

## Evolución secular das precipitacións de inverno en Galicia

ALBERTO MARTÍ EZPELETA

Universidade de Santiago de Compostela

### RESUMO

No artigo analízase a evolución que as precipitacións inver nais (novembro a marzo) tiveron durante o século XX en Galicia. A análise centrase no volume de chuvia acumulado durante eses meses e na súa variabilidade interanual. Analízase igualmente a relación existente entre as precipitacións e a Oscilación do Atlántico Norte (NAO). Os resultados mostran unha alta variabilidade interanual das precipitacións. Na Coruña e Santiago obsérvase unha significativa tendencia secular de incremento pluviométrico, mentres que en Pontevedra e Ourense é moi débil. Non se observa, pola contra, unha tendencia de aumento da variabilidade. As fases da NAO explican unha parte sustancial da variabilidade pluviométrica invernal de Galicia. As correlacións entre o índice da NAO e a precipitación acumulada son sempre negativas e claramente significativas, con valores xeralmente comprendidos entre  $-0.5$  e  $-0.7$ .

**Palabras clave:** precipitacións de inverno, variabilidade, correlación, NAO, Galicia

### ABSTRACT

The evolution of winter precipitations (november to march) during the XX century in Galicia is analysed. It is studied the total rain accumulated and his temporary variability. The connection between the precipitation and the North Atlantic Oscillation is so analysed. The results show a high variability of precipitations. A Coruña and Santiago have a significant increase trend; in Pontevedra and Ourense the trend is very weak. An increase trend of variability it's not observed. The phases of NAO explain an important part of rain variability in winter. The corroations between de NAO index and precipitations are always negatives and significants, with values generally between  $-0.5$  and  $-0.7$ .

**Keywords:** winter precipitation, variability, corroation, NAO, Galicia

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante o inverno de 2000-2001 as precipitacións rexistradas en Galicia alcanzaron destacadas marcas na historia pluviométrica do último século. Os volumes de auga acumulados durante os meses de novembro e decembro de 2000 xunto ós de xaneiro, febreiro e marzo de 2001 foron superiores, en case todo o territorio galego, ó dobre da media secular para ese mesmo período de cinco meses, especialmente no suroeste, destacando a área de Santiago onde este volume de precipitación aproximouse ó triple do valor medio (Táboa 1). Xa só a precipitación acumulada entre novembro e xaneiro alcanzou en moitos lugares a cantidade de auga recollida durante todo un ano normal.

TÁBOA I  
PRECIPITACIÓN ACUMULADA DURANTE OS MESES DE NOVEMBRO,  
DECEMBRO, XANEIRO, FEBREIRO E MARZO

	A Coruña (1901-2000)	Santiago (1901-2000)	Pontevedra (1901-2000)	Vigo (1911-2000)	Ourense (1901-2000)	Mondoñedo (1926-2000)
<b>Inverno 2000-2001</b>	1076 mm	2687 mm	2142 mm	1781 mm	1041 mm	1043 mm
<b>Valor medio Secular</b>	525 mm	993 mm	957 mm	771 mm	451 mm	644 mm
<b>%</b>	205 %	270 %	223 %	231 %	230 %	162 %

As consecuencias deste excepcional inverno foron dramáticas para unha gran parte da poboación de Galicia, pois supuxeron graves persuízos e cuantiosas perdas económicas e materiais para numerosas familias, empresas e organismos públicos. Ríos desbordados e inundacións que periódica e persistentemente afectaron ós cascos urbanos, áreas industriais, campos de cultivo ou vías de comunicación, desprendementos de terra que cortaron estradas e vías de tren, a perda total de multitude de viveiros de marisqueo polo exceso de auga doce permanente nos areais próximos ás desembocaduras dos grandes ríos, constitúen algúns dos impactos socioeconómicos ocasionados por un inverno excepcionalmente chuvioso. O valor total das perdas en Galicia —incluíndo os danos polos ventos intensos que acompañaron, en ocasións, ás precipitacións— estimáronse en máis de 50.000 millóns de pesetas.

A ocorrencia deste anómalo inverno fixo que nos formulasemos algunhas cuestións: ¿que grao de excepcionalidade tivo este inverno con respecto á historia pluviométrica secular? ¿están cambiando as precipitacións recollidas durante o inverno en Galicia? ¿estase producindo un aumento da variabilidade pluviométrica?

O presente traballo ten como obxectivo intentar dar resposta a estas cuestións. Para iso analízase a evolución que as precipitacións invernais —incluíndo os meses comprendidos entre novembro e marzo— tiveron durante o século XX. Esta análise temporal céntrase, por unha parte, no volume de chuvía acumulado durante eses cinco meses e, por outra, na variabilidade interanual que caracterizou ás precipitacións invernais ó longo do último século. Trataremos, finalmente, de aproximarnos ás posibles causas das variacións temporais sufridas polas precipitacións invernais. Para eso deterémonos nun dos meca-

nismos oceánico-atmosféricos de gran escala que ten lugar no Atlántico norte e que pode explicar parte desa variabilidade pluviométrica, a NAO (Oscilación do Atlántico Norte).

## 2. A CALIDADE DAS SERIES PLUVIOMÉTRICAS

Para a análise da evolución secular das precipitacións en Galicia contamos, nun principio, con seis estacións que teñen series que se aproximan o superan ós cen anos de lonxitude (Táboa 2).

TÁBOA II  
SERIES PLUVIOMÉTRICAS EN GALICIA DE LONGA DURACIÓN

Observatorio	Período
Santiago "Universidade"	1858-2001
A Coruña	1877-2001
Pontevedra	1901-2001
Ourense	1901-2001
Vigo "Concello"	1911-2001
Mondoñedo	1926-2001

Pero antes de comenazar a traballar coas series é necesario comprobar a súa calidade e a súa idoneidade para poder garantir unha análise temporal como a que se pretende. Para iso realizáronse tres controles:

- a) Búsqueda nas series mensuais de posibles valores anómalos.
- b) Recheo de lagoas nas series mensuais.
- c) Comprobación da homoxeneidade das series estacionais.

Para que sexan comparables os resultados obtidos da análise de series procedentes de varios observatorios é necesario que as medicións da precipitación se efectúen co mesmo aparato instalado en condicións similares, feito que, como indican Almarza *et al.* (1996), non se producíu en España ata principios do século XX. É a partir de 1910 cando se adopta un pluviómetro estandar (tipo Hellman, con boca de 200 cm<sup>2</sup>) de uso común en todas as estacións; ademais, o pluviómetro deberá estar a unha altura de 1,50 m do solo e nun lugar despegado.

