

Jaime  
De Diego  
Abad



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA



Instituto Universitario de Estudios sobre Migraciones

**Variables socioeconómicas relacionadas con la vulnerabilidad y su efecto sobre las características de los Incendios forestales en Galicia**

# Variables socioeconómicas relacionadas con la vulnerabilidad y su efecto sobre las características de los Incendios forestales en Galicia

Autor: Jaime de Diego Abad

Directores: Mercedes Fernández y Antonio Rúa



MADRID | Marzo - 2021

*A Arcadio Abad, gracias a su apoyo empecé esto.*

## Contenido

Publicaciones .....	4
Agradecimientos .....	3
Resumen .....	4
Abstract .....	9
Introducción .....	10
Objetivo de la investigación .....	13
Estructura .....	4
Lista de figuras .....	4
Lista de tablas .....	5
Capítulo 1 .....	15
Designing a Model to Display the Relation between Social Vulnerability and Anthropogenic Risk of Wildfires in Galicia, Spain .....	15
Capítulo 2 .....	40
Influencia de la realidad socioeconómica de Galicia en la dinámica de producción de incendios forestales. Socioeconomic reality of Galicia and dynamics of forest fire production .....	40
Capítulo 3 .....	75
The effect of socio-economic variables related to social vulnerability on the wildfires in Galicia (Spain). A panel data analysis .....	75
Capítulo 4 .....	96
Clustering fire-production behaviors in a fire-prone region: influence of vulnerability factors in wildfires at Galicia (Spain). A panel data analysis 2000-2015 .....	96
Conclusiones y contribución, líneas de investigación futuras .....	121
Resumen de resultados .....	121
Conclusiones generales .....	122
Líneas de investigación futuras .....	125
Bibliografía .....	126

## Agradecimientos

Quiero agradecer a la Fundación AON España la financiación y apoyo en esta investigación, y en concreto a Pedro Tomey, por su apoyo a la hora de realizar esta tesis; siempre atento a los avances y los logros conseguidos durante este período. Además, poder participar en el Observatorio de Catástrofes me ha permitido aprender y compartir mis resultados con grandes profesionales dentro del mundo de las Emergencias como son Cruz Roja Española, la Unidad Militar de Emergencias y Protección Civil y Emergencias de España; e instituciones como UNESPA, el Consorcio de Compensación de Seguros, AGERS, el Instituto Español de Resiliencia, la Fundación ONCE, Aon Benfield Iberia y la Universidad de Navarra.

También a mis directores Mercedes y Antonio, por varios motivos. Primero por darme la oportunidad de realizar esta investigación y creer en el tema y mis posibilidades desde el primer informe del Observatorio de Catástrofes sobre tormentas y tempestades. Segundo, por su constante apoyo, sugerencias, correcciones y consejos, que han sido fundamentales para poder realizar todo este trabajo de una manera eficaz. Gracias a ellos he aprendido y sigo aprendiendo innumerables cuestiones que han sido y serán de gran utilidad para mi carrera profesional. Además, durante todo el proceso su actitud y manera de conducir la investigación han hecho que sea un camino más llevadero, divertido y emocionante, empujándome a mejorar constantemente.

También a todos los miembros del Instituto Universitario de estudios sobre Migraciones. He podido compartir espacio y tiempo con grandes profesionales y, sobre todo, grandes personas. Han hecho que este periodo haya sido infinitamente más divertido. Gracias a todos ellos por su apoyo y por todo lo que me han enseñado, sé que me quedo con grandes amigos para mucho tiempo. También agradecer personalmente a Jeffrey Kline, quien confió en mí para poder realizar la estancia doctoral en el US Forest Service en Oregón. Gracias a ello he podido colaborar con grandes profesionales y personas como Mindy Crandall, Caitlyn Reilley y John Kim. Ha sido una experiencia muy gratificante y constructiva y de la que creo que han salido y saldrán grandes cosas.

Por supuesto a mi familia. Mis padres, por su apoyo incondicional y por una ayuda constante, siempre atentos, me quedo sin adjetivos. A José y Claudia, que siempre han sido más que ejemplo. A mis suegros y cuñados que han contribuido a hacer el camino más llano. También a cada persona que de una manera u otra ha participado en la consecución de esta tesis en algún momento de este largo proceso, como puede ser Micaela Ossola, mi gente de siempre, el MAD, la Q, entre muchos otros. Y por último a Lourdes, que no se como le voy a devolver todo lo que me da, hace que sea todo mucho más fácil.

