



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | **Plasencia**
Cáceres, Extremadura

7CFE01-431

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Patrón espacial de los incendios forestales en Galicia

MAREY-PÉREZ, M.F.^{1,2}, FUEENTES-SANTOS, I.^{3,4}., SAAVEDRA-NIEVES, P.^{3,5}, GONZÁLEZ-MANTEIGA, W.³

¹ Instituto de Estudos e Desenvolvimento de Galicia (IDEGA).

² GI-1716 Proxectos e Planificación. Universidade de Santiago de Compostela. manuel.marey@usc.es

³ Grupo de Investigación MODESTYA GI- 1914, Universidad de Santiago de Compostela.

⁴ Instituto de Investigaciones Marinas de Vigo (IIM), CSIC.

⁵ Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Vigo.

Resumen

El gran impacto ambiental de los incendios forestales, que son la principal causa de destrucción de los bosques en Galicia, ha motivado el desarrollo de numerosos estudios con el fin de entender su comportamiento y mejorar las estrategias de gestión forestal y los planes de prevención y lucha contra el fuego. El objetivo de este trabajo es analizar la evolución de la distribución espacial de incendios intencionados, los más frecuentes en Galicia, y con causa natural durante un periodo de 10 años (1999-2008). Con este fin hemos aplicado un análisis de correspondencias y posteriormente una estimación núcleo de la intensidad de primer orden de procesos puntuales espaciales para caracterizar la distribución espacial de los puntos de ignición de incendios intencionados y naturales.

Palabras clave

Planificación forestal, función de intensidad, estimador núcleo, matriz de suavizado.

1. Introducción

Los incendios forestales suponen uno de los principales problemas medioambientales a los que se enfrenta la sociedad actual. En particular, en Galicia (Figura 1) los incendios intencionados son la principal causa de destrucción de los bosques. Esta situación ha motivado un creciente interés en el desarrollo de técnicas estadísticas que nos ayuden a comprender el comportamiento del fuego en esta región (Boubeta et al., 2015, Fuentes-Santos et al., 2013, Ríos-Pena et al., 2015 y 2017).



Figura1. Situación geográfica de Galicia..

El Plan de Prevención e Defensa Contra os Incendios Forestais de Galicia (PLADIGA, http://mediorural.xunta.gal/es/areas/forestal/incendios_forestales/pladiga_2016/) define cinco

causas de incendios: intencionados, causa natural, negligencia, reproducción e incendios con causa desconocida. La Figura 2 y la Tabla 1, que muestran la evolución temporal de las distintas causas de incendios forestales en Galicia, destacan la gran cantidad de fuegos intencionados en esta región, mientras que la incidencia de incendios con causa natural es muy baja. Esta situación contrasta con lo que ocurren en el resto de España, donde se registra una mayor incidencia de fuegos por negligencia y con causa natural (Juan et al., 2012, Serra et al., 2014). Por tanto estudiar el comportamiento de los incendios intencionados en Galicia es crucial para el desarrollo de planes de prevención y lucha contra el fuego.

Vemos también que aunque la cantidad de incendios disminuyó considerablemente en los años 2006-2008, la superficie afectada aumentó en 2006 (Figura 3), en concreto en la primera quincena de agosto de 2006 se quemó el 25% de la superficie afectada por incendios forestales en el periodo 1999-2008.

