

FLAMMA, 6 (3), 144-148, 2015

ISSN 2171 - 665X

© Author(s) 2014. CC Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License



Los incendios forestales en Andalucía: investigación exploratoria y modelos explicativos

Wildfires in Andalusia, Spain: from exploratory research to explanatory models

Oliver Gutiérrez-Hernández (1*), José María Senciales-González (2), Luis V. García (1)

(1) Departamento de Biogeoquímica, Ecología Vegetal y Microbiana, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (IRNAS – CSIC), Sevilla, España

(2) Departamento de Geografía, Universidad de Málaga, Málaga, España

*Corresponding author: ogutierrez@irnas.csic.es

Keywords

Wildfires
Andalusia
GIS
Driving factors
GWR

Abstract

In this communication, we present an exploratory research analysing the characteristics of the areas burnt by wildfires in Andalusia from 1975 to 2013, in relation to different explanatory variables. Firstly, we developed a spatial database by recording the burnt areas in the whole region on an annual basis. Secondly, based on previous studies, we identified the main factors potentially involved in the distribution of forest fires. To do this, we selected a set of environmental variables that were coded as cartographic layers. Then, we performed a cross-tabulation analysis by relating the burnt areas to the environmental and territorial factors. Finally, we compared the ability of two different model-fitting approaches for predicting wildfire occurrence: Ordinary Least Squares (OLS) and Geographically Weighted Regression (GWR). The results showed that most of wildfires in Andalusia occurred in shrublands and forests transitions, in low and middle mountain areas, and in areas with moderate to high slope. The provinces with the largest average burnt areas were Huelva and Malaga, which were also the provinces with the highest frequency of burnt areas. Regarding the model performance, GWR greatly improved model fit compared to OLS.

Palabras clave

Incendios
Andalucía
SIG
Factores
GWR

Resumen

En la presente comunicación exponemos una investigación exploratoria donde analizamos la superficie calcinada por los incendios forestales ocurridos desde 1975 a 2013 en la Comunidad Autónoma de Andalucía en relación con las variables explicativas y las características territoriales. Comenzamos, elaborando una base de datos espacial donde registramos la superficie quemada anualmente en el conjunto de la región. Realizamos una revisión de la literatura científica buscando los principales factores explicativos que intervienen en la distribución de los incendios forestales. Seleccionamos un conjunto de variables ambientales codificadas como coberturas cartográficas. Abordamos un análisis mediante tabulación cruzada relacionando la superficie quemada y las características territoriales, socioeconómicas y medioambientales. Finalmente, comparamos dos modelos causales para predecir la ocurrencia de incendios en el territorio andaluz: Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS) y Regresión Geográficamente Ponderada (GWR). Los resultados muestran que la mayor parte de los incendios incontrolados se produjeron en áreas forestales con matorral esclerófilo y formaciones boscosas de transición, zonas de baja-media montaña y pendientes moderadas-altas. Las provincias con la mayor superficie calcinada, tanto en distribución como en frecuencia, fueron Huelva y Málaga. En cuanto al rendimiento de los modelos, GWR mejoró ostensiblemente las prestaciones de OLS.

Received: 15 October 2015 | Accepted: 31 October 2015

1 INTRODUCCIÓN

Los incendios forman parte del funcionamiento natural de muchos ecosistemas en la Tierra, pero también son producto de perturbaciones históricamente inducidas por el hombre (Pausas & Keeley, 2009).

En los bosques boreales, la mayor parte de los eventos en los que interviene el fuego se producen por causas naturales y juegan un importante papel en los procesos de sucesión naturales (Girardin y Mudelsee, 2008). Por diferentes causas, más relacionadas con una ancestral actividad humana, los incendios han formado parte de la historia en los paisajes de la cuenca mediterránea, en la que desempeñan un significativo rol ecológico (Bodí et al., 2012).

