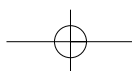
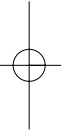
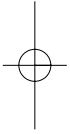
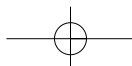
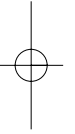
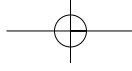


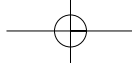
2. OS INCENDIOS NO OESTE DOS EEUU E O CAMBIO CLIMÁTICO

Autor

Anthony Westeling







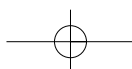
1. Introducción

Existe a percepción de que os lumes grandes e severos se incrementaron en múltiples partes do mundo nas décadas recentes, e este incremento asígnase a miúdo ao cambio climático antropoxénico. Non obstante, documentar o incremento en número dos grandes lumes naturais é moi difícil. Isto é así porque, en primeiro lugar, a incidencia do lume natural varía moito por si mesma en escalas de tempo de interanuais a decadais, necesitándose rexistros moi longos para detectar tendencias significativas na actividade deses lumes naturais. En segundo lugar, non existen estes longos rexistros facilmente accesibles que documenten a actividade dos lumes naturais. Cando están dispoñibles tenden a estar afectados por varios problemas. Os rexistros antigos son menos completos que os máis modernos, o que significa que os lumes parecen incrementarse simplemente debido a unha mellora no esquema de rexistro. Os cambios ao longo do tempo nas estratexias e os recursos dispoñibles para xestionar os lumes naturais poden producir tendencias aparentes nos lumes naturais ao cambiar a efectividade e extensión dos métodos de supresión. Cambios na ocupación do territorio e uso do solo poden ter efectos inmediatos e dramáticos sobre o número e as fontes de ignición e na dispoñibilidade e inflamabilidade dos combustibles. A longo prazo, a xestión do lume e os usos do solo que suprimen os lumes superficiais poden levar a cambios na densidade e estrutura da vexetación que alimenta os lumes naturais, cambiando a probabilidade de ocorrencia dun lume grande e/ou severo. Consecuentemente, mentres hai boas razóns para esperar que o cambio climático debe levar a cambios nos lumes naturais, a detección dun sinal do cambio climático nos rexistros históricos de lumes naturais non é posible, habitualmente.

Mentres que historias a longo prazo (en escalas de séculos), e comprensivas de lumes naturais, non están dispoñibles usualmente, podemos, de calquera xeito, utilizar os rexistros dispoñibles para inferir o impacto dos escenarios de cambio climático nos incendios naturais. Onde poden ser compiladas, as historias precisas e comprensivas a curto prazo e documentadas das décadas recentes, analizadas en unión dos datos climáticos e da vexetación, proporcionan información sobre como o lume responde ás variacións do clima.

De xeito similar, reconstrucións de incendios pasados a partir das cicatrices do lume preservadas nas árbores, e a partir de rexistros de carbón vexetal en núcleos sedimentarios, combinadas con reconstrucións do clima pasado a partir de aneis de crecemento, núcleos de xeo, corais e outros rexistrados naturais poden proporcionarnos indicios acerca de como o lume (natural) responde á variabilidade climática. As reconstrucións poden estenderse a períodos moi longos pero non poden dar, usualmente, indicacións claras de tendencias a longo prazo relacionadas co clima nas décadas recentes debido a unha variedade de razóns, incluíndo os efectos dos cambios de uso do solo e da supresión do lume. Non obstante, a partir das relacións observadas entre o clima, a vexetación e os lumes nos rexistros documentais recentes e das reconstrucións dos lumes podemos inferir como deben responder a un clima máis quente os incendios nos diversos puntos do mapa.

O clima, é dicir, a temperatura e a precipitación, inflúen de maneira importante en que se produzan lumes naturais grandes en múltiples escalas de tempo, a través dos seus efectos sobre a dispoñibili-



dade e inflamabilidade dos combustibles. En escalas que van do estacional ao decadal, as medias climáticas e a variabilidade arredor desas medias determinan o tipo, a cantidade e a estrutura da vexetación viva e morta que comprende o combustible dispoñible para ser queimado nun certo lugar (Stephenson, 1998). En escalas de estacionais a interanuais as medias e a variabilidade determinan a inflamabilidade destes combustibles (Westeling e outros, 2003).

En escalas interanuais e máis curtas, a importancia relativa das influencias climáticas sobre a dispoñibilidade do combustible fronte á inflamabilidade poden variar de forma notable segundo o ecosistema e o tipo de réxime do lume (Westeling e outros, 2003). Os efectos da dispoñibilidade de combustible son máis importantes en ecosistemas áridos e con vexetación escasa, mentres que os efectos da inflamabilidade teñen maior influencia en ecosistemas húmidos e densamente poboados. Consecuentemente, os cambios na precipitación dos escenarios de cambio climático poden ter implicacións moito máis diferentes do que poidan telas os cambios na temperatura en termos das características e localización espacial das respostas aos lumes naturais.

Mentres que os modelos do clima válidos para un amplo rango de escenarios plausibles de emisións concordan, polo xeral, en que as temperaturas se incrementarán ao longo do tempo, os cambios na precipitación nos casos de cambio climático tenden a ser moito máis incertos. Consecuentemente, os cambios futuros dos réximes dos lumes naturais nos ecosistemas en que os riscos de lume están afectados fortemente pola precipitación son moito máis incertos. Pola contra, naqueles ecosistemas en que os lumes están esencialmente controlados pola temperatura, é verosímil que o cambio climático conduza a incrementos substanciais destes lumes naturais. Finalmente, ao produciren os cambios no clima cambios na posible cobertura espacial dos tipos de vexetación, os réximes de lume e de vexetación transformaranse de maneira sinérxica.