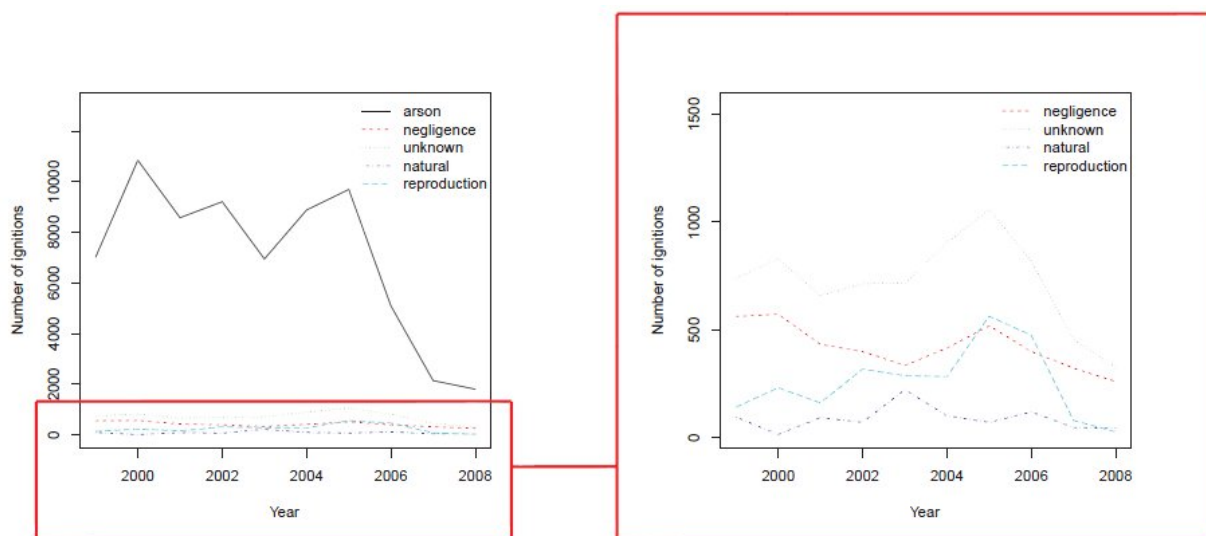


Figura 2. Evolución anual del número de incendios forestales registrados en Galicia en el periodo 1999-2008 por causa (intencionados, con causa natural, negligencia, reproducción e incendios con causa desconocida).

Tabla 1. Número de incendios registrados en Galicia entre 1999 y 2008 por causa.

Causa/Año	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Total
Intencionado	7021	10847	8578	9209	6949	8881	9695	5090	2147	1806	70223
Natural	96	16	94	72	223	102	72	120	48	44	887
Negligencia	563	573	433	400	336	416	519	400	323	261	4224
Reproducción	142	232	162	319	288	284	564	475	80	28	2574
Desconocida	740	830	659	715	717	905	1059	819	455	327	7226
Total	8562	12498	9926	10715	8513	10588	11090	6904	3053	2466	85134

2. Objetivo

El objetivo de este trabajo es utilizar la metodología estadística desarrollada recientemente en el análisis de procesos puntuales espaciales (Diggle, 2013) para caracterizar la distribución espacial de los incendios intencionados y con causa natural registrados en Galicia en el periodo 1999-2008. La comparación de las distribuciones espaciales de estos dos tipos de incendios proporcionará

información relevante para entender su comportamiento y para tratar de determinar los factores que favorecen su aparición.

3. Metodología

En estadística multivariante, el análisis de correspondencias se emplea para medir el grado de asociación entre dos variables nominales contenidas en una tabla de contingencia. Esta técnica exploratoria resume grandes cantidades de datos en un número reducido de dimensiones, con la menor pérdida de información posible.

Un proceso puntual espacial es un proceso estocástico que determina la localización de eventos $\{x_i; i=1, \dots, n\}$ en una región acotada $A \subset \mathbb{R}^2$ (Diggle 2013). Si cada evento tiene asociada alguna medida o marca, como la superficie quemada, tenemos un proceso puntual con marcas. Si las marcas clasifican los eventos en distintos grupos tenemos un proceso puntual multitypo. Por tanto, el conjunto de puntos de ignición de los incendios forestales registrados en Galicia en la década 1999-2008 clasificados por causa y año puede entenderse como una realización de un proceso puntual multitypo.