En España, el 95 % de los incendios forestales responden directa o indirectamente a la influencia del hombre, dentro un medio biofísico muy favorable a la ignición durante la época estival (Verdú y Salas, 2011). Sin embargo, los mecanismos causales de los mismos operan de diferente manera, dependiendo de la región del país y sus circunstancias. Andalucía puede ser una de las regiones más afectadas por el incremento de la temperatura y la aridificación del medio de acuerdo con los escenarios de cambio climático previstos (IPCC, 2013). Históricamente, esta región ha experimentado un acusado proceso de deforestación relacionado con la modificación de usos del suelo. Los incendios forestales constituyen el segundo gran agente responsable de la deforestación en la región, en la que el fenómeno causa una importante alarma social y las autoridades destinan, a través del Plan INFOCA, su principal instrumento organizativo contra los incendios forestales, importantes recursos humanos y materiales (Agencia de Medio Ambiente y Agua, 2015).

La investigación cuantitativa sobre incendios forestales ha adoptado diferentes enfoques: espaciales, temporales, descriptivos, causales, predictivos, etc. Por su huella en la comunidad científica, destacan las relacionadas con el cambio climático y su impacto en los incendios forestales (Piñol et al., 1998). En particular, el estudio los factores medioambientales que determinan la aparición de determinados patrones espaciales en las áreas recorridas por los incendios forestales constituye un línea de investigación de interés creciente (Parisien & Moritz, 2009). Lo mismo cabe comentar del papel del hombre en la definición del riesgo de incendio forestal (Martínez et al., 2009).

1.1 OBJETIVOS

El presente trabajo tiene tres objetivos específicos:

1. Estudiar la distribución espacial de las áreas recorridas por los incendios forestales en Andalucía entre 1975 y 2013.
2. Relacionar las características ambientales y territoriales con dicha distribución.
3. Incorporar los modelos predictivos a la reflexión sobre la problemática y realizar una evaluación de los mismos.

2 MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio (Figura 1) abarca el conjunto de la comunidad autónoma de Andalucía (España), la región más meridional de la península Ibérica, un territorio de 87.268 km², donde el 50,8 % de la superficie está ocupada por usos y cubiertas forestales.

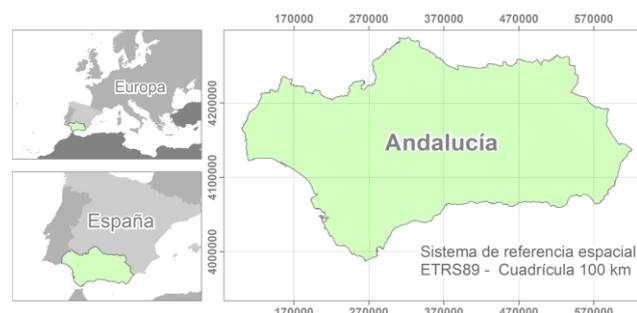


Figura 1. Área de estudio.

2.2 FUENTES Y PROCESADO DE DATOS ESPACIALES

Como fuente de datos, empleamos la cartografía generada por la Red de Información Ambiental de Andalucía (sobre áreas recorridas por los incendios forestales en Andalucía entre 1975 y 2013 (Rediam, 2014).

Se procesaron los datos vectoriales de esta cartografía para generar 39 mapas armonizados en formato ráster, uno por cada año de la serie 1975-2013, donde cada mapa representa la superficie anual recorrida y no recorrida por los incendios forestales, estableciendo la resolución del análisis en 250 m. Se superpusieron las capas para componer un mapa final con la distribución y frecuencia de las áreas recorridas por los incendios forestales. Este último mapa se relacionó con un conjunto de capas medioambientales (e.g. altitud) en formato ráster y territoriales (e.g. municipios) en formato vectorial.

2.3 MÉTODOS ESTADÍSTICOS

Las estadísticas espaciales se obtuvieron mediante tabulación cruzada, superponiendo el mapa de distribución y recurrencia de superficie quemada y las variables medioambientales (altitud, cobertura vegetal, etc.) y administrativas (municipios, provincias). Así se obtuvo un conjunto de tablas estadísticas que sirvió de base para el análisis del problema.

El estudio de los posibles mecanismos causales se realizó mediante ajustes de modelos de regresión utilizando un conjunto de variables predictoras comúnmente relacionadas con los patrones espaciales de los incendios forestales (Plucinski, 2012). Se fijó el término municipal como unidad de observación. Se tomó como variable respuesta la densidad de superficie quemada en cada municipio. En la Tabla 1, se describen las variables explicativas o predictoras, también codificadas por cada término municipal.