Durante o século XIX a maioría dos pluviómetros estiveran instalados nas terrazas dos edificios que albergaban os observatorios (no caso de Galicia, o de Santiago ubicouse casi dende o seu inicio, en 1858, na terraza da actual Facultade de Xeografía e Historia e o de A Coruña, dende 1877, na terraza do Instituto de Segunda Ensinanza). Este feito dalgunha maneira explica que, en xeral, os valores de chuvia observados durante o século XIX sexan máis baixos cós do século XX. O motivo é que en torno á boca do pluviómetro o vento produce un efecto turbillonario que provoca unha diminución na cantidade de auga capturada, sendo aquel maior nos lugares elevados.

Por esta razón tomouse como ano de inicio do período da análise o de 1911. Partimos, así, dun período de 90 anos durante o cal os valores de precipitación se recolleron, supostamente, baixo unhas mesmas condicións en todos os observatorios. Malia que se reduce a lonxitude das series orixinais —especialmente as de Santiago e A Coruña—, increméntase a calidade das series analizadas e a fiabilidade dos resultados obtidos. A pesar diso será necesario comprobar posteriormente a homoxeneidade das series a través de test estatísticos.

Tras delimitar a lonxitude das series de datos, pasamos a detectar a presenza de valores anómalos nas series mensuais. Calquera valor de precipitación que se apartara máis de catro desviacións típicas da media foi revisado e, en caso necesario, suprimido.

O seguinte paso para mellorar a calidade das series consistiu no recheo das lagoas naqueles meses nos que non se dispoñía de dato ou se suprimiran anteriormente. Este recheo realizouse polo método da correlación e regresión lineal múltiple, coas series pluviométricas daquelas estacións próximas que proporcionaban os coeficientes de correlación máis altos (sempre superiores a 0,7), e sempre que estes foran significativos. Para a estimación dos valores de precipitación ausentes utilizáronse outras 35 estacións pertencentes á rede meteorolóxica de Galicia do I.N.M.

Unha vez completas as series mensuais calculáronse os totais de precipitación de cada inverno. A estas novas series aplicóusel as tres test de homoxeneidade absoluta. A finalidade de aplicar estas probas é pór de manifesto o carácter aleatorio das mesmas, é dicir, comprobar se os diferentes procesos da medida da precipitación, cambios instrumentais, de instalación, cambios de emprazamento ou modificacións do entorno, afectaron de forma significativa ós valores de precipitación das series. Se as series non foran homoxéneas os resultados derivados da interpretación dos parámetros estatísticos que sintetizan as series poden conducir a erros sobre a evolución do clima o, neste caso, das precipitacións ó longo do século XX.

Os test de homoxeneidade aplicados foron: o test das rachas, o test de Hellmert ou das permanencias e o test de Von Neuman. Estes test foron empregados frecuentemente en anteriores estudos sobre a evolución das precipitacións en España (Raso, 1993 y 1996; Quereda y Montón, 1996; Creus, 1996; Galán *et al.*, 1999). Os datos estatísticos obtidos en todas as series co test das rachas quedan comprendidos entre os dous umbrais críticos, cun nivel de significación do 5%, polo que se conclúe que as seis series analizadas son homoxéneas. Sen embargo, a aplicación dos outros dous test suxire a non homoxeneidade das series de Vigo e de Mondoñedo, mentres que si son aleatorias as de A Coruña, Santiago, Pontevedra e Ourense (Táboa 3). Por todo iso, e para evitar posibles erros na interpretación dos resultados descartáronse as series de Vigo e Mondoñedo.

TÁBOA III  
ESTADÍSTICOS DO TEST DE VON NEUMAN\*

A Coruña	Santiago	Pontevedra	Vigo	Ourense	Mondoñedo
1,925	1,832	1,968	1,572	1,907	1,215

\* O 2 é o valor crítico indicativo de aleatoriedade ou falla total de organización dos datos.

### 3. CARACTERÍSTICAS ESTADÍSTICAS DAS SERIES

A homoxeneidade das series e o seu tamaño garanten unha boa estimación dos parámetros estatísticos, seguramente moito máis fiable que a ofrecida polas análises realizadas en base as observacións rexistradas durante unicamente 30 anos, pois, con criterios exclusivamente estatísticos, este período non alcanza o tamaño requerido para garantir unha estimación paramétrica dun elemento tan variable como son as precipitacións.

Os valores da Táboa 4 poñen en primeiro lugar de manifesto os notorios contrastes espaciais que caracterizan ás precipitacións invernais en Galicia, con valores medios en torno ós 1000 mm en Santiago e Pontevedra, que duplican ás precipitacións no mesmo período que se rexistran na Coruña e, sobre todo, en Ourense, onde se sitúan en torno ós 500 mm.

Obsérvase igualmente unha ostensible proximidade entre as repectivas medias aritméticas e as medianas de cada un dos puntos de observación, moito máis notoria en A Coruña. A menor cuantía das medianas é un trazo común en todas as distribucións de precipitacións, por non existir un límite superior e si un inferior. Este feito queda reflectido tamén polos coeficientes de asimetría ou de sesgo, en todos os casos positivos.

TÁBOA IV  
CARACTERÍSTICAS ESTADÍSTICAS DAS PRECIPITACIÓNS TOTALIZADAS EN INVERNO  
(NOVEMBRO A MARZO) DURANTE O PERÍODO 1911-2001

	A Coruña	Santiago	Pontevedra	Ourense
<b>Media</b>	551	1021	976	461
<b>Mediana</b>	544	935	937	410
<b>Desviación típica</b>	165.9	417.7	350.5	191.2
<b>Coefficiente Variabilidade</b>	30.1 %	40.9 %	35.9 %	41.5 %
<b>Precipitación mínima</b>	288	319	392	162
<b>Precipitación máxima</b>	1184	2687	2142	1120
<b>Primeiro cuartil</b>	433	705	720	338
<b>Terceiro cuartil</b>	635	1288	1185	556
<b>Coefficiente asimetría</b>	1.29	1.08	0.82	1.12

As precipitacións máximas e mínimas rexistradas ó longo do século XX revelan a posibilidade de que se produzan invernos cuns totais pluviométricos excepcionalmente elevados fronte a outros caracterizados por unhas chuvias modestas durante toda a estación. Os elevados coeficientes de variación que, a excepción de A Coruña, presentan valores próximos ou superiores ó 40 %, reflecten esa notable variabilidade interanual que caracterizou ás precipitacións invernais en Galicia durante o pasado século.

