

## ESTUDO DENDROCLIMÁTICO E FISIONÓMICO DO CAMBIO DE CLIMA EN GALICIA

A. Fernández Cancio<sup>1</sup> e E. Manrique Menéndez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Protección Forestal CIFOR-INIA  
Estrada da Coruña km 7,5 s/n, 28040 Madrid.  
Correo\_e: fernand@inia.es

<sup>2</sup> EUIT Forestal, UPM  
Cidade Universitaria s/n. 28040 Madrid.  
Correo\_e: emilio.manrique@upm.es

### RESUMO

O cambio climático estase a implantar en Galicia como consecuencia dun episodio mundial xa inevitable, incluso establecendo políticas de control de emisións de gases de efecto invernadoiro e salvo que se efectúe unha intervención tecnolóxica global non previsible actualmente. Polo tanto, a magnitude deste cambio debe ser analizada con coidado para desenvolver medidas para o amortecemento do seu impacto. Unha das formas de coñecer a súa evolución na actualidade é a paleoclimatoloxía e, dentro dela, usaremos a dendroclimatoloxía, que é unha metodoloxía paleoclimática próxima que permite extraer información climática dos aneis das árbores no último milenio. En Galicia, como no resto de España, as manifestacións do cambio climático son xa cuantificables, aínda que temporalmente estean amortecidas no noroeste e norte polos efectos do océano Atlántico. Neste traballo analízase a progresión do cambio climático en Galicia comparando o comportamento de estacións meteorolóxicas moi completas da costa (A Coruña) e do interior (Santiago de Compostela, universidade e aeroporto da Lavacolla) que foron reconstruídas nos últimos mil anos.

### SUMMARY

Climate Change in Galicia is a result of an inevitable worldwide episode, although policies of control of the greenhouse effect have been established; only a global technological intervention, unpredictable at the moment, would have positive consequences in this problem. Therefore, the magnitude of this change must be analyzed carefully to establish actions to reduce its impact. One way of seeing its evolution in the present time is paleoclimatology and, a part of it, dendroclimatology; this discipline is a paleoclimatic proxy methodology that enables the extracting of climatic information of tree-rings in the last millennium. In Galicia, like in the rest of Spain, the manifestations of the Climate Change can be already quantified, although at the moment, due to Atlantic Ocean, the effects in the north-west and north of Spain are have been softened. In this work the evolution of Climate Change in Galicia is analyzed comparing the behavior of complete meteorological stations located on the coast (A Coruña) and in the interior (Santiago de Compostela Universidade and Aeroporto da Lavacolla), that have been reconstructed in the last millennium.

## INTRODUCCIÓN

A Terra atópase nun proceso practicamente indiscutible de quentamento global, correlacionado cun aumento sostido da concentración de gases de efecto invernadoiro durante os dous últimos séculos. Na última década, a temperatura media da superficie terrestre subiu 0,6 °C, considerándose que polo menos 0,3 ou 0,4 °C son claramente o resultado da acción humana. Desde o punto de vista dendroclimático, a subida de temperatura desde 1980, por riba do fondo térmico do milenio, tampouco se explica doadamente sen aceptar que esta tendencia crecente está inducida por factores antrópicos. As últimas estimacións *downscaling* procedentes dos modelos ECHAM4 e CGCM2 aplicados aos escenarios SRES: A2 e B2 (IPCC, 2005), calibrados e verificados localmente para a península Ibérica e Baleares (INM-FIC, 2007), estiman que aparecerán nestes escenarios cambios de temperatura da orde de 2 °C nas décadas de 2041 a 2050 para as temperaturas máximas e 2051 a 2060 para as temperaturas mínimas. Estas conclusións coinciden coas estimacións do IPCC 2006 e son máis pesimistas que as utilizadas anteriormente. Aínda máis alarmantes son as predicións para o horizonte 2100, que establecen subidas intolerables da orde de 4 a 6 °C. Ademais, durante as últimas décadas produciuse un aumento de sucesos extremos de precipitación e temperatura (Manrique e Fernández Cancio, 2000), de modo que alternaron longos períodos secos con anos excepcionalmente chuviosos, así como ondas de calor que superaron os rexistros instrumentais existentes (1995, 2005 e 2006).

Neste contexto climático, o informe do IPCC de 2006 (Intergovernmental Panel on Climate Change) determinou que un dos procesos previsibles é o desprazamento da vexetación. Este fenómeno xa está en marcha a escala temporal humana, porque as observacións de diversas entidades confirman unha mortalidade multiespecífica de árbores e arbustos durante as últimas décadas na península Ibérica (secas) que foi relacionada con estes episodios de cambios de tendencia e variabilidade no clima. (Fernández Cancio *et al.*, 1997a, 2004a, 2004b, 2006; Navarro *et al.*, 2004). Neste contexto o grupo de fitoclimatoloxía do INIA está a analizar o impacto do cambio climático sobre a vexetación natural e os seus desprazamentos previsibles, baixo distintos escenarios de cambio climático no horizonte de 2050. Estes estudos analizan con detalle o impacto do clima e a súa probable asociación coas secas actuais (Navarro *et al.*, 2004). Os escenarios previstos en España para un futuro simulado oscilan entre un aumento/diminución da precipitación en torno a un 10-15%, con diferenzas estacionais sobre a actualidade e un aumento non uniforme de 2 °C segundo prevén os modelos de circulación da atmosfera aplicados localmente á península Ibérica (Ribalaygua *et al.*, 1998; INM-FIC, 2007; Fernández-González *et al.* 2005).

A vexetación está sometida a uns parámetros sensibles aos impactos climáticos en forma de factores limitantes. As plantas destacan de entre os seres vivos pola súa condición de inmovilidade, polo que se pode correlacionar dun modo directo a súa distribución con estes parámetros climáticos coñecidos que establecen o seu carácter bioindicador. A temperatura, a precipitación, a irradiación e a evapotranspiración son os catro factores que en maior medida determinan as condicións básicas de existencia das plantas terrestres. As plantas, á súa vez, adaptanse ás condicións ambientais adoptando biotipos determinados mediante procesos fisiolóxicos e desenvolvendo hábitos estacionais. Os factores limitantes climáticos actúan como o mecanismo máis importante de distribución territorial das especies. A orientación da nosa investigación é tanto de carácter fisionómico (Walter, 1973; Allué, 1990, 1995) como dirixida aos *taxa* e *sintaxa* e alértannos sobre os profundos cambios que se están a producir nas bases fisiolóxicas que sustentan as estruturas vexetais. A velocidade con que o cambio climático se pode impoñer (0,2 - 0,4 °C de aumento por década) é o principal factor a considerar e obriga a despregar unha estratexia para auxiliar, na medida do posible, os ecosistemas no seu proceso de adaptación, xa que o cambio global induce unha crise ecolóxica tamén global que debe tender a reestruturalos. As simulacións do cambio climático indican que os termotipos, ombrotipos, patróns climáticos estacionais e subtipos fitoclimáticos se están a modificar, de maneira



que a fisionomía da paisaxe está a cambiar de forma substancial, con tendencia cara a unha progresiva aridificación.

Este estudo do cambio climático en Galicia realizouse con dous obxectivos:

- a) Analizar o último milenio en Galicia utilizando series dendrocronolóxicas, que teñen como obxectivo o estudo das variacións sobre o fondo climático do milenio para observar a transición actual cunha perspectiva paleoclimática próxima (Creus *et al.*, 1997; Fernández Cancio e Manrique, 1997, 1998; Candela, 2000).
- b) Unha aplicación do sistema fisionómico de Allué Andrade (1990) a Galicia que permita analizar as tendencias evolutivas dos subtipos fitoclimáticos xenuínos. É dicir, unha análise fitoclimática evolutiva do cambio climático (Allué, 1990, 1995).

## MÉTODOS

A metodoloxía clásica da evolución do paleoclima en Galicia utilizando a dendrocronoloxía foi obxecto xa dunha tese de doutoramento (Beorlegui, M., 1994) e dun libro publicado pola Xunta de Galicia (Creus *et al.*, 1994, 1995), ademais doutros traballos importantes (Creus e Fernández Cancio, 1997; Pérez e Fernández Cancio, 1998) que corresponde a unha primeira fase do estudo do clima español a través dos aneis das árbores. A metodoloxía existente ata 1995 (Fritts, 1976; Génova e Fernández Cancio, 2000; Cook, 1990) permitía reconstruír o clima cando existía unha estación meteorolóxica de calidade nun contorno próximo a varias cronoloxías. Isto limitaba as reconstrucións ao intervalo temporal común das cronoloxías existentes. Así, puidéronse estimar valores de temperatura desde 1650 e de precipitación desde 1757 en meses e lugares moi concretos de Galicia, pero esta metodoloxía clásica impedía obter unha visión máis xeral.

