

Estudio de la causalidad de los incendios forestales en Galicia

Jesús Barreal¹, María Loureiro¹, Juan Picos²

RESUMEN: El objetivo de este trabajo es estudiar la relevancia de los múltiples factores socio-económicos, agrarios y ambientales en la ocurrencia de los incendios forestales en Galicia. Los modelos econométricos presentados analizan el número de incendios ocurridos así como el número de hectáreas quemadas, en función de los múltiples factores indicados. A raíz de los resultados obtenidos, se concluye que determinadas políticas públicas preventivas diseñadas hacia una reorientación el sector agro-ganadero, el cuidado de la pirámide poblacional y un mejor aprovechamiento de los usos del suelo, pueden ayudar a disminuir los incendios forestales en Galicia de forma significativa.

PALABRAS CLAVES: Relación causa-efecto, factores socio-económicos, climatología, regresión.

Clasificación JEL: Q23, Q51.

DOI: 10.7201/earn.2012.01.04.

The causality of wildfires in Galicia

ABSTRACT: The goal of this research is to analyze the importance of the main factors contributing to the occurrence of wildfires in Galicia. The econometric models are specified taking into account as a dependent variable the number of fires and affected area, while these depend on a number of explanatory variables, including climatic and socio-economic characteristics. Based on the obtained results, we conclude that public policies should be oriented to re-structuring the agro-livestock sector, considering the evolution of the population pyramid, and new land uses. Such policies can help to reduce wildfires in Galicia.

KEYWORDS: Cause-effect relationship, socio-economic factors, climatology, regression.

JEL classification: Q23, Q51.

DOI: 10.7201/earn.2012.01.04.

¹ Universidad de Santiago de Compostela. Facultad de C. Económicas y Empresariales. Departamento de Fundamentos de Análisis Económico, C/ Burgo das Nacións, s/n – 15782, Coruña.

Dirigir correspondencia a: Jesús Barreal y María Loureiro. E-mail: jesus.barreal@usc.es; maria.loureiro@usc.es.

² Universidad de Vigo. Departamento de Ingeniería de los Recursos Naturales y Medioambiente. Escuela de Ingeniería Forestal. Campus A Xunqueira s/n - 36005, Pontevedra.

Agradecimientos a: María Loureiro agradece la financiación recibida a través del programa ERANET-BIODIVERSA, proyecto “FIREMAN”, número EUI2008-03685.

1. Introducción

En el contexto mundial se estima que anualmente más de 500 millones de hectáreas son afectadas por incendios (véase Rowell y Moore, 1999). España está incluida dentro de los cinco países del sur de Europa con más incendios, registrando una media anual, entre 1998 y 2007, de 19.705 incendios que afectan a 130.714 hectáreas (véase Sociedad Española de Ciencias Forestales, 2010). Dentro del total español, destaca el caso de Galicia, que conteniendo el 6% de la superficie nacional, entre 1991 y 2009, representa de media alrededor del 45% de los incendios de España y el 23% de la superficie afectada, según los datos facilitados por Banco de Datos de la Naturaleza (2010) y Xunta de Galicia (2011).

Por su parte, la evolución de los incendios en Galicia es dispar. Siguiendo los datos facilitados por el “Instituto Galego de Estadística” (véase IGE, 2011a), se observa que desde 2001 el número de incendios muestra una tendencia creciente hasta 2005, viéndose reducidos en número a partir de ese momento. En cuanto a la superficie afectada, desde 2002 a 2006, se ve incrementada cada año, pero a partir de ese periodo se reduce considerablemente.

Para profundizar en el estudio de los incendios es necesario conocer cuál es la situación social de las zonas agro-forestales de Galicia. Dichas áreas presentan núcleos dispersos y con una población cada vez más envejecida, como consecuencia de la constante despoblación y la continua emigración de la gente más joven a núcleos poblacionales de mayor entidad (véase Marey *et al.*, 2007). La pérdida de peso del sector agro-forestal dentro de la producción regional también se hizo patente desde hace bastante tiempo, así como la reducción de la ocupación de esta actividad. Esto ha dificultado la fijación de gente joven en el rural y ha ocasionado que cada vez haya menos explotaciones que empleen el medio forestal para abastecerse de recursos productivos (véase Vega, 2007 y Sineiro, 2006). Esto también origina que los recursos forestales se encuentren cada vez más descuidados, pudiendo incrementar la virulencia de los incendios. Además, la estructura de la propiedad forestal se caracteriza por estar muy dividida, con un alto grado de propiedad privada (véase Sineiro, 2006) y cada vez más en manos de personas de avanzada edad, lo que dificulta su gestión y obtener una buena rentabilidad.

Siguiendo a Molano *et al.* (2007) y Martínez *et al.* (2009), los factores determinantes de la ocurrencia de incendios pueden ser clasificados en dos: los inevitables y los evitables. Se consideran causas inevitables aquellas que no se pueden prevenir ni disuadir, mientras que las evitables se corresponden con aquellas que se pueden evitar mediante acciones individuales o políticas forestales. Esto se traduce en que existen factores exógenos, que no son controlables, a lo que se le une otros endógenos sobre los que se pueden actuar con políticas de control. En general, las primeras causas están relacionadas con los fenómenos naturales, mientras que las segundas se pueden desglosar en tres posibles clasificaciones: las intencionadas, las imprudentes y las causas desconocidas. Por su parte, las causas evitables representan casi la totalidad de las causas, pero la mayor parte de las mismas se califican como desconocidas

(véase Pérez y Delgado, 1995 y Molano *et al.*, 2007), lo que demuestra que la causalidad no está recogida con mucha fiabilidad y depende considerablemente del criterio del investigador.