As diferencias entre o primeiro e o terceiro cuartil mostran o intervalo de variación do 50 % dos totais pluviométricos centrais de cada serie, que se cifra entre pouco máis de 200 mm na Coruña e Ourense, e de aproximadamente 500 mm en Santiago e Pontevedra.

De todo iso pode deducirse que as precipitacións invernaís en Galicia non son tan regulares no tempo como cabería pensar ó encontrarse dentro do ámbito dos climas oceánicos, senón que, pola contra, caracterízanse por unha importante variabilidade interanual.

#### 4. EVOLUCIÓN DOS TOTAIS PLUVIOMÉTRICOS INVERNAIS

Unha vez establecidos os valores dos parámetros estatísticos das series, abordamos o estudio das súas variacións ó longo do século XX. E como primeira aproximación analizáronse as subseries de 30 anos nas que dividimos as series orixinais, período recomendado pola O.M.M. para a caracterización das series climáticas. Os resultados obtidos, para cada un dos catro observatorios, aparecen recollidos na Táboa 5. Nela pódese apreciar a existencia de diferencias entre os valores correspondentes ás precipitacións medias invernaís de cada trintena. Mentres en Santiago se observa un moderado incremento dos valores medios entre o primeiro e o terceiro período, na Coruña e en Pontevedra este é moito máis suave, diminuíndo lixeiramente con respecto á segunda trintena. Os valores de Ourense, pola contra, experimentan un descenso entre o primeiro e o segundo período, recuperándose de novo levemente no último.

TÁBOA V  
PRECIPITACIÓNS MEDIAS INVERNAIS POR SUBSERIES DE 30 ANOS

	1911-1940	1941-1970	1971-2000
<b>A Coruña</b>	514	587	560
<b>Santiago</b>	946	970	1147
<b>Pontevedra</b>	962	987	982
<b>Ourense</b>	510	433	444

As diferencias observadas entre as características estatísticas das catro localidades e entre os valores medios das trintenas, non implican unha desigual evolución secular das precipitacións invernaís. Así, os elevados coeficientes de correlación obtidos entre as catro series (Táboa 6), amplamente significativos todos eles, testemuñan que a evolución das precipitacións totalizadas durante o inverno nos observatorios seleccionados debe manter, en maior ou menor grao, uns trazos similares (figura 1).

TÁBOA VI  
COEFICIENTES DE CORRELACIÓN ENTRE AS PRECIPITACIÓNS DE  
INVERNO REXISTRADAS DENDE 1911 A 2000

	A Coruña	Santiago	Pontevedra	Ourense
<b>A Coruña</b>	-	0.743	0.786	0.733
<b>Santiago</b>	0.743	-	0.851	0.810
<b>Pontevedra</b>	0.786	0.851	-	0.896
<b>Ourense</b>	0.733	0.810	0.896	-

\*As correlacións son significativas o nivel 0,01 en todos os casos.

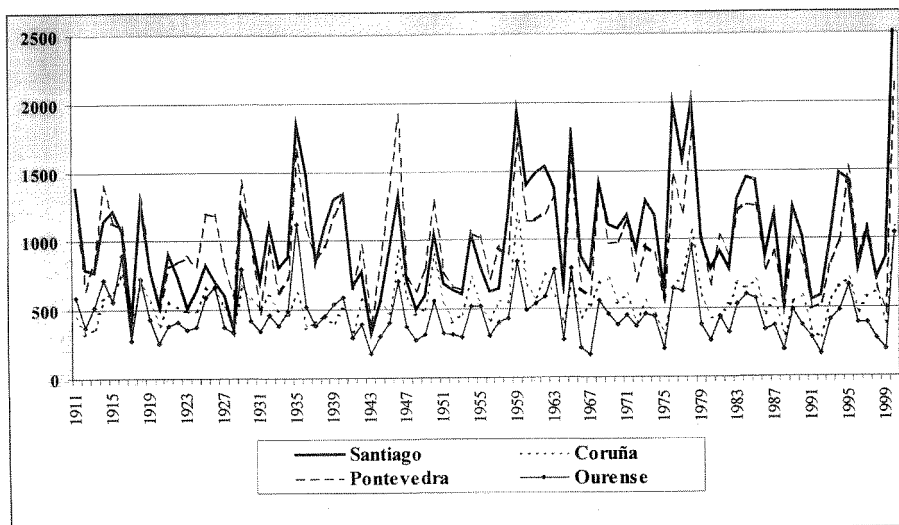


Figura 1: Precipitacións invernais acumuladas entre novembro e marzo (1911-2000).

A fin de mostrar a existencia ou non de variacións na evolución das precipitacións de inverno ó longo dos 90 anos considerados, representáronse graficamente os valores pluviométricos de cada ano, así como as medias móbiles centradas cada 15 anos e a recta de axuste (figura 2). Cada media móbil obtívose con 15 valores de precipitación, dos cales 14 son comunes cos que compoñen o valor que lle precede e outros 14 co valor posterior. Nos gráficos asígnase a cada valor a data que corresponde ó centro de cada período de 15 anos.

Así, fronte á forte variabilidade que debuxan as liñas cos valores pluviométricos de cada inverno, e nas que a penas é perceptible ningunha evolución temporal global ou parcial, os trazados das medias móbiles e das rectas de tendencia si nos permiten deducir algunhas cuestións.

En primeiro lugar, e como trazo común ás series de A Coruña, Santiago e Pontevedra, obsérvase unha suave pendente ascendente nas respectivas rectas de tendencia — a penas significativa no caso de Pontevedra— o que suxire un posible e lixeiro aumento das precipitacións de inverno durante todo o século XX, algo máis acentuado en Santiago, como xa apuntaban as medias trintenais. Ourense, pola contra, mostra unha recta con pendente decrecente pero, igual que Pontevedra, a debilidade do descenso suxerido pola representación gráfica impide que poida ser considerado propiamente unha tendencia.

