucede en el caso de las lluvias estas correlaciones también varían con el tiempo, aunque en este caso la correlación con la actividad solar no aparece tan claramente marcada puesto que NAO tiene una importancia solamente marginal para explicar la variabilidad interanual de las

temperaturas en Galicia. Se puede ver, sin embargo, una correlación al 99% de 0.55 entre la media de las manchas solares y la correlación de EA con las temperaturas invernales. Se debe subrayar que EA es un patrón muy semejante a NAO pero desplazado hacia el sur, por lo que posiblemente el mecanismo detrás de esta correlación esté también determinado por la influencia de la actividad solar sobre el vórtice polar estratosférico.

Siguiendo el mismo esquema que se tuvo en cuenta para las lluvias, se procedió también a realizar el cálculo de correlaciones dividiendo los índices en valores positivos y negativos, con el mismo nivel de corte que en el caso de las lluvias, es decir, quitando de la serie alrededor del cero los valores de una desviación estándar y diferenciando entre temperaturas máximas, medias y mínimas. Los resultados en este caso son los siguientes (tabla 6):

A CORUÑA (POSITIVOS)

+		NAO	EA	EA/WR	SCA	NAO Az	NAO Gi-Is
	T max	0,21	0,56**	0,25	-0,30	0.50*n	-0.06
Inv.	Tmed	0,17	0,63**	0,02	-0,44	0.62**n	0.01
	Tmin	0,13	0,64**	0,14	-0,39	0.68**n	0.08
	T max	0,22	0,20	0,23	0,26	-0.14	-0.01
Prim	Tmed	0,34	0,20	0,29	0,28	-0.13	0.08
	Tmin	0,35	0,19	0,35	0,28	-0.10	0.19
	T max	0,25	0,08	0,16	-0,01	-0.44	-0.02
Ver.	Tmed	0,24	0,16	0,19	0,09	-0.49	0.02
	Tmin	0,19	0,25	0,19	0,23	-0.49	0.07
	T max	0,72**n	0,01	-0,13	-0,47	0.28	0.83**n
Out.	Tmed	0,5*n	0,04	-0,15	-0,48	0.37	0.92**n
	Tmin	0,06	0,09	-0,16	-0,47	0.42	0.09

A CORUÑA (NEGATIVOS)

-		NAO	EA	EA/WR	SCA	NAO Az	NAO Gi-Is
	T max	0,16	0,41	0,21	-0,38	0.35	0.66*
Inv.	Tmed	0,30	0,40	0,31	-0,35	0.38	0.73*
	Tmin	0,38	0,32	0,37	-0,30	0.36	0.68*
	T max	0,15	-0,13	0,59**n	-0,61**n	0.09	0.26
Prim	Tmed	0,16	-0,09	0,60**n	-0,58*n	-0.02	0.24
	Tmin	0,17	-0,12	0,57*n	-0,49*n	-0.2	0.22
	T max	-0,24	-0,53*n	-0,07	-0,05	-0.27	-0.34
Ver.	Tmed	-0,3	-0,57*n	-0,13	-0,12	-0.25	-0.46
	Tmin	-0,34	-0,52*n	-0,19	-0,16	-0.21	-0.59*
	T max	-0,52*	-0,24	-0,19	-0,49*	-0.55*	0.37
Out.	Tmed	-0,53*	-0,18	-0,11	-0,4	-0.53*	0.31
	Tmin	-0,48*	-0,05	0,01	-0,2	-0.48*	0.22

VIGO-PEINADOR (POSITIVOS)

+		NAO	EA	EA/WR	SCA	NAO Az	NAO Gi-Is
	T max	0,20	0,48*	0,37	-0,37	0.31	-0.12
Inv.	Tmed	0,17	0,64**	0,16	-0,34	0.60**n	-0.02
	Tmin	0,11	0,64**	-0,02	-0,28	0.67**	0.06
	T max	0,49*	0,07	0,06	0,07	-0.14	0,00
Prim	Tmed	0,45	0,14	0,18	0,2	-0.14	0.04
	Tmin	0,35	0,23	0,34	0,32	-0.13	0.08
	T max	0,04	0,1	0,46*	-0,13	0.24	0.36
Ver.	Tmed	0,20	0,17	0,36	-0,05	-0.05	0.23
	Tmin	0,38	0,25	0,15	-0,06	-0.41	0.07
	T max	0,64**n	-0,28	-0,15	-0,42	0.17	0.8**n
Out.	Tmed	0,58*	-0,20	-0,18	-0,44	0.31	0.88**
	Tmin	0,39	0.00	-0,19	-0,44	0.48*	0.57

VIGO-PEINADOR (NEGATIVOS)