En Galicia existen diferentes áreas climáticas, provocando que haya una desigual disposición de combustible que pueda ser quemado dependiendo de la zona (véase Martínez *et al.*, 1999; págs. 77-105). Este elemento dificulta la organización de las actividades destinadas a prevenir y extinguir incendios. Teniendo en cuenta lo anterior y el impacto social y medioambiental que causan los incendios forestales, las instituciones públicas se han centrado en los últimos años en el diseño de políticas preventivas. Por lo tanto, para un buen funcionamiento de dichas políticas, es importante conocer las causas que inciden en la ocurrencia de incendios.

En un contexto medioambiental la toma de decisiones se caracteriza por la presencia de factores de riesgo dinámico, lo que hace necesario el análisis atendiendo al contexto de riesgo endógeno (véase Rogalski, 1999). Esto conduce a la localización de dos factores fundamentales: uno que es totalmente incierto y otro que puede ser modificado mediante acciones orientadas a evitar y mitigar las posibles consecuencias. En un contexto forestal el riesgo dinámico está muy ligado a las variables socioeconómicas y a las consecuencias que éstas tienen sobre la causalidad de los incendios. Por ello, es necesario conocer los factores que ocasionan estos riesgos, para poder orientar las políticas preventivas encaminadas a reducir los incendios. Para tal fin, se debe de elaborar un modelo simple, estructurado y fácil de estandarizar, que pueda ser actualizado con facilidad (véase King y MacGregor, 2000).

Para conocer dichos factores se han empleado hasta el momento diversas metodologías. En algunos estudios se relacionan diversos factores para explicar porque unas zonas se ven más afectadas que otras (véase Lavorel *et al.*, 2007), pero no cuantifican las interacciones que describen y apoyan sus argumentos en gráficas y estadísticas. Otros estudios emplean técnicas propias de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), para lo que utilizan modelos de probabilidad de riesgo y vinculan sus variables con el entorno forestal. Los estudios que emplean estos sistemas se caracterizan por utilizar la regresión logística (véase Vilar *et al.*, 2008; Chuvieco *et al.*, 2009 y Martínez *et al.*, 2009), los índices de riesgo (véase Cabrera, 1989) o modelos espaciales con variables independientes (véase Romero-Calcerrada *et al.*, 2010).

Por otra parte, existen estudios que exploran la posible relación entre los incendios y un grupo determinado de variables. En estos análisis se emplea frecuentemente el método de mínimos cuadrados ordinarios, utilizando variables que recogen la gestión forestal (véase Butry, 2009), mientras que otros utilizan variables meteorológicas (véase Aguado *et al.*, 2007). Destaca también la existencia de estudios que emplean los métodos multivariantes, incluyendo en ellos las técnicas clúster o el discriminante (véase Martínez y Chuvieco, 2003). En cuanto a las variables empleadas en estos estudios son muy diversas. En algunos se emplean los datos de incendios ocurridos en el pasado, a los que se les une indicadores de virulencia e intencionalidad para explicar las diferencias regionales de afectación y causalidad (véase Bardají y Molina, 1999). En los modelos que emplean técnicas SIG, se pueden identificar el uso de variables geográficas y otras de carácter estadístico. Dentro de las variables

geográficas algunos estudios incluyen variables como la ubicación de carreteras, áreas industriales o recreativas (véase Romero-Calcerrada *et al.*, 2010). Otras variables relevantes vienen representadas por la renta, la maquinaria o el número de cabezas de ganado (véase Vilar *et al.*, 2008). Es reseñable que la mayor parte de los modelos incluyen variables meteorológicas, destacando que en algunos casos miden la capacidad de generación vegetal y se relacionan con el riesgo de incendio (véase Aguado *et al.*, 2007). Pérez y Delgado (1995) detectan que el fraccionamiento de la propiedad agraria, la densidad de población o la sequía son factores que aumentan el riesgo de incendio, mientras que la dispersión y la productividad forestal actúan negativamente. Otros estudios analizan el riesgo de incendio diferenciando entre las diferentes fases del mismo, utilizando como variables dependientes la fase de ignición, intensidad o superficie afectada (véase Mercer y Prestemon, 2005).

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el presente estudio pretende ampliar las consideraciones previas con datos recientes, estimando tanto el impacto de los factores socio-económicos como climáticos o de uso del suelo, para analizar su posible implicación en el desarrollo de políticas preventivas. También extiende un primer análisis previo (véase Barreal *et al.*, 2011) realizado con una serie temporal reducida (2001-2005). Si bien, cabe destacar que a pesar de las diferencias metodológicas, la incidencia de la climatología, la estructura de la población y los usos agrarios son especialmente importantes a la hora de modelar la ocurrencia de los incendios forestales en Galicia. Por ello, en el presente trabajo se espera aportar un modelo empírico que ilustre la posible relación causa-efecto entre variables que representen en dos regresiones diferentes la extensión y número de incendios, respectivamente, en función de las causas evitables e inevitables, incluyendo las peculiaridades del área a analizar. Las causas inevitables estarán incluidas en el modelo mediante algún indicador climático, mientras que las evitables están representadas fundamentalmente por características socioeconómicas, a las que se le ligarán datos territoriales y medio ambientales. Los resultados obtenidos permiten la recomendación de una serie de actuaciones encaminadas a reducir el impacto y número de incendios ocurridos en Galicia.