En segundo lugar, a evolución que reflicten as curvas suavizadas coas medias móbiles reiteran esas tendencias, aínda que permiten matizar e distinguir varios ciclos pluviométricos ó longo do período de estudo. Así, obsérvase unha tendencia case continuada de carácter ascendente ata finais dos anos 60, seguida dun período cunha relativa estabilización das precipitacións; a partir dos anos 80 comenza un suave e prolongado descen-

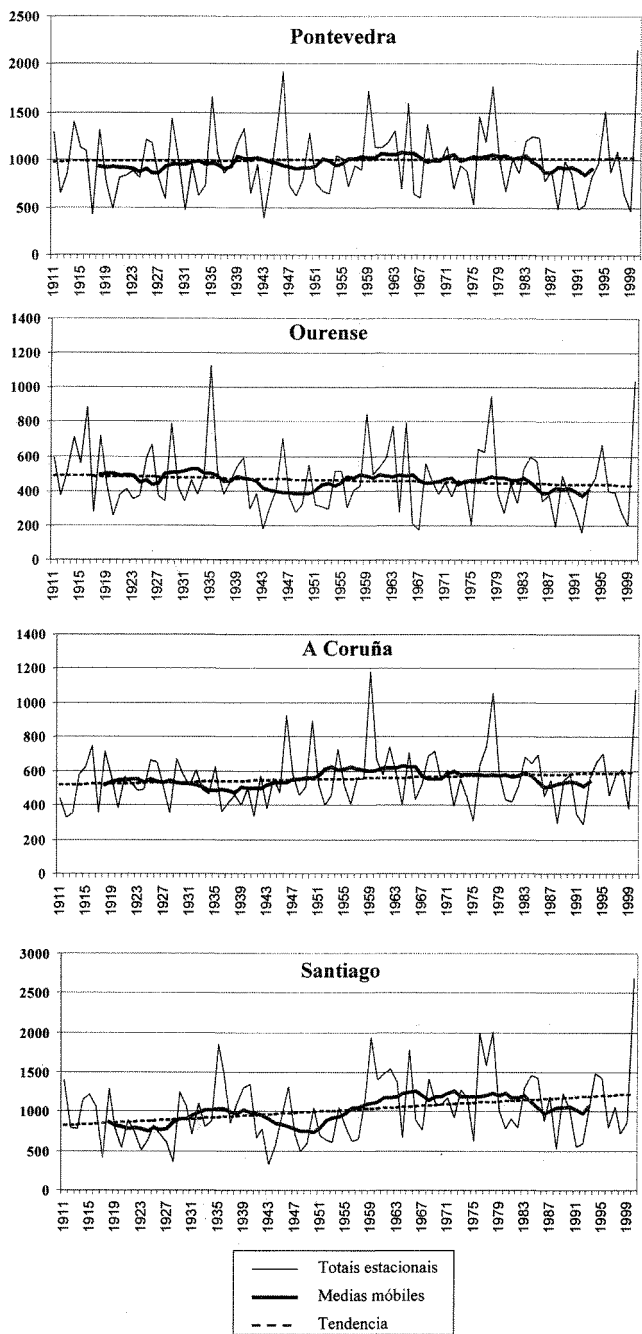


Figura 2: Precipitacións totais invernais, medias móbiles e recta de tendencia.

so, interrompido brusca e ¿puntualmente? polo chuvioso inverno de 2000-2001. As medias trintenais xa acusaban este descenso pluviométrico no último intervalo temporal.

Esta evolución repítese na Coruña, Santiago e Pontevedra, mentres que en Ourense a curva das medias móbiles, aínda que débil, amosa un persistente descenso, só interrompido durante boa parte dos anos 50 e 60, nos que as precipitacións invernais superaron ampla e frecuentemente o valor medio. Este aumento temporal das precipitacións invernais, igualmente perceptible nas outras tres series, foi constatado xa nun estudio sobre a variabilidade climática invernal da Meseta Meridional (Rasilla *et al.*, 1999) e, como veremos máis adiante, parece estar asociado a unha persistente fase negativa da NAO.

Nun traballo sobre a evolución das precipitacións anuais Raso (1993) obtíña tamén para a serie da Coruña unha evolución claramente ascendente ata 1980 xunto a outros observatorios do cadrante noroccidental da Península Ibérica como Salamanca e Valladolid. Igualmente, Fernandez (1994) obtén incrementos significativos das precipitacións invernais na Coruña entre 1901 e 1980, producíndose un lixeiro descenso durante as últimas décadas, o que parece ser o esquema evolutivo que seguen boa parte dos observatorios do norte peninsular.

## 5. EVOLUCIÓN DA VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA

Xunto co volume total das precipitacións, a súa variabilidade interanual constitúe outra das variables pluviométricas que puidera sufrir algún tipo de evolución ou cambio ó longo do século XX. Tendo en conta a súa implicación na xestión dos recursos hídricos, así como na ocorrencia de riscos pluviométricos, imos centrar este apartado no estudo do comportamento temporal da variabilidade das precipitacións invernais. A caracterización da evolución temporal da variabilidade pluviométrica realizouse tomando como parámetro representativo da mesma os coeficientes de variación, como xa se fixo en estudos precedentes (Almarza, 1996; Pita *et al.*, 1999; Rasilla *et al.*, 1999).

En primeiro lugar, e ó igual que fixemos cos totais de precipitación, obtivéronse os coeficientes de variación correspondentes ás tres subseries trintenais para os catro observatorios (Táboa 7). Estes indican que se produciu un sucesivo aumento da variabilidade das precipitacións en cada trintena con respecto ó anterior, malia que os cambios máis acusados producíronse entre o primeiro e o segundo períodos.

Se, como suxiren estes datos, se produciu un aumento da variabilidade, é previsible que vaia acompañado dun aumento na frecuencia de invernos con precipitacións extremas, tanto por exceso como por defecto. Para a delimitación dos invernos pluviométricos extremos obtivéronse os quintís (recomendados para tal fin pola O.M.M.) das catro series de 90 anos. Así, establécense como invernos moi secos aqueles cunha precipitación inferior ó primeiro quintil (en total 17 valores en cada serie), e como invernos moi húmidos aqueles cunha precipitación superior ó cuarto quintil (igualmente 17 valores).

TÁBOA VII  
COEFICIENTES DE VARIACIÓN INVERNAIS POR SUBSERIES DE 30 ANOS.

	1911-1940	1941-1970	1971-2000
<b>A Coruña</b>	22.3 %	30.4 %	32.7 %
<b>Santiago</b>	36.1 %	41.2 %	41.5 %
<b>Pontevedra</b>	31.9 %	36.2 %	38.8 %
<b>Ourense</b>	36.9 %	40.8 %	44.6 %

Os resultados mostran que, en liñas xerais, produciuse un claro aumento dos invernos extremos entre a primeira e a segunda trintena (ver Táboa 8); non obstante, no período 1971-2000 a frecuencia destes invernos anómalos experimentou un pequeno retroceso. Podemos exceptuar algún caso significativo como o dos invernos moi chuviosos en Santiago, que si que experimentan un incremento continuado entre as tres subseries, pasando de 3 na primeira trintena a 8 na última.

Parece, pois, claro que foron as décadas de mediados do século as que se caracterizaron pola maior frecuencia de invernos extremos, un feito que non se corresponde, como vimos, cos valores dos coeficientes de variación correspondentes á segunda trintena, pois estes foron todos inferiores ós que se produciron no seguinte.

