

IMPACTO DUN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE O PERIGO DE INCENDIOS EN GALICIA

J. A. Vega¹, C. Fernández¹, E. Jiménez¹ e A. D. Ruiz²

¹ Centro de Investigación e Información Ambiental (CINAM)-Lourizán
 Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible. Xunta de Galicia
 Apartado de correos 127. 36080 Pontevedra, Spain.
 Tel. 34 986 805 003
 Fax. 34 986 856 420
 Correo_e: jvega.cifal@siam-cma.org

² Departamento de Enxeñaría Agroforestal, Escola Politécnica Superior
 Universidade de Santiago de Compostela, 27002 Lugo, Spain.

RESUMO

Neste traballo analizáronse as posibles consecuencias do cambio climático sobre o perigo de incendios forestais a través da análise das tendencias de diferentes índices de perigo de incendios forestais calculados utilizando unha simulación climática para o período 2000-2060. Esta análise mostrou un pronunciado empeoramento da situación de perigo de incendios no verán, mentres que non se observaron tendencias significativas no mes de marzo. Posto que algúns dos índices estudados están ligados á severidade do lume, os resultados da simulación parecen indicar tamén un aumento do impacto ecolóxico dos incendios.

É destacable o incremento do número de días de risco alto no verán, así como no número de incendios e superficie afectada para o período 2000-2060.

Os exemplos de comportamento de lume realizados permiten cuantificar ese empeoramento da situación detectada en termos de dificultade de extinción e parecen alertar da necesidade de reforzar no futuro o dispositivo de protección contra incendios e as medidas de recuperación de ecosistemas afectados.

SUMMARY

An analysis of the trend of a selected set of forest fire danger indices was used to explore the impact of climate change in Galicia. Forest fire danger indices were calculated using a climatic scenario for the period 2000-2060. The study revealed a marked worsening of conditions for the starting and spreading of fires during future summer seasons. This worsening was not observed in March. Due to the existing links between some of the indices and fire severity, the results obtained with this climate change scenario also seemed to indicate an increasing risk of higher ecological impact of fires for the study period.

A remarkable result from the simulated data from the forest fire fighting perspective is the increase in the number of days with high fire risk in summer, along with the number of fires and burnt area predicted for the period 2000-2060.

The examples of fire behaviour explored in this study allow us to quantify this worsening of the fire situation in terms of higher difficulties for fire suppression in the future. It is concluded that it would be necessary to increase the fire protection system and burnt ecosystem recovery efforts for the coming decades.

INTRODUCCIÓN

As conexións entre o cambio climático e o réxime de lume están a recibir unha atención crecente nos últimos anos. A maior parte da información provén dos bosques boreais, un ecosistema que se supón estreitamente ligado a lumes periódicos (ex., Flannigan, 1991; Flannigan, 1998; Stocks, 1998; Flannigan, 2000, 2005 a e b; Wotton, 2003; Brown, 2004) e tamén dos Estados Unidos (ex., Bergeron, 1995; Ryan, 2000; Westerling, 2003, 2006; Schoennagel, 2004; Fried 2004, 2008; Taylor, 2008) e Australia (ex. Beer, 1995; Williams, 2001; Hennessy, 2005). Relacións entre variables meteorolóxicas e frecuencia de incendios e áreas queimadas foron atopadas en diferentes ecosistemas (ex. Flannigan, 1988; Viegas, 1992, 1994; Vázquez, 1993, 1995, 2002; Millán 1998; Pausas, 2004; Keeley, 2004). Non obstante, paradoxalmente, a capacidade dos índices de perigo de incendios como preditores de parámetros do réxime de lume foi menos explorada (Piñol, 1998; Viegas, 1999; Tymstra, 2007; Carvalho, 2008; Good, 2008; Preisler, 2008; Vega, 2009).

Nos ecosistemas mediterráneos europeos espérase un forte impacto no réxime de lume debido ao cambio climático (Pereira, 2002; Moreno, 2005), non obstante, as proxeccións futuras cuantitativas da influencia do cambio no fenómeno dos incendios son escasas (Mouillot, 2002; Venevsky, 2002; Moriondo, 2006; Good, 2008). Ademais, dada a complexidade destes ecosistemas, moitas das predicións xerais tropezan con serias dificultades ao ser aplicadas a ámbitos territoriais máis reducidos. Este xustamente é o caso de Galicia, onde coexisten dous dominios de vexetación e o seu territorio presenta unha forte complexidade, xerándose así unha grande variedade de situacións.

Aínda que existe información a nivel de Galicia sobre as relacións entre variables meteorolóxicas, frecuencia de incendios e áreas afectadas (García-Díaz, 1993, 1994, 1995, 1996, 1999; Varela, 2006, 2007), a penas foi explorada a conexión entre índices de perigo e réxime de lume (Vega, 2009) e existe un baleiro de coñecemento en relación co impacto do cambio climático sobre os incendios forestais, un problema de recorrente gravidade no ámbito galego.

Este estudo trata de obter información sobre as consecuencias do cambio climático a través dos seguintes obxectivos:

- a) Analizar as posibles tendencias a longo prazo dunha serie de índices de perigo de incendios nun escenario de cambio climático en Galicia.
- b) Estimar a influencia dese escenario de cambio climático no número de incendios, a superficie afectada por estes e outros parámetros expresivos da intensidade e severidade dos posibles incendios en Galicia.

MÉTODOS

Datos meteorolóxicos

Os datos climáticos utilizados foron subministrados por MeteoGalicia e son o resultado dunha simulación climática do modelo HADCM3 de United Kingdom Met Office (UKMO) para o escenario SRES (Special Report on Emissions Scenarios; IPCC, 2000) A1B usada no cuarto informe do IPCC (IPCC, 2007). HADCM3 é un modelo global axustado atmosfera-océano da circulación xeral, frecuentemente utilizado en estudos de cambio climático debido a que é un dos que simula o clima actual cunha maior exactitude (Reichler, 2008). O escenario A1B é un escenario de emisións medio dentro dos desenvolvidos polo IPCC. Para máis detalles da simulación climática, véxase o capítulo "Modelización dun escenario de futuro cambio climático en Galicia" neste mesmo volume.



Datos diarios simulados de temperatura, de humidade relativa, de velocidade do vento (a 10 m de altura) medidas ás 13 horas solar e de precipitación total nas 24 horas anteriores desde 2000 a 2060 foron usados para determinar os correspondentes valores diarios dos índices de perigo en Galicia e con eles obter os valores medios mensuais dos referidos indicadores.

Como período de control, usouse información meteorolóxica diaria das estacións de Vigo, Santiago de Compostela, A Coruña, Ourense e Lugo relativas ao período 1973 a 2006. A extensión das series veu imposta pola estación meteorolóxica cun menor número de datos (Ourense). As variables meteorolóxicas foron as mesmas que as indicadas liñas máis arriba. As cinco estacións meteorolóxicas utilizadas no estudo foron elixidas por dispoñer de datos dos parámetros necesarios para calcular os índices analizados e estar ben distribuídas polo territorio. Cos datos correspondentes ás estacións citadas obtivéronse valores medios, asumíndose que eran representativos do conxunto de Galicia.

Datos de incendios

Os datos diarios de incendios de Galicia, a nivel provincial, foron subministrados pola Área de Defensa Contra Incendios Forestais da Dirección Xeral de Biodiversidade do Ministerio de Medio Ambiente. Esta base recolle o número de incendios e conatos e as superficies respectivas queimadas a nivel provincial, xunto a outra moita información relativa a eses lumes. Neste estudo utilizouse a correspondente ao número de incendios (considerándose como tales os lumes que afectaron a unha superficie maior a 1 ha) e á superficie queimada respectiva. A base informatizada citada comprende datos desde 1968, cubríndose no estudo o período 1968 a 2006 para as catro provincias galegas. Dado que a distribución do número de incendios en Galicia é bimodal, con dous máximos en marzo e en agosto, e que a época estival é habitualmente de perigo de incendios, analizáronse, á parte do termo medio dos valores do verán (xuño, xullo, agosto, setembro), os correspondentes a cada un destes meses e marzo de xeito individual.

Índices de perigo

Os índices de perigo de incendios considerados foron de dous tipos:

Os que son estimadores da humidade do combustible fino morto superficial e non teñen en conta a precipitación como fonte de humidade para eses materiais e, por outro lado, os que consideran a precipitación, xunto a outras variables meteorolóxicas, para a estimación da humidade dese combustible, o humus e o solo superficial, así como de certos indicadores do comportamento dun lume que se desenvolve baixo esas condicións.

Dentro do primeiro grupo determináronse os australianos do tipo CBEF, que estiman a humidade dos combustibles finos mortos superficiais do sotobosque en masas abertas de eucalipto (McArthur, 1962), con dúas variantes: adsorción e desorción, seguindo a Viney (1989) e o de adsorción modificada por Gill (1987). Dentro deste mesmo grupo, calculáronse tamén o índice Grass Fire Danger Meter (GFDM) de McArthur (1966), que predí a humidade da herba seca totalmente exposta ao sol e o Forest Fire Danger Meter (FFDM), tamén de McArthur (1967), un estimador da humidade da follaxe de eucalipto, especialmente nas primeiras horas de tarde durante o verán. Tamén dentro deste mesmo grupo de índices foi utilizado o modelo coñecido como FBO de Rothermel (1983), que estima a humidade da follaxe e restos finos leñosos. Para este último, considerouse unha situación dunha masa arborada (con cobertura maior ao 50%) e exposición S.

Dado que estes índices representan a humidade da follaxe e combustibles finos leñosos mortos, unha diminución do índice implica un aumento do perigo de incendios.