2. Material y métodos

2.1. Datos

Para realizar este estudio se consideró el horizonte temporal desde 2001 hasta el 2009, dado que éstos son los datos más recientes disponibles para poder emplear los 19 distritos forestales creados por la administración autonómica de Galicia (véase Xunta de Galicia, 2011). La obtención de datos desagregados a nivel distrito es de gran dificultad, pues solo se recogen los correspondientes a incendios con esa delimitación geográfica. Esto provocó que hubiese que agregar los datos disponibles para el período 2001-2009 de todos los municipios que componen cada distrito. Además, en numerosos casos, la disponibilidad de los datos fue reducida, como en el caso de

los datos relacionados con el censo o con los datos de cobertura. Por ello, diversas variables tuvieron que ser transformadas con anterioridad para poder ser introducidas en el modelo, empleando técnicas geográficas o la agregación de datos municipales. Como unidad de medida de superficie se emplearon las hectáreas.

Los datos utilizados se presentan en el Cuadro 1 y se pueden agrupar en 7 grandes categorías, donde se recogen variables relativas a la población, meteorología, cobertura forestal, territorio, sector agro-ganadero, descriptores de incendios y una serie de variables ficticias que representan la temporalidad anual de los datos. Dichas variables ficticias toman los valores 0-1 para indicar la ausencia o presencia, respectivamente de los efectos categóricos ligados a cada uno de los años específicos de la muestra. Como varias variables de algunos grupos presentaban alta correlación entre sí, se fijó el límite del 70% de correlación entre ambas como criterio de exclusión. Por ello, se escogieron aquellas variables que son más representativas del grupo y que no presentan correlaciones elevadas entre las variables del modelo. Además, se calculó el factor de inflación de la varianza (en inglés Variance Inflation Factor)-VIF- para analizar el nivel de multicolinealidad entre variables elegidas (véase Neter *et al.*, 1983; págs. 391-393), obteniendo valores medios menores al 1,8 para el conjunto y menores a 2,5 para cada una de ellas de forma individual. Estos valores nos indican que dentro de las variables seleccionadas, no existe evidencia de problemas relacionados con la presencia de multicolinealidad.

Para la creación de series históricas de datos, en el caso de no existir valores para un año concreto, se supone que dicha variable o variables siguen la distribución del año anterior. Un caso análogo es el de los datos forestales o agro-ganaderos, pues se disponían de cifras de un solo momento temporal, por lo que tuvieron que ser extrapolados a todo el período.

Para la elaboración de las variables climáticas se recurrió a Meteogalicia (2011). En dicha fuente se localizaron las estaciones que pertenecen cada distrito y se halló la media de su temperatura máxima para los meses de Junio, Julio y Agosto. La elección de esos periodos se debió a que es en el verano cuando se registra un mayor número de incendios (véase Molano *et al.*, 2007). Para obtener datos de índole territorial se acudió al IGE (2011b), de donde se obtuvo la distribución de las propiedades rústicas, así como su valor catastral. De esta misma fuente también se obtuvieron los datos necesarios para conocer el número de entidades singulares de cada distrito así como su población. Con esto se pudo calcular el valor per cápita de las propiedades forestales, que resultó de dividir el valor catastral de las fincas rústicas, entre la población total del distrito.

CUADRO 1
Variables de estudio

Variable	Descripción	Fuente	Media	Desviación Estándar	Mín.	Máx.
Características de los incendios						
Hectáreas afectadas entre superficie forestal	Superficie afectada en hectáreas en cada distrito ¹	IGE	0,02	0,03	8,0E-05	0,22
Número de incendios	Número de incendios al año en cada distrito	IGE	401,00	282,30	23,00	1.268,00
Ficticias						
Dummy año t ²	Representa el año t	Elaboración propia	0,11	0,32	0,00	1,00
Climáticas						
Temperatura máxima media	Media de la temperatura máxima, en grados centígrados, de los meses de Junio, Julio y Agosto para cada distrito	Meteorología	23,38	2,36	18,90	30,37
Poblacionales						
Entidades singulares ³	Número de entidades singulares por distrito	IGE	1.580,54	802.0124	263,00	2.94
Territoriales						
Valor sociedad	Valor medio de las propiedades rústicas que le correspondería a cada habitante del distrito	IGE	805,93	560,26	65,40	2.953,22
Agro-ganaderas						
Superficie relativa de tierras labradas	Proporción de superficie de labradío de la que disponen las explotaciones agro-ganaderas en función de la superficie del distrito	IGE	0,08	0,04	0,03	0,19
Cobertura forestal						
Superficie relativa de matorral de transición	Proporción de vegetación arbustiva o herbácea con árboles dispersos ⁴ en el conjunto del distrito	Corine	0,14	0,06	0,053	0,25

¹ Unidad administrativa forestal determinada por la Xunta de Galicia (véase Xunta de Galicia, 2011).