Mentres que as políticas para mitigar o cambio climático poderían axudar a limitar os cambios nos réximes de lume, de calquera xeito requirirase adaptación, posto que un aumento de temperatura vaise producir en calquera caso. A extinción do lume, a xestión do combustible e as políticas de desenvolvemento (os códigos de xestión do solo e de construcións) son os métodos primarios por medio dos cales se xestionan os riscos de lumes naturais, en orde descendente de importancia. Como medios para adaptarse a un clima máis cálido, esta prioridade debe ser invertida, non obstante, mostrando as políticas de desenvolvemento e a xestión do combustible mellores perspectivas que unha intensificación na extinción de incendios, ao reducir algúns dos impactos económicos do aumento dos riscos de lumes forestais.

A primeira sección deste capítulo utiliza historias de lumes e rexistros climáticos do oeste dos EEUU para demostrar algunhas interaccións importantes entre o clima, a vexetación e os lumes naturais. Proxectar como van provocar os lumes naturais un clima máis cálido require unha comprensión dos controis climáticos tanto sobre os lumes como sobre a vexetación que se queima, xa que, como dixemos, ambos cambian de maneira sinérxica ao cambiar o clima. Utilizamos aquí os ecosistemas do oeste dos EEUU como exemplo das interaccións clima-vexetación-lumes, pero recoñecemos que estes ecosistemas non cobren o rango completo das posibilidades globais.

Con todo, serven ben para ilustrar como o clima afecta ao lume a través dos seus efectos sobre a vexetación. E na segunda sección extrapolamos estas relacións a algúns ecosistemas importantes fóra da rexión, cunha revisión breve da bibliografía recente sobre as relacións entre clima e lumes naturais nos bosques boreais de Canadá, Alaska e Siberia, e nos bosques tropicais do Amazonas. A sección 3 discute as implicacións desas interaccións clima-vexetación-lumes nos escenarios previsibles de clima. A sección cuarta conclúe cun resumo de implicacións para as políticas contra incendios.

2. Interacción entre clima, vexetación e lumes no oeste dos EEUU

O tipo de vexetación que pode crecer nun sitio determinado vén condicionado pola dispoñibilidade de humidade, que é unha función tanto da precipitación (vía o seu efecto sobre a subministración de auga) como da temperatura (vía o seu efecto sobre a demanda evaporativa de auga) (Stephenson, 1998). Como resultado, a distribución espacial dos tipos de vexetación está fortemente correlacionada coas medias a longo prazo de precipitación e temperatura.

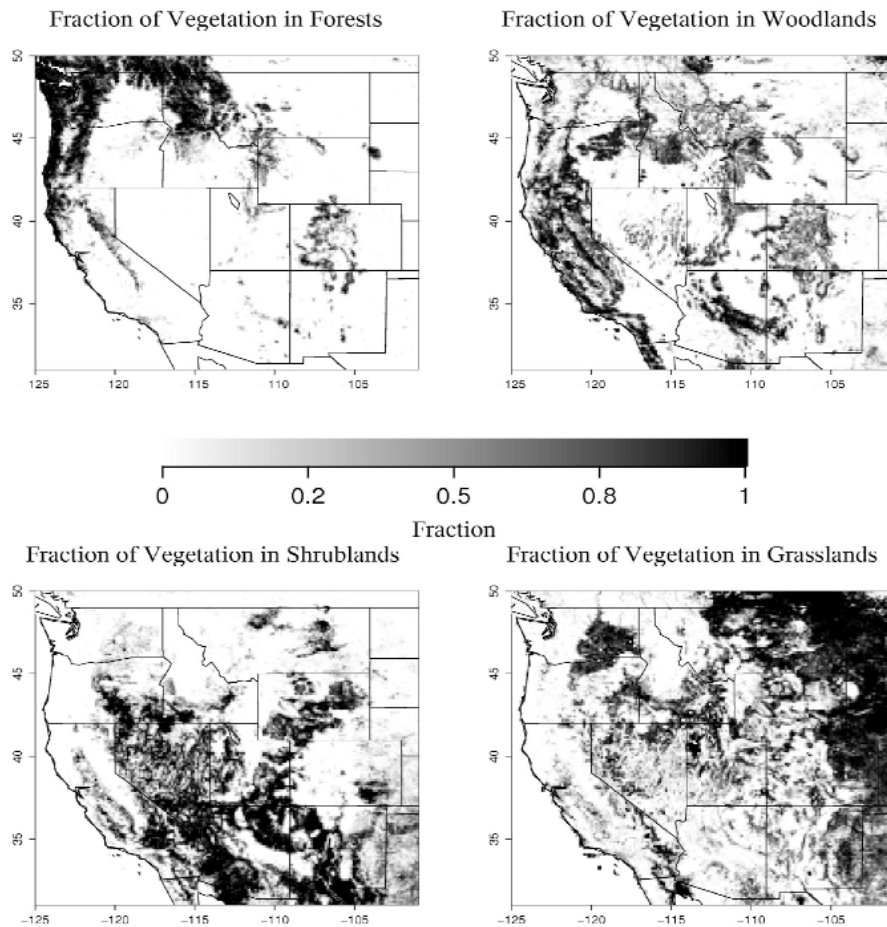


Figura 1.- Fracción de área con vexetación no oeste dos EEUU cuberta con cada un dos catro tipos de vexetación mencionados no texto, nunha malla de 1/8 de grao, utilizando a clasificación de vexetación da Universidade de Maryland cun axuste fraccionario, a partir do North American Land Data Assimilation Sstem. Arriba esqda.: bosque (perenne, caducifolio e mixto). Arriba dta.: zonas arboradas (árbores en zonas herbáceas e arbustivas). Abaixo esqda.: zonas arbustivas (arbustivas abertas e cerradas). Abaixo dta.: zonas herbáceas. (Mitchell e outros, 2004)¹.

¹ Utilizamos o Land Data Assimilation Sistema (LDAS) con 1/8 de grao de malla da capa de vexetación, utilizando a clasificación desta da Universidade de Maryland cun axuste fraccionario de vexetación (UMDvf) (ver Mitchell e outros, 2004). Derivamos catro tipos xerais de vexetación a partir da clasificación da UMDvf: bosque (cubertas perennes, caducas e mesturadas), zonas arboradas (cubertas de zonas arboradas e arboradas con herba/arbustos), arbustivas (cubertas abertas e cerradas de arbustos) e herbáceas (cubertas herbáceas). A figura 1 amosa a fracción de área con vexetación en cada cela da rede de 1/8° composta por eses tipos vexetais (Mitchell e outros, 2004).

