

Cartografía de áreas quemadas en Galicia no século XXI: presentación do produto e aplicación web mapping

Cartography of area burned in Galicia in the 21st century: presentation of the product and webmapping application

ADRIÁN REGOS^{1,2}

*¹Departamento de Zooloxía, Xenética e Antropoloxía Física,
Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, España.*

*²Grupo ECOCHANGE, Centro de Investigación em Biodiversidade e Recursos Genéticos da
Universidade do Porto, CIBIO/InBIO, Vairão, Portugal.*

(Recibido: 03/04/2018; Aceptado 07/05/2018; Publicado on-line: 19/07/2018)

Resumo

O obxectivo deste traballo é obter unha cartografía actualizada das áreas afectadas por incendios forestais en Galicia (período 2001-2017), así como facilitar a súa dispoñibilidade a través dunha aplicación web mapping. A información de base é o produto de áreas quemadas do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), dos satélites Terra e Aqua da NASA. A partir desta información xeráronse os seguintes subprodutos: 1) área quemada anual, 2) total quemado para o período 2001-2017, 3) recorrencia de incendios e 4) tempo transcorrido dende o último incendio; todos eles dispoñibles a 500 m de resolución, en formato ráster e vectorial. A área quemada anual foi comparada coas estatísticas oficiais de incendios dispoñibles a nivel provincial. Os resultados amosan unha alta correlación entre a área quemada estimada a partir do produto MODIS e a obtida a partir das estatísticas oficiais (coef. de Pearson = 0.92). Porén, o produto MODIS tende a sobreestimar a área oficialmente quemada (media = 2.76%), aínda que isto depende fortemente do ano e da provincia (desv. estándar = ±103%). A pesar destas limitacións, esta cartografía constitúe unha fonte moi valiosa de información espacial con múltiples aplicacións no eido da conservación da biodiversidade, da xestión forestal e do territorio.

Palabras chave: Incendios forestais, lumes, cartografía, teledetección, sistemas de información xeográfica, Galicia.

Abstract

The main objective of this work is to produce an updated cartography of areas affected by wildfires in Galicia (between 2001 and 2017), as well as to ensure potential users free accessibility to this spatial dataset through a webmapping application. The baseline information is the Burned Area product derived from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) instruments, on-board NASA's Terra and Aqua satellites. From this information, we generated the following secondary products: 1) annual burned area, 2) total area burned between 2001 and 2017, 3) fire recurrence and 4) time since last fire; at 500-m resolution, in raster and vectorial format. The annual burned area was compared with official fire statistics at the province level from Spanish Government. The results showed a high statistical correlation between the burned area estimated from MODIS product and official fire statistics (Pearson coef. = 0.92). However, MODIS product tends to overestimate the official burned area (mean = 2.76%), but in more or less extent depending on the year and province (SD = ±103%). Despite these limitations, these products constitute a key source of freely-available spatial information on wildfires in Galicia, with a wide range of potential applications for biodiversity conservation, forest management and land planning.

Keywords: Forest fires, wildfires, mapping, remote sensing, geographical information systems, Galicia.

INTRODUCCIÓN

Os incendios forestais teñen en Galicia un enorme impacto tanto a nivel ecolóxico como económico sobre a paisaxe, a biodiversidade, a calidade das augas e do solo, as actividades de ocio, a explotación madeireira, etc.; ademais dun crecente risco para a vida das persoas e os seus bens (CHAS AMIL, 2007; VÁZQUEZ VÁZQUEZ *et al.*, 2014). É obvio que a dispoñibilidade de información xeográfica que permita a xeoreferenciación, delimitación e cuantificación precisa das áreas afectadas polos incendios forestais resulta de vital importancia tanto para súa xestión como para a avaliación posterior dos seus impactos (CASTELLNOU *et al.*, 2009). A pesar da súa relevancia, a día de hoxe Galicia non dispón dunha cartografía de áreas queimadas actualizada e de libre acceso, a diferenza do que ocorre noutras comunidades autónomas (DÍAZ-DELGADO & PONS, 2003; GUTIÉRREZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2015). Dende finais da década dos 90 ata aproximadamente o ano 2009, o SITGA (Sistema de Información Territorial de Galicia) elaborou unha cartografía histórica de incendios forestais que abrangue o período 1997–2007 (DÍAZ-MANSO *et al.*, 1999; DORREGO & ÁLVAREZ, 2009). Desafortunadamente, esta cartografía non está accesible polo que a necesidade de información espacialmente explícita sobre as áreas afectadas por incendios forestais, así como outras variables ambientais de interese ecolóxico que dela se poden derivar, segue moi vixente en Galicia.