² Para t= (2002,...,2009).

³ Siguiendo INE (2011), "Se entiende por Entidad singular de población cualquier área habitable del término municipal, habitada o excepcionalmente deshabitada, claramente diferenciada dentro del mismo, y que es conocida por una denominación específica que la identifica sin posibilidad de confusión".

⁴ Siguiendo al Instituto Geográfico Nacional (2002).

En cuanto a las variables agro-ganaderas también se recurrió al IGE (2011b), de donde se obtuvo la proporción que representa dentro de cada distrito la superficie destinada por las explotaciones agro-ganaderas a tierras de labradío. En cuanto a la distribución de la cobertura forestal, se ha recurrido a la base de datos Corine 2006. Esta fuente es facilitada por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) y recoge información a través de la interpretación de imágenes de satélite, a partir de las cuales se clasifican los tipos de cobertura terrestre (véase European Environment Agency, 2007). Para extraer la información por distrito se empleó el software libre GvSig (2011), recortando los datos para medir el área de cada tipo de cobertura. Por ello, en este trabajo se tendrá en cuenta la representación relativa a la superficie total de la superficie denominada por Corine Land Cover, como por ejemplo, el matorral boscoso de transición.

Las variables dependientes también se obtuvieron del IGE (2011b). Dado que para los seis primeros años el nivel de desagregación era el municipal, hubo que agregar las variables a modelizar por distrito forestal. Para obtener la superficie afectada se agregó la superficie rasa y arbolada afectada. Con el fin de estimar los modelos empíricos antes señalados y los test estadísticos necesarios, se empleó el programa Stata 10.1 (véase Stata, 2010).

2.2 Metodología

Para analizar la relación entre el conjunto de variables expuestas y los incendios en Galicia, se emplea una regresión lineal estimada por el Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (M.C.O.), controlando los coeficientes por la heterogeneidad de cada distrito a través de la corrección Hubert-White de los errores estándar. Así el modelo se expresará según la ecuación [1], para la que se dispondrán las variables en datos de panel. En dicha expresión los subíndices “ j , k , h ” hacen referencia al tipo de variable e “ i ” al número de observación.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_j X_{ji} + \beta_k X_{ki} + \beta_h X_{hi} + \varepsilon_i \quad [1]$$

Con esta especificación común, se modelarán en dos ecuaciones independientes tanto la proporción de hectáreas quemadas en función de la superficie forestal del distrito, como el número de incendios en dicha demarcación territorial. Las variables independientes que representan indicadores socio-económicos serán representadas por el vector X_{ji} , que incluirán datos sobre la situación agro-ganadera, poblacional, territorial y de cobertura forestal. Por otro lado la climatología estará representada por X_{ki} , que incluye la variable temperatura. Para concluir, se incluye el vector X_{hi} , que representa las variables ficticias que reflejan el año al que pertenecen los datos.

Con la ayuda del test Box-Cox, se analiza y selecciona la forma funcional más apropiada para la ecuación [1], entre el empleo de un modelo logarítmico, lineal, o semi-logarítmico. El test Box-Cox propone que la variable dependiente transformada será la reflejada en la ecuación [2], en la cual los residuos se comportan por una normal para estimar los parámetros β y θ .

$$g(y_i|\theta) \equiv \frac{y_i^\theta - 1}{\theta} = X_i'\beta + \mu_i \quad [2]$$

De esta manera, si la estimación de θ es próxima a cero, entonces el mejor modelo a emplear es el log-lineal, mientras que si se aproxima a la unidad, se debería aplicar un modelo lineal, siempre y cuando los estadísticos correspondientes sean significativos.

Como el número de incendios está expresado con datos denominados de recuento, se emplea el modelo de regresión de Poisson (M.R.P.) establecido por la ecuación [3], utilizando la especificación previa.

$$\mu_i = \exp(\beta_0 + \beta X_{ji} + \beta X_{ki} + \beta X_{hi} + \varepsilon_i) \quad [3]$$

Como el MRP puede presentar sobredispersión, se debe llevar a cabo un test que determine su presencia. Para ello, siguiendo Cameron y Trivedi (2005; págs. 670-671), se puede definir dicho comportamiento en los datos a través de la ecuación [4]. En ésta, la varianza depende de la media más un parámetro (α) al cuadrado que influye en la media. De este modo si $\alpha=0$ entonces la varianza será igual a la media y tiene como resultado la ausencia de sobredispersión.

$$Var(y|x) = E(y|x) + \alpha^2 E(y|x) \quad [4]$$

Si el coeficiente α es distinto a cero, entonces se debe estimar un modelo de regresión binomial negativa (MRBN). Esto se debe a que es un modelo que generaliza el MRP y es el más recomendable si se presenta sobredispersión (véase Cameron y Trivedi, 2009; págs. 558-561). Con esto, la expresión que seguirá el MRBN tendrá en cuenta las variables empleadas en el MRP.