TÁBOA VIII  
FRECUENCIAS OBSERVADAS DE INVERNOS EXTREMOS (< 1º QUINTIL E >4º QUINTIL)  
POR SUBSERIES DE 30 ANOS

		1911-1940	1941-1970	1971-2000
<b>A CORUÑA</b>	<i>moi secos</i>	7	4	6
	<i>moi chuviosos</i>	3	8	6
<b>SANTIAGO</b>	<i>moi secos</i>	6	7	4
	<i>moi chuviosos</i>	3	6	8
<b>PONTEVEDRA</b>	<i>moi secos</i>	5	6	6
	<i>moi chuviosos</i>	6	7	4
<b>OURENSE</b>	<i>moi secos</i>	2	8	7
	<i>moi chuviosos</i>	7	5	5
<b>TODOS</b>	<i>moi secos</i>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>23</b>
	<i>moi chuviosos</i>	<b>19</b>	<b>26</b>	<b>23</b>

Así, para poder establecer de forma máis clara cal foi a evolución da variabilidade pluviométrica ó longo do século XX, calculáronse os coeficientes de variación móbiles de 30 anos. A elección do período de 30 anos para a elaboración destes coeficientes débese á constatación de que a partir desta duración os coeficientes de variación das series comenzaban a estabilizarse, pois para períodos máis curtos presentaban continuas fluctuacións, o que reducía a súa representatividade.

A figura 3 mostra esa evolución continuada da variabilidade nos catro observatorios. Santiago e Pontevedra inician o século cun incremento dos coeficientes para man-

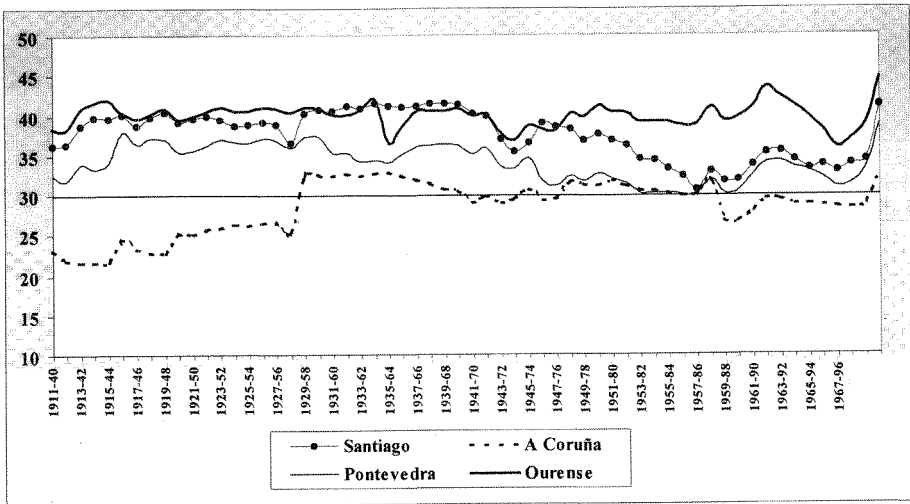


Figura 3: Coeficientes de variación móbiles de 30 anos.

terse posteriormente en torno ó 40% e 35% respectivamente ata finais da década dos 70; a partir deste momento a evolución dos coeficientes de variación inicia un suave e continuado descenso ata finais dos 90, nos que se produce un brusco repunte ocasionado, sen dúbida, polas excepcionais precipitacións do último inverno. Ourense é o único dos observatorios que mantén unha variabilidade relativamente estable durante todo o século, con valores en torno ó 40%. Na Coruña, os coeficientes de variación presentan unha tendencia claramente ascendente ata finais da década dos 40, cando sofren un considerable incremento, pasando de valores próximos ó 25% ata o 33%. Dende os anos 70 comeza unha suave tendencia de descenso ata chegar ó final do período de estudio, no que, ó igual que ocorre nas outras series, prodúcese un brusco aumento.

Por todo iso, podemos rematar dicindo que a variabilidade pluviométrica invernal en Galicia non parece estar aumentando como suxerían os valores trintenais. Tras un incremento inicial, a variabilidade se mantivo nuns valores máis ou menos estables ata emprender, a finais dos 70, unha tendencia á baixa, interrompida polos anómalos valores de chuvia recollidos no inverno 2000-2001.

## 6. RELACIÓN ENTRE A PRECIPITACIÓN INVERNAL E A NAO

Son numerosos os traballos nos que se constata a marcada influencia que a Oscilación do Atlántico Norte (NAO, *North Atlantic Oscillation*) ten sobre as anomalías meteorolóxicas e a variabilidade climática de Europa occidental (Parker e Folland, 1988; Hurrol, 1995; Rodó, 1997; Kerr, R.A., 1997). O índice NAO relaciona os valores de presión dunha localidade das illas Acores, ou outro lugar próximo do Atlántico subtropical,

como Lisboa ou Gibraltar, e un de Islandia, normalmente Reykjavik, avaliando así a intensidade e zonalidade dos fluxos atlánticos sobre a Europa temperada. A NAO constitúe un dos mecanismos máis importantes que compoñen o complexo sistema climático global, así como a principal fonte de variabilidade interanual sobre o Atlántico Norte.

En canto ó seu comportamento temporal, a NAO presenta unha elevada e intermitente variabilidade, cunha sucesión de fases positivas e negativas que, en determinados períodos chegan a ser persistentes, como pode comprobarse na figura 4. Na súa evolución dende mediados do século XIX é posible distinguir 5 períodos. O último tercio do século XIX caracterizouse por valores en torno á media e unha alta variabilidade interanual. Dende comenzos de século ata mediados da década dos 30 os índices NAO invernaís mantéñense case ininterrompidamente por riba do valor medio debido a un maior gradiente bórico entre a Depresión de Islandia e o Atlántico subtropical. Entre mediados dos anos 30 e comezos dos 70 rexistráronse os valores sostidos máis baixos da serie histórica. Dende 1972 ata 1995 prodúcese unha prolongada fase positiva que non ten precedente dende o comenzo da serie, incluso das series que comencan en 1823. Dentro deste período prodúcese un intervalo, do inverno de 1988 ó de 1994, cunha intensa fase positiva. Finalmente, durante a segunda metade dos 90 estanse a producir oscilacións do índice NAO de amplitude extrema: o inverno de 1994-95 foi o segundo con maior índice positivo (3.96), mentres que o de 1995-96 foi o terceiro máis baixo (-3.78); igualmente, tras o de 1999-2000, cun índice positivo de 2.80, produciuse o chuvioso inverno de 2000-01, cun índice NAO de -1.89.