Ante esta necesidade de información espacial, o obxectivo deste traballo consiste en xerar unha cartografía de áreas afectadas polos incendios forestais ocorridos en Galicia neste século, concretamente dende o ano 2001 a actualidade, a partir do produto de áreas queimadas mensuais do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) (NASA LP DAAC, 2017). A partir desta información, co obxecto de fornecer a comunidade investigadora galega cun conxunto de variables ambientais de alto interese ecolóxico, elaboramos os seguintes subprodutos: 1) área queimada anual, 2) total de área queimada para o período 2001-2017, 3) recorrencia dos lumes e 4) tempo transcorrido dende o último incendio. Para a visualización e

dispoñibilidade desta información creouse unha aplicación web de mapas.

MATERIAL E MÉTODOS

Réxime de incendios en Galicia

Galicia, a pesares de representar só o 6% do territorio do estado español, veuse afectada por máis do 40% dos incendios forestais ocorridos en España durante o período 2001-2010 (CUBO *et al.*, 2012). Un 99% destes incendios son atribuídos directamente a accións antrópicas, sendo maioritariamente deliberados (75%) (CHAS-AMIL *et al.*, 2010). De acordo coas estatísticas históricas de incendios forestais do ministerio, entre 1968 e 2016 en Galicia ocorreron máis de 256.750 incendios, afectando a máis de 1.931.800 ha (o que equivale a un 63% do territorio). En termos xerais, as provincias de Ourense e Pontevedra son as que se viron máis fortemente afectadas polos incendios forestais (Fig.1). Destacan os anos 1978, 1981 e 1985 onde arderon máis de 100.000 ha, sendo especialmente dramático o ano 1989 no que arderon 199.152 ha (Fig. 1). A partir do ano 1990 creouse o Servizo de Prevención e Defensa Contra Incendios Forestais, con competencia e responsabilidade exclusiva por parte da Xunta de Galicia, iniciando unha colaboración co Ministerio de Defensa en labores de extinción. Tamén se creou o servizo de aviso de incendios forestais a través do número gratuito 085 e se destinaron subvencións a cuadrillas privadas para a prevención e extinción (DANS DEL VALLE *et al.*, 2015). Como consecuencia, o tamaño medio de área queimada diminuíu das 21,3 ha do período 1968-1989 as 3,2 do período 1990-2017, o que tivo como consecuencia un claro descenso da área queimada, a pesar do maior número de incendios rexistrados (Fig. 1).

Produto de áreas queimadas de MODIS

A información de base é o produto de áreas queimadas do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) que viaxa a bordo dos satélites Terra e Aqua. Este produto é elaborado pola NASA (National Aeronautics and Space Administration) e son distribuídos polo LP DAAC (The Land Processes Distributed Active Archive Center). O produto