Para interpretar los coeficientes de dicho modelo es recomendable computar el ratio de incidencia, dado que los resultados son más fáciles de interpretar (Incidence Rate Ratio) (denominado IRR) (véase Long y Freese, 2001; págs. 229-237). Por ello, a partir del modelo seleccionado, se estimará el IRR para poder cuantificar de forma más directa los valores de los parámetros estimados. Esta operación consiste en calcular el índice siguiendo la ecuación [5], lo que provoca que se puedan interpretar los resultados como el cambio en la probabilidad de que ocurra un incendio debido al cambio de la variable independiente que se quiera analizar, manteniendo las demás constantes.

$$IRR = \log(\mu_{x+1}/\mu_x) = \log\mu_{x+1} - \log\mu_x \quad [5]$$

En estos modelos se considerarán una serie de hipótesis que relacionan la ocurrencia de incendios con las variables independientes. Por ejemplo, en el caso de la meteorología, se considera que puede condicionar el origen del incendio o influir en su extensión, debido a que puede dificultar su extinción. Por ello, esperamos que el coeficiente de la variable correspondiente sea estadísticamente significativo.

En este sentido, las características territoriales son un factor importante, dado que la población está ubicada en numerosos entes poblacionales que están diseminados por toda la geografía. Esto provoca que la población esté dispersa, dificultando el control de dichos lugares. Si a esto se le une que la población puede estar separada por grandes distancias, entonces en caso de incendio, la agilidad para avisar a los equipos de extinción, o para sofocarlos por la propia población, es menor. Además la estructura de propiedad se caracteriza por ser minifundista, provocando que la gestión sea compleja, lo que incide en la problemática de los incendios. Esto puede estar recogido por el número de parcelas que posea cada titular o la valoración de las mismas. La valoración podrá indicar el comportamiento del gestor forestal, pues cuanto más valoradas estén sus propiedades, mayor será el cuidado que ejerzan para no arriesgar su riqueza. En este sentido el valor que tengan dichos activos en la sociedad puede provocar que aumente la estima hacia dicho bien, lo que se traduce en un mayor cuidado del entorno y en una reducción de los incendios.

Las explotaciones agrícolas son de especial interés, pues usan y modifican el entorno forestal. Por ello, se espera que la actividad agro-ganadera incida negativamente en los incendios, dado que el valor del entorno es mayor, provocando que las actividades preventivas sean mayores. Además se supone que la superficie de la que disponen las explotaciones para usos agro-ganaderos puede actuar como zona preventiva (véase Nelson *et al.*, 2003). Por otra parte, tiene interés la ordenación de los recursos forestales, dado que se calcina cada año más superficie rasa que arbolada, provocando la necesidad de incluir variables que describan la cobertura forestal. En este sentido, la ausencia de superficies arboladas indica la existencia de un menor aprovechamiento y, por tanto, una peor disposición de medios de prevención y extinción.

Por su parte, la evolución temporal de los incendios presenta gran variabilidad, por ello se debe de incluir un conjunto de variables ficticias que indiquen los años a los que corresponden los datos. De esta manera se intentará localizar si existe una tendencia de carácter cíclico en las variables dependientes.

3. Resultados y discusión

Primeramente, para aproximarnos al estudio de la superficie afectada se empleó un modelo logarítmico dado que el test Box-Cox del Cuadro 2, ofrecía una estimación significativa del mismo. Por su parte el número de incendios presentaba un test Box-Cox que no concluía de forma significativa el empleo de ninguna de las estimaciones planteadas en la metodología, por lo que se ha decidido estimar un modelo logarítmico para facilitar la comparabilidad en la estimación por MCO.