-		NAO	EA	EA/WR	SCA	NAO Az	NAO Gi-Is
	T max	0,09	-0,11	0,31	-0,41	0.32	0.35
Inv.	Tmed	0,08	0,52	0,24	-0,25	0.36	0.60*
	Tmin	0,07	0,78*	0,12	-0,09	0.33	0.67*
	T max	0,29	-0,18	0,39	-0,63**n	0.14	0.27
Prim	Tmed	0,28	-0,15	0,55*	-0,64**n	0.08	0.38
	Tmin	0,24	-0,10	0,57*	-0,59*n	-0.04	0.40
	T max	-0,42	-0,21	-0,45*	-0,33	-0.46*	-0.30
Ver.	Tmed	-0,48	-0,26	-0,51*	-0,32	-0.41	-0.34
	Tmin	-0,52	-0,29	-0,55*	-0,23	-0.29	-0.40
	T max	-0,14	-0,31	0,13	-0,28	-0.17	0.31
Out.	Tmed	-0,27	-0,22	0,15	-0,44*	-0.25	0.32
	Tmin	-0,37	-0,05	0,15	-0,48*	-0.30	0.29

TABLA 6: Correlaciones de los diferentes patrones de teleconexión con la temperatura (media, máxima y mínima) en dos puntos de Galicia, para las 4 estaciones del año. *:P<0.05; **:P<0.01. Se incluye una n en aquellos casos en los que quitando un solo punto de la serie de datos la correlación deja de ser estadísticamente significativa. Los valores positivos y negativos serán aquellos cuyos valores absolutos sean mayores que $1/2\sigma$.

Como había sucedido en otros análisis los resultados aparecen, en muchos casos, modificados por un caso extremo que realza el valor de la correlación. De este modo nos encontramos que tanto para la NAO en superficie como en altura aparecen valores de correlación muy altos que pierden significancia al aplicar este método de corrección (validación) manteniéndose cierto nivel de significancia (95%) con valores negativos de la NAO Gibraltar-Islandia en Invierno tanto para A Coruña como para Peinador y sólo en A Coruña durante el Otoño para valores negativos de la NAO Azores-Islandia y NAO en altura. Particularmente significativo se muestra la correlación entre este índice con valores positivos y las temperaturas mínimas de Invierno en Peinador.

Respecto a los demás índices destaca la influencia sobre las temperaturas del EA con valores positivo en Invierno tanto para A Coruña como para Peinador.

4 Conclusiones

En el presente trabajo se han analizado las correlaciones entre los modos de oscilación o patrones de variabilidad

atmosférica en el área del Atlántico Norte y las lluvias y temperaturas estacionales en Galicia.

Con ello se pone de manifiesto la correlación entre dos escalas muy diferentes como son la escala regional y la sinóptica. Centrándonos en las lluvias, los resultados muestran que los patrones de variabilidad tienen correlaciones estadísticamente significativas con las lluvias en invierno, siendo los cuatro patrones examinados igualmente relevantes, aunque a medida que nos desplazamos hacia el norte, disminuye la influencia de NAO y aumenta la de EA/WR. Para otras estaciones es necesario destacar la alta correlación del patrón SCA con las lluvias en otoño. El patrón NAO sigue teniendo una correlación estadísticamente significativa a lo largo de todo el año, aunque en verano esta significancia sea muy marginal.

El hecho de que ningún patrón muestre correlaciones con la lluvia en verano nos hace pensar que las precipitaciones durante esta estación están más ocasionadas por factores locales de tipo

convectivo y por tanto se hallan más desligadas de la escala sinóptica.

Por otro lado si se divide la serie en valores positivos y negativos de lluvia, vemos que la correlación no mejora prácticamente en ningún caso, lo que demuestra que la correlación se produce con la serie completa, pero no se da el caso de que la parte positiva de un modo de oscilación influya significativamente más que la negativa.

Es necesario tener en cuenta por último que estas correlaciones no son estacionarias. Para demostrarlo se realizaron las correlaciones en ventanas móviles de 20 años. El resultado más significativo es que existe un fuerte acoplamiento de las correlaciones con los ciclos de manchas solares.

Por lo que respecta a las temperaturas, las conclusiones generales son algo diferentes. En este caso tendríamos valores de correlación lineal muy altos con el índice EA en invierno, mientras que los demás índices apenas influirían. Esta situación se repite en las restantes estaciones del año, incluyendo el verano, pero en este caso los altos valores de correlación se darían con el índice SCA. El comportamiento que sí resulta similar se produce en cuanto al análisis separado de valores positivos y negativos.

Los resultados obtenidos permiten valorar la importancia que otros patrones de variabilidad atmosférica puedan tener, además de NAO, para explicar la variabilidad de lluvias y temperaturas en Galicia. Además podrían tener un potencial predictivo, en tanto en cuanto estos patrones presenten alguna predictabilidad. Esto es difícil de encontrar año a año puesto que en las latitudes medias la variabilidad en esa escala estaría próxima al ruido blanco, es decir, tendría un carácter esencialmente impredecible. Sin embargo en la escala decadal sí presenta una cierta predictabilidad, por lo que ese grado de avance se podría trasladar a las lluvias y temperaturas estacionales.