Para o exemplo do oeste dos EEUU consideramos catro tipos xerais de vexetación: bosques, zonas arbóreas, zonas arbustivas e herbáceas. Na vez de representarmos a posición de dous tipos de vexetación espacialmente, con lonxitude e latitude (como na figura 1), podemos representalos climatologicamente: polas súas medias a longo prazo de precipitación anual e da temperatura de verán (figura 2).

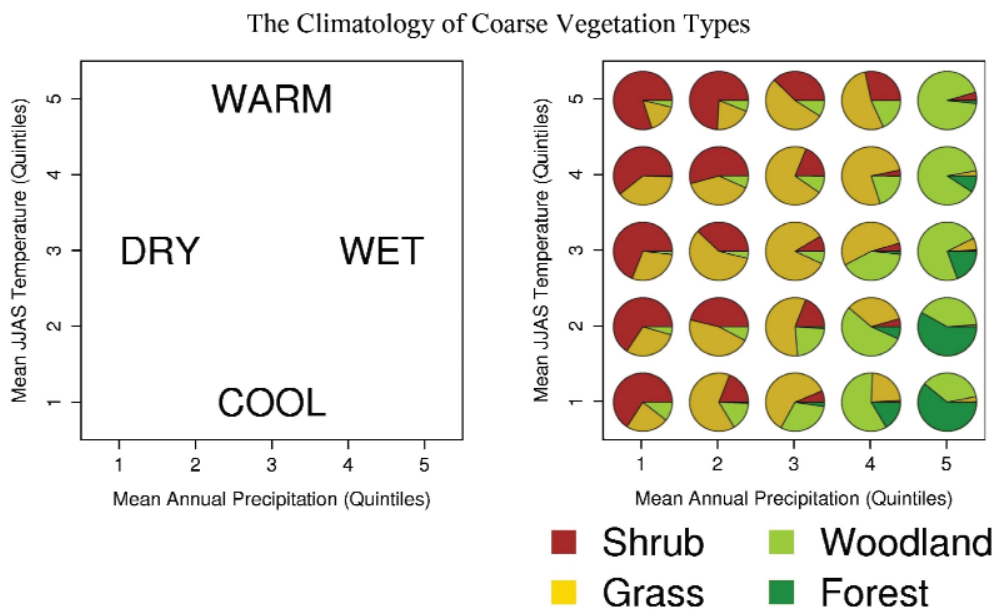
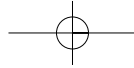


Figura 2.- Fraccións medias da clasificación de vexetación para bosques, zonas arboradas, arbustivas e herbáceas, representadas para todas as celas de 1/8 de grao en cada quintil de precipitación anual e temperatura de verán para os estados contiguos do oeste dos EEUU. Os bosques e as zonas arboradas están concentrados nas rexións máis frías e/ou húmidas, mentres que as zonas herbáceas e arbustivas tenden a estar nas rexións secas e máis cálidas. Esquerda: quintís da temperatura de verán (eixe dos y) e precipitación (eixe dos x) para o oeste dos EEUU. Dereita: cada torta mostra a cuberta fraccionaria de vexetación para as terras correspondentes a un par de quintís de temperatura e precipitación.

Os bosques concéntranse nas partes dos EEUU onde hai a maior precipitación anual media e a menor temperatura de verán. Ao contrario, a maior concentración de arbustos ocorre onde a chuvia é mínima e as temperaturas altas. Entre eses extremos hai un gradiente de bosque a zonas arboradas, a zonas herbáceas e a arbustivas con axustes evidentes de temperatura e precipitación. Isto é así porque as temperaturas máis altas producen unha maior evaporación, reducindo a humidade dispoñible para as plantas². Os tipos de vexetación que requiren grandes cantidades de auga son, consecuentemente, sensibles tanto á temperatura como á precipitación. As zonas arboradas, por exemplo, poden ocorrer con altas temperaturas sempre que haxa precipitación suficiente, pero en rexións onde a precipitación é máis moderada as zonas arbustivas tenden a ser máis abundantes en lugares con temperaturas de verán máis baixas (figura 2b).

A resposta dos réximes de lume, en cada posición, á variabilidade interanual do clima varía de maneira consistente cun conxunto de hipóteses empregadas comunmente acerca da relativa importancia

² Stephenson, 1998.



da dispoñibilidade de combustible fronte á inflamabilidade nos diversos tipos de vexetación. Na súa forma máis sinxela, estas hipóteses poden resumirse da seguinte maneira: (1) a dispoñibilidade de combustible convértese nun factor limitante da actividade dos lumes cando decrecen tanto a dispoñibilidade de humidade como a biomasa; (2) a inflamabilidade do combustible convértese nun factor limitante cando crecen a humidade media e a biomasa³. Estas hipóteses teñen un sentido intuitivo: as condicións húmidas que promoven unha maior biomasa tenden, de media, a reducir a inflamabilidade do combustible, mentres que as condicións secas que promoven escasa biomasa implican alta inflamabilidade na maioría dos anos.