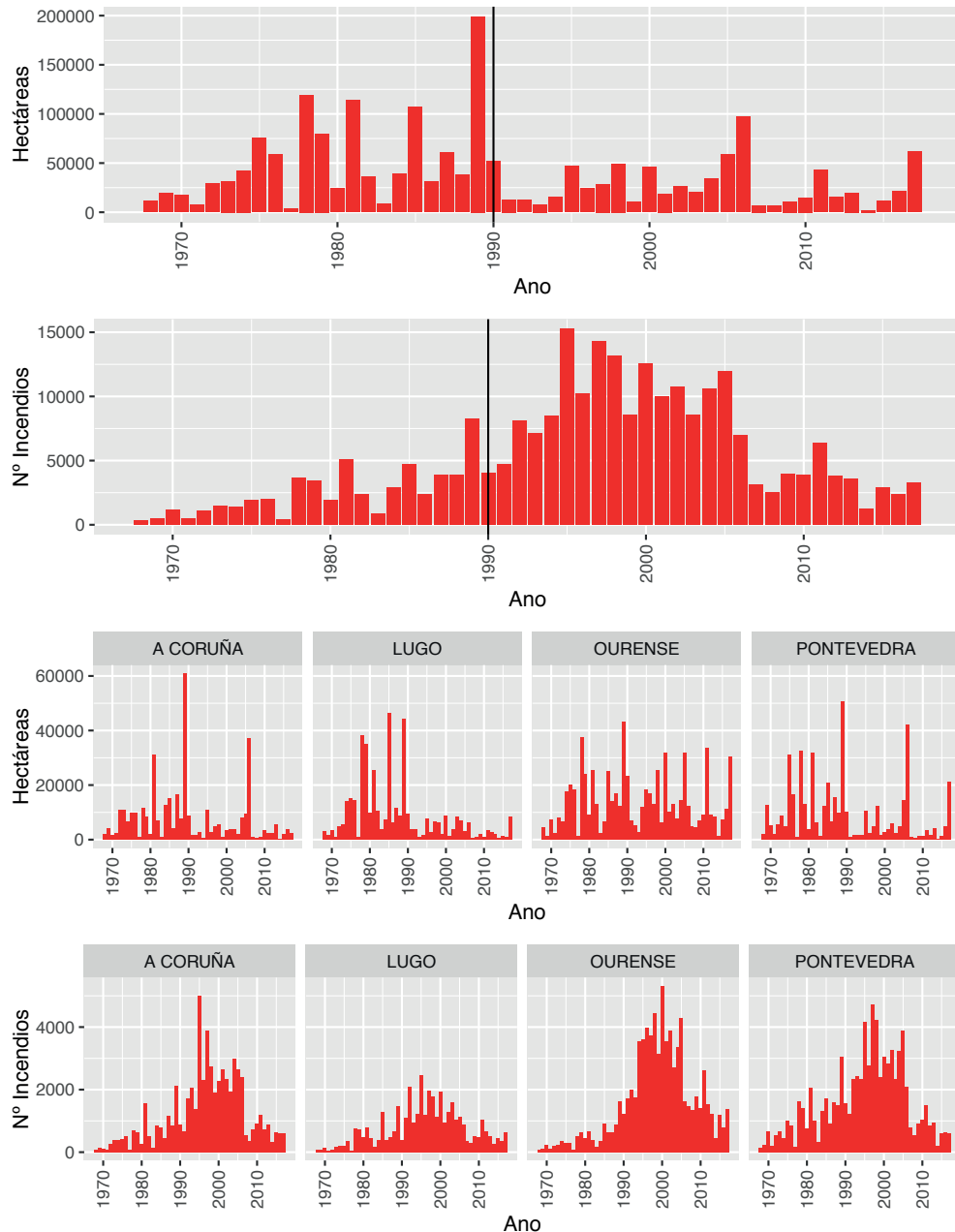


Figura 1. Área quemada (en hectáreas) e número de incendios anualmente ocorridos entre 1968 e 2016 no conxunto de Galicia e en cada unha das súas catro provincias, de acordo coas estatísticas oficiais do Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA).

Figure 1. Annual burned area (in hectares) and number of fires occurred between 1968 and 2016 in Galicia and separately in each province according to the official fires statistics from the Spanish Government.

do sensor MODIS ('MCD64A1') realizase a partir de 8 imaxes diarias de reflectividade, ofrecendo para cada banda unha estimación da reflectividade espectral da superficie terrestre, corrixida atmosféricamente. O produto de áreas quemadas versión 6 é proporcionado a escala global, a aproximadamente 500 m de cela e

contén información mensual da área quemada (NASA LP DAAC, 2017). Este produto foi creado a partir da combinación das imaxes de reflectancia de superficie de MODIS (versión 6) a 500 m de resolución, e as observacións de fogos activos de MODIS a 1 km. En particular, o algoritmo usa un índice de vexetación (IV)

sensible á queima para crear un limiar dinámico que se aplica ás bandas de reflectancia. Os IV derivanse das bandas 5 e 7 da reflectancia superficial infravermella de onda curta de MODIS cunha medida de textura temporal. O algoritmo identifica a data de queima para as celas de 500 m dentro de cada tesela individual do mosaico de imaxes de MODIS (GIGLIO *et al.*, 2009). A data está codificada nunha única capa de datos que indica o día xuliano no que se produciu o incendio, con valores asignados a celas non queimadas e valores especiais adicionais reservados para datos perdidos e celas de auga. A versión 6 deste produto presenta unha significativa mellora na detección de área queimada (menos erros de omisión) respecto á versión anterior (colección 5), incluíndo unha mellor detección de fogos de menor tamaño (GIGLIO *et al.*, 2016).

Obtención de subprodutos e validación

O produto de áreas queimadas mensuais de MODIS ('MCD64A1') foi descargado en local usando o paquete 'MODISsp' do software R. A partir do produto inicial de áreas queimadas mensuais creáronse unha serie de capas para representar espacial e temporalmente as áreas afectadas por incendios forestais en Galicia para o período 2001-2017, así como un conxunto de variables de alto interese ecolóxico derivadas destas capas orixinais:

1) *Área queimada anual*: capas binarias indicando as celas afectadas por incendios para cada ano, dende 2001 ata 2017.

2) *Área queimada total*: capa binaria indicando as celas afectadas por incendios ao longo do período que decorre entre o 2001 e o 2017.

3) *Tempo transcorrido dende o último incendio*: capa ordinal indicando, en anos, o tempo que fai que cada cela foi afectada polo último incendio ao longo do período que decorre entre o 2001 e o 2017.

4) *Recorrecia de incendios*. Capa ordinal indicando o número de veces que cada cela foi afectada por un incendio ao longo do período que decorre entre o 2001 e o 2017.

Para a visualización e dispoñibilidade desta información¹ creouse unha aplicación web a

¹ No posterior uso da información aquí presentada recoméndase citar o presente artigo así coma o produto MODIS (NASA LP DAAC, 2017).

través do ArcGIS Online (<https://arcgis.is/1Orfj4>). Toda a información está dispoñible no sistema de referencia ETRS89 (fuso 29 Norte), coa resolución orixinal (aproximadamente 500 m) en formato ráster e vectorial compatible cos software de SIG máis amplamente utilizados (formato GeoTIFF e shapefile, respectivamente).