Desde 1997 (Fernández Cancio e Manrique, 1997; Manrique e Fernández Cancio, 2000) dispónse dunha metodoloxía diferente, que permite reconstruír masivamente precipitacións e temperaturas en cada estación meteorolóxica que teña unha serie de calidade de, polo menos, 35 anos. Isto faise establecendo unha dendroclimatoloxía dirixida cara á variable a reconstruír aproveitando tanto o longo alcance do sinal dendroclimático como a súa selectividade para recoller toda a información direccional nas mostras dendrocronolóxicas existentes, sempre que sexan estatisticamente moi significativas con respecto á variable problema, sexa cal sexa a súa posición en España e reconstruíndo cronoloxías locais que maximizan a información a resaltar e minimizan o ruído doutras variables. Cada variable reconstruída deste xeito calíbrase e verifícase, tanto por métodos *bootstrap* como por comparación con series aleatorias. Isto conduciu á reconstrución case completa de 320 estacións en diversos puntos de España desde o ano 1054 (figura 1). O resultado deste traballo foi obxecto doutra tese de doutoramento (Candela, V., 2000) que estudaba a evolución climática do centro e da metade meridional do país. A metade setentrional, ao estar menos afectada polo cambio climático, foi posposta neste traballo, e os datos son aínda practicamente inéditos. Os puntos reconstruídos aparecen na figura 1:

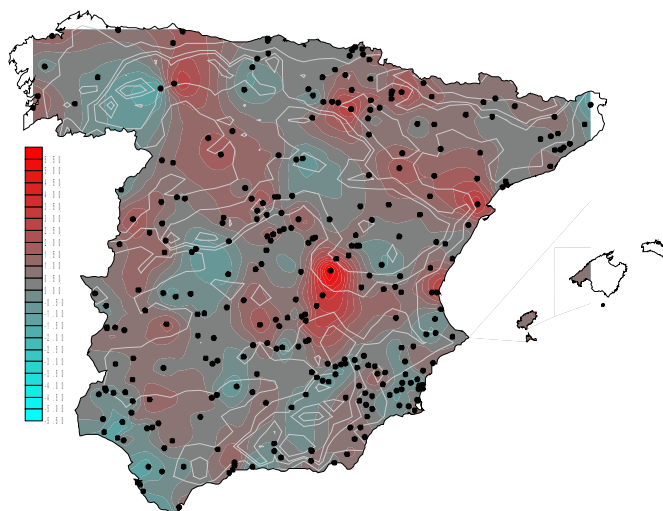


Figura 1. Estacións meteorolóxicas reconstruídas no ano 2000.

O cuadrante noroccidental dispón dunha densidade máis baixa que o resto de España e en Galicia reconstruíronse oito puntos, incluída A Coruña, que non aparece reflectida na figura 1. As estacións meteorolóxicas faltantes no noroeste débense tanto á ausencia de datos en períodos moi extensos como a que o impacto do cambio climático parecía menor, polo menos por agora, na España Euro-siberiana e noroccidental que noutros puntos máis gravemente afectados. Non obstante, aínda que desde o punto de vista dendroclimático se deron por concluídas as reconstrucións ao considerarse que a información é xa suficiente, pódense completar moitas estacións faltantes para densificar a rede ata un total dunhas 600 estacións en todo o territorio. Desde o punto de vista histórico, a información paleoclimática do noroeste parece xa suficiente para contrastala coas fontes escritas (Font Tullot, 1997; Fontana, 1976, inédito), como se fixo con resultados significativos no centro e zona meridional española na tese de doutoramento de V. Candela (2000).

O cambio climático de incidencia fitoclimática está analizado seguindo a metodoloxía de J. L. Allué Andrade (1990), que parte do carácter fisionómico e ten unha expresión paisaxística, e que é un excelente instrumento para predicir a evolución dun cambio climático. As modificacións mantidas (transcendentes) na xenuinidade dos subtipos fitoclimáticos determinan, co tempo, alteracións na paisaxe por desprazamentos da vexetación natural. A dirección e tendencia destes cambios pódese estudar utilizando este sistema, que sintetiza nun só valor a pertenza biunívoca das estacións dun territorio a un determinado subtipo, dentro dun conxunto limitado de estratexias fisionómicas posibles no ámbito español. As tendencias evolutivas destes cambios (Allué, 1995) pódense analizar do mesmo xeito, estudando agora as medias móbiles simples en períodos de quince anos. Esta análise fisionómica e paisaxística debe complementarse coa análise de taxons, que se pode facer globalmente usando este mesmo sistema ou mediante estudos estatísticos multivariados complementarios sobre conxuntos amplos de variables fitoclimáticas. O enfoque determinista do modelo de Allué a nivel de taxon complementase así coa análise estatística (Fernández Cancio *et al.*, 2004b). A aproximación conxunta de ambas as dúas técnicas permite afinar moito os resultados dos límites de existencia das distintas especies e dos seus posibles desprazamentos ante os escenarios simulados do cambio climático.



## RESULTADOS E DISCUSIÓN

### 1. O cambio climático en Galicia: aspectos dendroclimáticos de variabilidade interanual e de tendencia.

O comportamento fitoclimático e dendroclimático da Galicia interior está representado parcialmente por Santiago de Compostela-A Lavacolla e da Galicia costeira e máis térmica pola Coruña. Ambas as dúas estacións son moi diferentes, tanto no patrón de precipitación como no de temperatura. Isto pódese ver nas figuras 2 a 7 e confirmalo cos datos reais do século pasado. Tanto en Santiago de Compostela como na Coruña, estúdase de forma independente a variación interanual (alta frecuencia) e a evolución por media móbil sobre un período suficientemente amplo de 21 anos (baixa frecuencia) e ambas as dúas compáranse sobre as súas propias medias naturais do milenio de forma independente. No caso de baixa frecuencia os gráficos comparan as dúas estacións conxuntamente (figuras 4 e 7).

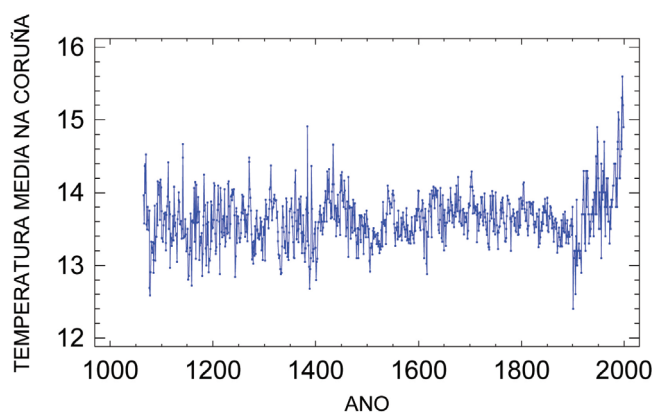


Figura 2. Evolución da temperatura media na Coruña entre o ano 1050 e o ano 1999. A banda de variabilidade dos datos aumenta entre o ano 1050 e 1390 debido ao escaso número de series (12 mostradas) que representan esta fase. A PIG localízase entre 1450 e 1625 nesta estación.

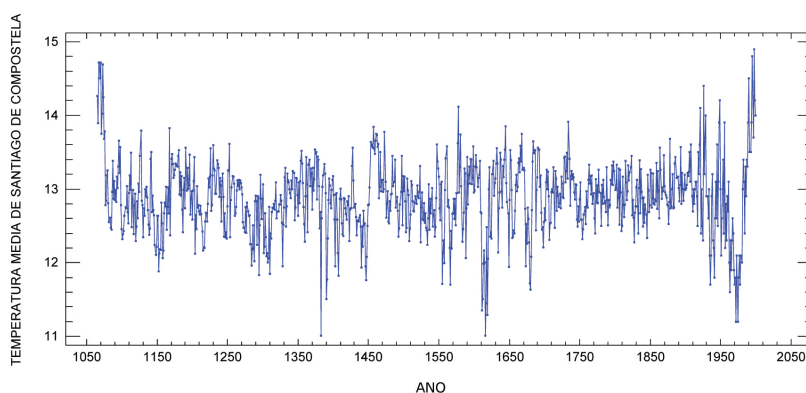


Figura 3. Evolución da temperatura media en Santiago de Compostela entre o ano 1065 e o ano 1999. Entre 1450 e 1625 nesta estación localízase a PIG.

A temperatura interanual na Coruña exhibe un comportamento suave a partir de 1390 (figura 2), malia a crise da Pequena Idade Glacial (PIG) que non se manifesta de forma moi aguda nesta estación, xa que se mantén entre 13 °C e 14 °C, salvo en moi poucos anos ata 1900, que é cando comeza un episodio climático sen precedentes no milenio. Desde 1800 cae a temperatura e cara a 1900 hai unha acusada tendencia á alza. Esta perturbación tivo un carácter secular que contrasta con outros períodos de elevación e caída naturais, que foron moito máis suaves e con intervalos máis longos. Este último episodio climático baséase en datos reais e pasa dunha temperatura media de 12,4 °C en 1900 a 15,6 °C a finais do século XX, rompendo a tendencia descendente que desde comezos do século XVIII aparece en Galicia, suave ao principio e que se acentúa fortemente despois de 1800 ata o mínimo de 1900, o máis baixo rexistrado no milenio.