Dentro do segundo grupo de índices, estimáronse os valores diarios das seis compoñentes de índice de perigo do sistema canadense (Van Wagner, 1987), obténdose tamén con elas valores mensuais. Basicamente estes son indicadores numéricos do contido de humidade da follaxe e outros combustibles finos superficiais (FFMC), das capas orgánicas subxacentes de baixa compactación e moderada profundidade (DMC) e das capas máis compactas e profundas (humus inferior, DC). Os restantes índices representan a velocidade de propagación (ISI), a cantidade de combustible dispoñible para a consunción na fronte de lapas, (BUI) e a intensidade lineal da fronte de lume (FWI). A diferenza dos índices do primeiro grupo, todos estes índices aumentan cando o perigo de incendios medra. Trátase de indicadores de tipo *bookkeeping* ou iterativo, onde os valores diarios dos distintos índices están fortemente mediatizados polos valores dos días precedentes.

Para a determinación destes índices excluíronse os días de precipitación diaria acumulada $P > 1,5$ mm. Tamén se excluíu no seu cálculo mensual o día seguinte ao da precipitación cando $6 < P < 10$ mm ou dous días seguintes cando $P > 10$ mm.

Análise estatística

Para a análise das tendencias dos índices de perigo simulados cos datos meteorolóxicos diarios procedentes da simulación climática de MeteoGalicia para o período 2000-2060 empregouse o test non paramétrico de Mann-Kendall (Helsel, 2006). A hipótese nula é a non existencia de tendencia na serie de datos analizada. No caso de atopar tendencias significativas, a estimación da pendente (como cambio anual) realizouse utilizando o estimador non paramétrico de Sen (1968). Comprobouse a independencia dos valores e nos casos en que estivesen autocorrelacionados, utilizouse a modificación de Hamed (1998) para corrixir o nivel de significación.

A regresión PLS (Tenenhaus, 1998, 2005; Bastien, 2005) foi empregada para examinar a influencia dos índices de perigo estudados sobre o número de incendios e a superficie afectada por eles en Galicia no período de control (1973-2006), así como para obter unha ecuación de predición destes dous últimos parámetros. A análise realizouse de xeito separado para os meses de marzo, xuño, xullo, agosto e setembro, así como para a media do verán. Todos os modelos se axustaron á primeira compoñente e consideráronse significativos cando Q^2 acumulado $> 0,097$ (Johansson, 2002). Para os modelos significativos, a influencia relativa de cada variable predictiva no modelo foi expresada polos seus valores VIP. Aquelas variables cuxos valores VIP foron superiores a un consideráronse as máis relevantes para explicar a variación nas respectivas variables resposta. Acháronse tamén os coeficientes de correlación estandarizados para as variables con VIP maior a un. A validez do modelo avalíase a través de tres indicadores: R^2_x , a proporción da variabilidade na matriz das variables predictoras usada no modelo; R^2_y , a proporción da variabilidade na variable resposta explicada polo modelo (corresponde ao coeficiente de correlación múltiple, R^2) e Q^2 a proporción da variabilidade na variable resposta que pode ser predita polo modelo. Neste estudo, tras realizar unha primeira regresión PLS, seleccionáronse as variables cuxos valores VIP foron superiores a un para efectuar unha segunda PLS, e deste xeito obter ecuacións de predición nas que aparecen unicamente os índices de risco máis significativos (Godhe, 2003).

Os valores dos índices de perigo simulados para o período 2000-2060 foron logo introducidos na ecuación de predición achada do número de incendios e superficie afectada para os diferentes meses (marzo, xuño, xullo, agosto e setembro) e para o verán. Con iso obtívose unha serie de valores simulados do número de incendios e da superficie afectada. Estas series foron analizadas coas mesmas técnicas estatísticas que as utilizadas na análise das series dos índices de perigo.



Efectuáronse simulacións de comportamento de lume, utilizando o sistema FBP (Canadian Fire Behavior Prediction System) aplicado ao modelo C-6 (piñeirais de reforestación) considerando como entradas meteorolóxicas os valores simulados medios estivais do período 2000-2060 e tamén as medias estivais dos índices FFMC e BUI para ese mesmo período. Esta simulación foi tamén efectuada para os valores medios estivais durante o período control (1973-2006). En ambos os dous casos, considerouse unha pendente do 15% e unha altitude de 100 m.

Ademais, realizáronse simulacións mediante o programa BehavePlus 4.0 de tres condicións marcadamente diferentes da media de verán, tanto para o período de control (1973-2006) como para o período da simulación climatolóxica (2000-2060). Para iso seleccionouse a situación de perigo media (humidade do combustible fino morto –FBO– media do período, e velocidade do vento media), mínima (máxima humidade do combustible fino morto e mínima velocidade de vento) e máxima (mínima humidade de combustible fino morto e velocidade de vento máxima) para cada período. Realizáronse simulacións de comportamento do lume para os modelos de combustible estándares 4 (matogueira ou plantación nova moi densa, e de máis de 2 m de altura), 7 (matogueira de 0,5 a 2 m, de especies moi inflamables, como sotobosque de coníferas) e 9 (bosque denso, sen matogueira, con follaxe de acículas longas). Os coeficientes de axuste do vento foron de 0,5 para os modelos 4 e 7, e de 0,3 para o modelo 9. A humidade do combustible vivo leñoso foi fixada en 130% para o período de control e en 110% para o período da simulación climatolóxica, considerando unha redución debida ao cambio climático, e confirmado neste estudo, co descenso nos valores dos índices canadenses. Nas simulacións do comportamento do lume considerouse unha pendente do terreo do 15%.

As variables de comportamento do lume valoradas foron: a velocidade de propagación, a intensidade lineal, a lonxitude de lapa e a superficie queimada durante as primeiras cinco horas tras a ignición.

RESULTADOS E DISCUSIÓN

Valores medios dos índices de perigo durante o período de estudo (2000-2060)

A figura 1 mostra os valores medios e os gráficos de caixa asociados aos diferentes índices analizados para o período 2000-2060 para o mes de marzo. Os valores das humidades dos combustibles finos mortos preditos polos índices australianos e o FBO son lixeiramente maiores que os calculados para o período de referencia (figura 2). Apréciase unha pequena diferenza entre as lixeiramente superiores humidades preditas polos modelos GFDM e FFDM, que os do tipo CBEF, como acontecía tamén no período de referencia (1973-2006), sendo o FBO o índice que presenta nos dous períodos mencionados os valores máis baixos. Todos os índices canadenses mostran nos dous períodos valores de perigo considerados baixos, o que parece consecuencia da súa capacidade para reflectir o efecto diferido da precipitación, un factor meteorolóxico presente con frecuencia nesta época do ano. A súa cualificación respecto ao que se viña observando no período de referencia non se viu modificada aínda que, igual que coas predicións de humidade, os valores son lixeiramente máis favorables que no período de referencia. Este resultado contrasta co obtido ao expandir no tempo a tendencia atopada no período control, segundo o cal se obtiña un empeoramento en marzo, o que pon de relevo a incerteza asociada a calquera método de predición.

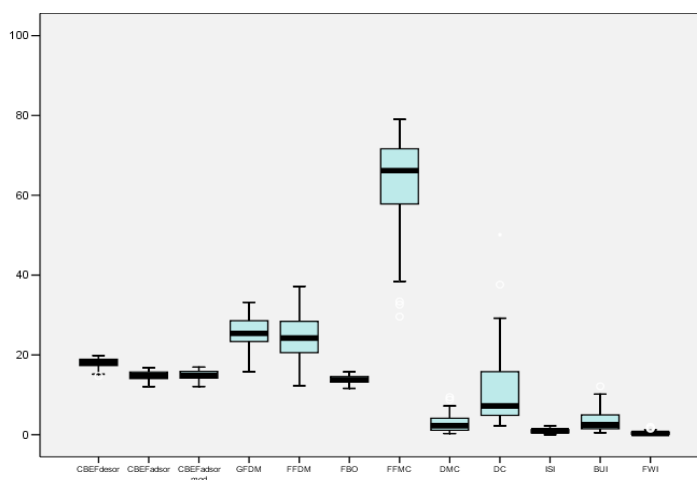


Figura 1. Valores e rangos dos índices de perigo de incendios durante o mes de marzo no período de simulación (2000-2060).

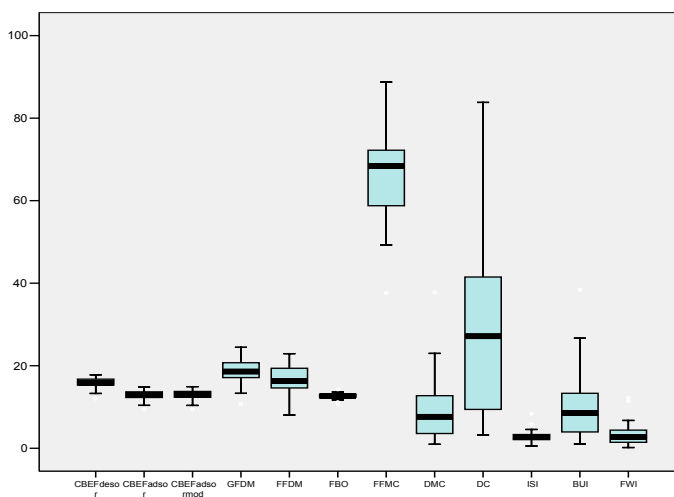


Figura 2. Valores e rangos dos índices de perigo de incendios durante o mes de marzo no período control (1973-2006).

Para a media do verán, o cadro obtido é claramente diferente. Todos os valores medios das simulacións de humidade (figura 3) dos combustibles finos mortos efectuadas polos índices australianos e o FBO presentan valores lixeiramente inferiores aos correspondentes do período de referencia 1973-2006 (figura 4), sendo catalogados en ambos os dous casos como moderados. A maior parte dos índices canadenses mostran valores de maior perigosidade que os do período de referencia, e a metade deles (FFMC, DC e BUI) evidencian un empeoramento claro, de baixo a moderado (FFMC) e de moderado a alto (DC e BUI).