## Estructura

### Publicaciones

1. De Diego, J.; Rúa, A. and Fernández, M. (2019). Designing a Model to Display the Relation between Social Vulnerability and Anthropogenic Risk of Wildfires in Galicia, Spain. *Urban Science (Emerging Sources Citation Index (ESCI))*. 3, 32.
2. de Diego Abad, J., Fernández García, M., and Rúa Vieites, A. (2020). Influencia de la realidad socioeconómica de Galicia en la dinámica de producción de incendios forestales [Socioeconomic reality of Galicia and dynamics of forest fire production]. *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*, (84) (JCR JIF / 2019 / 0.684 (Q4) CiteScore (Scopus) / 2019 / 0.90 (Percentil 40)). <https://doi.org/10.21138/bage.2839>
3. De Diego, J.; Rúa, A. and Fernández, M. (2021). The effect of socio-economic variables related to social vulnerability on the wildfires in Galicia (Spain). A panel data analysis. *International Journal of Disaster Risk Reduction* (JCR: 3.275 (Q1), 2019 Impact Factor: 2.896, SJR: 0.964). Enviado y actualmente bajo revisión.
4. De Diego Abad, J., Fernández García, M., and Rúa Vieites, A. and Kline, J. (2021). Clustering fire-production behaviors in a fire-prone region: influence of vulnerability factors in wildfires at Galicia (Spain). A panel data analysis 2000-2015. *International Journal of Wildland Fire*. JCR, *Forestry* (Q1). Impact Factor 2019: 2.6, 5-Year Impact Factor 2019: 2.9, SJR 2019: 1.0. Enviado y actualmente bajo revisión.

### Conferencias:

Diego, J. de, Rúa, A., and Fernández, M. (2018). Designing a model to display the relation between social vulnerability and anthropogenic risk of wildfires in Galicia, Spain. *Conference Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Sustainability, Human Geography and Environment 2018 (ICSHGE18)*. Krakow, Poland.

De Diego, J. Fernández, and Rúa, A. (2020). Wildfires and socioeconomic variables in Galicia, Spain: Panel Data Analysis. Book chapter in *Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions* (2nd Edition). Springer Nature. Chapter DOI: 10.1007/978-3-030-51210-1\_319

## Lista de figuras

Figure 1. Situation of Galicia (red). Own elaboration

Figure 2. Relation between Galicia (G) and Spain (S). 2001–2015. Burnt hectares (ha) and number of wildfires. Source: Own elaboration from Nature Data Bank

Figure 3. Burn ha and number of wildfires in Galicia in relation to Spain. 2001–2015. Source: Own elaboration from Nature Data Bank

Figura 4. Relación entre Galicia (G) y España sin Galicia (E-G). 2001-2015(15). Ha quemadas y virulencia.

Figure 5. Number of wildfires in Galician municipalities between 2001 and 2015.

Figure 6. Time evolution of the variables selected. 2001-2015

Figure 7. Cluster distribution graph. Own elaboration

Figure 8. Cluster distribution Map. Own elaboration

## Lista de tablas

Table 1. Variables: description and definition. Source: Own elaboration from IGE

Table 2. Regression Model of the impact of the selected variables in the number of wildfires that occurred in Galician municipalities between 2001–2015

Tabla 3. Descripción de las variables utilizadas, por municipio (media del período de 15 años analizado)

Tabla 4. Estadísticos y frecuencias mayores y menores de hectáreas quemadas y ratio hectáreas /nº incendios

Tabla 5. Análisis de tendencia Ha quemadas y Virulencia

Tabla 6. Coeficiente de correlación de Spearman, modelos de regresión lineal múltiple Fuente: Elaboración propia

Table 7. Variables Selected for the Models. Source: Own Elaboration

Table 8. Models. Fixed Effects (Nº WF) and Random Effects (Ha Bur and Intensity). Source: Own Elaboration

Table 9. Variables panel-summary.