A temperatura media do milenio que é o seu fondo natural (figuras 2 e 4) oscila na Coruña en torno a 13,6 °C (alta e baixa frecuencia) e ao subir fortemente desde 1900 rompe o fondo térmico medio cara a 1950; despois, tras unha estabilización entre 1950-1970, prodúcese a segunda fase de subida, que supera de novo o fondo, térmico cara a 1990. A representación desta temperatura media da Coruña é típica no milenio en moitas estacións españolas e a subida final correlaciónase directamente co quentamento global. Nos últimos anos a temperatura en media alcanza os 14,6 °C, que supera en 1 °C á media do milenio. Este quentamento parece que afecta a toda a banda costeira galega e é moi superior ao que se rexistra no interior de Galicia, contradicindo, polo momento, as estimacións locais deducidas dos modelos de circulación da atmosfera que predín, en xeral, o contrario (INM-FIC, 2007).

En Santiago de Compostela o comportamento da temperatura en alta frecuencia (figura 3) é menos abrupto que na Coruña; a súa media é 12,9 °C e, salvo no século XX, a variación interanual só se ve moi alterada en escasos instantes da súa historia. En 1997 alcázase o máximo absoluto do rexistro interanual do milenio con 14,9 °C, mentres que os mínimos absolutos se localizan en 1383 e 1616. A temperatura mínima de 11,2 °C rexistrada en 1973 é o mínimo do arrefriamento que, comezando en 1961, se produciu no século XX coincidindo cunha das fases máis húmidas e frías da historia de España, a cal remata en 1981. De seren correctas estas estimacións dendroclimáticas, cuestionaríase seriamente o impacto da PIG no interior de Galicia. A partir de 1973 comeza unha subida anómala con pendente moi pronunciada que se mantén ata a actualidade e que correspondería de novo ao quentamento global. A incidencia histórica da PIG ten aspectos cualitativos que nos falan dunha intensidade puntual do frío aparentemente máis forte que a do século XX (Fontana, 1976 (inédito)) pero cuantitativamente a intensidade media do frío puido ser máis forte no último século, só que a sociedade é agora moito menos vulnerable a episodios climáticos que no pasado, e o seu reflexo histórico e sociolóxico, en termos de malas colleitas e fame, é inexistente no noso ámbito xeográfico.

Secularmente, tanto en alta como en baixa frecuencia as temperaturas da Coruña e Santiago de Compostela manteñen unha correlación baixa pero significativa ( $r = 0,30$ ) dependente do filtro utilizado para analizar a media móbil, como se ve na figura 4. En baixa frecuencia a tendencia parece estar en fase desde o ano 1065 ata o comezo do século XVIII, cando na Coruña comeza a diminución de temperatura que alcanza o seu mínimo cara a 1900, como sucedeu tamén na PIG cara ao ano 1500. Despois entran temporalmente en contrafase en tendencia, ata que ambas as dúas se sincronizan de novo a partir de 1950. Se se observa a figura 4, vese que A Coruña tivo un período frío entre 1800 e 1937, que foi nesta estación o máis acusado da súa historia. Desde este momento a temperatura comeza a elevarse en ambas as dúas estacións alcanzando un máximo relativo en 1957 que xa supera á media do milenio na Coruña e despois unha tendencia crecente a partir de 1990, que supera a media do milenio en ambas as dúas estacións. As transicións fase-contrafase entre a costa e o interior galego pódennos falar de variacións e predominios de determinadas direccións de entrada de masas frías de aire cara ao interior peninsular.



En Santiago de Compostela, cara a 1760 comeza unha subida térmica que fai crise en 1937 e que conduce a unha baixada de temperatura que en 1983 é a máis baixa en media das estimadas no milenio; despois, elévase fortemente sen superar esta media ata 1999. A oscilación de baixa frecuencia (media móbil) en Santiago de Compostela é de grande amplitude, xa que entre 1983 e 1999 Santiago de Compostela gaña 2 °C de temperatura, asociándose este intervalo temporal co cambio climático, que xa sincroniza en tendencia e variabilidade a costa co interior, pero que non rompeu o fondo térmico ata o ano 2002.

Resumindo, en baixa frecuencia as temperaturas medias da Coruña e Santiago de Compostela exhiben no século XX un comportamento moi anómalo respecto ao resto do rexistro Proxy e nese século producíronse desfasadamente os episodios máis fríos nunca alcanzados en mil anos segundo os datos reconstruídos. Desde 1937 ata a actualidade ambas as dúas estacións entran en fase e a temperatura alcanza o seu máximo en 1999 en media móbil e en 1997 en alta frecuencia, rompendo o fondo térmico do milenio. A Coruña en alta frecuencia supérao xa en 1950 e en 2005 alcanza o seu máximo absoluto cun quentamento sobre o fondo medio do milenio de 0,9 °C, mentres que sobre o fondo de baixa frecuencia parece elevarse 0,5 °C. Descontando na Coruña os 0,3 °C que se consideraría que se deben ao efecto de illa térmica, só 0,2 °C serían, en media móbil, superiores ao alcanzado no pasado, pero o valor interanual é amplamente superior. En Santiago de Compostela en baixa frecuencia a elevación actual é de 0,7 °C sobre o fondo medio do milenio e non alcanza a superar o máximo histórico en media móbil de 1466, que supera á actualidade en 0,1 °C, polo que parece que Santiago de Compostela permanece, aínda, dentro da banda de variabilidade natural do milenio en media móbil, mentres que en alta frecuencia parece rompelo a partir de 1999.

O efecto do cambio climático nas temperaturas galegas enmascárase moito coa anomalía do século XX, tamén quizais parcialmente producida polo cambio climático, que amortece os valores obxectivos de elevación das temperaturas, estando, non obstante, estas nun claro proceso de quentamento sincrónico co do resto do Hemisferio Norte.

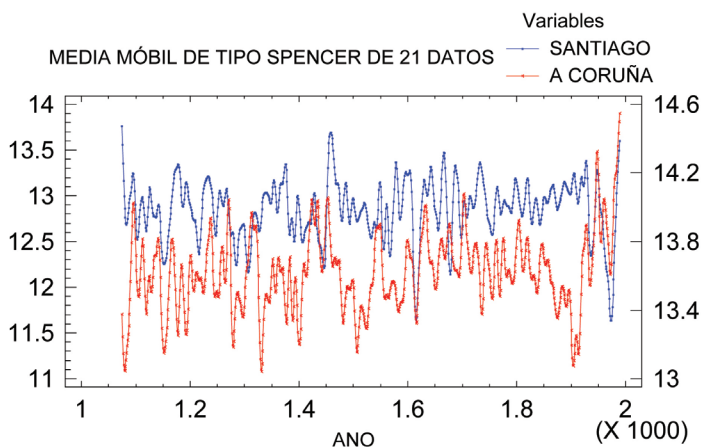


Figura 4. Comparación en media móbil de tipo Spencer e 21 termos entre a temperatura de Santiago de Compostela e a da Coruña.

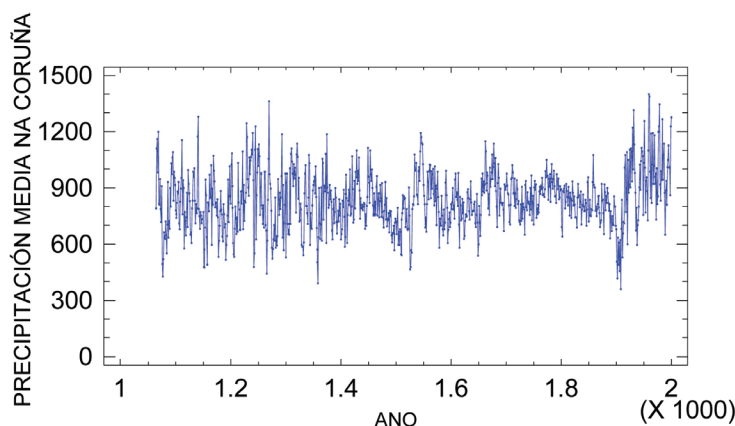


Figura 5. Comportamento das precipitacións na Coruña desde 1050 ata 2002. Entre 1050 e 1360 a variabilidade aumenta debido ao escaso número de series dendrocronolóxicas (12) que entran nesta estación. As tendencias, non obstante, son válidas.

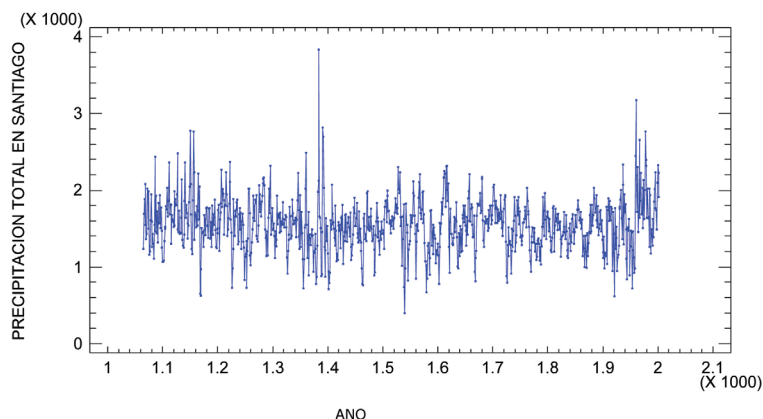


Figura 6. Comportamento das precipitacións en Santiago de Compostela entre 1965 e 2002. En 1380 entran máis de 17 cronoloxías e a variabilidade diminúe. O máximo absoluto de 1384 con 3.830 mm non foi eliminado polos filtros como valor fóra de rango, xa que o seguinte máximo se alcanza en 1960 con 3.169 mm e é un dato real. As secas documentadas de finais do século XIV aparecen tamén como episodios singulares.