Tabla 1. Variables explicativas.

Código	Descripción
alt	Altitud*
insol	Insolación*
pend	Pendiente*
pp_inv	Precipitación invernal*
pp_ver	Precipitación estival*
tme_ver	Temperatura estival*
viento_vel	Velocidad del viento*
viento_frec	Frecuencia del viento*
sp_proteg	Superficie protegida**
sp_monte	Superficie de monte público**
sp_forestal	Superficie usos forestales**
dist_via	Distancia a viario*
dist_pob	Distancia a zonas pobladas*
saldo_demo	Saldo demográfico. Habitantes
saldo_gan	Saldo ganadero. Cabezas

*Promedio ** Densidad

Comenzamos realizando un análisis para detectar multicolinealidad de las variables predictoras a través del VIF (Variance Inflation Factor) ponderando como valor crítico $VIF > 5$ (James et al., 2013). Empleamos mínimos cuadrados ordinarios (OLS - Ordinary Least Square) para definir el mejor modelo global. Elegimos el mejor modelo basándonos en los siguientes indicadores de bondad de ajuste: criterio de Información de Akaike (AIC) y porcentaje de varianza explicada (r^2). Para minimizar el incremento de la probabilidad de significaciones (p-valor) espurias,

asociado a la repetición de tests estadísticos, se controló la tasa global de falsos positivos (FDR) a un nivel del 5%

Trabajos previos sobre la materia indican que los resultados de estos modelos mejoran cuando se utiliza regresión geográficamente ponderada (Martínez-Fernández et al., 2013; Oliveira et al., 2014). Por ello, una vez elegido el mejor modelo global, utilizamos sus variables predictoras para llevar a cabo una regresión geográficamente ponderada (GWR – Geographically Weighted Regression) e incorporar el principio de no estacionariedad espacial al modelo (Brunsdon et al., 1996).

Utilizamos el software QGIS 2.12 para procesar los datos espaciales, Statistica 10 para definir los modelos lineales globales y GWR 4.0 para los modelos de regresión geográficamente ponderada.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 DISTRIBUCIÓN Y RECURRENCIA

Entre 1975 y 2013, más del 90 % de la superficie calcinada por incendios incontrolados fue predominantemente forestal. La mayor parte de la superficie quemada, 332.068 hectáreas, fue recorrida por los incendios tan sólo una vez (Figura 2). En términos absolutos y relativos, en distribución y recurrencia, Huelva y Málaga fueron las provincias más afectadas por los incendios forestales.

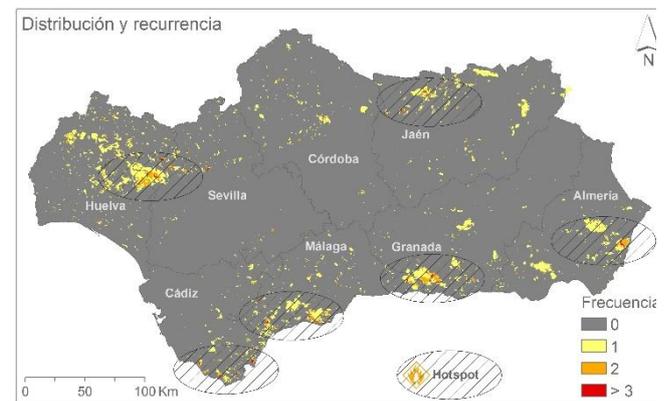


Figura 2. Áreas recorridas por los incendios forestales en Andalucía (1975-2013).

Las áreas recorridas al menos dos veces por los incendios, unas 52.743 hectáreas, se circunscribieron a contextos locales muy diferentes donde aparecieron diferentes puntos calientes (hotspots): entre el Andévalo onubense y la Sierra Norte sevillana, el entorno de Aznalcóllar; en las intrincadas montañas de las sierras de Almijara y Guájares, entre Málaga y Granada; en diferentes puntos dispersos en

la comarca de Campo de Gibraltar (Cádiz) y las sierras litorales más occidentales de la provincia de Málaga; y, finalmente, en enclaves muy alejados y contrastados, como sierras de Andújar en Jaén y la sierra Cabrera en Almería. El 56.8 % de la superficie quemada se relacionó con zonas de matorral esclerófilo y matorral boscoso de transición. Los incendios se produjeron en zonas de media y baja montaña, con pendientes moderadas y altas.