Para avaliar a idoneidade destas capas como fonte válida de información para posteriores estudos ambientais ou doutra índole, comparouse a área queimada anual obtida a partir do produto MODIS (NASA LP DAAC, 2017) coa obtida a partir das estatísticas oficiais de incendios forestais do Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) para o período 2001-2017 a nivel provincial (MAPAMA, 2018). Para explorar a relación e proporcionalidade entre os valores anuais das dúas fontes de datos a nivel provincial empregouse o coeficiente de correlación de Pearson. Ademais, calculáronse dous índices para cuantificar a área queimada estimada a partir de MODIS en relación á rexistrada nas estatísticas do MAPAMA para cada ano e provincia:

$$1) \text{ Diferencia (en \%)} = \frac{\text{MODISarea} - \text{MAPAMAarea}}{\text{MAPAMAarea}} \times 100$$

$$2) \text{ Diferencia normalizada} = \frac{\text{MODISarea} - \text{MAPAMAarea}}{\text{MODISarea} + \text{MAPAMAarea}}$$

Sendo *MODISarea* a área queimada estimada polo produto MODIS, e *MAPAMAarea* a obtida a partir das estatísticas do MAPAMA. Os valores da diferenza normalizada van dende -1 (subestimación máxima da área queimada do produto MODIS respecto os datos estatísticos oficiais) ata 1 (sobrestimación máxima da área queimada do produto MODIS). Canto máis próximos están estes valores ao 0 maior será o grado de coherencia entre as estimadas de área queimada do produto MODIS e os datos oficiais do MAPAMA.

Os datos son representados con gráficas de barras a través do paquete 'ggplot2' dispoñible no software R (WICKHAM, 2009).

RESULTADOS E DISCUSIÓN

A comparación entre os datos de área queimada anual a nivel de provincia obtidos a partir

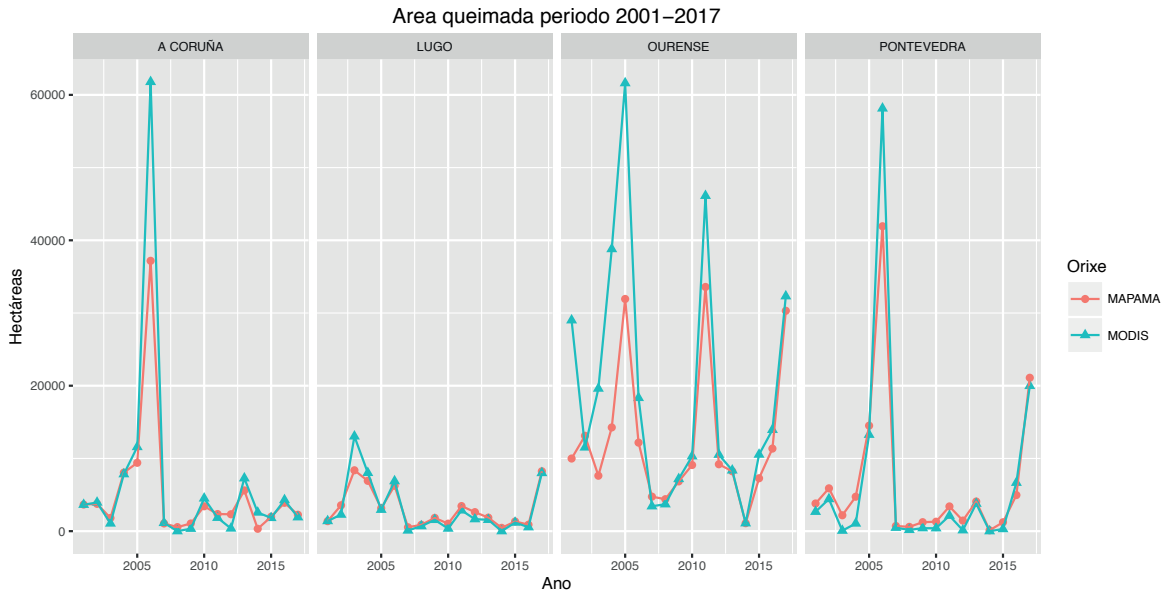


Figura 2. Área quemada (en hectáreas) anualmente entre 2001 e 2017 de acordo cos datos obtidos a partir do produto de MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) e as estatísticas do Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA).