A anomalía do século XX que se analizou nas temperaturas ten tamén o seu reflexo nas precipitacións, xa que en Santiago de Compostela (figura 6) vinte e catro dos cen anos máis chuviosos do milenio corresponden ao século XX e todos superan en datos reais os 2.000 mm (unha distribución aleatoria daría ao redor de 10). Do mesmo xeito, as precipitacións mínimas alcázanse en dezaseis anos para o século XX, o que supera tamén os outros séculos do milenio. Na Coruña (figura 5) aínda é máis acusado o contraste, xa que trinta e catro dos cen anos máis húmidos corresponden ao século XX e XXI, algo que non se rexistrara nunca anteriormente en dato reconstruído, alcanzando en 1959 e 1960 os máximos absolutos da serie dendroclimática. É máis normal o comportamento dos mínimos, xa que no século XX se atopan doce anos entre os cen máis baixos. Non obstante, o mínimo absoluto nunca rexistrado na Coruña é o valor real de 1908 de 359 mm e moi preto os





de 1902 con 416 mm e 1906 con 457 mm. Estes valores non son descoñecidos, porque tamén se rexistrou en 1359 un valor de 390 mm e valores moi baixos no século XVI.

A análise interanual de Santiago de Compostela e A Coruña (figuras 5 e 6) sinala así, alternativa-mente, o século XX como o máis seco e húmido do milenio. Moi seco na Coruña entre 1890 e 1920 e moi húmido desde 1920. Tamén é moi húmido en Santiago de Compostela a partir de 1950. Non existe correlación moi significativa nin en baixa nin en alta frecuencia entre ambas as dúas estacións, salvo no último século, no que as dúas, en alta e baixa frecuencia, correlacionan con valores de 0,50 e 0,31 en 101 anos, pero non están en fase en moitos períodos (figura 7). Cara a 1950 invértese en ambas as dúas estacións a tendencia decrecente de precipitación que parece observarse desde 1650. Nos dous casos os máximos actuais son os máis altos do milenio.

A Coruña ten un valor medio do milenio (antes de 1900) de 825 mm e posteriormente (desde 1920) sobe ata 985 mm. A análise do fondo do milenio (figura 7) dinos que o fondo natural oscila entre 1.146 mm en 1546 durante un breve período e os 534 mm alcanzados en 1527. Esta oscilación, en plena PIG, é moito menos ampla que a actual, que superou o fondo do milenio en 1960 con 1.161 mm e que tivo o seu mínimo en 1906 con 507 mm. A oscilación actual tamén ten moita maior amplitude temporal. A Coruña posúe, agora, características máis atlánticas en canto a precipitación que as que debeu manter durante o resto do milenio. Se analiza a duración do período húmido do século XVI vese que durou uns 20 anos, mentres que o actual leva xa implantado máis de 80 anos. Posiblemente a fisionomía e estrutura da paisaxe se modificase progresivamente no último século sen detectarse.

En Santiago de Compostela a media do milenio é de 1.548 mm (antes de 1900) e no último século a media foi de 1.628 mm, cun aumento de 120 mm. Desde 1951 elévase a 1.795 mm con numerosos anos superando os 2.000 mm. Non obstante, como sucede nas temperaturas, Santiago de Compostela non parece ter roto o fondo do milenio e a fase húmida actual, interanualmente máis duradeira que as anteriores, ten unha menor amplitude. A oscilación máis ampla durou desde 1580 a 1614 (34 anos), variando en máis de 1.100 mm; é dicir, de 979 mm a 2.192 mm, o que en termos climáticos é moi exaxerado. A segunda oscilación importante produciuse entre 1384 e 1401 (17 anos), e oscilou entre 1.040 e 1.973 mm. Na actualidade a oscilación comezou en 1953 e alcanzou o seu máximo en 1977 (24 anos), cunha oscilación tamén superior aos 1.000 mm (de 1.133 mm a 2.154 mm) e unha tendencia indefinida desde ese momento con descenso e aumento nestes últimos anos.

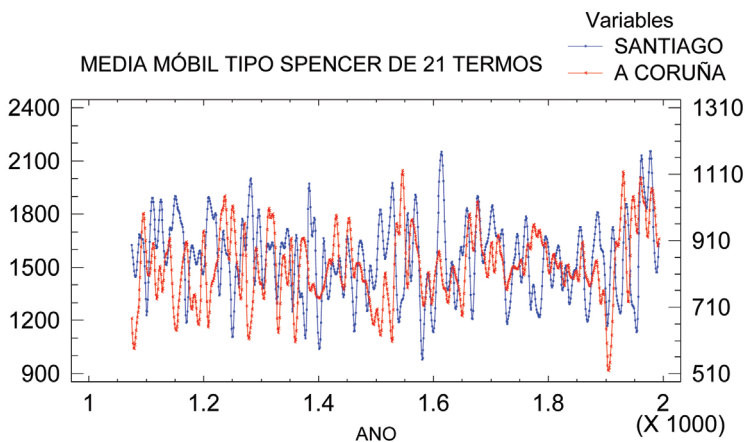


Figura 7. Reconstrución en media móbil tipo Spencer de 21 termos das precipitacións de Santiago de Compostela e da Coruña.

Abundando de novo na información interanual da precipitación total durante o milenio na Coruña (figura, 5), obsérvase que a precipitación segue un curso que oscila entre os 359 mm de mínimo, alcanzados en 1949, ata un máximo de 1.060 mm en 1971, para descender a 990 mm na actualidade (1985-1999), oscilando nuns 150 mm en media desde 1935 e dentro de certa estabilidade. No entanto, entre 1890 e 1910, con rexistros reais, a precipitación media foi de 611 mm e impúxose un subtipo fitoclimático  $IV(VI)_2$  de carácter máis claramente mediterráneo, pero entre 1936 e 1967 xa se mantivo nun subtipo nemoral  $VI(V)$ , con 996 mm, e entre 1964 e 1994 sufriu un novo cambio cara ao subtipo  $VI(IV)_3$ , con 1.022 mm. No último século o cambio climático con expresión fisionómica é moi forte e variable.

O rexistro paleoclimático sinala que entre 1460 e 1520 se rexistraron episodios puntuais de moi baixa precipitación, 500 mm, que se recuperaban de inmediato ata os 1.100 mm. Este episodio durante a PIG marca unha fase de alta variabilidade que dura ata 1590; a partir de aí e ata 1890, A Coruña permanece en valores medios moi razoables (en torno a 900 mm) e é desde 1890-1900 cando empeza un período moi diferente, marcado por un episodio árido inédito e unha subida de precipitación tamén inédita no milenio, alcanzando unha estabilidade pluviométrica cos valores máis altos do rexistro instrumental desde o seu comezo. Tamén na Coruña a variación intraestación en porcentaxe da precipitación é moi importante, pois rexistrouse en media móbil un 42% de cambio entre 1890 e a actualidade. De novo, estas variacións deberían ser obxecto dun estudo moito máis ambicioso encadrándoas dentro das condicións xerais do Atlántico Norte.

Na Coruña, se se atribúen os últimos episodios pluviométricos a un proceso de indución humana, poderíase sinalar que o episodio máis seco do milenio coincide co comezo do cambio climático no noroeste a principios de século. Se neste instante de amplas demandas de recursos hídricos se reproducise un episodio similar, os resultados poderían ser preocupantes ante a crecente demanda de auga dun núcleo en amplo desenvolvemento. Como coas temperaturas, moitos dos valores extremos e períodos anómalos das series reconstruídas rexistráronse historicamente no pasado como fames negras e desastres, que responderían a unha sociedade moito máis vulnerable e dependente dos recursos locais inmediatos. Todo apunta a que, desde o final do século pasado, estamos entrando nun comportamento climático descoñecido en tendencia e variabilidade, do que non sabemos en que momento se alcanzará o noso límite actual de vulnerabilidade socioeconómica.

## 2. Análise compendial dos datos: implicacións fisionómicas e paisaxísticas

Pódese facer unha análise fisionómica da Coruña ao estudar a súa evolución en media móbil (baixa frecuencia) e, como exemplo, poñeremos na figura 8 o compendio desde o comezo dos datos instrumentais ata a fase de maior alteración climática, que empeza a partir de 1980. Toda a zona costeira galega está sometida a certo grao de mediterraneidade. Esta mediterraneidade é notoriamente alta con respecto a zonas máis interiores e fai que a combinación da subida de temperatura e as flutuacións na precipitación non consiga introducir a zona costeira permanentemente nun subtipo nemoral. Xa desde 1968, A Coruña, está a perder o carácter fisionómico compendial  $VI(V)$  para entrar cada vez máis fortemente no subtipo  $VI(IV)_3$ . Non sempre se estableceu esta dicotomía, senón que A Coruña cambia temporalmente entre subtipos mediterráneos de carácter oriental, aínda que con predominio estacional atlántico; así, por exemplo, entre 1914 e 1983 o clima desta estación tiña fortes analoxías co catalán  $VI(IV)_4$  co que chegou a ser xenuíno entre 1930 e 1944, e tamén a principios de século se estableceu temporalmente o subtipo  $IV(VI)_2$  aínda máis seco e fortemente mediterráneo. Así, no breve lapso dun século, A Coruña cambiou de xenuinidade fisionómica entre os subtipos  $IV(VI)_2$ ,  $VI(IV)_4$ ,  $VI(V)$  e, agora, pertence ao  $VI(IV)_3$ , o que abre grande cantidade de expectativas sobre o significado do cambio climático.