3.2 PATRONES ESPACIALES. MODELOS GLOBALES (OLS) VERSUS MODELOS DE REGRESIÓN GEOGRÁFICAMENTE PONDERADA (GWR)

Los resultados del modelo lineal global se muestran en la Tabla 2. Entre todas las variables utilizadas, descartamos la altitud por problemas de colinealidad. Las variables explicativas más significativas fueron aquellas relacionadas con las cubiertas, esto es, superficie forestal, superficie de monte público y superficie con espacios protegidos. Asimismo, destacaron las pendientes y la precipitación durante el invierno. También incidieron de forma significativa variables como el saldo ganadero o la precipitación estival. El viento no contribuyó a explicar la claramente distribución de la superficie quemada.

Tabla 2. Resultados del modelo de regresión lineal.

Variables	VIF	Efecto	p-valor
Alt	7,463	-	0,071
Insol	1,127	-	0,523
Pend	2,778	+	0,001***
pp_in	1,995	+	0,001***
pp_ver	2,979	-	0,017*
tme_ver	4,238	+	0,914
viento_vel	1,349	-	0,176
viento_frec	1,137	-	0,011*
sp_proteg	2,446	-	0,001***
sp_monte	2,024	+	0,001***
sp_forestal	3,459	+	0,001***
dist_via	1,768	+	0,608
dist_pob	2,515	+	0,688
saldo_demo	1,200	+	0,720
saldo_gan	1,168	-	0,002**

*p < 0,05 **p < 0,01 ***p < 0,001

Empleando las mismas variables, comparamos OLS con GWR (Tabla 3). El modelo de regresión geográficamente ponderada mejoró ostensiblemente la predicción en todos los parámetros y, globalmente, consiguió explicar el 74 % de la varianza.

Tabla 3. Comparación de modelos.

Parámetros	GWR	OLS
Criterio de información AIC	26810,082	27156,901
Coefficiente de correlación r	0,86	0,55
Coefficiente de determinación r ²	0,74	0,30

Una de las ventajas de los modelos que contemplan la no estacionariedad espacial es que permiten conocer la distribución espacial de su rendimiento predictivo.

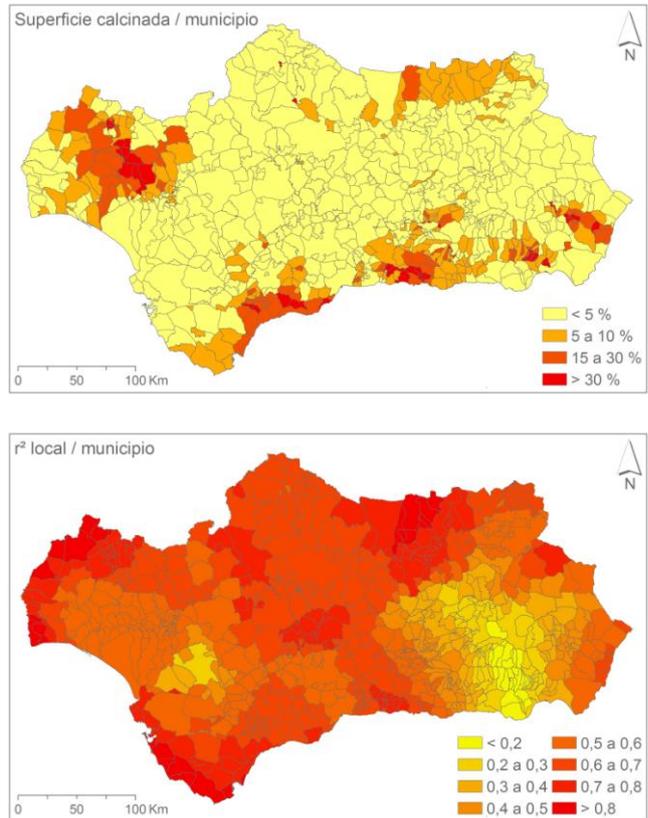


Figura 3. Predicción local (GWR)