Figure 2. Annual burned area (in hectares) between 2001 and 2017 according to the data obtained from the MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) product and from the official fires statistics reported by the Spanish Government.

do produto MODIS e os calculados a partir das estatísticas oficiais do MAPAMA amosan unha alta correlación estatística (coeficiente de correlación de Pearson = 0.92; Fig. 2). Porén, o produto MODIS sobreestima a área anual ardida (media = $2.76 \pm 103\%$; Fig. 2). Estes resultados son congruentes cos estudos previos realizados noutras áreas xeográficas que demostraron que os produtos MODIS son moi fiables á hora de detectar as áreas quemadas, con só o 1,8% non asociado a áreas quemadas reais (erros de comisión). Pola contra, o número de parches quemados non detectados (erros de omisión) tende a ser relativamente elevado cando se teñen en conta tódolos incendios (36-86%), diminuindo no caso dos parches de área quemada de maior tamaño (0-20% para parches quemados por incendios de máis de 500 ha) (HANTSON et al., 2013). A pesar das melloras da Colección 6 de MODIS en relación a Colección 5, nomeadamente a redución de falsos positivos causados por talas forestais e de falsos negativos causados polas columnas de fume (GIGLIO et al., 2016), a fiabilidade do produto MODIS na estimación da área quemada en Galicia é moi variable, dependendo do ano e provincia

(Fig 3). Esta falla puntual de fiabilidade está fundamentalmente causada pola non detección de incendios que si ocorreron (erros aparentes de omisión), atribuída a ocultación por parte da cuberta arbórea de incendios de superficie; e á resolución nativa de 500 m das bandas do SWIR (infravermello de onda curta) do MODIS, que obviamente determinan o tamaño da área quemada que pode ser detectada (GIGLIO et al., 2009). Estas limitacións resultan especialmente relevantes nas áreas xeográficas tendentes a presentar nubes persistentes, réximes caracterizados por presentar un gran número de incendios de pequeno tamaño, e unha rápida rexeneración pos-incendio da vexetación (GIGLIO et al., 2009, 2016), como é claramente o caso de Galicia (Fig. 1). Sen embargo, a maior diverxencia entre os datos estatísticos oficiais proporcionados pola administración e os estimados a partir do sensor MODIS ten lugar en anos especialmente problemáticos (Fig. 2), caracterizados por varios incendios de gran tamaño, onde precisamente o produto MODIS pode presentar unha maior fiabilidade (HANTSON et al., 2013), e que puideron dificultar significativamente as estimas da administración. Concretamente, nos anos 2005 e

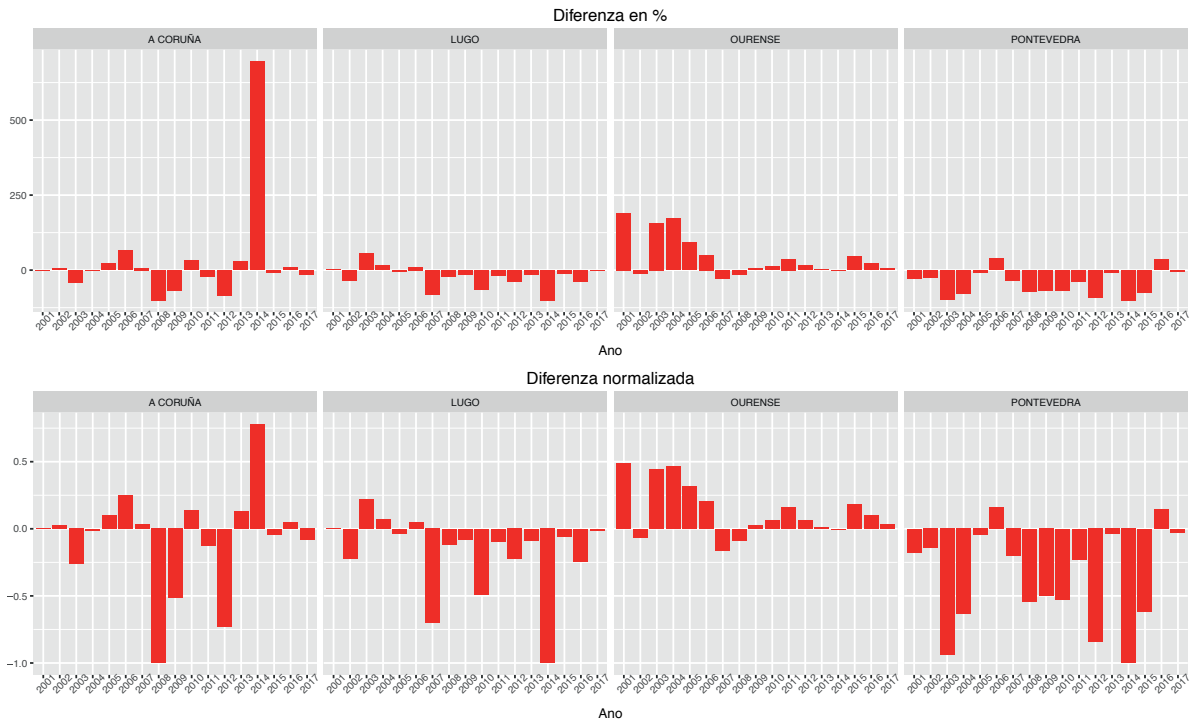


Figura 3. Diferenza (en %) e diferenza normalizada (entre -1 e 1) de área queimada en Galicia estimada a partir do produto MODIS en relación á obtida a partir dos datos oficiais do Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA).