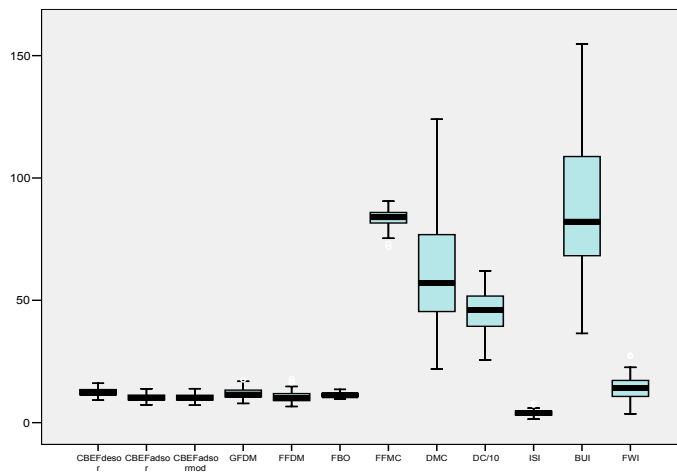


Figura 3. Valores e rangos dos índices de perigo de incendios durante a media dos meses de verán no período de simulación (2000-2060).

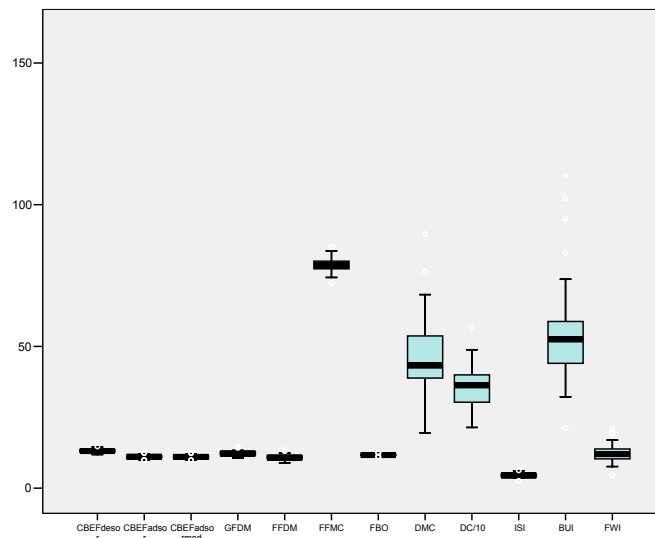


Figura 4. Valores e rangos dos índices de perigo de incendios durante a media dos meses de verán no período control (1973-2006).

Tendencias a longo prazo dos índices de perigo

Non se detectaron tendencias significativas de variación ao longo do tempo, durante o período de estudo (2000-2060), en ningún dos índices simulados para o mes de marzo.

As táboas 1 a 4 presentan os resultados das análises de tendencias nos meses de verán dos índices de perigo considerados para o período de estudo (2000-2060). Indícanse tamén os niveis de significación e, de ser o caso, as estimacións das pendentes das tendencias respectivas.

Todos os estimadores de humidade da follaxe durante os meses de xuño, xullo e agosto mostran unha significativa tendencia ao empeoramento, mentres que en setembro non se observa ningún cambio. As diminucións de humidade son máis pronunciadas no mes de xullo e menos en xuño, presentando en agosto valores intermedios.

A resposta dos índices canadenses é lixeiramente diferente, sendo agosto o mes onde se presentan, xeralmente, os incrementos maiores, seguido de xullo, e mostrando xuño e setembro unha situación intermedia. A excepción a iso son os índices DC e BUI, que van progresivamente empeorando ao longo do verán, quizais, como reflexo dunha seca acumulada ao longo do período estival.

Táboa 1. Resultados do test de Mann-Kendall para a análise de tendencias dos valores do mes de xuño de diferentes índices de perigo de incendios.

Índice	Nivel significación	Pendente
CBEF desorción	0,001	-0,034
CBEF adsorción	0,001	-0,027
CBEF adsorción modificado	0,001	-0,027
GFDL	0,001	-0,072
FFDL	0,001	-0,064
FBO	0,05	-0,013
FFMC	ns	
DMC	0,01	0,206
DC	ns	
ISI	0,05	0,008
BUI	0,01	0,277
FWI	0,05	0,032

ns, tendencia non significativa

Táboa 2. Resultados do test de Mann-Kendall para a análise de tendencias dos valores do mes de xullo de diferentes índices de perigo de incendios.

Índice	Nivel significación	Pendente
CBEF desorción	0,001	-0,083
CBEF adsorción	0,001	-0,076
CBEF adsorción modificado	0,001	-0,078
GFDL	0,001	-0,109
FFDL	0,001	-0,114
FBO	0,001	-0,040
FFMC	0,001	0,130
DMC	0,01	0,527
DC	0,01	1,808
ISI	0,001	0,049
BUI	0,01	0,652
FWI	0,001	0,190



Táboa 3. Resultados do test de Mann-Kendall para a análise de tendencias dos valores do mes de agosto de diferentes índices de perigo de incendios.

Índice	Nivel significación	Pendente
CBEF desorción	0,05	-0,054
CBEF adsorción	0,05	-0,049
CBEF adsorción modificado	0,05	-0,050
GFDM	0,05	-0,062
FFDM	0,05	-0,058
FBO	0,05	-0,023
FFMC	0,05	0,088
DMC	0,05	0,978
DC	0,05	2,438
ISI	0,05	0,055
BUI	0,05	1,133
FWI	0,001	0,216

Táboa 4. Resultados do test de Mann-Kendall para a análise de tendencias dos valores do mes de setembro de diferentes índices de perigo de incendios.

Índice	Nivel significación	Pendente
CBEF desorción	ns	
CBEF adsorción	ns	
CBEF adsorción modificado	ns	
GFDM	ns	
FFDM	ns	
FBO	ns	
FFMC	ns	
DMC	0,05	0,848
DC	0,01	3,582
ISI	ns	
BUI	0,01	1,202
FWI	0,01	0,136

ns, tendencia non significativa

Para a media do verán (táboa 5) todos os índices reflicten unha tendencia significativa a empeorar. Os índices GFDM e FFDM mostraron un descenso da humidade dos combustibles finos mortos máis pronunciado que o resto dos estimadores de humidade.

Táboa 5. Resultados do test de Mann-Kendall para a análise de tendencias dos valores medios do verán (xuño, xullo, agosto, setembro) de diferentes índices de perigo de incendios.

Índice	Nivel significación	Pendente
CBEF desorción	0,01	-0,050
CBEF adsorción	0,01	-0,045
CBEF adsorción modificado	0,01	-0,047
GFDM	0,01	-0,069
FFDM	0,01	-0,069
FBO	0,01	-0,022
FFMC	0,01	0,086
DMC	0,01	0,700
DC	0,01	2,499
ISI	0,001	0,035
BUI	0,01	0,910
FWI	0,01	0,155

Como exemplo, as figuras 5 e 6 mostran a variación da media estival dos índices FFDM e DC durante o período 2000-2060.

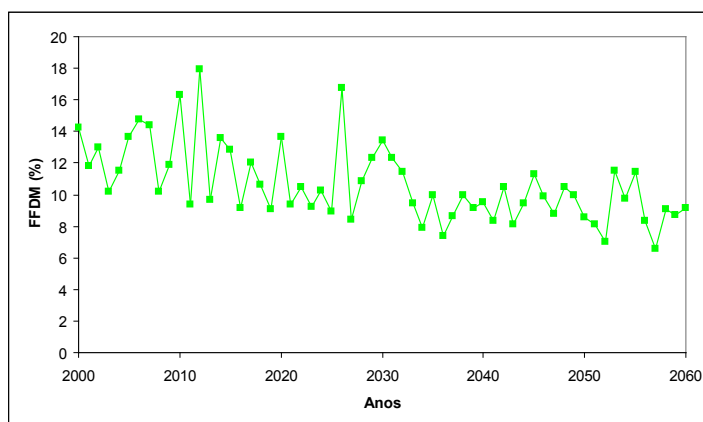


Figura 5. - Variación dos valores do índice FFDM por termo medio do verán durante o período de simulación (2000-2060).



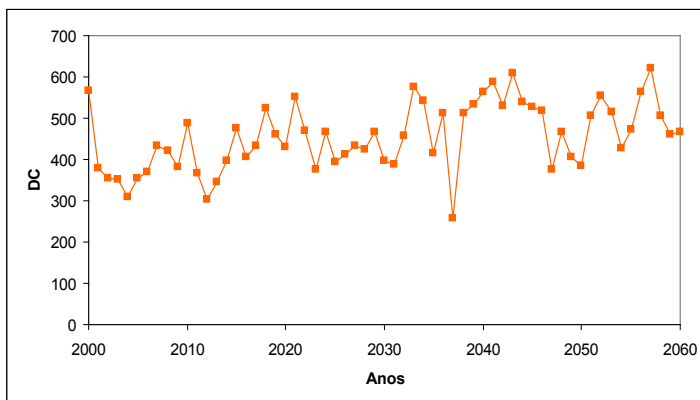


Figura 6. - Variación dos valores do índice DC por termo medio do verán durante o período de simulación (2000-2060).

Comparación das proxeccións futuras de índices de perigo

As ecuacións das tendencias de cambio dos índices de perigo estivais, obtidas pola simulación climática, aplicáronse aos anos do período 2010-2060. Así mesmo, as tendencias achadas para o período de control (1973-2006) foron aplicadas ao intervalo 2010-2060. Isto permitiu comparar as dúas aproximacións de simulación e estimar a evolución do nivel de risco de incendios para cada unha delas.