CUADRO 2
Resultado de los modelos

	MCO				POISSON			BINOMIAL NEGATIVA		
	Hectáreas afectadas entre superficie forestal		Núm. de incendios		Núm. de incendios		IRR	Núm. de incendios		IRR
	Coef.	P>t	Coef.	P>t	Coef.	P>t	Coef.	Coef.	P>t	Coef.
Dummy año 2002	0,549 (0,199)	0,013	0,221 (0,067)	0,004	0,196 (0,065)	0,003	1,217	0,183 (0,065)	0,005	1,201
Dummy año 2003	0,135 (0,277)	0,631	-0,052 (0,120)	0,667	-0,205 (0,101)	0,043	0,814	-0,144 (0,135)	0,288	0,866
Dummy año 2004	0,815 (0,181)	0,000	0,173 (0,062)	0,012	0,080 (0,072)	0,268	1,083	0,107 (0,076)	0,159	1,113
Dummy año 2005	1,240 (0,199)	0,000	0,188 (0,099)	0,075	0,084 (0,061)	0,171	1,087	0,099 (0,100)	0,322	1,104
Dummy año 2006	1,535 (0,317)	0,000	-0,365 (0,139)	0,017	-0,490 (0,111)	0,000	0,613	-0,388 (0,135)	0,004	0,678
Dummy año 2007	-0,675 (0,236)	0,010	-0,555 (0,087)	0,000	-0,593 (0,137)	0,000	0,553	-0,625 (0,128)	0,000	0,535
Dummy año 2008	-0,810 (0,241)	0,004	-0,815 (0,140)	0,000	-0,838 (0,167)	0,000	0,432	-0,849 (0,170)	0,000	0,428
Dummy año 2009	-0,044 (0,199)	0,828	-0,348 (0,097)	0,002	-0,437 (0,126)	0,001	0,646	-0,458 (0,150)	0,002	0,633
Temp. máx. media	1,896 (1,366)	0,182	2,893 (0,858)	0,003	0,122 (0,024)	0,000	1,130	0,107 (0,033)	0,001	1,113
Superf. relativa de tierras labradas	0,656 0,197	0,004	0,653 (0,124)	0,000	5,654 (1,779)	0,001	285,470	7,146 (3,061)	0,020	1269,116
Valor sociedad	-0,715 (0,129)	0,000	-0,660 (0,082)	0,000	-0,001 -2,00E-04	0,000	0,999	-6,00E-04 -2,00E-04	0,001	0,999
Superf. relativa de matorral boscoso de transición	0,934 (0,250)	0,001	0,209 (0,167)	0,226	-0,750 (1,163)	0,519	0,472	0,334 (1,727)	0,847	1,396
Entidades Singulares	-0,658 (0,129)	0,000	-0,389 (0,084)	0,000	-2,00E-04 -6,00E-05	0,000	0,999	-3,00E-04 -8,00E-05	0,000	0,999
Constante	1,750 (5,361)	0,748	5,963 (3,378)	0,094	3,957 (0,574)	0,000	3,987	3,987 (0,898)	0,000	
Núm. de observaciones	171		171		171			171		
Estadístico F	18,72		103,5							
Prob > F	0,000		0,000							
R ²	0,7241		0,8292							
Test de sobredispersión			Test Box-Cox							
muhat	0,0795189 0,0178343	0,000	Con respecto a la regresión de Hectáreas afectadas entre superficie forestal y siguiendo Cameron y Trivedi (2009), no se rechaza la especificación log-log siguiendo el test de máxima verosimilitud Box-Cox (0,413), pero sí el resto de formas funcionales. En cuanto a la regresión del número de incendios, no se proporciona evidencia empírica sobre la mejor forma funcional testada, pero por comparativa con la anterior, se selecciona la log-log.							

Teniendo en cuenta que el número de incendios es una variable de recuento también y con los resultados del Cuadro anterior, donde se presenta la existencia de sobredispersión, se optó por estimar el MRBN. Siguiendo los resultados del Cuadro 2, en la estimación por MCO, se logra explicar el 72,41% de la variación en la superficie afectada y el 82,92% de la variación en el número de incendios. Cabe mencionar que también se llega a la conclusión de que los parámetros estimados son de forma conjunta estadísticamente significativos para cada estimación.

Analizando más en detalle cada variable explicativa, con respecto a la temperatura media máxima, se puede observar que ésta no es significativa para la superficie afectada, mientras que sí parece ser significativa para el número de incendios. Por su parte, las variables ficticias muestran que el número de incendios y la superficie afectada afecta de forma considerable a alguno de los años. Dicha relación se rompe en 2006 para el número de incendios y en 2007 para la superficie afectada, mostrando a partir de ese momento valores negativos y en la mayor parte de los casos significativos.

En cuanto a las variables socio-económicas es destacable el papel de las variables agro-ganaderas en los incendios. La importancia del espacio relativo dedicado a las actividades de labranza en el distrito provoca que si éstas se ven aumentadas en una unidad porcentual, entonces la superficie relativa afectada por los incendios se ve incrementada en un 1,89%. Por su parte, en la regresión que modela el número de incendios también se destaca esta relación positiva (0,653), presentando un IRR alto y significativo.

En cuanto al valor social, éste muestra una incidencia negativa en la proporción de superficie afectada (-0,715), al igual que es el número de incendios (-0,660), con un IRR que implica que un aumento del valor social provoca una disminución de los incendios en un factor del 0,999. Por su parte, se muestra que el peso relativo del matorral boscoso presenta una incidencia positiva en la afección de los incendios (0,934), aunque esta variable no resulte ser significativa al explicar el número de incendios, ni con el modelo por MCO (0,226) ni con el MRBN (0,847).

Por último, la presencia de entidades de población singulares se observa que provoca una disminución en la superficie relativa afectada (-0,658) y en el número de incendios (-0,389). Dicha variable muestra un IRR que implica que si aumentan las entidades singulares, entonces el número de incendios se ve reducido en un 0,999.

Intuitivamente el resultado de la variable meteorológica no es el aguardado, pues se esperaría una relación positiva y significativa en ambos casos. Una justificación de este resultado que merecería ser estudiada en el hecho de que muchos incendios de montaña ocurren en primavera, cuando existe menor disponibilidad de medios de extinción. Con todo esto, una correcta predicción meteorológica puede llevar a prever el número de incendios para un determinado periodo y poder establecer medidas de actuación. Esto provocaría que se pudiesen crear marcos de actuación orientados a operar si las condiciones meteorológicas cambian; logrando de esta manera una mayor efectividad de los mecanismos contraincendios y un menor daño en la masa forestal.

En cuanto al resto de variables, las agro-forestales son de vital importancia, dado que están muy relacionadas con el tipo de superficie que presente el distrito. Los resultados derivados de la cobertura forestal implican que se debe considerar el tipo de vegetación e intensidad de su aprovechamiento. También se concluye que la explotación de los bosques provoca una mayor valoración forestal que se ve asociada con una menor causalidad de incendios.