Figure 3. Difference (in %) and normalized difference (between -1 and 1) of area burned in Galicia calculated from the MODIS product in relation to the official fires statistics reported by the Spanish Government.

2006, os datos da administración subestiman claramente a área queimada se a comparamos coa cuantificada a partir do produto MODIS (media = $33.3 \pm 35\%$). É por tanto recomendable contrastar os datos estatísticos oficiais con estimas obtidas a partir de teledetección, que constitúe unha fonte sistemática, estandarizada e fiable de información (DÍAZ-DELGADO & PONS, 2003).

A pesar destas limitacións, os subprodutos aquí presentados (área queimada anual, total, recorrencia e tempo dende o último incendio; Fig 4) constitúen actualmente a única fonte cartográfica dispoñible e libremente accesible para Galicia no tocante aos incendios forestais e a súa distribución, o que supón unha valiosa fonte de información espacial con múltiples aplicacións no eido da conservación da biodiversidade, da xestión forestal e do territorio. Concretamente, tanto a área queimada, como a recorrencia de incendios ou o tempo transcorrido dende o último incendio son variables esenciais amplamente utilizadas para avaliar o efecto dos incendios na paisaxe e a biodiversidade, tanto a escalas

amplas como máis locais (KELLY *et al.*, 2014; REGOS *et al.*, 2015; DAVIS *et al.*, 2016; FERREIRA *et al.*, 2016). Está información pode ser combinada espacialmente con outras capas relativas a cubertas de usos do solo ou tipo de vexetación xerando unha información relevante para estudos de carácter ecolóxico (DE CÁCERES *et al.*, 2013). Estas variables poden tamén proporcionar unha información básica para a caracterización do réxime de incendios (MINNICH & CHOU, 1997; DÍAZ-DELGADO *et al.*, 2004; PRICHARD *et al.*, 2017), así como a calibración de modelos matemáticos – máis ou menos sofisticados – que permitan avaliar e predicir o réxime de incendios (BROTONS *et al.*, 2013; DUANE *et al.*, 2016) e os seus posibles impactos na paisaxe forestal (GILTENA *et al.*, 2016) ou na biodiversidade (REGOS *et al.*, 2016, 2018).

CONCLUSIÓNS

Este traballo presenta un novo produto cartográfico que ofrece actualmente a única

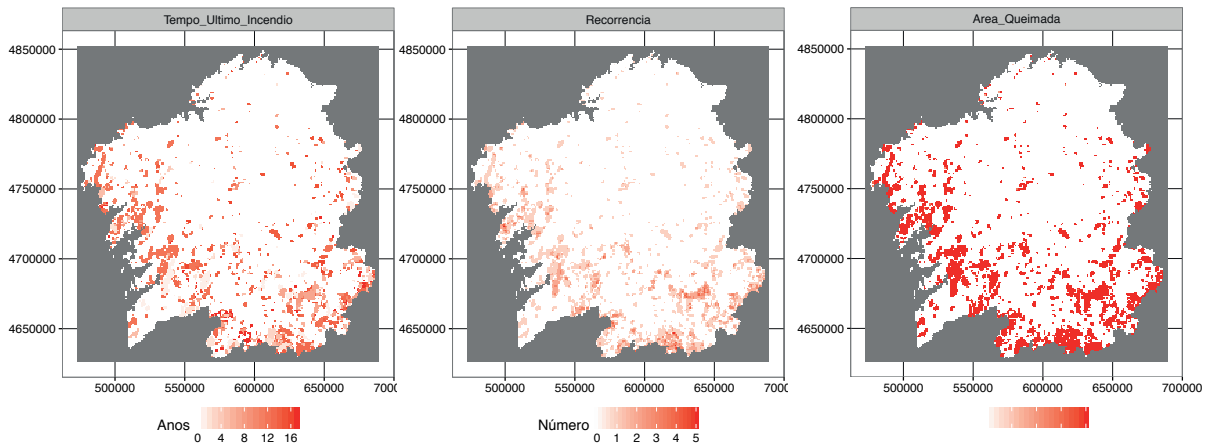


Figura 4. Mapas da: 1) área queimada entre o ano 2001 e o 2017; 2) tempo transcorrido dende o último incendio ata o ano 2017; e 3) recorrencia dos lumes (é dicir, número de veces que unha mesma cela foi afectada por un incendio).