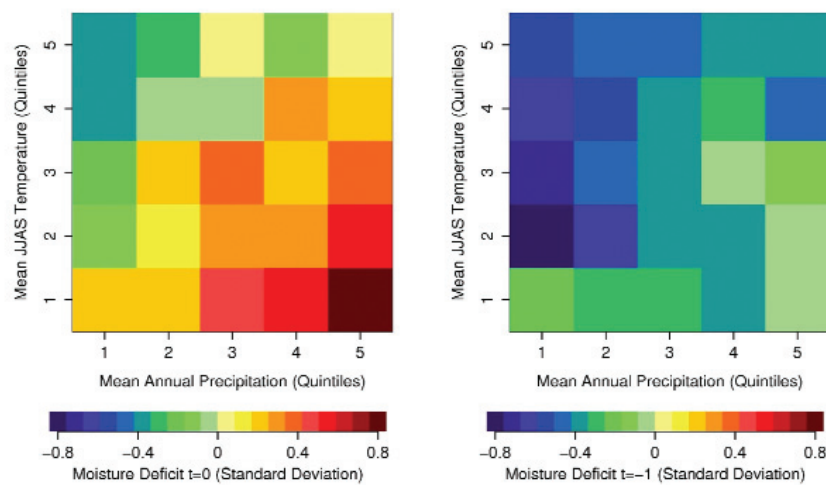


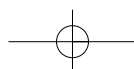
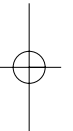
Figura 3.- Desviacións das condicións por termo medio de seca no ano do lume (á esquerda) e un ano antes, para máis de 8.000 lumes no oeste dos EEUU. As condicións de seca están representadas mediante os déficits da humidade acumulada e normalizada nun ano hidrolóxico, mediadas para os lumes en rexións cuxas precipitación media (a longo prazo) anual e temperatura media (a longo prazo) de verán corresponden aos quintís da precipitación e temperatura de verán do oeste dos EEUU. Os déficits normalizados de humidade están mostrados como desviacións estándar da media.

Para o noso exemplo do oeste dos EEUU, amosamos un índice de condicións de seca (déficit de humidade) para os lumes naturais grandes (lumes con máis de 200 ha de superficie queimada) durante a estación en que arderon (figura 3a) e no ano anterior a iso (figura 3b), representándoas de novo polas súas medias de precipitación anual e de temperatura de verán a longo prazo⁴. Os déficits de humi-

3 Ver, p. ex., Swetnam e Betancourt, 1998; Veblen e outros, 2000; Westeling e outros, 2003; Westeling e outros, 2006.

4 O índice de condicións de seca utilizado aquí defínese como o déficit anual de humidade, mediado, normalizado e acumulativo. O déficit de humidade é a diferenza entre a humidade que podería evaporarse desde os solos e a vexetación baseada na temperatura observada (a evapotranspiración potencial) e a evaporación real limitada pola humidade dispoñible (evapotranspiración real). É un indicador máis fiable da tensión de seca nas plantas que outras moitas medidas hidrolóxicas, e incorpora de forma clara os equilibrios entre temperatura e precipitación que determinan a humidade dispoñible para as plantas (ver Stephenson, 1998).

Utilizamos os déficits de humidade acumulativos ao ano hidrolóxico (de outubro a setembro) para representar a tensión de seca tamén acumulativa durante a estación do lume, que é usualmente o verán na rexión en estudo. Para boa parte do oeste dos EEUU a cantidade principal de precipitación cae en outono, inverno e primavera, na vez de en verán, de forma que o ano hidrolóxico, que comeza en outubro, é o adecuado para capturar os efectos das variacións na subministración de auga dese ano. Ao normalizar o déficit de humidade obtemos unha medida das desviacións das condicións medias que pode ser comparada dunhas zonas a outras.



dade media no momento do descubrimento de lumes intensos son máis intensos nas localidades frías e húmidas con tipos de vexetación principalmente bosques e zonas arboradas (figura 3a). Isto é, as localidades coa maior dispoñibilidade de humidade media e maior biomasa teñen a maior cantidade de lumes cando as situacións son moito máis secas do normal. Isto é coherente coa hipótese de que a inflamabilidade do combustible é o factor máis importante que determina a variabilidade interanual do risco de lume nesas zonas.

Pola contra, os déficits de humidade eran algo máis reducidos do normal no momento do descubrimento do lume nas localidades máis cálidas e secas que estaban recubertas principalmente de vexetación arbustiva. Isto indica que os lumes nas localidades máis quentes e secas tenden a ocorrer en anos relativamente húmidos. A condicións húmidas nesas zonas estimulan o crecemento de herbas e malas herbas que axiña secan no moi quente verán da estación seca típica delas⁵, proporcionando unha carga de combustibles finos que poden promover a ignición e a propagación de lumes de grande amplitude espacial. Este patrón concorda coa hipótese de que a dispoñibilidade de combustibles finos é o factor que limita o risco nas zonas áridas con menos biomasa⁶.

Os límites de humidade no ano anterior ao incendio (figura 3b) indican unha humidade maior que nas condicións normais para unha gran parte dos EEUU, particularmente para aquelas áreas con menor precipitación anual, que son, esencialmente, zonas herbáceas e arbustivas. De novo, a tendencia dos lumes a seguir a anos húmidos concorda coa idea de que a variabilidade inducida polo clima sobre a dispoñibilidade de combustible é a que controla o risco de grandes lumes nas zonas de menos biomasa e máis aridez⁷. Debemos sinalar que as rexións coas condicións máis húmidas por termo medio o ano do incendio (esquina superior esquerda da figura 3a) non mostran un sinal de humidade tan forte un ano anterior ao lume como o fan as rexións que son algo máis frías (a parte superior esquerda fronte á parte central esquerda da figura 3b). Isto pode ter que ver cos efectos da temperatura de verán sobre o tempo que necesita a vexetación para secar o suficiente para poder arder. Os combustibles fósiles finos que creceron en zonas cálidas son máis susceptibles de arder o mesmo ano, mentres que en zonas máis frías pode haber un equilibrio entre os efectos da humidade sobre a dispoñibilidade e a inflamabilidade, o que resultaría en espazos de tempo máis amplos entre o crecemento, o proceso de secado e o incendio da vexetación.

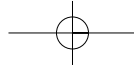
Debemos sinalar tamén que o cambio medio da humidade no ano anterior ao incendio nas áreas de bosque ten un efecto desprezable (figura 3b), implicando que os efectos da humidade sobre a produción de combustible non son importantes nesas rexións en escalas de tempo interanuais. A maior cantidade de biomasa dispoñible nesas áreas de bosque (onde a canopia é maior do 60%) implica que o efecto incremental dun ano de crecemento sobre a carga de combustible é desprezable.