A influencia da NAO sobre a precipitación e a súa variabilidade en España constituíu un reiterado tema de estudio durante os últimos anos, con traballos como os de Rodó *et al.*, 1997; Gómez Navarro *et al.*, 1999; Guijarro, 1999; Pita *et al.*, 1999; Rasilla *et al.*, 1999; Martín Vide *et al.*, 1999, Fernández e Rasilla, 2001 o Fdez. de Arróyabe, 2001. En todos eles queda verificada esta relación, máis estreita na metade occidental peninsular —especialmente no SO— onde chegan con maior intensidade os fluxos oceánicos do oeste.

A Península Ibérica, que queda en gran medida baixo a dinámica dos anticiclóns subtropicais durante boa parte da metade cálida do ano, é afectada máis directamente por eses fluxos de poñente durante a outra metade fresca ou fría. É, por iso, como constatan Martín Vide e Fernández (2001), que a influencia xeral do índice NAO na precipitación da Península Ibérica pode dividirse en tres períodos. Un primeiro período, composto polos meses de outubro a marzo, no que as correlacións xerais do índice NAO e a precipitación son elevadas. Un segundo período compóñeno os meses de abril, maio e setembro, nos que as correlacións son aínda significativas pero menores. E un terceiro período, formado polos meses estivais de xuño a agosto, durante os cales a incidencia da NAO é difusa ou inexistente debido, como xa se comentou, á maior influencia dos anticiclóns subtropicais.

Co obxectivo de cuantificar en que medida as variacións da NAO inciden nas precipitacións invernaís de Galicia calculáronse, en primeiro lugar, as correlacións entre

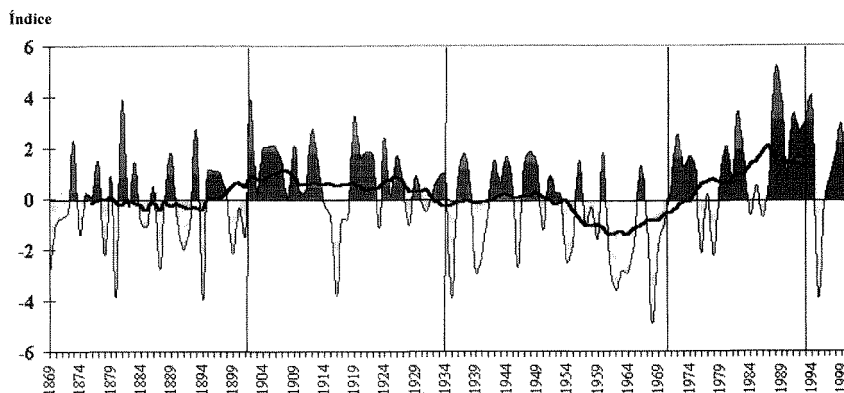


Figura 4: Evolución do índice invernal da NAO entre 1869 e 2000.

ambas variables. Os índices NAO utilizados son a diferenza entre os valores estandarizados da presión media estacional en Lisboa e en Reykjavik, obtidos no *National Center for Atmospheric Research*.

Os resultados, expostos na Táboa 9, mostran que as correlacións son, en xeral, elevadas en valor absoluto e todas negativas. Iso significa, en primeiro lugar, que existe unha significativa relación entre o índice da NAO e as precipitacións invernales en Galicia, e, en segundo lugar, que esta relación é inversa, é dicir, que canto menor sexa este índice maiores tenderán a ser as precipitacións acumuladas durante ese inverno, e viceversa.

Pero a relación existente entre ambas variables varía espacial e temporalmente. Así, as correlacións son máis elevadas nos observatorios meridionais (Pontevedra e Ourense teñen valores comprendidos entre  $-0.54$  e  $-0.76$ , en función do período da análise), diminuíndo conforme nos trasladamos cara ó norte (Santiago rexistra uns valores de correlación entre  $-0.50$  e  $-0.62$ , e A Coruña entre  $-0.40$  e  $-0.58$ ). Pontevedra é, dos catro observatorios, o que presenta unha mellor correlación, como ben pode observarse na figura 5, onde as liñas de ambas variables manteñen un trazado case oposto. A explicación podémola atopar no traballo de Fernández e Rasilla (2001), onde analizan a correlación entre o índice NAO e a frecuencia de situacións sinópticas en inverno durante o século XX; os resultados mostran que durante aqueles invernos nos que o índice NAO foi negativo aumentou a frecuencia de días con situación ciclónica do SO, que é a que xera os maiores volumes de precipitación no noso país, fundamentalmente nas comarcas máis suroccidentais, como as Rías Baixas, mentres que as mariñas de A Coruña ou de Lugo quedan máis resgardadas destes fluxos húmidos.

Tamén se aprecian diferenzas importantes da correlación en función do intervalo temporal elixido. Así, os valores de correlación melloran dun modo notable durante o período 1972-1994, que, como vimos, corresponde a unha fase persistente positiva, con valores superiores a  $-0.6$  (a excepción de A Coruña), destacando Pontevedra cunha corre-

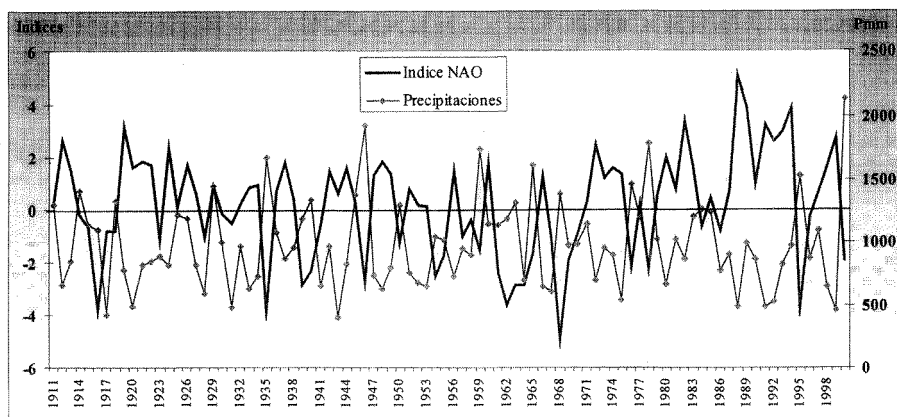


Figura 5: Evolución secular das precipitacións invernales en Pontevedra e do índice da NAO.

lación de  $-0.76$ . Sen embargo, para o período 1936-1971, correspondente cunha fase negativa, obtéñense valores inferiores, en torno a  $0,50$ .