La intensidad de primer orden, $\lambda(x), x \in A$, que mide el número esperado de eventos por unidad de superficie, describe la estructura espacial del proceso. En este trabajo hemos aplicado el estimador núcleo de la intensidad con matriz de suavizado *plug-in* (Diggle, 1985, Fuentes-Santos et al., 2016) para caracterizar la distribución espacial de los incendios intencionados y naturales. El estimador núcleo de la intensidad se define como:

$$\hat{\lambda}_H(x) = p_H(x) |H|^{-1/2} \sum_{i=1}^n k(H^{1/2}(x - x_i))$$

Donde la función núcleo, k , es una densidad bivalente simétrica, la matriz de suavizado, H , es una matriz simétrica y definida positiva con determinante $|H|$, y $p_H(x) = \int_{\mathbb{R}^2} |H|^{-1/2} k(H^{-1/2}(x - y)) dy$ es el término de corrección de frontera.

4. Resultados

A partir de la Tabla 1 de contingencia, se ha efectuado un análisis de correspondencias para estudiar la existencia de asociación entre las variables año y causa del incendio. Con dos dimensiones, la inercia es 86.3%. En la Figura 3, se muestra la correspondiente representación gráfica. La proximidad entre dos puntos o modalidades de las variables consideradas indica un mayor grado de dependencia. Por tanto, queda clara la asociación entre los incendios provocados y los años desde 1999 hasta 2005. Sin embargo, se detecta que a partir de 2006 aparece un patrón distinto. Entonces, 2006 podría ser interpretado como un punto de cambio en el comportamiento de los incendios provocados ya que, a partir de ese momento, la dependencia determinada previamente desaparece. De acuerdo con los resultados expuestos en la Figura 3, los incendios no provocados (naturales, de causa desconocida, reproducciones o negligencias) no responden a un tipo de patrón definido.

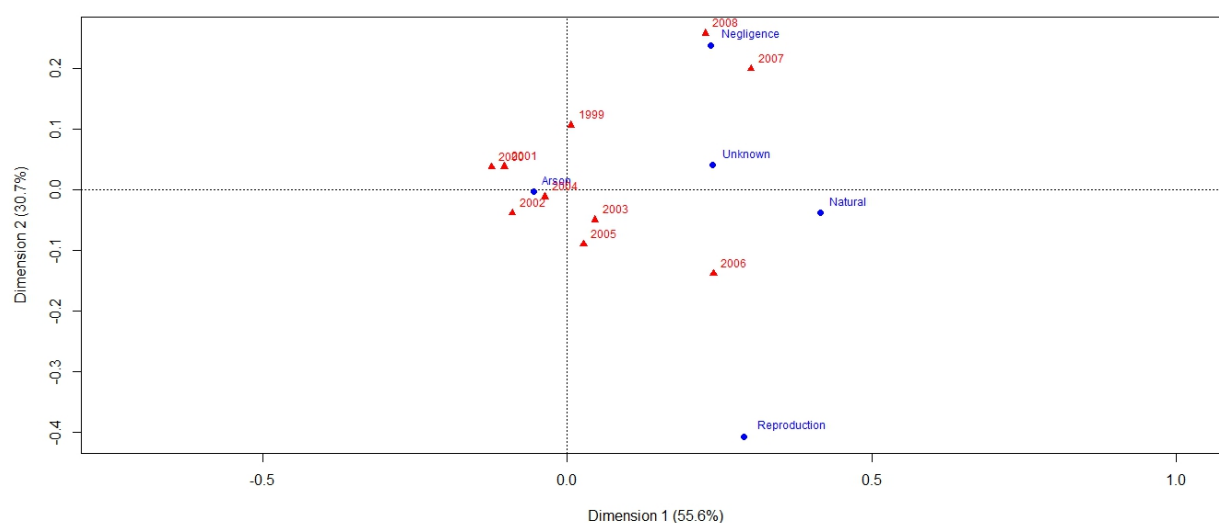


Figura 3. Análisis de correspondencia bidimensional a partir de la información de la tabla 2.