Nas figuras 7 e 8 móstranse os resultados desa comparación.

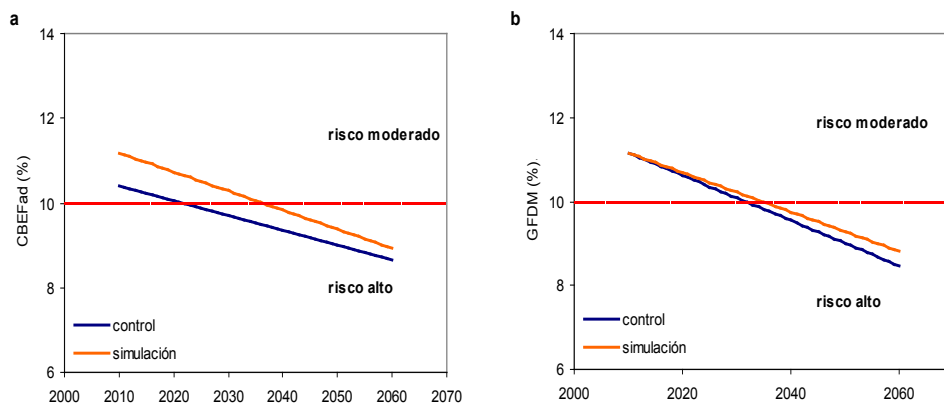


Figura 7. Evolución das tendencias de cambio para a serie de control e a procedente da simulación climática no período 2010-2060 para os índices CBEF ad (a) e GFDM (b).

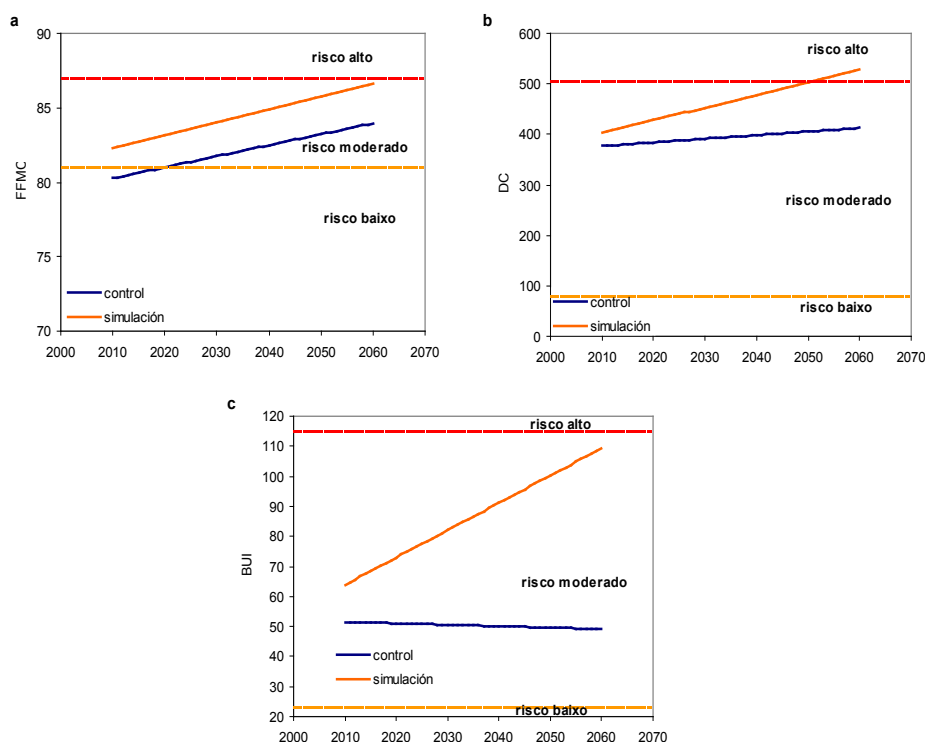


Figura 8. Evolución das tendencias de cambio para a serie de control e a procedente da simulación climática no período 2010-2060 para os índices FFMC (a), DC (b) e BUI (c).

En xeral, a resposta dos estimadores directos de humidade dos combustibles finos mortos foi similar para as dúas aproximacións, aínda que o cambio do nivel de perigo, de moderado a alto, se produciu antes utilizando a proxección do período de control (1973-2006). Na figura 7 móstrase a resposta para GFDM e CBEF ad. A comparación entre os dous métodos para FFMC (figura 8a) indica unha resposta bastante similar polas dúas aproximacións, aínda que agora os datos provenientes da simulación climática resultan máis elevados. Como contraste, os restantes indicadores canadenses obtidos pola simulación climática apartáronse bastante dos valores proxectados da serie de control, tendo os primeiros valores máis altos. Isto simplemente reflectiu a ausencia de cambio significativo das tendencias obtidas na serie control. Esa ausencia de cambio podería ser consecuencia da utilización dun valor medio de cinco diferentes estacións para representar o conxunto de Galicia. Este método claramente atenúa as diferenzas existentes entre elas. A pesar diso, non se produciu unha modificación do nivel de risco na tendencia obtida cos datos da simulación climática. As figuras 8b e 8c recollen a resposta para DC e BUI.

Dado que a simulación climática usada proporciona un valor medio para Galicia, os valores obtidos de índices de perigo non poden reflectir as diferenzas xeográficas marcadas existentes, que foron atopadas no estudo de evidencias sobre esta mesma temática. Aplicouse por iso o método de proxección das tendencias no período de control a dúas estacións con pronunciadas diferenzas nos parámetros meteorolóxicos, A Coruña e Ourense.

Poden apreciarse (figuras 9 e 10) as marcadas diferenzas existentes entre ambas as dúas, tanto nas proxeccións das estimacións de humidade dos combustibles finos mortos como nos índices cana-

denses. De feito, para A Coruña as condicións de perigo son moito máis favorables en comparación con Ourense, que, por un lado, parte de valores dun risco maior e alcanza niveis de perigo moi elevados en varios destes indicadores.

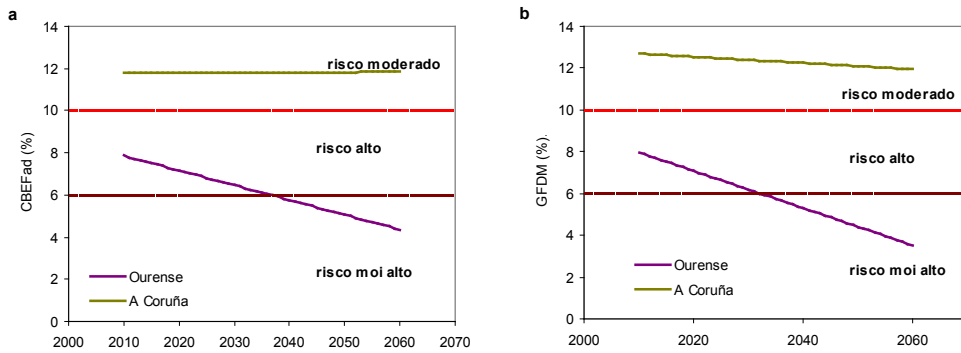


Figura 9. Evolución das tendencias de cambio obtidas a partir da serie de control na Coruña e Ourense no período 2010-2060 para os índices CBEF ad (a) e GFDM (b).

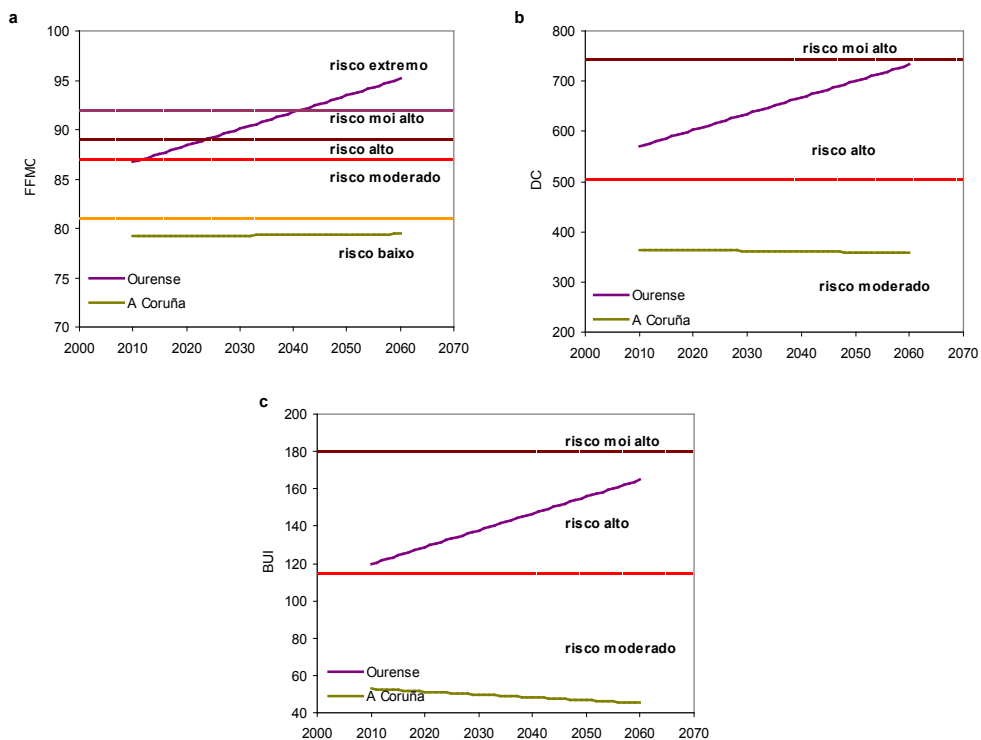


Figura 10. Evolución das tendencias de cambio obtidas a partir da serie de control na Coruña e Ourense no período 2010-2060 para os índices FFMC (a), DC (b) e BUI (c).