TÁBOA IX  
COEFICIENTES DE CORRELACIÓN ENTRE AS PRECIPITACIÓNS INVERNAIS  
E OS ÍNDICES DE INVERNO DA NAO

Período	Santiago	A Coruña	Pontevedra	Ourense
<b>1911 - 2000</b>	-0.50	-0.44	-0.55	-0.55
<b>1936 - 1971 (fase -)</b>	-0.54	-0.40	-0.54	-0.57
<b>1972 - 1994 (fase +)</b>	-0.63	-0.58	-0.76	-0.67

Fonte: I.N.M. e National Center for Atmospheric Research.

A comparación das medias móbles de 15 anos das precipitacións invernales e do índice NAO (figura 6) permite comprobar novamente a boa relación entre ambas variables ó longo do século pasado, moi especialmente durante as últimas décadas, nas que as dúas curvas debuxan un trazado exactamente oposto. Así, ese descenso xeral das precipitacións invernales durante as dúas últimas décadas do século que, como vimos anteriormente, afectaba ás catro series analizadas, estaría motivado por unha persistente fase positiva da NAO. Durante esta fase prodúcese un aumento da presión do Anticiclón das Açores e unha diminución barométrica na Depresión de Islandia, ademais dun ascenso en latitude de ambos centros de acción. Iso provoca que os fluxos atlánticos do oeste queden cunha maior frecuencia afastados da Península Ibérica, diminuindo, como consecuencia, as precipitacións. Especial intensidade alcanzaron estes índices negativos durante os invernos comprendidos entre 1988 e 1994, nos que superaron, salvo en dúas ocasións, o valor de 3. As sequías foron especialmente intensas e prolongadas na metade sur de España, Portugal, Marrocos e Alxeria. En Galicia as precipitacións invernales quedaron

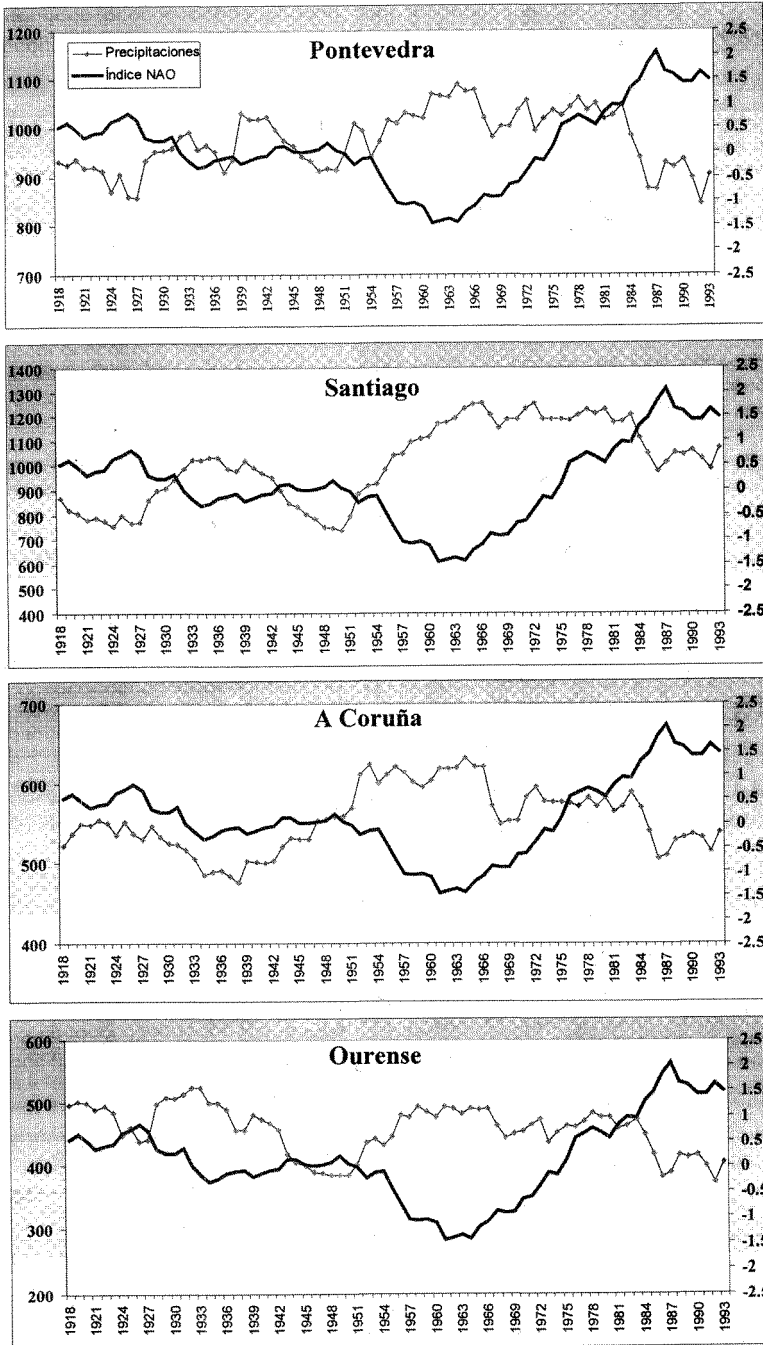


Figura 6: Médias móbiles de 15 anos das precipitacións inver nais e do índice da NAO

en case tódolos anos por debaixo da media, con invernos como os de 1988, 1991 ou 1992 nos que foron moi escasas (figura 2).

Sen embargo esta persistente fase positiva viuse interrompida ocasionalmente por invernos moi chuviosos como os de 1976 (1993 mm en Santiago ou 1462 mm en Pontevedra) e 1978 (2013 mm en Santiago e 951 mm en Ourense), nos que o índice da NAO baixou ata valores de  $-2.14$  e  $-2.25$  respectivamente.

Durante a segunda metade da década dos 90 as oscilacións extremas que afectaron ó índice NAO tiveron como consecuencia unha alta variabilidade pluviométrica que afectou en maior o menor medida a Galicia. No caso de Pontevedra, por exemplo, no inverno de 1994 (cun índice NAO de 3.96) acumuláronse 969 mm, no de 1995 ( $-3.78$ ) 1522 mm, no de 1999 (2.8) 458 mm e no de 2000-01 ( $-1.8$ ) recolléronse 2142 mm.

O incremento pluviométrico que, como vimos no apartado 4, produciuse durante boa parte dos anos 50 e 60, nos que os volumes invernais de chuva superaron ampla e frecuentemente o valor medio, explícase en parte por unha intensa e persistente fase negativa, como ben pode apreciarse no trazado das liñas da figura 6 para as catro series.