En la Figura 3, se ilustra la distribución de la predicción y del coeficiente de determinación del modelo. El modelo alcanzó a explicar casi el 90 % de la varianza en algunas comarcas muy castigadas por los incendios forestales, como en el Campo de Gibraltar y Sierra Morena, y ofreció un buen rendimiento en algunas sierras litorales también muy afectadas por los incendios. Sin embargo, no consiguió explicar con el mismo nivel de exactitud el comportamiento en el este de Sierra Nevada y La Alpujarra, donde apenas se produjeron incendios, o zonas muy frecuentadas por los incendios como el entorno de Aznalcóllar. Desde la década de los 70 del siglo XX, la crisis del medio rural andaluz y la emergencia de nuevos modelos territoriales, están produciendo una mayor frecuencia de grandes incendios (Araque-Jiménez, 2015).

Será importante profundizar en otros factores (sociales, económicos) que no hemos contemplado en nuestros modelos para mejorar el rendimiento predictivo del mismo en determinados contextos locales con una problemática muy específica.

4 CONCLUSIONES

Entre 1975 y 2013, los incendios forestales afectaron a unas 332.000 hectáreas de la superficie de Andalucía. Dentro de la misma superficie quemada, al menos una vez volvieron a producirse incendios que arrasaron casi 53.000 hectáreas. Las provincias más afectadas fueron Huelva y Málaga, con puntos calientes repartidos en casi todas las provincias, predominando los incendios en zonas con matorral esclerófilo y matorral boscoso de transición, en áreas con pendientes moderadas y altas.

Entre los factores que explicaron de forma significativa la superficie calcinada, destacaron aquellos relacionados con el medio físico, las características de las cubiertas terrestres y los usos del suelo. Los modelos lineales globales no ofrecieron buenos resultados. Los modelos de regresión geográficamente ponderada mejoraron notablemente los resultados, proyectando información adicional sobre la distribución espacial de la capacidad predictiva modelo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la colaboración de los técnicos de la Red de Información Ambiental de Andalucía (Rediam).

REFERENCIAS

- Agencia de Medio Ambiente y Agua, 2015. Plan INFOCA. Memoria 2013. Dirección General del Medio Natural. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía, Sevilla.
- Araque Jiménez E. 2015. Medio siglo de grandes incendios forestales en Andalucía (1961-2011). *Méditerranée* 121: 41–52.
- Bodí MB, Cerdà A, Mataix-Solera J, Doerr SH. 2012. Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea. *Boletín la Asoc. Geógrafos Españoles* 58: 33–56.
- Brunsdon C, Fotheringham S, Charlton ME. 1996. Geographically Weighted Regression: A Method for Exploring Spatial Nonstationarity. *Geographical Analysis* 28:281–298.
- Girardin MP, Mudelsee M. 2008. Past and future changes in Canadian boreal wildfire activity. *Ecological Applications* 18:391–406.
- IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge Univ. Press, New York.
- James G, Witten D, Hastie T, Tibshirani R. 2013. *An Introduction to Statistical Learning, with Applications in R*. Springer.
- Martínez J, Vega-García C, Chuvieco E. 2009. Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. *Journal of Environmental Management* 90:1241–1252.
- Martínez-Fernández J, Chuvieco E, Koutsias N. 2013. Modelling long-term fire occurrence factors in Spain by accounting for local variations with geographically weighted regression. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 13:311–327.
- Oliveira S, Pereira JMC, San-Miguel-Ayanz J, Lourenço L. 2014. Exploring the spatial patterns of fire density in Southern Europe using Geographically Weighted Regression. *Applied Geography* 51:143–157.
- Parisien MA, Moritz M. 2009. Environmental controls on the distribution of wildfire at multiple spatial scales. *Ecological Monographs* 79:127–154.
- Pausas JG, Keeley JE. 2009. A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life. *Bioscience* 59:593–601.
- Piñol J, Terradas J, Lloret F. 1998. Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Climatic Change* 38:345–357.
- Plucinski MP. 2012. A review of wildfire occurrence research. CSIRO Report.
- Rediam 2014. Áreas recorridas por el fuego. Datos históricos (1975-2013). Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía, Sevilla.
- Verdú F, Salas J. 2011. Caracterización de variables biofísicas en los incendios forestales mayores de 25 ha de la España peninsular (1991-2005). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 79–100.