Para resumir a discusión realizada ata aquí, os controis climáticos (temperatura e precipitación) sobre o tipo de vexetación (bosque, zonas arboradas, etc.) determinan amplamente a carga de biomasa dunha certa rexión, e a sensibilidade da vexetación nesa zona á variabilidade interanual da humidade dispoñible. Isto, pola súa vez, controla en cada rexión a resposta do réxime de lumes á variabilidade interanual de humidade dispoñible para o crecemento e a humidificación dos combustibles. As

5 Osmond e outros, 1990.

6 Un factor que introduce complicacións é que en zonas cun monzón de verán activo os lumes se inician polos raios secos a principio de verán e se apagan polas chuvias do monzón algo máis tarde durante a estación. Unha maior actividade do lume pódese asociar cun número máis elevado de raios, o que, pola súa vez, pode estar asociado a unha precipitación subseguiente. Neste caso, as condicións húmidas poderían indicar tamén lumes asociados cun monzón activo, máis ben que cun inverno húmido inmediatamente precedente á estación dos lumes.

7 Neste caso, asociacións entre as ignicións por raios e a precipitación non representan un papel debido ao longo intervalo de avance (un ano) entre a humidade por riba da media e a aparición dun gran lume.



reas ms frías e húmidas tenen maior biomasa e al os lumes tenden a ocorrer nos anos secos. As áreas ms cálidas e secas tenden a ter menos biomasa e al os lumes tenden a ocorrer tras un ou ms anos húmidos.

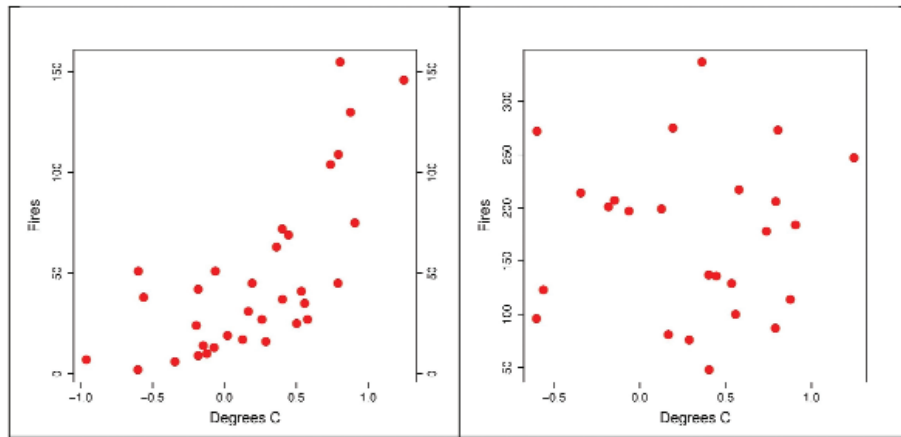


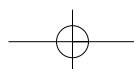
Figura 4.- a) Representación en dispersión do número anual de lumes forestais maiores de 200 ha, fronte á temperatura media de primavera e verán no oeste dos EEUU (oficinas do servizo forestal, o servizo de parques e o de asuntos indios sobre os anos 1972-2004). Indicanse só os lumes producidos unicamente en áreas de bosque. b) Representación en dispersión do número anual de lumes non forestais maiores de 200 ha, fronte á temperatura media de primavera e verán no oeste dos EEUU (oficinas do servizo forestal, o servizo de parques, o de asuntos indios e a oficina de xestión do solo, sobre os anos 1980-2004). Indicanse só os lumes producidos unicamente en áreas carentes de bosque.

Unha consecuencia importante, desde o punto de vista do cambio global, desta variabilidade da resposta do réxime de lume ao clima  que os lumes naturais son moito ms sensibles  variabilidade da temperatura nunhas rexions que noutras. No oeste dos EEUU as zonas frías, húmidas, boscosas, tenden a localizarse en posicións altas e de maior latitude (figura 1a) onde a neve pode representar un papel importante  hora de determinar a disponibilidade de humidade estival⁸. Temperaturas de primavera e verán maiores do normal tenen nesos bosque un impacto dramático sobre os lumes naturais, cun incremento altamente non lineal no número de lumes grandes por riba dun certo limiar de temperaturas (figura 4a). Un estudo recente de Westeling e outros (2006) concluiu que este incremento é debido a un desxeo de primavera ms temperán e unha estación seca de verán ms longa nos anos clidos⁹. Encontramos que os anos cunha chegada temperá da primavera corresponden  maioría dos lumes naturais no oeste dos EEUU (56% dos lumes forestais e 72% da superficie queimada, por contraposición co 11% dos lumes e o 4% da superficie nos anos de primaveras serodias). Este efecto do tempo da chegada da primavera encontrouse especialmente sinalado nos bosques de altas latitudes e medias elevacións (1.680 a 2.590 m) das Rochosas do norte¹⁰, o que corresponde ao 60% do incremento dos incendios no oeste dos EEUU desde 1970 e os primeiros anos dos 80. Os bosques de alturas ms elevadas da mesma rexion xeral foron illados deses efectos ata certo punto pola humidade disponible, mentres que elevacións menores tenen unha estación seca normal ms longa de media e, consecuentemente, son menos sensibles aos cambios na chegada da primavera.

8 Sheffield e outros, 2004.

9 Westeling e outros, 2006.

10 Nrdico desde un punto de vista centrado nos EEUU. As Rochosas canadenses están ms ao norte.



Pola contra, o número de incendios grandes nas zonas arbustivas e herbáceas do oeste dos EEUU non ten correlación significativa coas temperaturas medias de primavera e verán (figura 4b). No oeste dos EEUU estes tipos de vexetación tenden a ocorrer en elevacións menores e máis baixas latitudes e consecuentemente non teñen tanta neve nin auga no solo durante tanto tempo coma os bosques das Rochosas do norte ou os bosques de maiores elevacións da Serra Nevada ou as Rochosas de Colorado. O efecto incremental de temperaturas maiores sobre a duración e intensidade das secas de verán é menos pronunciado en áreas con pouca ou ningunha neve sobre o solo durante a maior parte do ano e, como xa mencionamos, os lumes naturais nesos tipos de vexetación tenden a estar máis limitados pola dispoñibilidade de combustible que pola inflamabilidade.