## 7. CONCLUSIÓNS

As precipitacións invernais en Galicia, a pesar de se encontrar esta dentro do ámbito dos climas oceánicos, manifestan unha alta variabilidade interanual, posiblemente motivada pola maior influencia que as altas presións subtropicais exercen sobre as rexións atlánticas europeas máis meridionais.

A Coruña, Santiago e, en menor medida, Pontevedra presentan unha tendencia secular de incremento pluviométrico. En Ourense, pola contra, obsérvase unha tendencia de diminución, aínda que moi débil e pouco significativa, ó igual que a de Pontevedra.

Dentro destas tendencias globais distínguense ciclos pluviométricos máis curtos. En primeiro lugar un período case continuado de aumento das precipitacións dende o inicio da serie ata finais dos anos 60, seguido dunha certa estabilización; a partir dos anos 80 comenza un suave e prolongado descenso, interrompido puntualmente por algún inverno con precipitacións moi abundantes, como o de 2000-01. Este período podería constituir un pequeno ciclo enmarcado dentro dunha tendencia de maior escala temporal que, como vimos, suxería, a excepción de Ourense, un incremento suave e continuado das precipitacións invernais.

A variabilidade pluviométrica é, en si mesma, tamén moi variable. Sen embargo, e malia á irregularidade que caracterizou ós últimos invernos, non se observa unha tendencia global de aumento. Pola contra, nas últimas décadas a variabilidade experimentou un descenso en Santiago, Pontevedra e A Coruña, interrompido polos invernos extremos dos últimos anos do século.

A Oscilación do Atlántico Norte explica unha parte substancial da variabilidade pluviométrica invernal de Galicia. As correlacións entre o índice invernal da NAO e a pre-

cipitación acumulada dende novembro a marzo son sempre negativas e claramente significativas, con valores xeralmente comprendidos entre  $-0.5$  e  $-0.7$ . O aumento durante as fases negativas da NAO das situacións atmosféricas do suroeste, que aportan unha alta porcentaxe das chuvias en Galicia, pode explicar esta dependencia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Almarza, C., López, J.A. y Flores, C. (1996): *Homogeneidad y variabilidad de los registros históricos de precipitación de España*. Monografía A-143, I.N.M., Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 318 p.
- Creus Novau, J. (1996): “Variaciones en la distribución hídrica mensual en el valle del Ebro”, en *Clima y agua: la gestión de un recurso climático*, Marzol, V, Dorta, P., Valladares, P. Eds., La Laguna, pp. 79-86.
- Fernandez García, F. (1994): “Los cambios climáticos recientes. Tendencias metodológicas y estado de la cuestión en España peninsular”, en *Cambios y variaciones climáticas en España*, Fundación El Monte, pp. 19-46.
- Fernandez García, F. y Rasilla, D. (2001): “Secular variations of the synoptic circulation over the Iberian Peninsula”, en *Detecting and modeling regional climate change*, Springer, Berlín.
- Fernández de Arróyabe, P. (2001): “La variabilidad intermensual de la NAO y su incidencia en el número de días de lluvia en la costa cantábrica del País Vasco”, en *El tiempo del clima*, Asociación Española de Climatología, Valencia, pp.75-86.
- Galán, E., Cañada, R., Rasilla, D., Fernández, F. Y Cervera, B. (1999): “Evolución de las precipitaciones anuales en la Meseta Meridional durante el siglo XX”, en *La Climatología española en los albores del siglo XXI*, Asociación Española de Climatología, Barcelona, pp. 169-180.
- Gómez Navarro, L., Martín Vide, J. y Wanner, H. (1999): “Influencia de la NAO en la precipitación y en la probabilidad de días lluviosos de diciembre en la España peninsular (1941-1994)”, en *La Climatología española en los albores del siglo XXI*, Asociación Española de Climatología, Barcelona, pp. 217-226.
- Guijarro Pastor, J.A. (1999): “Teleconexiones climáticas y precipitación en la España mediterránea”, en *La Climatología española en los albores del siglo XXI*, Asociación Española de Climatología, Barcelona, pp. 243-252.
- Hurrell, J.W. (1995): “Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperature and precipitation”, *Science*, 269, pp.676-679.
- Kerr, R.A.(1997): “Climate: a new driver for the Atlantic’s moods and Europe’s weather”, *Science*, 275, pp.754-755.

- Martín Vide, J. y Fernández, D. (2001): “El índice NAO y la precipitación mensual en la España peninsular”, *Investigaciones Geográficas*, 26, pp.41-58.
- Parker, D.E. y Folland, C.K. (1988): “The nature of climatic variability”, *Meteorological Magazine*, 117, pp.201-210.
- Pita, M.F., Caramillo, J.M. y Aguilar, M. (1999): “La evolución de la variabilidad pluviométrica en Andalucía y sus relaciones con el índice NAO”, en *La Climatología española en los albores del siglo XXI*, Asociación Española de Climatología, Barcelona, pp. 399-408.
- Quereda, J. y Montón, E. (1996): “Evolución y tendencia secular de las precipitaciones en la cuenca occidental del Mediterráneo”, en *Clima y agua: la gestión de un recurso climático*, Marzol, V, Dorta, P., Valladares, P. Eds., La Laguna, pp. 111-122.
- Rasilla, D., Fernández, F., Galán, E. y Cañada, R. (1999): “Variabilidad climática invernal sobre la Meseta Meridional y su relación con la circulación atmosférica”, en *La Climatología española en los albores del siglo XXI*, Asociación Española de Climatología, Barcelona, pp. 449-458.
- Raso Nadal, J.M. (1993): “Evolución de las precipitaciones anuales en España desde 1870”, *Notes de Geografía Física*, 22, pp.5-24.
- Raso Nadal, J.M. (1996): “Variación de las precipitaciones de primavera en el sur de la España peninsular durante el siglo XX”, en *Clima y agua: la gestión de un recurso climático*, Marzol, V, Dorta, P., Valladares, P. Eds., La Laguna, pp. 123-132.
- Rodó, X. et al. (1997): “Variations in seasonal rainfall in Southern Europe during the present century relationships with the North Atlantic Oscillation and the El Niño-Southern Oscillation”, *Climate Dynamics*, 13, pp. 275-284.

## AGRADECIMENTOS

Este traballo forma parte do proxecto de investigación sobre a “Dimensión espacial e temporal del cambio climático en el Norte de España: Galicia, Cornisa Cantábrica, Valle del Ebro y Cataluña.” (CICYT, CLI96-1842-C05-01). Agradecemos ó I.N.M. a cesión dos datos e especialmente ó persoal do Centro Meteorolóxico Territorial de Galicia.