Número de días de perigo alto no verán

Observouse un aumento significativo do número de días de perigo alto, baseándose na simulación dos índices canadenses (táboa 6). Os limiares considerados como niveis de alto perigo foron: FPMC 87, DMC 84, DC 505, ISI 4,9, BUI 115 e FWI 17, en consonancia cos valores recomendados por Cruz (2000).

Táboa 6. Resultados do test de Mann-Kendall para a análise de tendencias do número de días con perigo alto no verán (xuño, xullo, agosto, setembro) baseándose na simulación dos índices canadenses de perigo de incendios.

Índice	Nivel significación	Pendente
FFMC	0,05	0,504
DMC	0,05	0,524
DC	0,05	0,441
ISI	0,01	0,429
BUI	0,05	0,571
FWI	0,05	0,563

As pendentes en todos os casos foron bastante similares, presentando o maior valor BUI e o máis reducido ISI. Isto supuxo que os días nos que o humus e a parte superior do solo mostran valores de alta sequidade (DC) cambiarían de 30 a 57 (figura 11a). Pola súa banda, os días nas que cantidade relativa de combustible consumido (BUI) é alta pasarían de 12 a 47 (figura 11b). Desde o punto de vista da intensidade do lume –FWI– (figura 11c) os 15 días de perigo alto que se tiveron como media en 2000 pasarían a 49 en 2060. Como a dificultade de control, a existencia de medios de loita e o impacto no arboredo están ligados, en boa medida, á FWI; o cadro anterior reflicte a posibilidade dun substancial incremento dos días onde o sistema de combate contra incendios terá que realizar un esforzo máis elevado. Tamén resulta aparente do anterior que haxa unha maior probabilidade no verán de que os incendios consuman máis combustible e que a calor penetre máis no solo. Isto debuxa un cadro dunha maior severidade do lume cun incremento das súas consecuencias negativas asociadas, tales como un maior nivel de perturbación no solo, maiores probabilidades de erosión e riadas, maior lentitude na recuperación do ecosistema afectado, etc. O posible aumento de precipitación no outono detectado por MeteoGalicia (véxase o capítulo “Modelización dun escenario de futuro cambio climático en Galicia” neste mesmo volume) podería agravar máis as consecuencias hidrolóxicas poslume.

Os nosos resultados indican un impacto notablemente maior na duración do período de alto risco que o atopado no índice ERC (compoñente do índice de perigo de incendios dos Estados Unidos, NFFDR), do 25%, por Brown (2004) para o oeste dos Estados Unidos, para o período 2050-2069 e con toda a prudencia necesaria, debuxaría un notable empeoramento da situación en Galicia.

Número de incendios e superficie queimada

Os modelos obtidos por análise PLS explicaron entre un 52% (mes de xullo) e un 74% (marzo) da variabilidade do número de incendios, e entre un 26% (xullo) e un 73% (marzo) da variabilidade da superficie afectada (táboa 7). O modelo foi máis significativo para o mes de marzo que para os meses do verán. En conxunto, foron os índices canadenses as variables máis explicativas, reténdose



nos modelos, agás para os modelos do mes de marzo, no que tamén CBEF desorción foi incluído. En resumo, os resultados foron moi similares aos obtidos no estudo de evidencias, polo que a maior variabilidade explicada en marzo se pode deber ás mesmas causas alí comentadas.

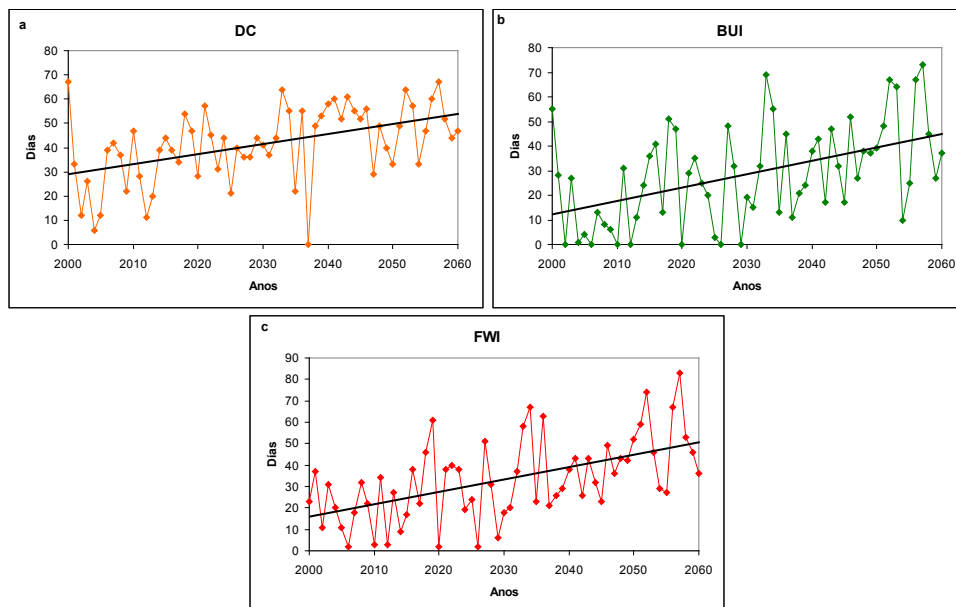


Figura 11. Evolución do número de días de perigo alto no período 2000-2060 para os índices DC, BUI e FWI.

Táboa 7. Resultados da análise de regresión PLS

	NÚMERO DE INCENDIOS						SUPERFICIE AFECTADA					
	MARZO	XUÑO	XULLO	AGOSTO	SETEMBRO	VERÁN	MARZO	XUÑO	XULLO	AGOSTO	SETEMBRO	VERÁN
Q ² acum	0,661	0,584	0,455	0,681	0,639	0,489	0,643	0,261	0,170	0,474	0,550	0,445
R ² Y acum	0,742	0,619	0,516	0,702	0,666	0,557	0,730	0,409	0,256	0,525	0,611	0,509
R ² X acum	0,865	0,895	0,858	0,760	0,844	0,822	0,852	0,840	0,796	0,793	0,852	0,822
CBEFdes	-0,224						-0,179					
CBEFadso												
CBEFadm												
GFDM												
FFDM												
FBO												
FFMC		0,178	0,129	0,154	0,142	0,138		0,106	0,089			0,126
DMC	0,241	0,225	0,157	0,171	0,185	0,143	0,190	0,160	0,092	0,156	0,184	0,136
DC				0,153		0,113		0,129	0,080	0,176	0,143	0,124
ISI			0,156	0,143	0,178	0,132	0,177		0,098	0,158	0,153	0,114
BUI	0,231	0,222	0,157	0,176	0,186	0,147	0,180	0,159	0,095	0,166	0,186	0,144
FWI	0,231	0,204	0,174	0,162	0,194	0,148	0,200	0,140	0,113	0,160	0,178	0,141

Marcados en azul sinálanse os coeficientes de correlación estandarizados para as variables con VIP > 1.

A figura 12 mostra a variación ao longo do período de estudo da simulación do número de incendios e superficie queimada durante o período estival en Galicia, obtida ao aplicar os modelos de regresión PLS aos valores dos índices de perigo achados usando a simulación climatolóxica realizada por MeteoGalicia.

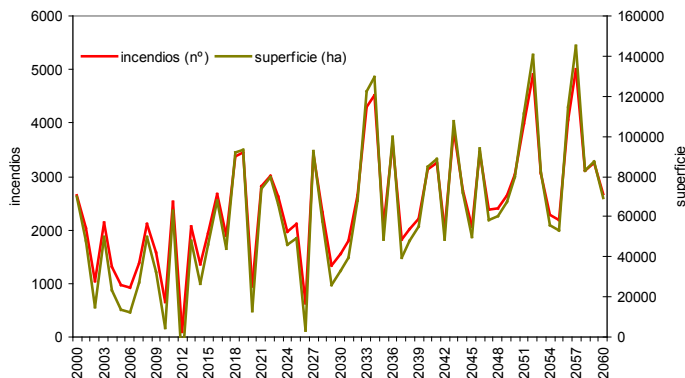


Figura 12. Estimación do número de incendios e superficie afectada en Galicia durante o verán entre os anos 2000 e 2060.

Na táboa 8 indícanse os resultados da análise de tendencias para a simulación do número de incendios e superficie afectada por estes para os diferentes meses analizados e a media do período estival de 2000 a 2060. Observáronse tendencias significativas de incremento do número de incendios e superficie afectada, agás para o mes de marzo (táboa 8). Os meses que presentaron maiores pendentes foron setembro para o número de incendios e agosto para a superficie afectada. Considerando o verán no seu conxunto, o número de incendios en 2060 e a superficie afectada serían 2,3 e 3,4 veces maiores, respectivamente, que en 2000 (figura 12).

Táboa 8. Resultados do test de Mann-Kendall para a análise de tendencias do número de incendios e superficie afectada por estes.

	Nivel significación	Pendente
Número de incendios		incendios. ano ⁻¹
Marzo	ns	
Xuño	0,05	0,78
Xullo	0,01	5,56
Agosto	0,01	13,11
Setembro	0,001	13,49
Media verán	0,01	31,49
Superficie		hectáreas. ano ⁻¹
Marzo	ns	
Xuño	0,01	12,45
Xullo	0,05	113,25
Agosto	0,01	490,06
Setembro	0,05	465,86
Media verán	0,01	1052,10

ns, tendencia non significativa

A información relativa ao prognóstico do número de incendios e a superficie afectada por eles como consecuencia do cambio climático é escasa (Flannigan, 2005a), e está maioritariamente centrada nos bosques boreais. Price (1994) estimou un incremento do 44% de incendios causados por raios nos bosques de Estados Unidos, o que suporía un incremento do 80% da área afectada a finais deste século. Flannigan (1991) suxeriu un incremento da área queimada do 46% en Canadá. Flannigan (2005b) obtivo para Canadá un incremento do 74-118% de área queimada para finais deste século. Wotton (2003) prognostica, para Ontario, un incremento de ignicións producidas polo home do 18% e do 50% para 2050 e 2100 respectivamente. McCoy (2005) observou para bosques boreais que o número de incendios e a superficie afectada poderían duplicarse para 2069.