En este punto es necesario señalar que en este trabajo se han escogido unas determinadas divisiones estacionales trimestrales que podrían cambiar y hacer variar el valor de las correlaciones y por tanto de la capacidad predictiva de las mismas. Sería necesario en el futuro realizar cálculos teniendo en cuenta diferentes agrupaciones de meses para obtener los valores más altos posibles de la correlación entre lluvias y/o temperaturas y los diferentes patrones de teleconexión.

Otra extensión natural de este trabajo consistirá en extender el estudio a los patrones de variabilidad atmosféricos en otros puntos del globo. Así por ejemplo, aunque la posible influencia del Niño ha sido ya estudiada en anteriores trabajos, quizá un cálculo más pormenorizado para Galicia, considerando estaciones meteorológicas en diferentes puntos y diferentes índices de los que caracterizan al fenómeno el Niño, pudiera dar alguna información útil. Por otra parte fenómenos que tengan lugar en el Índico podrían también influir el clima gallego, puesto que la atmósfera no es un sistema cerrado. Esta posibilidad se ha señalado en el último informe del IPCC. La posibilidad de obtener relaciones entre el Pacífico o el Índico ecuatorial se acrecienta si tenemos en cuenta que estas áreas, al contrario de las latitudes medias en las que se sitúa Galicia, sí que presentan un potencial predictivo relativamente alto.

Agradecimientos

Los autores agradecen a MeteoGalicia (Xunta de Galicia) y el grupo Ephyslab (Universidade de Vigo) el acceso a las bases de datos utilizadas en este trabajo.

Referencias

Barnston, A.G. y R.E. Livezey, 1987: Classification, seasonality and persistence of low frequency

- atmospheric circulation patterns. *Monthly Weather Review*, 115, 1083-1126.
- deCastro, M., M.N. Lorenzo, J.J. Taboada, M. Sarmiento, I. Alvarez y M. Gomez-Gesteira, 2006: Teleconnection patterns influence on precipitation variability and on river flow regimes in the Miño River basin (NW Iberian Peninsula) *Climate Research*, 32, 63-73.
- Esteban-Parra, M.J., F.S. Rodrigo y Y. Castro-Diez, 1998: Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992. *Int. J. Climatol.*, 18, 1557-1574.
- Gimeno, L., L. de la Torre, R. Nieto, R. García, E. Hernández, y P. Ribera, 2003: Changes in the relationship NAO-Northern hemisphere temperature due to solar activity. *Earth and planetary Science Letters*, 206, 15-20.
- Hurrell, J.W. Y. Kushnir, G. Ottersen, y M. Visbeck, Eds *The North Atlantic Oscillation: Climate Significance and Environmental Impact*, 2003.. *Geophysical Monograph Series*, 134, 279pp.
- Quadrelli, R. y J.M. Wallace, 2004: A simplified linear framework for interpreting patterns of Northern Hemisphere wintertime climate variability, *Journal of Climate*, 17, 3728-3744.
- Rodriguez-Puebla, C., A.H. Encinas, J. Sáenz, 2001: Winter precipitation over the Iberian Peninsula and its relationship to circulation indices. *Hydrology and Earth System Sciences*, 5, 233-244.
- Lorenzo, M.N. y J.J. Taboada, 2005: Influences of atmospheric variability on freshwater input in Galician Rias in winter. *Journal of Atmosphere and Ocean Sciences* 10, :377-387.
- Lorenzo, M.N., I. Iglesias, J.J. Taboada y M. Gómez-Gesteira, 2010: Relationship between monthly rainfall in NW Iberian Peninsula and North Atlantic sea surface temperature. *International Journal of Climatology* 30, 980-990.
- Martí-Ezpeleta, A., 2001: Evolución secular das precipitacións de inverno en Galicia. *SEMATA, Ciencias Sociais e Humanidades*, 13, 261-278.
- Shindell, D.T., G.A. Schmidt, R.L. Miller, y D. Rind, 2001: Northern Hemisphere winter climate response to greenhouse gas, ozone, solar, and volcanic forcing. *J. Geophys. Res.*, 106, 7193-7210, doi:10.1029/2000JD900547
- Thompson, D. W. J, y J. M. Wallace, 1998: The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophys. Res. Lett.*, 25, 1297-1300.
- Thompson, D. W. J., y J. M. Wallace, 2000: Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability. *J. Climate*, 13, 1000-1016.
- Zorita E, V. Kharin y H. von Storch, 1992: The atmospheric circulation and sea surface temperature in the North Atlantic area in winter: their interaction and relevance for Iberian precipitation, *Journal of Climate*, 5: 1097-1108.