En las Figuras 4 y 5 se presentan los estimadores de la intensidad de primer orden de los incendios intencionados y con causa natural para cada año del estudio. La comparación entra ambas figuras revela claras diferencias entre los patrones espaciales de los dos tipos de incendios. La figura 4 muestra como la distribución espacial de los incendios intencionados ha ido variando entre años, aunque el sur de Pontevedra y Ourense, en la frontera con Portugal, ha registrado una importante incidencia de fuegos intencionados durante todo el periodo de estudio.

Por su parte, los incendios con causa natural presentan una menor variabilidad interanual, siendo más frecuentes en el este de la provincia de Lugo (Figura 5), donde el riesgo de incendios intencionados ha sido relativamente bajo (Figura 4).

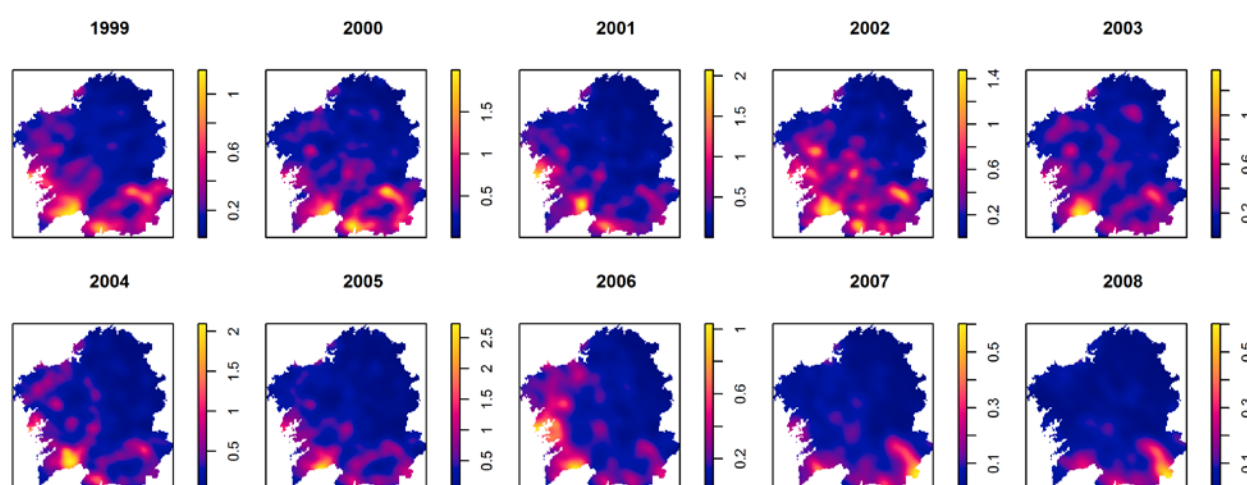


Figura 4. Estimador núcleo de la intensidad para los incendios intencionados registrados en Galicia entre 1999 y 2008.