Dada a importancia da dispoñibilidade de combustible, a humidade dispoñible durante a estación de crecemento é unha consideración importante pero probablemente menos afectada polas temperaturas de primavera e verán que pola variabilidade da precipitación.

3. As interaccións entre o clima, a vexetación e os lumes naturais fóra do oeste dos EEUU

Mentres os exemplos presentados arriba se derivaron para o oeste dos EEUU, as relacións entre clima, vexetación e lumes que describen non son únicos para esa rexión. As influencias sobre os lumes en todos os lugares implican equilibrios entre a dispoñibilidade de combustible e a inflamabilidade deste, coas características da vexetación local e o clima determinando a importancia relativa de abundancia de combustible fronte á inflamabilidade en escalas temporais diferentes. Aquí discutimos brevemente algúns exemplos adicionais a partir das publicacións sobre lumes nos bosques boreais e tropicais.

O lume nos bosques boreais de Canadá está asociado con anomalías positivas de temperatura e condicións secas causadas por sistemas persistentes de altas presións na alta atmosfera¹¹. De maneira non moi diferente do que ocorre nas Rochosas do norte, os bosques boreais de Canadá son outro exemplo de réximes de lume limitados pola inflamabilidade e alta biomasa, onde a seca e as temperaturas altas incrementan o risco de lumes grandes, pero a humidade previa non ten un impacto significativo sobre a dispoñibilidade de combustible en escalas temporais e máis curtas. Os impactos do desexo temperán sobre os lumes dos bosques boreais do Canadá non foron documentados.

Goldhammer e Price (1998) sinalan que a temperatura “non é necesariamente un factor crítico que pode influenciar os lumes de bosques e sabanas nun contorno tropical, que está caracterizado por altas temperaturas diúrnas de calquera forma”. Anos recentes moi activos respecto aos lumes nos bosques tropicais do sueste asiático, México e a bacía amazónica téñense asociado coas condicións de El Niño no océano Pacífico, que trae unha precipitación diminuída a esas tres rexións¹². De forma similar aos bosques boreais e aos bosques de montaña do oeste dos EEUU, a inflamabilidade do combustible é un factor importante nos riscos de lume nos bosques tropicais. Pero, de xeito diferente ao que ocorre nas altas latitudes, as anomalías de temperatura non son importantes. Mentres que a redución de precipitación pode representar un papel no incremento dos riscos de incendio dos bosques tropicais, boreais e das montañas do oeste dos EEUU, os seus efectos son probablemente máis inmediatos sobre os bosques tropicais debido ás altas temperaturas destes.

11 Ver Girardin e outros (en prensa) para un resumo que cita a Newark, 1975; Johnson e Wowchuk, 1993; Brasie e Johnson, 1995; Skinner e outros, 1999 e 2002; ver tamén Flannigan e Harrington, 1988.

12 Roman-Cuesta, Gracia e Retana, 2002; Schimel e Baker, 2002; Nepstad e outros, 2004.

4. Implicacións do cambio climático

É verosímil que os efectos directos do cambio climático antropoxénico sobre os lumes naturais varíen considerablemente de acordo cos tipos actuais de vexetación e de se a actividade do lume depende realmente máis da inflamabilidade ou da dispoñibilidade do combustible. A longo prazo, o cambio climático ha producir tamén unha nova distribución espacial dos tipos de vexetación, implicando que as transicións a diferentes réximes de lume ocorrerán en zonas con cambios substanciais de vexetación.

O cambio climático producirá temperaturas máis altas e secas máis intensas e frecuentes. Naqueles bosques onde o lume é moi sensible ás variacións de temperatura, o resultado máis verosímil é un incremento da frecuencia de etapas do lume moi activas e o incremento do número de lumes grandes.

Os cambios na precipitación, combinados con temperaturas en aumento, deben ter efectos distintos nos lumes de ecosistemas diferentes. Nos bosques tropicais, por exemplo, unha precipitación en diminución produciría un incremento nos lumes. Ao revés, unhas temperaturas máis altas e unha precipitación en diminución poderían resultar nunha actividade diminuída do lume nalgúns réximes secos, nos que este está limitado pola dispoñibilidade de combustible, posto que a redución de humidade dispoñible para soportar o crecemento de combustibles finos leva a menos biomasa e unha cuberta daqueles menos densa. En ambos os casos, incrementos en precipitación poden vir compensados por aumentos nas demandas evaporativas debidas a temperaturas máis altas.

A dirección xeral e os patróns espaciais da precipitación baixo diversos escenarios de cambio climático varían considerablemente dunhas a outras simulacións e modelos xerais de circulación. Nos ecosistemas onde as influencias climáticas dos riscos do lume están dominadas polos efectos das precipitacións, isto implica aínda unha maior incerteza verbo dos impactos do cambio climático sobre o lume nesas rexións.

5. Implicacións sobre as políticas

Necesítanse urxentemente políticas efectivas para a mitigación do cambio climático a escalas locais, nacionais e internacionais, e estas políticas axudarían a limitar a extensión e a velocidade dos cambios na vexetación e os lumes naturais. Non obstante, mesmo os escenarios climáticos con reducións rápidas das emisións globais de gases traza proxectan incrementos na temperatura substancialmente maiores que os observados nas recentes décadas e que foron asociados a incrementos substanciais da actividade do lume nalgúns ecosistemas. As estratexias para a adaptación a un mundo máis quente necesitan considerar os impactos do cambio climático sobre os lumes naturais.