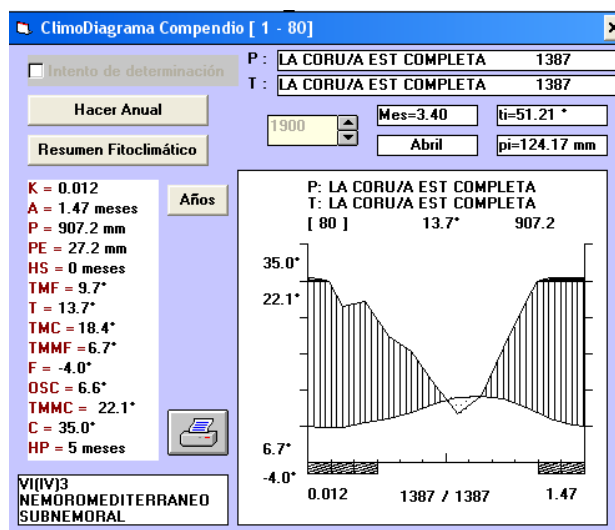


Figura 8. Compendio da Coruña entre 1900 e 1979.

As pautas estacionais de cambio climático pódense observar tamén en Galicia; así, entre 1900 e 1979 a precipitación na Coruña é de 907,2 de media, pero a estacionalidade varía notablemente. As precipitacións primaverais van diminuindo e as de outono mantéñense ou aumentan (figura 9), como parece corresponder ao gradiente térmico diferencial que afecta ao queentamento do Mediterráneo sobre o Atlántico. A aridez estival, que estaba en 1,47 meses cun incipiente VI(IV)<sub>3</sub> de carácter nemoro-lauroide con tendencia mediterránea e unha temperatura media de 13.7 °C, pasa a 1,72 meses con 14,6 °C de temperatura media entre 1980 e 1999, aínda dentro dun VI(IV)<sub>3</sub> ben establecido e onde, como se dixo antes, a temperatura aumentou 0,9 °C. A chuva primaveral ten un mínimo en febreiro, o que indica cambios na estacionalidade malia o aumento global de precipitación.

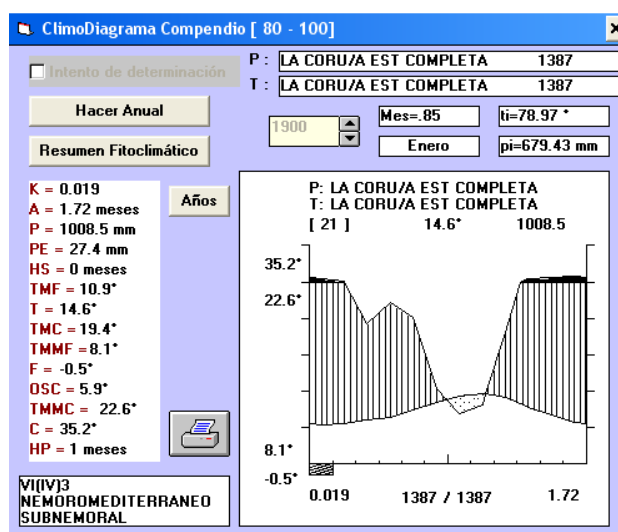


Figura 9. Compendio da Coruña entre 1980 e 1999.

O clima está a tender a ser cada vez máis mediterráneo e transformándose na costa nun VI(IV)<sub>3</sub> con tendencia ao IV<sub>2</sub> onubense. A temperatura media aumentou máis nas medias das mínimas, que o fan en 1,2 °C, que nas medias das máximas, que soben 1 °C. O máis significativo é a subida das temperaturas medias das mínimas do mes de media máis fría, que alcanza 1,4 °C. Nestas condicións pasouse dun índice de termicidade de 300 ao principio de século a 330 na actualidade (Rivas Martínez, 2004). É dicir, a costa está a avanzar cara a un termocolino inferior, con valores non alcanzados nunca tan rapidamente.

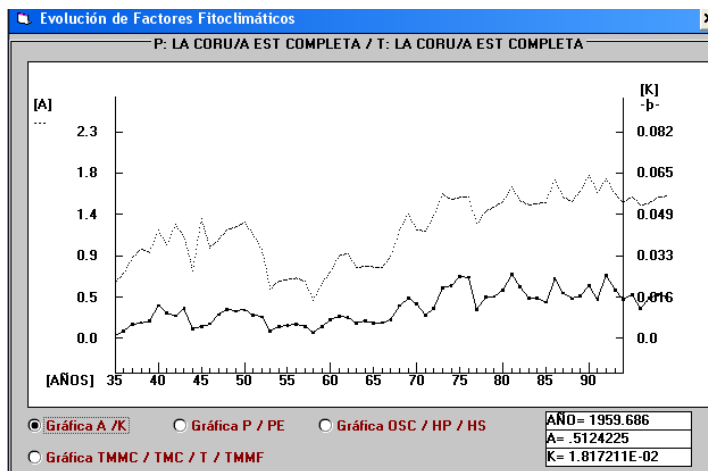


Figura 10. Evolución da intensidade da aridez (K) e da duración da aridez (A), ou Aridez de Gaussen, en media móbil simple de 15 anos desde 1935 ata a actualidade.

A aridez é a maior ameaza fisionómica provocada por un cambio climático na España noroccidental. Como se ve na figura 10, a duración e intensidade da aridez están nun proceso crecente e sostido desde 1935, só parcialmente amortecida polo incremento de precipitación nesta estación. O importante incremento da aridez de principios de século non se reflectiu neste gráfico.

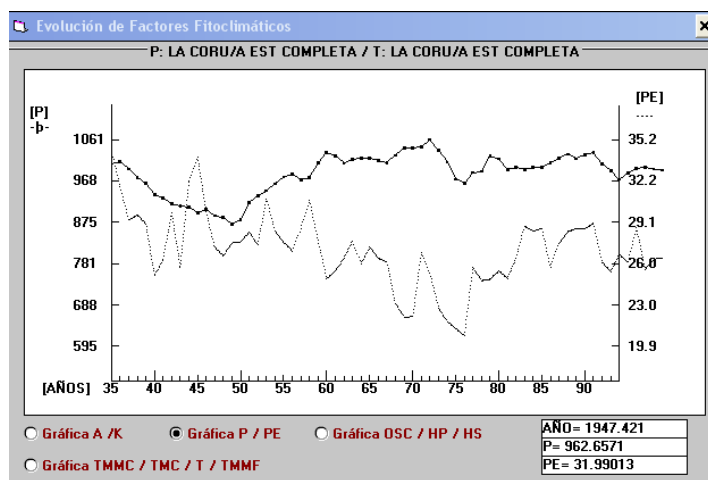


Figura 11. Variación da precipitación en media móbil de 15 anos na Coruña.



Segundo a figura 11, a precipitación en media móbil de 15 anos desde 1935 segue un curso que oscila entre os 875 mm de mínimo alcanzados en 1949 a un máximo de 1.060 mm en 1971 para descender a 990 mm na actualidade (1985-1999), oscilando nuns 150 mm e dentro de certa estabilidade. Como xa se dixo, entre 1890 e 1910 con datos reais a precipitación media foi de 611 mm e o subtipo que se implantou foi a variante atlántica do  $IV(VI)_2$  de carácter claramente mediterráneo. Un salto tamén brusco produciuse entre 1936 e 1967, cando A Coruña se mantivo nun subtipo nemoral  $VI(V)$  con 996 mm e a posterior subida da temperatura, entre 1964 -1997, fixo que o subtipo cambiase a  $VI(IV)_3$  con 1.022 mm. Cremos que numericamente o rexistro paleoclimático tamén sinala que entre 1460 e 1520 se rexistraron episodios de aparición de subtipos mediterráneos, pero o descenso de temperaturas da PIG puido non facelos moi estables e recuperarse de inmediato a estación ata o  $VI(IV)_3$ . Aquele episodio natural marcou unha fase de alta variabilidade fitoclimática que durou ata 1590. A partir de aí e ata 1890, A Coruña permanece en valores medios en torno a 900 mm e é nesta fase cando se debeu implantar o subtipo nemoral  $VI(V)$ . Dende 1890-1900 implántase o mencionado episodio árido, inédito no milenio.