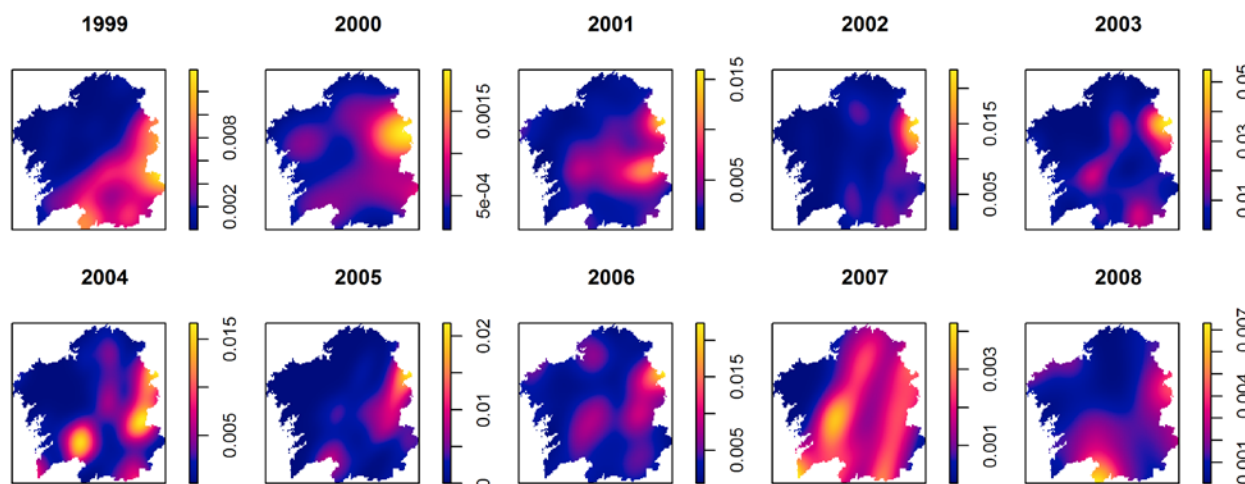


Figura 5. Estimador núcleo de la intensidad para los incendios naturales registrados en Galicia entre 1999 y 2008.

5. Discusión

En el trabajo presentado por Rios-Pena et al. (2013) en el congreso forestal español de ese año se analizaban los diferentes tipos de índices de riesgo meteorológico para Galicia para el período comprendido entre 1999 y 2008. En este trabajo se comparaban los índices de Angstrom, Rodríguez y Moretti, Telicyn, Monte Alegre, ICONA, IRDI y Portugués. Los resultados, ponían de manifiesto que los diferentes índices meteorológicos no eran lo suficientemente adecuados para lo que se considera como necesario, aunque se producían notables diferencias entre ellos. Las causas de este desfase entre resultado de los índices y la realidad se encontraba en el hecho de que los incendios en Galicia eran mayoritariamente provocados.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo, muestran como los incendios provocados son reiterativos tanto en número como en su distribución espacial y temporal para el período de análisis, en especial en los primeros años, y están concentrados en la zona Sur-Occidental de Galicia. En el caso de los incendios naturales, esta distribución espacio-temporal, no es tan coherente y ocupa zonas más amplias, de forma irregular y menos intensa. La justificación del resultado hay que buscarlo en el hecho de que los incendios provocados responden a un patrón de intencionalidad/criminalidad de carácter local. El incendiario busca con el fuego reiterado dar respuesta a un objetivo, relacionado con algún tipo de conflicto por la propiedad, el uso del suelo o de otro tipo no relacionado con el monte. Esta situación, de no resolverse, hace que los fuegos se produzcan de forma reiterada cada vez que se abre una ventana de oportunidad meteorológica o existe una agregación de incendios que provoca que los medios de extinción se encuentren saturados.

A partir de los resultados obtenidos para incendios provocados, mediante la metodología desarrollada en este trabajo, resulta más fácil explicar y sobre todo predecir, donde se va a concentrar la actividad incendiaria en el futuro. Esta información permite planificar y organizar en el espacio y tiempo las medidas tendentes, en primer lugar, a aminorar la actividad incendiaria, actuando sobre las causas de los incendios, de carácter tanto general y especialmente local (los conflictos antes señalados). Segundo, organizar los medios de detección y extinción en función de las oportunidades meteorológicas que se presenten a los incendiarios. Tercero, establecer un sistema de lucha contra incendios de Galicia preparado para dar respuesta a los incendios de acuerdo a su causalidad. Hasta la actualidad, el servicio de lucha contra incendios ha sido diseñado para la extinción de cualquier fuego de cualquier origen y en cualquier lugar. Los datos y los análisis muestra

que la realidad, compleja y heterogénea, presenta patrones espaciales y temporales, que deben ser considerados en las diferentes fases de prevención, detección y extinción.