Figure 4. Maps of: 1) area burned between 2001 and 2017; 2) time since last fire until year 2017; and 3) fire recurrence (i.e., times each grid cell gets burned).

información espacialmente explícita en Galicia no que se refire a incendios forestais. Ademais, aporta unha serie de variables de interese ecolóxico relacionadas coa frecuencia, a área total e anual afectada por incendios forestais, e o tempo dende que ocorreu o último incendio, con múltiples aplicacións no eido da conservación da biodiversidade, da xestión forestal e do territorio. Toda esta información pode ser visualizada e descargada gratuitamente a través dunha aplicación webmapping habilitada para dito uso. A información, que no momento da publicación deste artigo cobre o período 2001-2017, será actualizada anualmente. Este produto está baseado en información de satélite a escala global polo que presenta varias limitacións que deben ser tidas en conta a hora da súa utilización. Estas limitacións tamén poñen de manifesto a necesidade de fomentar o uso e desenvolvemento das novas tecnoloxías e aplicacións, como o novo satélite Sentinel-2 da ESA (Axencia Aeroespacial Europea) ou os vehículos non aerotransportados (UAVs), para a mellora da calidade e dispoñibilidade de información xeográfica no que se refire aos incendios forestais, co fin de posibilitar o incremento e mellora da calidade dos estudos científicos dirixidos a avaliar o impacto do que é claramente hoxe un dos principais factores que afecta á paisaxe, á natureza e ao benestar social en Galicia.

AGRADECEMENTOS

Adrián Regos está financiado polo programa posdoctoral da Xunta de Galicia (ED481B2016/084-0). Gracias a Bruno Marcos (CIBIO) e Xurxo Dorrego polos seus consellos de carácter técnico.

REFERENCIAS

- BROTOS, L., AQUILUÉ, N., DE CÁCERES, M., FORTIN, M.-J., & FALL, A. (2013) How fire history, fire suppression practices and climate change affect wildfire regimes in Mediterranean landscapes. *PLoS ONE*, 8, e62392. doi:10.1371/journal.pone.0062392
- CASTELLNOU, M., PAGÉS, J., MIRALLES, M., PIQUE, M., & PIQUÉ, M. (2009) Tipificación de los incendios forestales de Cataluña. Elaboración del mapa de incendios de diseño como herramienta para la gestión forestal. In: *5º Congreso Forestal*. Editores: S.E.C.F. - Junta de Castilla y León. Ávila, 21 a 15 de septiembre de 2009. pp: 1–15.
- CHAS-AMIL, M.L., TOUZA, J., & PRESTEMON, J.P. (2010) Spatial distribution of human-caused forest fires in Galicia (NW Spain). *Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires II* (ed. by G. Perona and C.A. Brebbia), pp. 247–258.
- CHAS-AMIL, M.L. (2007) Forest fires in Galicia (Spain): Threats and challenges for the