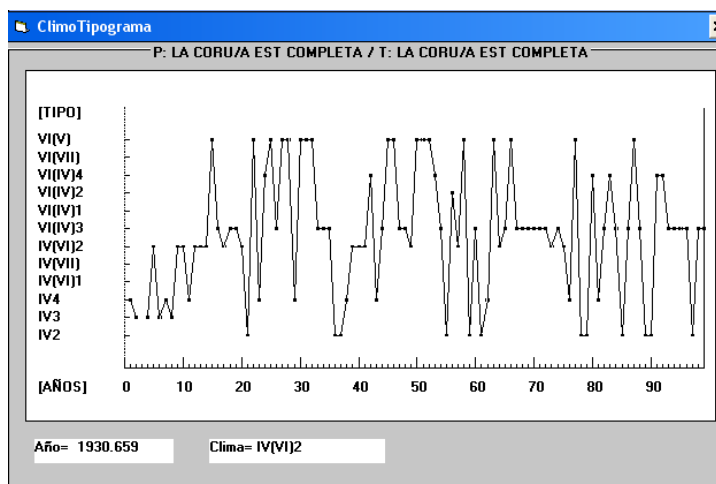


Figura 12. Evolución interanual dos subtipos fitoclimáticos na Coruña desde principios de século.

De forma similar, a transición climática interanual (figura 12) con datos reais da Coruña é sumamente interesante. Mostra a presenza a principios de século dunha fase de clara presenza mediterránea, con aridez estival superior a tres meses e cursos continuados do tipo  $IV_3$ ,  $IV_4$  e  $IV(VI)_2$  durante 14 anos; tan longo período forzosamente tivo que ter repercusións sobre a flora. A partir de 1914 aparece un progresivo aumento dos cursos de carácter nemoral do tipo  $VI(V)$  e  $VI(IV)_3$  e desde 1921 comeza a xurdir un subtipo térmico mediterráneo  $IV_2$  que vai aumentando a súa frecuencia, de forma que a finais de século a alternancia é fundamentalmente entre  $VI(IV)_3$ ,  $IV_2$  e  $VI(IV)_4$  e case desaparece o subtipo nemoral  $VI(V)$ . Así, a evolución interanual na Coruña sufriu amplas modificacións no tempo e en máis dun 30% dos anos a aridez alcanzou descontinuamente valores superiores aos tres meses, o que lle confire a esta estación unhas características que só se compensan cara a un clima atlántico de carácter nemoral grazas á precipitación estival, que é relativamente importante.

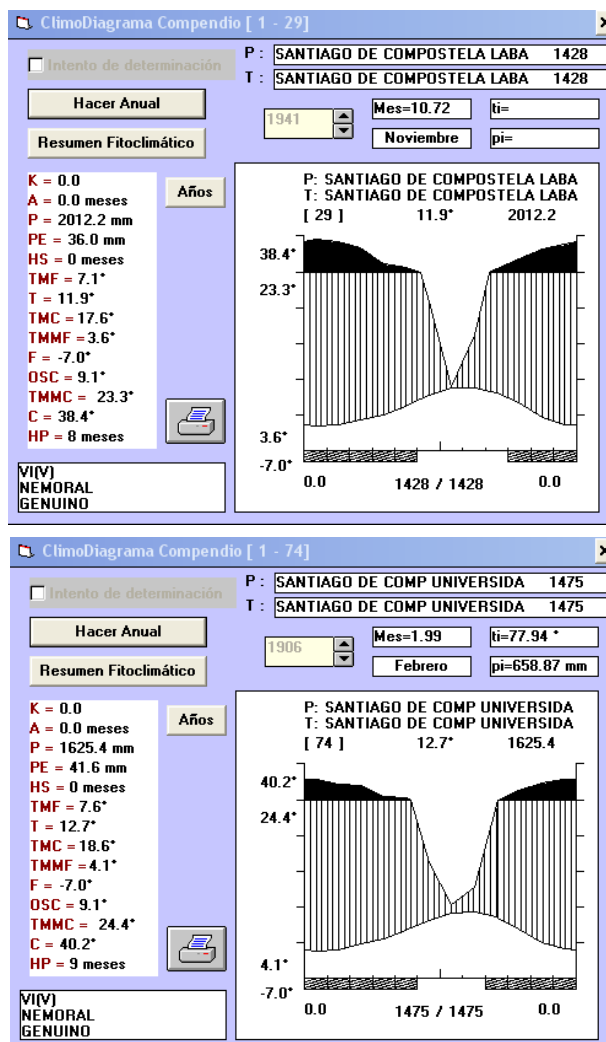


Figura 13. Comparación dos compendios entre Santiago de Compostela-A Lavacolla e Santiago de Compostela-Instituto, entre 1951-1979 no primeiro caso e 1900-1979 no segundo. Esta falta de sincronidade debe considerarse no estudo posterior.

En Santiago de Compostela tomaron fisionomicamente dúas estacións próximas (figura 13), a da Lavacolla e a da Universidade-Observatorio. Os datos da Lavacolla son incompletos, pero merecen analizarse. Comparando o período 1900-1979 de Santiago-Universidade co período 1951-1979 de Santiago-A Lavacolla, vense diferenzas na precipitación e temperatura que non se poden interpretar ao seren intervalos distintos, aínda que indican que na Lavacolla a precipitación é superior á de Santiago-Universidade en máis dun 20%, mentres que a temperatura media é inferior en case un grao centígrado. A mediterraneidade está apuntada pola caída da precipitación estival, que non alcanza a xerar aridez de Gaussen. Malia a súa maior precipitación global, A Lavacolla parece ter unha menor precipitación estival, o que lle confire un maior risco de modificación fisionómica que a Santiago de Compostela.



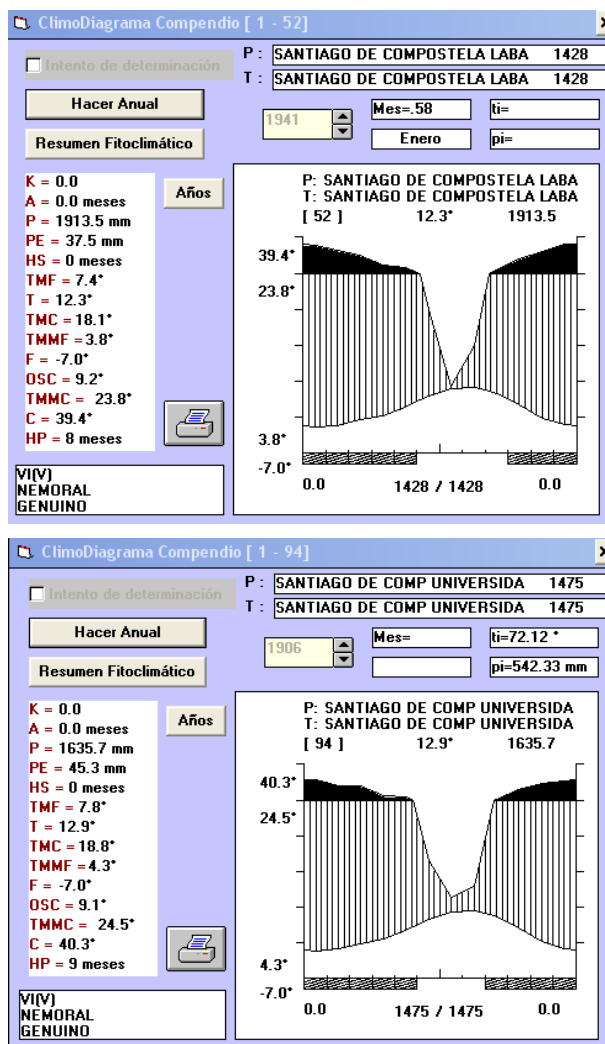


Figura 14. Comparación dos compendios entre Santiago de Compostela-A Lavacolla e Santiago de Compostela-Instituto entre 1980-1999.

Cando se comparan intervalos homoxéneos entre 1980 e 1999 (figura 14), vense algunhas diferenzas, xa que A Lavacolla é máis húmido e frío que Santiago de Compostela (aproximadamente medio grao neste intervalo). Aquí diminúe máis a precipitación estival, pero segue manténdose unha aridez de Gaussén nula e dentro, polo tanto, de compendios nemorais do subtipo VI(V). Obsérvase unha lixeira diminución da precipitación primaveral no intervalo 1980-1999 con relación ao período 1900-1979. A diferenza de altitude entre ambas as dúas estacións é duns 100 metros (260-240 Santiago-Universidade e Observatorio e 367 en Santiago-A Lavacolla), estando o Aeroporto máis no interior de Galicia, onde gaña rapidamente precipitación ao aumentar a altitude. No novo intervalo temporal non se nota tanto a diferenza de temperatura como co interior e sobre todo coa costa. A diferenza é de 0,2 °C en Santiago-Observatorio (case a debida ao erro instrumental e de cálculo  $\pm 0,1$  °C) e de 0,4 °C na Lavacolla. Esta escasa diferenza indica o pouco efecto de illa térmica da cidade de Santiago de Compostela e posiblemente a alta variabilidade térmica da topografía

galega. Sería necesario un estudo de maiores dimensións para observar o incremento térmico dos últimos vinte e sete anos nunha zona territorial tan ampla.