Os resultados obtidos neste estudo deben ser considerados con precaución, debido á moderada porcentaxe de variabilidade explicada pola análise PLS, ao alto grao de incerteza dos modelos climatolóxicos e á grande influencia da compoñente social na causalidade dos incendios. A iso hai que lle engadir a asunción dun escenario estático de vexetación, que non considera posibles modificacións naquela como resultado do cambio climático, así como unha ausencia de cambios na política e efectividade da xestión forestal. A pesar diso, pódese concluír da análise destes datos que as condicións do réxime de incendios durante este século en Galicia poderían ser moi adversas, o que requiriría un incremento nas accións de prevención e extinción.

Exemplos de cambios esperados no comportamento do lume

No período de control (1973-2006) non se observaron tendencias significativas para ningunha das variables analizadas para o modelo C-6 de piñeirais de reforestación (velocidade de propagación, intensidade lineal, combustible consumido e superficie afectada durante as primeiras 5 horas).

Como contraste, a simulación da velocidade media de propagación do lume durante o verán no período 2000-2060 mostra (figura 13) un perfil de variación moi acusado, con valores que oscilan entre 0,1 e 20,7 m.min⁻¹. Os maiores picos obsérvanse a partir da segunda metade da serie (2031), detectándose valores moi elevados con maior frecuencia. Isto parece ser debido á maior frecuencia de lume de copa no período 2031-2060, que é oito veces máis alta que en 2000-2030. A intensidade lineal da fronte de lume, a cantidade de combustible consumido e a superficie queimada, mostran respostas similares (figuras 14 a 16).

O cadro presenta unha particular gravidade, xa que se están a considerar valores por termo medio de todo o verán.

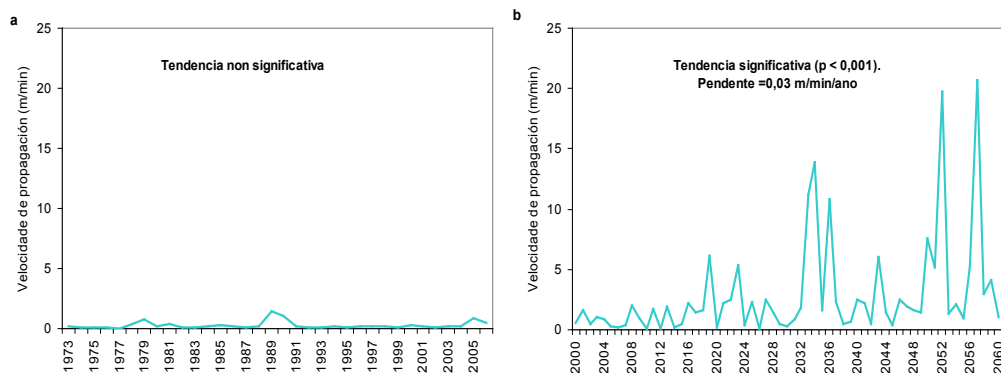


Figura 13. Evolución da simulación da velocidade de propagación do lume para o 1973-2006. (a) e para 2000-2060 (b).

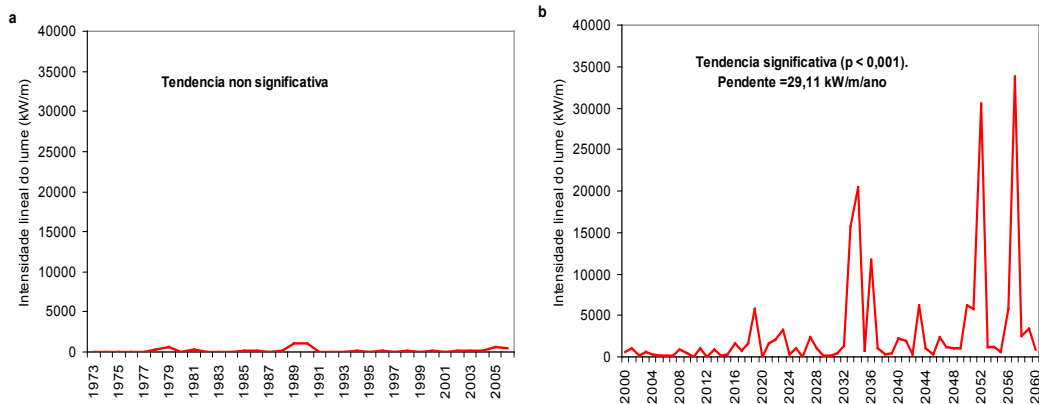


Figura 14. Evolución da simulación da intensidade lineal do lume para o período 1973-2006 (a) e para 2000-2060 (b).

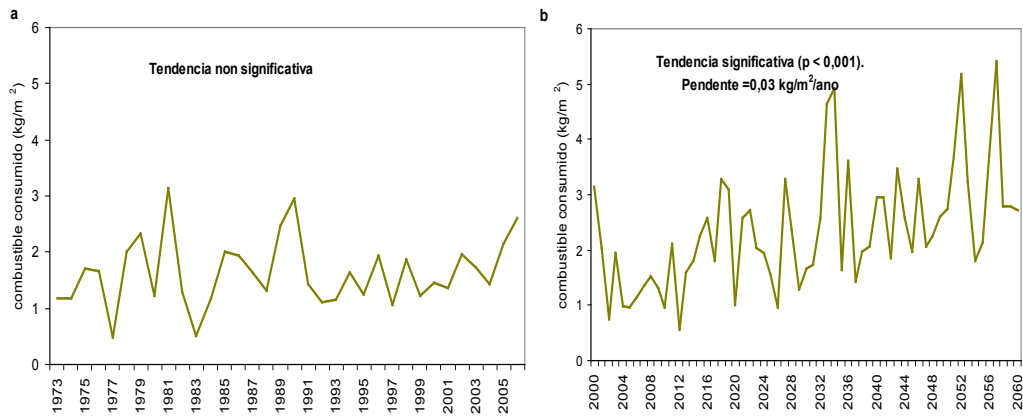


Figura 15. Evolución da simulación do combustible consumido polo lume para o período 1973-2006 (a) e para 2000-2060 (b).

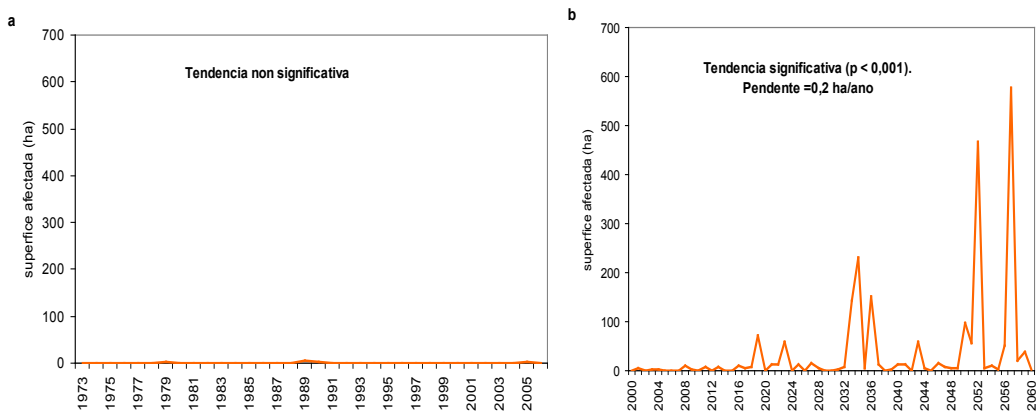


Figura 16. Evolución da simulación da superficie afectada polo lume para o 1973-2006 (a) e para 2000-2060 (b).



Na simulación realizada con BehavePlus 4.0, observouse para todos os casos (figuras 17 a 20), valores de maior perigosidade para o modelo 4, seguido polo 7 e o 9. Para todas as variables, e nos casos das situacións de perigo máxima e media, nos tres modelos observáronse valores máis elevados para o período de simulación 2000-2060 que no de control (1973-2006). Este feito non foi tan evidente na situación de perigo mínimo, xa que no período 2000-2060 o valor de FBO foi superior ao do período de control (maior humidade dos combustibles finos mortos), pero a velocidade do vento foi maior. Así, para o modelo 9, e nas condicións de mínima perigosidade, os valores das variables analizadas foron inferiores para o período 2000-2060 que no de control debido á menor influencia do vento polo efecto do dosel arbóreo. No modelo 4 sucedeu o mesmo, agás para a superficie queimada, e no modelo 7, todas as variables presentaron valores máis elevados nestas condicións de mínima perigosidade para o período 2000-2060.

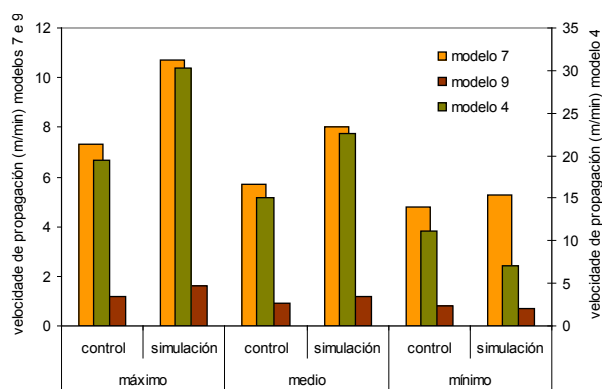


Figura 17. Velocidade de propagación para os valores de risco de incendio máximo, medio e mínimo dos períodos de control (1973-2006) e simulado (2000-2060), para os modelos de combustible 7, 9 e 4.