Hoxe en día as estratexias primarias para xestionar os riscos de lumes naturais poden repartirse en tres categorías: a supresión do lume, a prevención e o incremento da resistencia a el. A supresión implica a extinción activa dos lumes (bombeiros). As medidas de prevención buscan reducir o número de lumes grandes e os seus impactos económicos e ecolóxicos mediante, en primeiro lugar, a xestión da vexetación (redución mecánica da densidade de madeira, lumes controlados e devasas) e a redución da ignición (controis sobre queimas, peche de parques, avisos e campañas de educación, etc.). A resistencia ao lume refírese a medidas deseñadas para reducir o impacto dos lumes naturais sobre as estruturas, e a deseñar estruturas para xestionar os lumes naturais de maneira segura e eficaz. Estas medidas inclúen ordenanzas de zonificación para reducir a extensión de desenvolvemento do lume en áreas susceptibles, e regulacións para aumentar a habilidade das estruturas para resistir o lume (materiais resistentes, barreiras térmicas, perímetros nus, paisaxismo resistente ao lume, etc.).

As nacións desenvolvidas dedican recursos considerables á supresión dos lumes naturais, e as tecnoloxías empregadas evolucionaron na súa sofisticación ao longo do século pasado. Non obstante, estas tecnoloxías de supresión deixan aínda de ser efectivas baixo as condicións climáticas que promoven a extensión rápida dos lumes naturais. Mentres carezamos de desenvolvementos tecnolóxicos revolucionarios, ¿canto ten de verosímil que investimentos adicionais na tecnoloxía de supresión poidan reducir os riscos futuros do lume nun mundo máis quente? Aínda máis, supoñendo que puidesen empregarse máis eficientemente novas tecnoloxías para a supresión de incendios, as consecuencias ecolóxicas desta clase de intervencións poderían ter tamén efectos indesexables, reducindo a actividade do lume a curto prazo pero incrementando os riscos a longo prazo ao contribuíren ao aumento dos combustibles en réximes limitados noutras circunstancias. Isto converteuse nun problema nos bosques de piñeiro ponderosa na Serra Nevada e no sudoeste dos EEUU debido á supresión de incendios e os usos do solo (tales como o pastoreo do gando) ao longo do século xx.

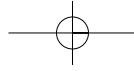
Por outra banda, se os lumes puidesen ser suprimidos con efectividade, isto podería ser unha acción desexable nos ecosistemas de bosque naturalmente denso, onde os períodos naturais de retorno do lume eran a norma previa, se o resultado do cambio climático fose que eses bosques non se rexerasen tras os lumes e que unha parte substancial do carbono almacenado neles fose liberado cara á atmosfera.

Entre as estratexias de prevención, a xestión dos combustibles é verosímil que continúe sendo unha ferramenta importante para construír elementos de protección en torno ás comunidades con risco de lumes naturais, e para reducir a severidade dos lumes naturais nas zonas onde os bosques acumularon biomasa debido á supresión do lume e aos cambios nos usos do solo. Aclarar bosques que están, de forma natural, densamente vexetados pode, non obstante, non reducir os riscos de lumes naturais. Na bacía amazónica, por exemplo, o rareo dos bosques seca o resto da vexetación e incrementa o risco de lumes e da conversión dos bosques.

As estratexias de resistencia ao lume poderían contribuír a unha diferenza substancial no impacto económico dos lumes naturais nun mundo máis cálido ao reducir as perdas de capital asociadas con lumes naturais catastróficos. Ao reducir a necesidade de protexer activamente estruturas durante un lume natural, estas medidas podían liberar recursos dedicados á supresión, recursos que poderían ser empregados mellor en protexer zonas e sistemas con valores culturais e de conservación natural. Todas estas medidas (supresión, prevención e aumento da resistencia ao lume) téñense destacado en diversos graos arredor do mundo. En sitios como o oeste dos EEUU, onde hai unha interface crecente e substancial entre as zonas naturais e urbanas en áreas susceptibles de incendios, as estratexias de aumento de resistencia ao lume son as que presentan a mellor promesa de reducir o impacto económico dos lumes naturais nun clima cambiado, pero teñen unicamente unha aplicabilidade limitada para preservar os valores do ecosistemas e dos recursos naturais.

6. Conclusión

Os efectos do cambio climático sobre os incendios dependerán de como os climas pasados e presentes se combinaron coas accións humanas para formar os ecosistemas actuais. O clima controla a distribución espacial de vexetación, e a interacción desa vexetación e a variabilidade climática determinan en gran medida a dispoñibilidade e inflamabilidade da vexetación viva e morta que alimenta os lumes naturais. Nos ecosistemas de bosques húmidos, onde a inflamabilidade é o factor limitante á hora de determinar os riscos de lume, os aumentos antropoxénicos de temperatura levarán a un incremento da actividade do lume.



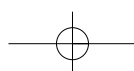
Nos ecosistemas secos, onde os riscos do lume están limitados pola dispoñibilidade de combustible, unhas temperaturas máis quentes non necesariamente producirán un incremento do risco de maneira significativa. Temperaturas máis cálidas e unha maior evaporación poden, nalgúns rexións, reducir os riscos de lume se o seu resultado é un crecemento reducido de herbas e outra vexetación de superficie que proporciona a cuberta continua de combustible necesaria para que os lumes grandes se estendan. O efecto do cambio climático sobre a precipitación é tamén unha das maiores fontes de incerteza para os réximes de lume limitados pola dispoñibilidade de combustible. Non obstante, nalgúns zonas eses son os mesmos ecosistemas onde a supresión de incendios e os usos do solo que reducen a actividade do lume a curto prazo levaron a cargas de combustible incrementadas hoxe, ao se teren convertido as zonas arboradas abertas en bosques densos, incrementando no futuro inmediato o risco de lumes grandes e difíciles de controlar con impactos ecolóxicos severos. Así, o impacto a longo prazo de diversas actividades humanas foi incrementar os riscos de incendios naturais grandes en moitas zonas de maneira que non poden ser facilmente invertidas.

Incluso se se adoptase agora unha acción temperá para reducir as futuras emisións de gases traza á atmosfera, a herdanza das concentracións atmosféricas crecentes destes gases significa que o risco de grandes incendios se manterá alto e se continuará incrementando en moitos bosques. Consecuentemente, as sociedades terán que adaptarse.