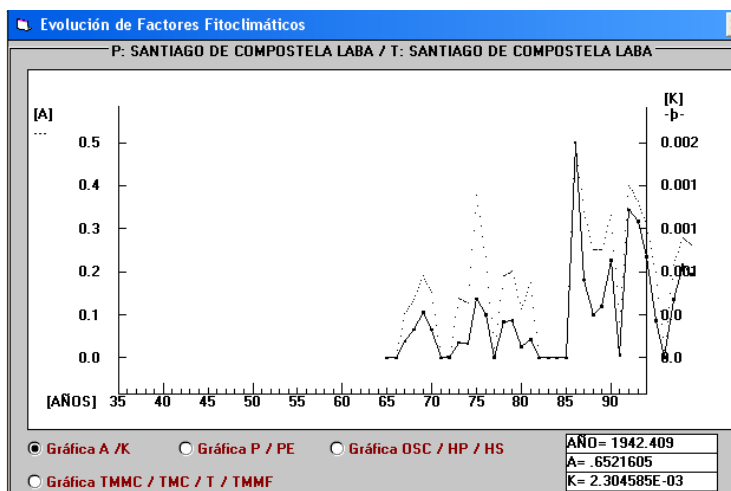


Figura 15. Evolución do índice crecente de duración e intensidade de aridez en media móbil en Santiago-A Lavacolla.

Na figura 15 obsérvase que, dentro da nemoralidade, a zona interior de Galicia que poida estar representada por Santiago-A Lavacolla vai gañando aridez de Gaussen e intensidade desta en media móbil de quince anos, como sucede na Coruña, e progresivamente abandona a aridez nula compendial. Así, a aridez vai aproximándose aos 0,3 meses e é o maior indicativo de cambio climático nas zonas interiores.

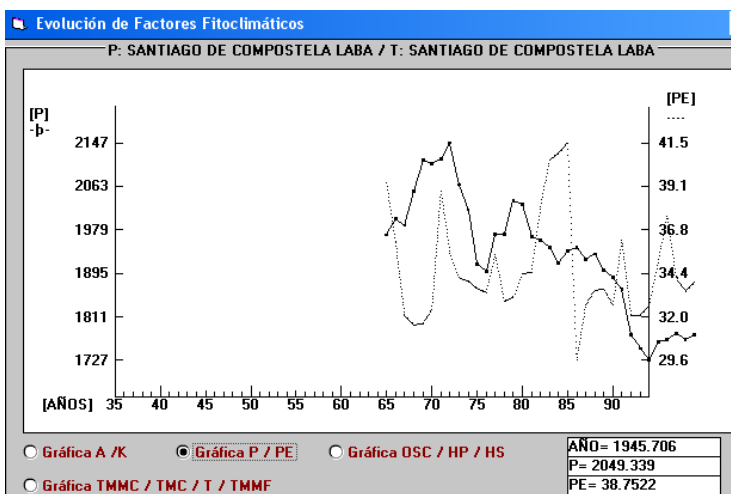


Figura 16. Evolución da precipitación total e estival en Santiago-A Lavacolla desde que se teñen datos instrumentais.





A diminución da precipitación desde 1971 (figura 16) é na Lavacolla moi significativa debido a que non hai rexistros anteriores de amplitude suficiente e pasa duns 2.140 mm en 1971 a uns 1.800 mm na actualidade. A precipitación estival en media móbil tende a diminuír nun intervalo de valores non moi amplo.

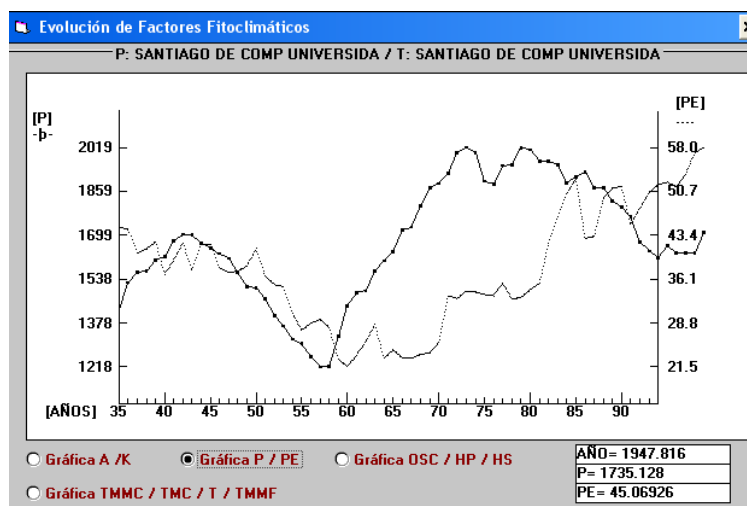


Figura 17. Evolución da precipitación total e estival de Santiago-Universidade.

Un estudo menos alarmante desta caída de precipitación obtense en Santiago-Universidade (figura 17), que é onde podemos ver, grazas a un rexistro temporalmente máis amplo, a magnitude da perturbación pluviométrica desta zona galega, que alcanza o seu mínimo en 1957-1958 con 1.218 mm e sobe en 1971 a 2.019 mm. Aquí si que a magnitude é importante, pois a variación da oscilación pluviométrica é da orde dun 37%. A caída da Lavacolla encádrase, pois, dentro da tendencia xeral á diminución de precipitación na zona a partir de 1971. A variabilidade intraestación é máis ampla que a interestación, o que indica que o clima galego está rexido por un réxime pluviométrico altamente variable, pero suficientemente elevado como para manter unha vexetación claramente planocaducifolia.

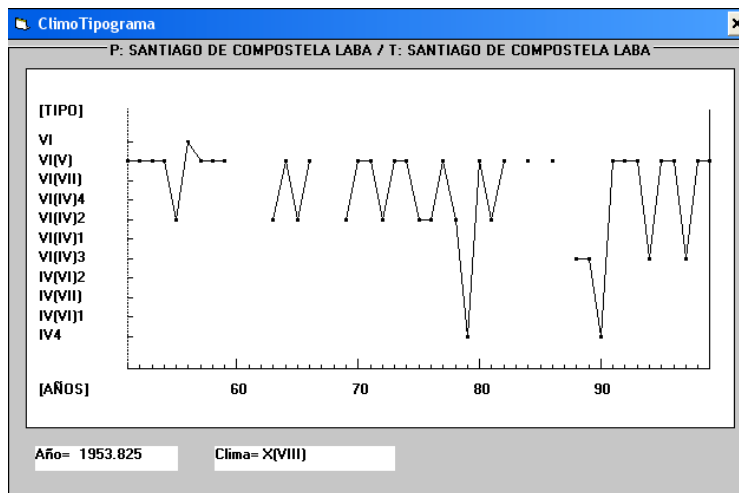


Figura 18. Evolución interanual de Santiago-A Lavacolla desde 1951 a 1999.

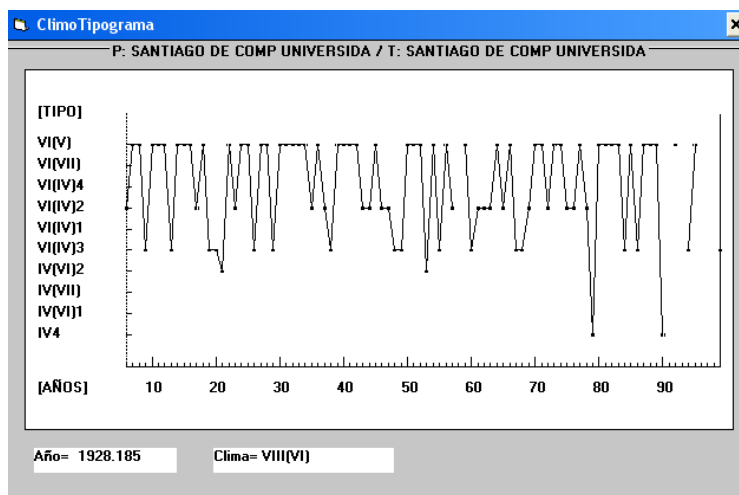


Figura 19. Evolución interanual de Santiago-Universidade-Observatorio desde 1905 a 1999.

Segundo se ve nas figuras 18 e 19, desde o comezo do século, Santiago-A Lavacolla e Santiago-Universidade-Observatorio parece que manteñen como subtipo anual preferente o VI(V), aparecendo un incremento da frecuencia do subtipo VI(IV)<sub>2</sub> e localizándose, por primeira vez neste século, subtipos mediterráneos IV<sub>4</sub> en 1979 e 1990, que quizais se repetiron nos anos 2003 e 2006, pero dos que non dispoñemos de información.

Estes subtipos indican, como no resto do país, a incursión de anos con veráns moi áridos, dentro do fondo dunha pluviometría media elevada. Outros anos onde o rexistro paleoclimático pode atopar cursos interanuais do tipo IV<sub>4</sub> son 1386, 1408, 1427, 1451, 1524, 1581, 1628, 1630, 1663, 1705 e 1725. É dicir, 1 no século XIV, 3 no século XV, 2 no XVI, 3 no XVII, 2 no XVIII, 0 no XIX e 2



no XX, o que indica unha frecuencia estable de cursos anómalos que non deben interpretarse aínda como un efecto do cambio climático. Sen o fondo dun milenio, o risco de interpretar os cursos anómalos mediterráneos como impactos do cambio de clima sería moi alto. Aquí é probable que o impacto comece a manifestarse como un aumento progresivo dos cursos VI(IV)<sub>3</sub> e unha diminución do VI(V), con valores IV<sub>4</sub> intercalados que aumentarán en frecuencia, de forma similar ao que sucede na Coruña co IV<sub>2</sub>. As características fortemente atlánticas do interior galego pode que converxan cara a un subtipo fitoclimático novo de carácter lauroides con alta precipitación primaveral e outonal, unha aridez non superior a dous meses no verán e temperaturas máis elevadas; é dicir, un VI(IV)<sub>3</sub> moi térmico, descoñecido ata agora.