- future. *Journal of Forest Economics*, 13, 1–5. doi:10.1016/j.jfe.2007.02.001
- CUBO, J.E., ENRÍQUEZ, E., GALLAR, J.J., JEMES, V., LÓPEZ, M., MATEO, M.L., MUÑOZ, A., & PARRA, P.J. (2012) *Los incendios forestales en España Decenio 2001-2010*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- DANS DEL VALLE, F., VERDE FIGUEIRAS, C., MOLINA MARTÍNEZ, B., & RUÍZ CAGIGAL, J. (2015) *El problema actual de los incendios forestales en Galicia*. Confederación de Organizaciones de Selvicultores de España, Madrid.
- DAVIS, R.A., DOHERTY, T.S., VAN ETEN, E.J.B., RADFORD, J.Q., HOLMES, F., KNUCKEY, C., & DAVIS, B.J. (2016) Conserving long unburnt vegetation is important for bird species, guilds and diversity. *Biodiversity and Conservation*, 25, 2709–2722. doi:10.1007/s10531-016-1196-5
- DE CÁCERES, M., BROTONS, L., AQUILUÉ, N., & FORTIN, M.-J. (2013) The combined effects of land-use legacies and novel fire regimes on bird distributions in the Mediterranean. *Journal of Biogeography*, 40, 1535–1547. doi:10.1111/jbi.12111
- DÍAZ-DELGADO, R., LLORET, F., & PONS, X. (2004) Statistical analysis of fire frequency models for Catalonia (NE Spain, 1975–1998) based on fire scar maps from Landsat MSS data. *International Journal of Wildland Fire*, 13, 89–99. <https://doi.org/10.1071/WF02051>
- DÍAZ-DELGADO, R. & PONS, X. (2003) Análisis comparativo de diferentes cartografías de incendios forestales. *Revista de Teledetección*, 20, 11–15.
- DÍAZ-MANSO, M., DORREGO, X., & FERNÁNDEZ-RÍOS, A. (1999) Georreferenciación y cuantificación de incendios forestales en Galicia. *Avances y Aplicaciones. VIII Congreso Nacional de Teledetección*. Albacete, España, Editores: Santiago Castaño Fernández y Antonio Quintanilla Rodenas. pp. 259–262.
- DORREGO, X. & ÁLVAREZ, G. (2009) Teledetección y SIG en la gestión de los incendios forestales en Galicia. *Teledetección: Agua y desarrollo sostenible XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección*. Calatayud. Editores: Salomón Montesinos Aranda y Lara Fernández Fornos. pp. 297–300.
- DUANE, A., AQUILUÉ, N., GIL-TENA, A., & BROTONS, L. (2016) Integrating fire spread patterns in fire modelling at landscape scale. *Environmental Modelling & Software*, 86, 219–231. doi:10.1016/j.envsoft.2016.10.001
- FERREIRA, D., MATEUS, C., & SANTOS, X. (2016) Responses of reptiles to fire in transition zones are mediated by bioregion affinity of species. *Biodiversity and Conservation*, 25, 1543–1557. doi:10.1007/s10531-016-1137-3
- GIGLIO, L., LOBODA, T., ROY, D.P., QUAYLE, B., & JUSTICE, C.O. (2009) An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor. *Remote Sensing of Environment*, 113, 408–420. doi:10.1016/j.rse.2008.10.006
- GIGLIO, L., SCHROEDER, W., & JUSTICE, C.O. (2016) The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. *Remote Sensing of Environment*, 178, 31–41. doi:10.1016/j.rse.2016.02.054
- GIL-TENA, A., AQUILUÉ, N., DUANE, A., DE CÁCERES, M., & BROTONS, L. (2016) Mediterranean fire regime effects on pine-oak forest landscape mosaics under global change in NE Spain. *European Journal of Forest Research*, 135, 403–416. doi:10.1007/s10342-016-0943-1
- GUTIÉRREZ-HERNÁNDEZ, O., SENCIALES-GONZÁLEZ, J.M., & GARCÍA, L. V. (2015) Los incendios forestales en Andalucía: investigación exploratoria y modelos explicativos. *Flamma*, 6, 144–148.
- HANTSON, S., PADILLA, M., CORTI, D., & CHUVIECO, E. (2013) Strengths and weaknesses of MODIS hotspots to characterize global fire occurrence. *Remote Sensing of Environment*, 131, 152–159. doi:10.1016/j.rse.2012.12.004
- KELLY, L.T., BENNETT, A.F., CLARKE, M.F., & MCCARTHY, M.A. (2014) Optimal Fire Histories for Biodiversity Conservation. *Conservation Biology*, 29, 473–481. doi:10.1111/cobi.12384
- MAPAMA (2018). Estadísticas de incendios forestales. Consultado en Marzo de 2018: http://www.mapama.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/Incendios_default.aspx
- MINNICH, R.A. & CHOU, Y. (1997) Wildland fire patch dynamics in the chaparral of Southern California and Northern Baja California. *International Journal of Wildland Fire*, 7, 221–248.
- NASALPDAAC (2017) *MCD64A1: MODIS/Terra and Aqua Burned Area Monthly L3 Global 500 m SIN Grid Version 6*. NASA EOSDIS Land

- Processes DAAC, USGS Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota (<https://lpdaac.usgs.gov>), accessed January 5, 2018. DOI:10.5067/MODIS/MCD64A1.006.
- PRICHARD, SUSAN J., STEVENS-RUMANN, C.S., & HESSBURG, P.F. (2017) Tamm Review: Shifting global fire regimes: Lessons from reburns and research needs. *Forest Ecology and Management*, 396, 217–233. doi:10.1016/j.foreco.2017.03.035
- REGOS, A., CLAVERO, M., D'AMEN, M., GUI SAN, A., & BROTONS, L. (2018) Wildfire-vegetation dynamics affect predictions of climate change impact on bird communities. *Ecography*, 41, 982–995. doi:10.1111/ecog.02990
- REGOS, A., D'AMEN, M., HERRANDO, S., GUI SAN, A., & BROTONS, L. (2015) Fire management, climate change and their interacting effects on birds in complex Mediterranean landscapes: dynamic distribution modelling of an early-successional species—the near-threatened Dartford Warbler (*Sylvia undata*). *Journal of Ornithology*, 156, 275–286. doi:10.1007/s10336-015-1174-9
- REGOS, A., D'AMEN, M., TITEUX, N., HERRANDO, S., GUI SAN, A., & BROTONS, L. (2016) Predicting the future effectiveness of protected areas for bird conservation in Mediterranean ecosystems under climate change and novel fire regime scenarios. *Diversity and Distributions*, 22, 83–96. doi:10.1111/ddi.12375
- VÁZQUEZ VAZQUEZ, M.C., CHAS-AMIL, M.L., & TOUZA, J.M. (2014) Estimación de los costes de las operaciones de extinción de incendios forestales: Estudio de caso en el distrito forestal de A Limia. *Revista Galega de Economía*, 23, 99–113.
- WICKHAM (2009) *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.