Finalmente las intensidades de primer orden de los incendios intencionados y con causa natural registrados en Galicia muestran que estos dos tipos de incendios tienen un comportamiento distinto. Esta situación pone de manifiesto la necesidad de utilizar distintas covariables para estimar el riesgo de estos tipos de incendios. Mientras que los incendios naturales dependen de las condiciones meteorológicas, debemos centrar nuestra atención en factores socio-económicos para desarrollar modelos de predicción de riesgo de incendios intencionados en Galicia. Estas diferencias y el bajo riesgo de incendios naturales en nuestra comunidad explican la poca capacidad de predicción de índices de riesgo basado en condiciones ambientales contrastados en otras áreas, en Galicia.

6. Conclusiones

Los incendios forestales tiene cada vez más importancia desde la perspectiva ambiental, social y económica. El despoblamiento rural y el cambio climático, que previsiblemente se incrementarán en el futuro, ocasionando incendios más grandes e intensos. Las administraciones, los centros de investigación y las empresas deben ser capaces de generar índices de riesgo de incendios que permitan predecir la posibilidad de ignición con mayor precisión para mejorar la efectividad al mismo tiempo que se abaratan los costes de extinción.

El análisis de correspondencias ha puesto de manifiesto el diferente comportamiento que presentan los incendios en Galicia en función de su causa. El estimador núcleo de la intensidad para las dos causas de incendios analizadas también pone de manifiesto diferentes comportamientos a nivel espacial. Se observa como los incendios de origen provocado presentan un patrón más claro y como la metodología desarrollada permite realizar predicciones en relación a su potencial ubicación futura.

Nuestro equipo de investigación sigue desarrollando modelos de predicción que, basándose en los resultados ya obtenidos como los que se muestran en este trabajo, incorporen marcas y covariables y nos permitan explicar con mayor precisión el comportamiento del fuego y, dentro del límite admisible y la dificultad de este tipo de predicciones, conocer de forma anticipada la localización y el momento en que se vayan a producir los focos de ignición

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos MTM2008-0310 del Ministerio de Educación y Ciencia, MTM2010-14961 y MTM2013-41383-P del Ministerio de Economía y Competitividad, y por la Xunta de Galicia a través de las ayudas a grupos de referencia competitiva CN 2012/015.

8. Bibliografía

BOUBETA M, LOMBARDÍA MJ, MAREY-PÉREZ MF, MORALES D, 2015. Prediction of forest fires occurrences with area-level Poisson mixed models. J. Environ. Manag. 154: 151-158.

DIGGLE, P.J. 1985. A kernel method for smoothing point process data. J. R. Stat. Soc. Ser. C. Appl. Stat. 34,(2), 138-147.

DIGGLE, P.J.; 2013. Statistical analysis of spatial and spatio-temporal point patterns, Third edition. CRC Press. Oxford, UK.

FUENTES-SANTOS, I.; GONZÁLEZ-MANTEIGA, W.; MATEU, J. 2016. Consistent smooth bootstrap kernel intensity estimation for inhomogeneous spatial Poisson point processes. *Scand. J. Stat.* 43 (2), 416-435.

FUENTES-SANTOS, I., MAREY-PÉREZ, M., GONZÁLEZ-MANTEIGA, W., 2013. Forest fire spatial pattern analysis in Galicia (NW Spain). *J. Environ. Manag.* 128, 30–42.

JUAN, P., MATEU, J., SAEZ, M., 2012. Pinpointing spatio-temporal interactions in wildfire patterns. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* 26 (8), 1131–1150

RÍOS-PENA, L., CADARSO-SUÁREZ, C., KNEIB, T., MAREY-PÉREZ, M., 2015. Applying binary structured additive regression (STAR) for predicting wildfire in Galicia, Spain. *Proc. Environ. Sci.* 27, 123–126.

RÍOS-PENA, L., KNEIB, T., CADARSO-SUÁREZ, C., MAREY-PÉREZ, M., 2017. Predicting the occurrence of wildfires with binary structured additive regression models. *J. Environ. Manag.* 187, 154–165.

SERRA, L., SAEZ, M., JUAN, P., VARGA, D., MATEU, J., 2014. A spatio-temporal Poisson hurdle point process to model wildfires. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* 28 (7), 1671–1684.