El sector agrícola debe de ser supervisado con especial atención dado que modifica los usos del suelo y el estado de los mismos. Siguiendo el estudio de Nelson *et al.* (2003), este resultado muestra que no se deben entender las zonas agrícolas como una barrera contra los incendios, sino que favorecen su presencia. La caracterización de las propiedades también incide en los incendios, pues cuanto más valor catastral tenga la propiedad, mayor será el cuidado y menor el número de incendios. Esto también implica la presencia de más medios de extinción debido a que se enfrentan a mayores pérdidas en caso de incendio. Por ello, la administración pública debería plantear mecanismos orientados a la concentración de la propiedad, a la revalorización de ésta y a una mayor sensibilización forestal de los propietarios. También se concluye que la presencia de entidades de población favorece la reducción del número de incendios y a su afección. Esto puede estar relacionado con el efecto disuasorio que producen la presencia de casas en el entorno forestal gallego. Del mismo modo, esta característica poblacional favorece la rapidez para sofocar un incendio, dado que los vecinos pueden actuar rápidamente o para avisar a los servicios de extinción.

En cuanto a los ciclos temporales, no se puede determinar un comportamiento claro, aunque a partir de 2005 el número de incendios se ve reducido en comparación con el año 2001, mientras que para la superficie afectada esto ocurre a partir de 2006. Esta tendencia puede estar influida por distintos criterios de clasificación a lo largo de la serie histórica o por cambios en la eficacia de los medios preventivos y de extinción de incendios.

4. Conclusión

Con todo lo expuesto, se observa que las variables socio-económicas ayudan a explicar la incidencia de los incendios forestales en Galicia. Además de la importancia de las variables climatológicas, encontramos evidencia de que el abandono del monte (manifestado a través de una mayor matorralización del mismo), y un menor valor de las parcelas, afecta de forma considerable a la incidencia de incendios. Por otra parte, la presencia de núcleos poblacionales decrece la manifestación de incendios. Es por ello, que a partir de estas conclusiones, se puedan elaborar diversas guías de actuación para los distintos entes administrativos subregionales encargados de las políticas de actuación en las variables que se recogen en este estudio. De esta manera se puede mejorar la situación de la riqueza forestal con políticas que no son puramente forestales pero que afectan al sector de manera indirecta. Con estas actuaciones se lograría que la elaboración de políticas por las administraciones públicas tuviera un mayor éxito en la reducción de incendios.

Finalmente, para refinar el presente estudio se podrían utilizar variables más detalladas en cuanto a las condiciones meteorológicas, tales como la humedad o días sin precipitaciones antes del incendio, así como un mejor análisis de estructuras de la propiedad, todo ello con datos de una mayor desagregación geográfica. Desgraciadamente dichos datos no se encuentran aún disponibles, aunque esperamos poder incluirlos en modelos futuros.

Referencias

- Aguado, I., Chuvieco, E., Borén, R. y Nieto, H. (2007). "Estimation of dead fuel moisture content from meteorological data in Mediterranean areas. Applications in fire danger assessment". *International Journal of Wildland Fire*, 16(4): 390-397. <http://doi.org/dbtxf2>
- Banco de Datos de la Naturaleza. (2010). *Anuario de estadística forestal 2009*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.
- Bardají, M. y Molina, D. (1999). "Análisis comparativo interregional de los incendios forestales en la España peninsular". *Investigaciones Agrarias: Sistemas de Recursos Forestales*, 8(1): 151-168.
- Barreal, J., Loureiro, M. y Picos, J. (2011). "Estudio de la incidencia de los incendios en Galicia: una perspectiva socioeconómica". *Revista Galega de Economía*, 20(núm. extraordinario): 227-246.
- Butry, D.T. (2009). "Fighting fire with fire: estimating the efficacy of wildfire mitigation programs using propensity scores". *Environmental and Ecological Statistics*, 16(2): 291-319. <http://doi.org/cm8wj>
- Cabrera, A.D. (1989). "Metodología de estudio de los incendios forestales: el caso de la provincia de Córdoba". *ERIA*, (19-20): 139-146.
- Cameron, A.C. y Trivedi, P.K. (2005). *Microeconometrics. Methods and applications*. Cambridge University Press, Cambridge. <http://doi.org/hrs>
- Cameron, A.C. y Trivedi, P.K. (2009). *Microeconometrics using Stata*. Stata Press, Texas.
- Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Salas, J., Martín, M.P., Vilar, L., Martínez, J., Martín, S., Ibarra, P., De La Riva, J., Baeza, J., Rodríguez, F., Molina, J.R., Herrera, M.A. y Zamora, R. (2009). "Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies". *Ecological Modelling*, 221(1): 46-58. <http://doi.org/fkbjcf>
- European Environment Agency (2007). *CLC2006 technical guidelines*. EEA Technical report, 17/2007. EEA, Copenhagen. <http://doi.org/hrt>
- GvSIG (2011). *Asociación GvSIG*. Web: www.GvSIG.com.
- IGE (2011a). *Información Territorial de Galicia*. Instituto Galego de Estadística, http://www.ige.eu/web/mostrar_actividade_estadistica.jsp?idioma=gl&codigo=0101001 [Último acceso en Enero 2012].