Dado que a escala de tempo para o cambio climático se estende ao longo de décadas e séculos cara ao futuro, é importante considerar estratexias de desenvolvemento que reducen a vulnerabilidade económica das sociedades aos lumes naturais. Colocando menos estruturas nas zonas onde os riscos de lume son altos e crecentes, e tomando medidas para incrementar a habilidade das estruturas para resistir o lume, as perdas de capital debidas ao lume poden ser reducidas.

Bibliografía

- Allen, C.D. et al. Ecological Restoration of Southwestern Ponderosa Pine Ecosystems: A Broad Perspective". *Ecol. Appl.* 12, 1418-1433 (2002).
- Bessie WC, EA Johnson (1995). "The relative importance of fuels and weather on fire behavior in subalpine forests in the southern Canadian Rockies". *Ecology* 26, 747-762.
- Cochrane (2003) "Fire science for rainforests", *Nature* 421:913-919.
- M.D. Dettinger (2006) "A Component-Resampling Approach For Estimating Probability Distributions From Small Forecast Ensembles," *Climatic Change*.
- M.D. Flannigan and J.B. Harrington (1988). "A Study of the Relation of Meteorological Variables to Monthly Provincial Area Burned by Wildfire in Canada (1953-80)", *Journal of Applied Meteorology*, 27: 441-452.
- N.P. Gillett, A.J. Weaver, F.W. Zwiers, M.D. Flannigan (2004). "Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires", *Geophysical Research Letters* 31.
- M.P. Girardin, Y. Bergeron, J.C. Tardif, S. Gauthier, M.D. Flannigan, M. Mudelsee (2007). "A 229 year dendroclimatic-inferred record of forest fire activity for the Boreal Shield of Canada", *International Journal of Wildland Fire*, in press.



- Goldammer, J.G. and Price C. "Potential impacts of climate change on fire regimes in the tropics based on MAGICC and a GISS gcm-derived lightning model". *Climatic Change* 39 273-296 (1998).
- Johnson E.A., Wowchuck D.R. (1993) "Wildfires in the southern Canadian Rockies and their relationship to mid-tropospheric anomalies". *Canadian Journal of Forest Research*, 23, 1213-1222.
- W.F. Laurance, et al (2002). "Ecosystem Decay of Amazonian Forest Fragments: a 22-Year Investigation". *Conservation Biology* 16 (3), 605-618.
- K.G., Logan K.A., Martell D.L., Skinner WR (2003). "Large forest fires in Canada, 1959-1997". *Journal of Geophysical Research* (D Atmos.) 108, 8149.
- Mitchell, K.E. et al (2004), The multi-institution North American Land Data Assimilation System (NLDAS): Utilizing multiple GCIIP products and partners in a continental distributed hydrological modeling system, *J. Geophys. Res.*, 109, D07S90.
- D. Nepstad et al (2004). "Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis". *Global change biology* 10(5):704-717. 2004
- Newark M.J. (1975). "The relationship between forest fire occurrence and 500 mb longwave ridging". *Atmosphere* 13, 26-33.
- Osmond, C.B., L. F. Pitelka, and G. M. Hidy (Eds.), (1990). *Plant Biology of the Basin and Range*. Ecological Studies 80, Springer-Verlag, 375 pp.
- Roman-Cuesta, Gracia and Retana (2002) *Ecological Applications*, vol 13, no 4, pp. 1177-1192.
- Schimel, D. & Baker, D. "The wildfire factor". *Nature* 420, 29-30 (2002).
- J. Sheffield, G. Goteti, F. H. Wen, E. F. Wood, *J. Geophys. Res.* 109, D24108 (2004).
- Skinner W.R., Stocks B.J., Martell D.L., Bonsal B, Shabbar A (1999). "The association between circulation anomalies in the mid-troposphere and the area burned by wildland fire in Canada". *Theoretical and Applied Climatology*, 63, 89-105.
- Skinner W.R., Flannigan M.D., Stocks B.J., Martell D.L., Wotton B.W., Todd J.B., Mason J.A., Logan K.A., Bosch E.M. (2002). "A 500-hPa synoptic wildland fire climatology for large Canadian forest fires, 1959-1996". *Theoretical and Applied Climatology*, 71, 157-169.
- Amber J. Soja et al (2007) *Climate-induced boreal forest change: Predictions versus current observations*, *Global and Planetary Change*, in press.
- Stephenson, N.L. Climatic control of vegetation distribution: the role of the water balance. *Am. Nat.* 135, 649-70 (1990).
- Stephenson, N.L. Actual evapotranspiration and deficit: biologically meaningful correlates of vegetation distribution across spatial scales. *J. Biogeog.* 25, 855-870 (1998).
- Stocks, B.J.; Mason, J.A.; Todd, J.B.; Bosch, E.M.; Wotton, B.M.; Amiro, B.D.; Flannigan, M.D.; Hirsch, K.G.; Logan, K.A.; Martell, D.L.; Skinner, W.R. 2002. "Large forest fires in Canada", 1959-1997. *JGR - Atmospheres*. 108(D1) art. no. 8149.
- Swetnam, T.W. and J.L. Betancourt, (1998). "Mesoscale Disturbance and Ecological Response to Decadal Climatic Variability in the American Southwest". *Journal of Climate*, 11, 3128-3147.
- Veblen T.T, Kitzberger T., Donnegan J., (2000). "Climatic and human influences on fire regimes in ponderosa pine forests in the Colorado Front Range". *Ecological Applications*. 10, 1178-1195.
- Westerling, A.L. and B.P. Bryant (2007). "Climate Change and Wildfire in California", *Climatic Change*, in press.
- Westerling, A.L., H.G. Hidalgo, D.R. Cayan, T.W. Swetnam (2006). "Warming and Earlier Spring Increases Western U.S. Forest Wildfire Activity". *Science*, 313: 940-943.
- Westerling, A.L., T.J. Brown, A. Gershunov, D.R. Cayan and M.D. Dettinger, (2003). "Climate and Wildfire in the Western United States," *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84(5) 595-604.