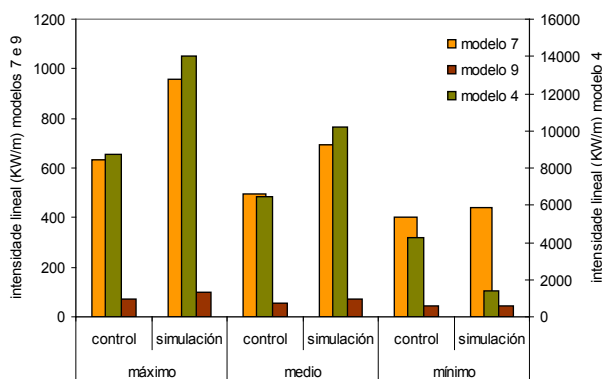


Figura 18. Velocidade lineal para os valores de risco de incendio máximo, medio e mínimo dos períodos control (1973-2006) e simulado (2000-2060), para os modelos de combustible 7, 9 e 4.

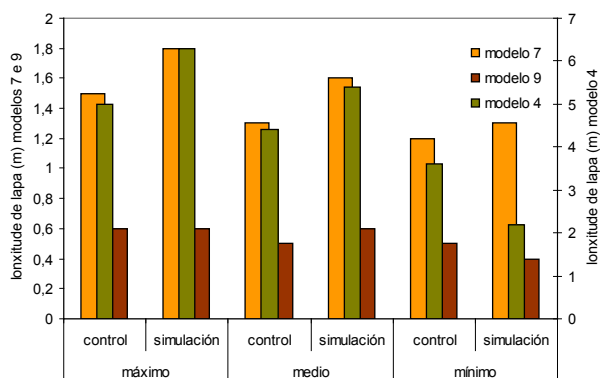


Figura 19. Lonxitude de lapa para os valores de risco de incendio máximo, medio e mínimo dos períodos control (1973-2006) e simulado (2000-2060) para os modelos de combustible 7, 9 e 4.

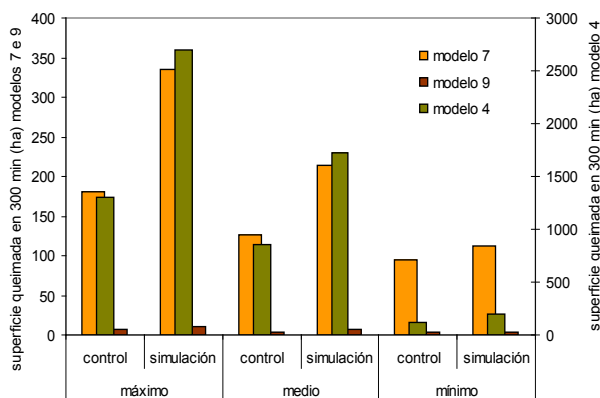


Figura 20. Superficie queimada nas 5 horas inmediatas á ignición para os valores de risco de incendio máximo, medio e mínimo dos períodos de control (1973-2006) e simulado (2000-2060) para os modelos de combustible 7, 9 e 4.

Este posible incremento na intensidade e velocidade de propagación dos incendios forestais, como consecuencia do cambio climático observados nas simulacións, pode incrementar a probabilidade de escape do lume ante os esforzos iniciais por contelo, dando lugar a un maior número de grandes incendios (Fried, 2004; 2008).

CONCLUSIÓN

Non se observaron tendencias significativas de cambio dos índices de perigo para o mes de marzo durante o período 2000-2060, mentres para o verán resultaron moi significativas, indicando un empeoramento da situación de perigo de incendios. Xullo presentou a tendencia máis acusada na diminución da humidade dos combustibles finos mortos mentres que o aumento do risco, cuantifica-



do polos índices canadenses, foi máis pronunciado en agosto. Apreciáronse diferenzas nas tendencias obtidas cos valores achados pola simulación climática e as que se atopasen mediante a análise da serie control (1973-2006). Dado que algún dos índices canadenses están ligados á severidade da perturbación causada polos incendios, e especialmente no chan, os resultados da simulación parecen indicar tamén un aumento do risco de consecuencias ecolóxicas máis graves dos lumes.

Este cadro da media de risco de incendio para Galicia non reflicte as acusadas particularidades xeográficas existentes no seu territorio. A análise efectuada coas proxeccións da serie control puxo de relevo as notables diferenzas entre A Coruña e Ourense, cun grao de perigo moito máis acusado nesta última, asumindo a igualdade do resto dos factores influentes no risco de incendios.

Un resultado moi aparente da simulación foi o forte incremento do número de días de risco alto para o período 2000-2060, que, de ser certo, podería implicar un correlativo aumento nas posibilidades de escape do lume, na probabilidade de ocorrencia de grandes incendios e no incremento da severidade destes.

A simulación do número de incendios e da superficie queimada foi consistente co incremento dos índices de perigo e reforzou a gravidade do problema evidenciado na análise de tendencias. Non obstante, dada a moderada cantidade de variabilidade desas variables explicada polos modelos e a multitude de factores que interveñen nelas, estas estimacións deben ser consideradas con prudencia. Non obstante, os resultados mostran un perfil da situación bastante preocupante.

Os exemplos de comportamento de lume presentados, a pesar de ser moi puntuais, permiten cuantificar o empeoramento da situación en termos de variables máis directamente ligadas ás operacións de extinción e parece alertar da necesidade de reforzar o dispositivo de protección contra incendios. Nese sentido, poderían ser de interese para os xestores.

AGRADECEMENTOS

Agradecemos a MeteoGalicia a subministración de datos meteorolóxicos e da simulación climática; e a Ricardo Vélez, da Área de Defensa contra Incendios Forestais do Ministerio de Medio Ambiente e Medio Rural e Mariño, a información sobre estatística de incendios. Un agradecemento especial a Elena Pérez e Stefano Arellano pola elaboración de bases de datos e pola súa axuda no cálculo dos índices. Tamén agradecemos a Juan G. Álvarez a súa axuda co cálculo dos índices canadenses e de seca.

BIBLIOGRAFÍA

- Bastien P., Esposito Vinzi V. and Tenenhaus M. (2005). PLS Generalised Regression. *Computational Statistics and Data Analysis*, **48**, 17-46.
- Beer T. and Williams A. A. J. (1995). Estimating Australian forest fire danger under conditions of doubled carbon dioxide concentrations. *Climate Change*, **29**, 169-188.
- Bergeron Y. and Flannigan M. D. (1995). Predicting the effects of climate change on fire frequency in the Southeastern Canadian Boreal forest. *Water, Air Soil Pollution*, **82**, 437-444.
- Brown T. J., Hall B. L. and Westerling A. L. (2004). The impact of twenty-first century climate change on wildland fire danger in the western United States: An application perspective. *Climatic Change*, **62**, 365-388.

- Carvalho A., Flannigan M., Logan K., Miranda A. and Borrego C. (2008). Fire activity in Portugal and its relationship to weather and the Canadian Fire Weather Index System. *International Journal of Wildland Fire*, **17**, 328-338.
- Cruz M. G. (2000). *Descrição do Sistema Canadano de Indexação do Perigo de Incêndio*, ADAI. Coimbra.
- Flannigan M. D. and Harrington J. B. (1988). A study of the relation of meteorological variables to monthly provincial area burned by wildfire in Canada (1953-1980). *Journal of Applied Meteorology*, **27**, 441-452.
- Flannigan M. D. and Van Wagner C. (1991). Climate change and wildfire in Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, **21**, 66-72.
- Flannigan M. D., Bergeron Y., Engelmark O. and Wotton B. M (1998). Future wildfire in circumboreal forests in relation to global warming. *Journal of Vegetation Science*, **9**, 469-476.
- Flannigan M. D., Stocks B. J. and Wotton B. M. (2000). Forest fires and climate change. *Science of the Total Environment*, **262**, 221-230.
- Flannigan M. D., Logan K.A., Amiro B. D., Skinner W. R. and Stocks B. J. (2005a). Future area burned in Canada. *Climatic Change*, **72**, 1-16.
- Flannigan M. D., Amiro B. D., Logan K. A., Stocks B. J. and Wotton B. M. (2005b). Forest fires and climate change in the 21st century. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, **11**, 847-859.
- Fried J. S., Torn M. S. and Mills E. (2004). The impact of climate change on wildfire severity: a regional forecast for northern California. *Climate Change*, **64**, 169-191.
- Fried J. S., Gilles J. K., Riley W. J., Moody T. J., de Blas C. S., Hayhoe K., Moritz M., Stephens S. and Torn M. (2008). Predicting the effect of climate change on wildfire behavior and initial attack success. *Climate Change*, **87**, S251-S264.
- García-Díez E. L., Labajo Salazar J. L. and de Pablo Dávila F. (1993). Some meteorological conditions associated with forest fire in Galicia (Spain). *International Journal of Biometeorology*, **37**, 194-199.
- García-Díez E. L., Rivas L. and de Pablo F. (1994). An objective forecasting model for the daily outbreak of forest fires based on meteorological considerations. *Journal of Applied Meteorology*, **33**(4), 519-526.
- García Díez, A.; Rivas, L. and García Díez, E. L.(1995).Statistical análisis for the spatial vality of a model to forecast the daily number of forest fires.). *International Journal of Biometeorology*, **39**(3): 148-150.
- García Díez A., Rivas L. and García Díez E.L.(1996). Medium-range forecasting for the number of daily forest fires. *Journal of Applied Meteorology*, **35**(5), 725-732.
- García-Díez E. L., Rivas L., de Pablo F. and García-Díez A. (1999). Prediction of the daily number of forest fires. *International Journal of Wildland Fire*, **9**(3), 207-211.
- Gill A.M., Christina K. R., Moore P. H. R. and Forrester R. I. (1987). Bushfire incidence, fire hazard and fuel reduction burning. *Australian Journal of Ecology*, **12**, 299-306.