- IGE (2011b). *Banco de datos municipal*. Instituto Galego de Estadística, http://www.ige.eu/web/mostrar_paxina.jsp?paxina=002001&idioma=gl [Último acceso en Enero 2012].
- INE (2011). *INEbase/Nomenclátor. Relación de unidades poblacionales / Metodología*. Instituto Nacional de Estadística, <http://www.ine.es/nomen2/Methodologia.do> [Último acceso en Enero 2012].
- Instituto Geográfico Nacional (2002). *Corine 2000: Descripción de la nomenclatura del Corine Land Cover al nivel 5º*. Subdirección General de Geomática y Teledetección, Madrid.
- King, D. y MacGregor, C. (2000). "Using Social indicators to measure community vulnerability to natural hazards". *The Australian Journal of Emergency Management*, 15(3): 52-57.
- Lavorel, S., Flannigan, M., Lambin, E. y Scholes, M. (2007). "Vulnerability of land system to fire: Interactions among humans, climate, the atmosphere, and ecosystems". *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(1): 33-53. <http://doi.org/drsvrq>
- Long, J.S. y Freese, J. (2001). *Regression models for categorical dependent variables using Stata*. Stata Press Publication, Austin (Texas).
- Marey, M.F., Rodríguez, V. y Crecente, R. (2007). "Perfil del propietario forestal individual en Galicia: objetivos y prácticas de gestión en el noroeste de la comunidad". *Revista Galega de Economía*, 16(1): 1-24.
- Meteogalicia (2011). *Informes Meteorolóxicos*. Meteogalicia. <http://www.meteogalicia.es/observacion/informesclima/informesIndex.action> [Último acceso en Enero 2012].
- Martínez, A., Castillo, F., Pérez, A., Valcárcel, M. y Blanco, R. (1999). *Atlas climático de Galicia*. Xunta de Galicia, Santiago de Compostela.
- Martínez, J. y Chuvieco, E. (2003). "Tipologías de incidencia y causalidad de incendios forestales basadas en análisis multivariante". *Ecología*, 17: 47-63.
- Martínez, J., Vega-García, C. y Chuvieco, E. (2009). "Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain". *Journal of Environmental Management*, 90(2): 1241-1252. <http://doi.org/fs72tp>
- Mercer, D.E. y Prestemon, J.E. (2005). "Comparing production function models for wildfire risk analysis in the wildland-urban interface". *Forest Policy and Economics*, 7: 782-795. <http://doi.org/dn4dds>
- Molano, F., Rodríguez, C. y Ponte, J.M. (2007). *Informe sobre investigación de incendios en Galicia. Verano 2006*. Diputación de Coruña, A Coruña.
- Nelson, K.C., Johnson, J.F., Monroe, M. y Bowers, A. (2003). "Public perceptions of defensible space and landscape values in Minnesota and Florida". En Jakes, P.J. (Ed.): *Homeowners, communities, and wildfire; Science findings from the National Fire Plan*. Bloomington, Indiana: 55-62.
- Neter, J., Nachtsheim, C. y Kutner, M. (1983). *Applied linear regression models*. Richard D. Irwin, Chicago.

- Pérez, J. y Delgado, J.L. (1995). “Análisis del riesgo de incendio forestal en Galicia”. *Revista Agricultura y Sociedad*, 77: 109-124.
- Rogalski, J. (1999). “Decision making and management of dynamic risk”. *Cognition, Technology & Work*, 1(4): 247-256. <http://doi.org/dmx2mc>
- Romero-Calcerrada, R., Barrio-Parra, F., Millington, J.D.A. y Novillo, C.J. (2010). “Spatial modelling of socioeconomic data to understand patterns of human-caused wildfire ignition risk in the SW of Madrid (central Spain)”. *Ecological Modelling*, 221(1): 34-45. <http://doi.org/d5q5hp>
- Rowell, A. y Moore, P.F. (1999). *Global review of forest fires*. WWF/IUNC, Gland (Suiza).
- Sineiro, F. (2006). “As causas estruturais dos incendios forestais en Galicia”. En Díaz-Fierros, F. y Baamonde, P. (Eds.): *Os incendios forestais en Galicia*. Consello da Cultura Galega, Santiago de Compostela: 77-92.
- Sociedad Española de Ciencias Forestales. (2010). *Situación de los bosques y del sector forestal en España*. SECF, Madrid.
- Stata (2010). *Data analysis and statistical software*. StataCorp LP, Austin (Texas). www.stata.com.
- Xunta de Galicia (2011). *Pladiga 2011*. Consellería de Medio Rural. Dirección Xeral de Montes, Santiago de Compostela.
- Vega, J.A. (2007). “Impacto de los incendios sobre suelo y vegetación forestales en Galicia y desarrollo de una selvicultura preventiva”. En Díaz-Fierros, F., Balboa, X. y Barreiro, X.L. (Eds.): *Por unha nova cultura forestal fronte aos incendios*. Consello da Cultura Galega y Fundación Caixa Galicia, Santiago de Compostela: 87-126.
- Vilar, L., Martín, M.P. y Martínez, J. (2008). “Emprego de técnicas de regresión logística para la obtención de modelos de riesgo humano de incendio forestal a escala regional”. *Boletín de la A.G.E.*, 47: 5-29.