## CONCLUSIÓNS

O cambio climático en Galicia e na España eurosiberiana pode ter un significado diferente ao da área mediterránea debido ao efecto da alta precipitación na área. Na actualidade, a tendencia é cara a un claro aumento da temperatura do milenio, tanto na zona costeira galega como no interior, representadas ambas as dúas zonas pola Coruña e Santiago de Compostela. As tendencias en alta frecuencia sinalan que as temperaturas superaron o fondo do milenio e o comportamento á alza está en fase e en baixa frecuencia. A Coruña tamén rompeu a banda media do milenio mentres que Santiago de Compostela aínda non o fixera en 1999, malia que a tendencia é que o faría nos próximos anos. Tamén están en fase ambos os dous sinais.

As precipitacións pasan por variacións intraestacionais que superan as interestacionais, o que indica un réxime pluviométrico de grande variabilidade local que se extrema na Coruña e na costa con variacións seculares moi fortes. Non aparecen indicios dunha diminución global das precipitacións, senón todo o contrario. Non obstante, os estudos dendroclimáticos sinalan que o século XX tivo en Galicia as características dun século moi alterado, con episodios tanto húmidos e fríos como cálidos e secos inéditos no milenio e posiblemente ligados ao cambio climático.

O maior cambio fisionómico detectado e esperable provirá do aumento da temperatura e da súa posible incidencia nunha aridez estival crecente en todo o territorio. A estación galega costeira analizada mostra trazas de aparición de cursos mediterráneos con frecuencia crecente, aínda que o interior aparenta ser máis estable. Existen indicios de cambios de estacionalidade tanto en precipitación como en temperatura. O cambio climático en Galicia no terreo fitoclimático parece provir dunha crecente mediterraneidade compendial e dunha inestabilidade costeira nos subtipos xenuíños que poden cambiar en tempos curtos, acentuando un piso bioclimático termocolino cada vez máis intenso, xunto a un debilitamento da nemoralidade xeral marcada polos subtipos nemorolauroides xenuíños VI(V) e, paralelamente, un reforzamento dos nemorolauroides de carácter mediterráneo VI(IV)<sub>3</sub> afectados por unha temperatura e aridez descoñecidas ata agora.

## AGRADECEMENTOS

Esta investigación encádrase nos traballos realizados dentro do CIFOR-INIA durante os últimos 19 anos en colaboración co CSIC e a UPM e que foron financiados por diversos convenios e proxectos de carácter dendroclimático, financiados pola Xunta de Galicia, Plan Nacional de I+D, Plans Sectoriais, ICONA e CEC (Convenio Xunta de Galicia, FO89-0866, ICONA-LUCDEME, SC93-144, CEC contract F12-0075 e FO96-013, entre outros). Querémoslle agradecer moi sinaladamente ao equipo de dendrocronólogos formado por José Creus Novau, Almudena Pérez Antelo, Mar Génova Fuster e Martín Beorlegui Zozaya o seu traballo, compañeirismo, colaboración e achegas durante todo

este tempo, e a José Luis Allué Andrade polas súas constantes ensinanzas en fitoclimatoloxía. Sen todos eles este traballo en Galicia, especialmente próxima para case todos nós, non sería posible.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allué Andrade J. L. (1990). *Atlas fitoclimático de España. Taxonomías*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (MAPA).
- Allué Andrade J. L. (1995). El cambio climático y los montes españoles. *Cuad. Soc. Esp. Ci. For.*, **2**, 35-64.
- Candela V. (2000). *Reconstrucción dendroclimática de las zonas central y meridional de España. Análisis espacio-temporal*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Cook E. R. and Kariukstis L. A. (1990). *Methods in Dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Creus Novau J., Beorlegui Zozaya M., Fernández Cancio A. y Génova Fuster M. (1994). Reconstrucción de la temperatura de abril en el sur de Galicia desde mediados del s. XVII. Aplicación de la metodología dendroclimática, *Actas del VI Coloquio de Geografía Cuantitativa. Universidad de Sevilla*.
- Creus Novau J., Beorlegui Zozaya Z. M. y Fernández Cancio A. (1995). *Cambio climático en Galicia: Reconstrucción climática de las últimas centurias*, Xunta de Galicia.
- Creus Novau J., Fernández Cancio A. y Manrique Menéndez E. (1997). Dendrocronología y clima del último milenio en España. Aspectos metodológicos y avance de resultados. En: *El paisaje mediterráneo a través del espacio y del tiempo. Implicaciones en la desertificación*, pp. 311-330.
- Fernández-González F., Loidi J., Moreno Sainz J. C., del Arco M., Fernández Cancio A., Font X., Galán C., García Mozo H., Gavilán R., Penas A., Pérez Badia R., del Río S., Rivas-Martínez S., Sardinero S. y Villar L. (2005). Impactos sobre la biodiversidade vegetal/Impacts on plant biodiversity. En: *Informe preliminar sobre los impactos del cambio climático en España/Preliminary evaluation of the impacts of Climatic Change in Spain*, J.M. Moreno (coord.), Ministerio de Medio Ambiente-Universidad de Castilla La Mancha.
- Fernández Cancio A. y Manrique Menéndez, E. (1997). *Nueva metodología para la reconstrucción dendroclimática y aplicaciones más importantes, y fitoclima del último milenio*, Ed. Madrid, 130 pp.
- Fernández Cancio, A. y Manrique Menéndez, E. (1998). Nuevas aportaciones metodológicas a la investigación sobre la evolución del clima y del fitoclima en el último milenio. *Cuad. Soc. Esp. Ci. For.*, **7**, 19-43.
- Fernández Cancio A., Manrique E., Navarro R., Gil Hernández P. y Fernández R. (2004a). *La seca, enfoque climático, el decaimiento de encinas y alcornoques y otros Quercus en España*. Tuset y Sánchez (coord), Ministerio del Medio Ambiente, pp. 153-169.
- Fernández Cancio A., Manrique E., Navarro R., Gil Hernández P. y Fernández R. (2004b). *Fitoclimatología de las especies mediterráneas de Quercus ante un escenario de Cambio Climático, El decaimiento de encinas y alcornoques y otros Quercus en España*. Tuset y Sánchez (coord), Ministerio do Medio Ambiente, pp. 53-82.



- Fernández Cancio A., Navarro Cerrillo R. M., Fernández Fernández R., Gil Hernández, P. (2006). El Cambio Climático y la Vegetación en España, *Foresta* **32**, 12-15.
- Font Tullot I. (1988). *Historia del Clima en España*, Ed Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.
- Fontana J. M. (1977). *Historia del clima del Finis-Terrae Gallego*. Original mecanografiado, 127 pp.
- Fritts H. C. (1976). *Tree Ring and Climate*. London, Academic Press.
- Génova Fuster M. and Fernández Cancio A. (2000). Relationships between Tree Rings and Climate of *Pinus nigra* subsp. *salzmanii* in Central Spain. *Dendrochronologia* **16-17**, 58-75.
- INM-FIC (2007). Escenarios oficiales de cambio climático. <http://scenarios.inm.es>
- IPCC Technical Support Unit Working Group (2005). *Meeting report 12-14 January 2005*, Edited by Monique Hoogwijk Washington DC.
- Manrique Menéndez E., Fernández Cancio A. (2000). Extreme Climatic Events in Dendroclimatic Reconstruction of Spain. *Climatic Change*, **44** (1-2), 123-138.
- Navarro Cerrillo R. M., Lara Fernández A., Blanco Oyonarte, P., Calzado Martínez, C., López Quintanilla J., Fernández Cancio A., Guzmán Álvarez J. R. y Sánchez Salguero R. (2006). Aproximación a la definición del hábitat fisiográfico del *Abies pinsapo* Boiss en Andalucía, *Invest. Agrar. Sist. Recur. for. Fuera de Serie*, pp. 137-152.
- Pérez Antelo y Fernández Cancio, A. (1998). Reconstrucciones dendroclimatológicas de Galicia (España) desde finales del siglo XVIII, *Revista de Investigación Agraria, Serie Sistemas y Recursos Forestales*, **6**(1), 17-37.
- Ribalaygua J., Borén R., Benito L. and Balairón L. (1998). An statistical downscaling method: description, validation and application to HADCM2SUL output. 7 pp. *European conference on applied climatology*. Vienna, Austria, 19-23 October.
- Rivas-Martínez S. (2004). *Manual del mapa de las Series, Geoserries, y Geomicroseries de Vegetación en España. Mapa de Vegetación Potencial de España 1: 250000*, Rivas Martínez y cols.; 450 pp.
- Sarmiento Martín J. M. y Manrique Menéndez E. (1997) Aplicación del entorno Windows a los cálculos del sistema fitoclimático de J. L. Allué. *Actas del I Congreso Forestal Hispano-Luso*, **2**, 121-126.
- Statistical Graphics Corp. (1994-2000) Programa de ordenador *Statgraphics Plus 5.0 Professional Edition*.
- Walter H. (1973). *Vegetation of the Earth*. Springer, London.