- Godhe A. and McQuoid M. R. (2003). Influence of benthic and pelagic environmental factors on the distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments along the Swedish west coast. *Aquat. Microb. Ecol.* **32**, 185-201.
- Good P., Moriondo, M., Giannakopoulos C. and Bindi M. (2008). The meteorological conditions associated with extreme fire risk in Italy and Greece: relevance to climate model studies. *International Journal of Wildland Fire*, **17**, 155-165.
- Hamed K. H. and Rao A. R. (1998). A modified Mann-Kendall test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, **204**, 182-196.
- Helsel D. R., Mueller D. K. and Slack J. R. (2006). *Computer program for the Kendall family of trend tests*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5275.
- Hennessy K., Lucas C., Nicholls N., Bathols J., Suppiah R. and Ricketts J. (2005). *Climate change impacts on fire-weather in south-east Australia*. CSIRO Marine and Atmospheric Research. Bushfire CRC and Australian Bureau of Meteorology.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2000). *Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, N. Nakicenovic and R. Swart (eds), Cambridge Univ. Press, New York.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, S Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, (ed.), Cambridge Univ. Press, New York.
- Johansson M. E. and Nilsson C. (2002). Responses of riparian plants to flooding in free-flowing and regulated boreal rivers: an experimental study. *Journal of Applied Ecology*. **39**, 971-986.
- Keeley J. E. (2004). Impact of antecedent climate on fire regimes in coastal California. *International Journal of Wildland Fire*, **13**, 173-182.
- McArthur A. G. (1962) *Control Burning in Eucalypt Forests*. Department of National Development, Commonwealth of Australia, Forestry and Timber Research Bureau, Leaflet 80. Canberra.
- McArthur A. G. (1966) *Weather and grassland fire behaviour*. Department of National Development, Commonwealth of Australia, Forestry and Timber Research Bureau, Leaflet 100. Canberra.
- McArthur A. G. (1967) *Fire behaviour in eucalypt forests*. Department of National Development, Commonwealth of Australia, Forestry and Timber Research Bureau, Leaflet 107. Canberra.
- McCoy V. M. and Burn C. R. (2005). Potential alteration by climate change of the forest fire regime in the boreal forest of Central Yukon territory. *Arctic*, **58**, 276-285.
- Millán M. M., Estrela M. J. and Badenas C. (1998). Meteorological processes relevant to forest fire dynamics on the Spanish Mediterranean coast. *Journal of Applied Meteorology*, **37**, 83-100.
- Moreno J. M. (2005). Riesgos de Origen Climático: Impactos sobre los Incendios Forestales. En: *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. Ministerio de Medio Ambiente. pp. 581-615.
- Moriondo M., Good P., Durao R., Hindi M., Giannakopoulos C. and Corte-Real J. (2006). Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. *Climate Research*, **31**, 85-95.

- Mouillot F., Rambal S. and Joffre R. (2002). Simulating climate change impacts on fire frequency and vegetation dynamics in Mediterranean-type ecosystem. *Global Change Biology*, **8**, 423-437.
- Pausas J. G. (2004). Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin). *Climatic Change*, **63**, 337-350.
- Pereira J. S., Correia A. V., Correia A. P., Branco M., Bugalho M., Caldeira M. C., Cruz C. S., Freitas H., Oliveira A. C., Pereira J. M. C., Reis R. M. and Vasconcelos M. J. (2002). Forests and biodiversity. In: *Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures*, Santos F.D., Forbes K. and Moita R. (eds.), Gradiva, Lisboa pp. 363-413.
- Piñol J., Terradas J. and Lloret F. (1998). Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Climatic Change*, **38**, 345-357.
- Preisler H. K., Chen S. C., Fujioka F., Benoit J. W. and Westerling A. L. (2008). Wildland fire probabilities estimated from weather model-deduced monthly mean fire danger indices. *International Journal of Wildland Fire*, **17**, 305-316.
- Price C. and Rind D. (1994). The impact of 2xCO₂ climate on lightning-causes fires. *Journal of Climate*, **7**, 1484-1494.
- Reichler T. and Kim J. (2008). How Well Do Coupled Models Simulate Today's Climate? *Bulletin American Meteorological Society*, **89**, 303-311.
- Rothermel R. C. (1983). *How to predict the spread rate and intensity of forest and range fires*. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station General Technical Report INT-143. Ogden, UT.
- Ryan K. C. (2000). Global change and wildland fire. In: *Wildlandfire in ecosystems: effects of fire on flora*. J. K Brown and J Kapler Smith. (eds.). Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42. vol. 2. USDA For. Serv. Rocky Mountain Research Station. pp. 175-183
- Schoennagel T., Veblen TT, Rommen WH, Sibold JS, and Cook ER (2005). ENSO and PDO variability affect drought-induced fire occurrence in Rocky Mountain subalpine forests. *Ecological Applications*, **15**, 2000-2014.
- Sen P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, **63**, 1379-1389
- Stocks B. J., Fosberg M. A., Lynham T. J., Mearns L., Wotton B. M., Yang Q., Jin J. Z., Lawrence K., Hartley G. R., Mason J. A. and McKenney D.W. (1998). Climate change and forest fire potential in Russian and Canadian boreal forests. *Climatic Change*, **38**, 1-13.
- Taylor A. H., Trouet V. and Skinner C. N. (2008). Climatic influences on fire regimes in montane forests of the southern Cascades, California, USA. *International Journal of Wildland Fire*, **17**, 60-71.
- Tenenhaus M. (1998). *La Régression PLS, Théorie et Pratique*. Technip, Paris.
- Tenenhaus M., Pagès J., Ambroisine L. and Guinot C. (2005). PLS methodology for studying relationships between hedonic judgements and product characteristics. *Food Quality and Preference*, **16**, 315-325.
- Tymstra C., Flannigan M. D., Armitage O. B. and Logan K. (2007). Impact of climate change on are burned in Alberta's boreal forest. *International Journal of Wildland Fire*, **16**, 153-160.



- Van Wagner C. E. (1987). *Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System*. Canadian Forestry Service, Forestry Technical Report 35. Ottawa, Canada.
- Varela A., Villaverde J., Mato M. M., Salgado J., Paz Andrade M. I., Carballas T., Carballo E. and Legido J. L. (2006). Looking for a model for the prediction of the forest fire peaks in Galicia (NW of Spain). In: *V International Conference on Forest Fire Research*, Viegas D. X. (ed.), Figueira da Foz, Portugal.
- Varela A., Paz Andrade M. I., Carballas T., Carballo E., Villaverde J., Legido J. L. and Mato M. M. (2007). Statistical model for the prediction of the forest fire peaks in Galicia (NW of Spain). *IV International Conference of Wildfire*. Sevilla, Spain.
- Vázquez A. and Moreno J. M. (1993). Sensitivity of fire occurrence to meteorological variables in Mediterranean and Atlantic Areas of Spain. *Landscape and Urban Planning*, **24**, 129-142.
- Vázquez A. and Moreno J. M. (1995). Patterns of fire occurrence across a climate gradient and its relationship to meteorological variables in Spain. In: *Anticipated Effects of a Changing Global Environment in Mediterranean-Type-Ecosystems*, Moreno, J. M.; Oechel, W.C. (eds.), Ecological Studies 117, Springer-Verlag, New York, pp. 408-434.
- Vázquez A., Pérez B., Fernández-González F. and Moreno J. M. (2002). Forest fires characteristics and potential natural vegetation in Peninsular Spain during the period 1974-1994. *Journal of Vegetation Science*, **13**, 663-676.
- Vega J. A., Fernández C., Jiménez E. and Ruiz A. D. (2009). Evidencias de cambio climático en Galicia a través das tendencias dos índices de perigo de incendios forestais. Neste volume.
- Venevsky S. K., Thonicke S., Sitch S. and Cramer W. (2002). Simulating fire regimes in human-dominated ecosystems: Iberian Peninsula case study. *Global Change Biology*, **8**(10), 984-998.
- Viegas D. X., Viegas M. T. and Ferreira A. D. (1992). Moisture content of fine forest fuel and fire occurrence in Central Portugal. *International Journal of Wildland Fire*, **2**, 69-86.
- Viegas D. X. and Viegas M. T. (1994). A relation ship between rainfall and burned area for Portugal. *International Journal of Wildland Fire*, **4**, 11-16.
- Viegas D. X., Bovio G., Ferreira A., Nosenzo A. and Sol B. (1999). Comparative study of various methods of fire danger evaluation in southern Europe. *International Journal of Wildland Fire*, **9**, 235-246.
- Westerling A. L. and Swetnam T. (2003). Interannual to decadal drought and wildfire in the western United States. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, **84**, 545-560.
- Westerling A. L., Hidalgo H. G., Cayan D.R. and Swetnam T. (2006). Warming and earlier spring increases western US forest wildfire activity. *Science*, **313**, 940-943
- Williams A. A. J., Karoly D. J. and Tapper N. (2001). The sensitivity of Australian fire danger to climate change. *Climatic Change*, **49**, 171-191.
- Wotton B. M., Martell D. L. and Logan K. A. (2003). Climate change and people-caused forest fire occurrence in Ontario. *Climatic Change*, **60**, 275-295.