Table 10. Factor loadings. Own elaboration

Table 11. relation between factors and dimension. Own elaboration

Table 12. Cluster distribution. Own elaboration

Table 13. cluster analysis of variance (ANOVA). Own elaboration

Table 14. Number of wildfires panel data model. Own elaboration

Table 15. Hectares burned panel data model. Own elaboration

## Marco de referencia de la investigación

La Fundación AON España, a través de su Observatorio de Catástrofes, aporta conocimiento, recursos y voluntarios en las tres fases fundamentales de las catástrofes naturales: en la fase de Investigación y Prevención, a través de la Cátedra de Catástrofes, ubicada en la Universidad Pontificia Comillas ICAI/ICADE y en la de Navarra; en el momento en el que ocurre la catástrofe, a través del Sistema de Emergencias de la Cruz Roja; y por último, en la fase de recuperación y continuidad para mitigar los daños causados por catástrofes, con especial atención a las personas vulnerables.

El Observatorio de Catástrofes, está formado por Cruz Roja Española, Unidad Militar de Emergencias y Protección Civil y Emergencias de España y por instituciones como UNESPA, el Consorcio de Compensación de Seguros, AGERS, el Instituto Español de Resiliencia, la Fundación ONCE y Aon Benfield Iberia, la Universidad de Navarra y la Universidad Pontificia Comillas ICAI-ICADE,

Encuadrado dentro de la fase de investigación y prevención de grandes catástrofes naturales con especial atención a los grupos más desfavorecidos y desprotegidos, en un primer momento, se realizó un estudio sobre vulnerabilidad ante tormentas y tempestades en España. El informe elaborado fue presentado en el segundo symposium del Observatorio de Catástrofes de la Fundación Aon España celebrado en 2017 y que estuvo dedicado al análisis del impacto de las “Tormentas y Tempestades”.

Gracias a este informe, y siguiendo las líneas de investigación del Observatorio de Catástrofes y del Instituto Universitario de Estudios sobre Migraciones, se observó la necesidad de desarrollar de forma sistemática la investigación y el estudio de las catástrofes y su relación con los más desfavorecidos.

Los riesgos asociados a las catástrofes naturales son diversos y se extienden a lo largo del planeta a través de diferentes eventos naturales como pueden ser inundaciones, terremotos, incendios, entre otros. Sin embargo, un evento natural se convierte en catástrofe cuando la población, su entorno y sus características se ven involucrados. Por lo tanto, la estrecha relación del ser humano con el entorno

natural es fundamental en la investigación, tanto como receptor del impacto como precursor de ciertos eventos catastróficos.

Así, tras una amplia revisión de la literatura, decidimos abordar esta problemática a través de una de las catástrofes naturales más comunes mundialmente y en concreto, en España: los incendios forestales. El número de incendios forestales que se inician cada año y las superficies afectadas continúan representando una amenaza recurrente para las personas, sus bienes y el medio ambiente.

Si bien la variabilidad climática es un factor relativamente conocido que interviene en el riesgo de incendios forestales, estudios anteriores han destacado que el impacto de las variables socioeconómicas en las dinámicas de los incendios forestales es menos investigado que el impacto conjunto de las características biofísicas. En consecuencia, un mejor conocimiento de los principales factores antropogénicos que influyen en los patrones asociados a los incendios forestales es un paso crucial para mejorar la eficacia de las estrategias de prevención, detección y lucha contra incendios. Analizando conjuntamente los factores sociales y biofísicos que influyen en el riesgo de incendios forestales se puede conocer de manera más precisa las oportunidades de mitigación.

En definitiva, el objeto de nuestra investigación es determinar la relación de la vulnerabilidad social con los incendios forestales. En los trabajos de investigación realizados se ha podido observar la existencia de una correlación entre ciertas variables seleccionadas que reflejan la vulnerabilidad social y los aspectos relativos a incendios forestales: ocurrencia, hectáreas quemadas e intensidad. Además, se ha querido delimitar lo máximo posible la influencia del ser humano sobre los incendios forestales en Galicia, por lo que esta investigación ha evolucionado desde una perspectiva más general a una delimitación territorial lo más concreta posible. Gracias a ello se ha construido un modelo donde los resultados pueden ser utilizados para mejorar la prevención de incendios forestales en una región donde año tras año, miles de incendios forestales asolan el territorio.

## Resumen

Desde principios del siglo XXI, la mayoría de los incendios forestales que se han producido en España han ocurrido en la región norte, concretamente en Galicia. Esta superficie representa el 5,8% del territorio español, pero compromete, en determinados años, hasta el 60% del total de incendios forestales. La investigación actual sobre incendios forestales se centra en las características biofísicas, las situaciones posteriores a los incendios y sus posibles capacidades destructivas. Sin embargo, son pocas las investigaciones que han profundizado en otros factores socioeconómicos (estructura poblacional, densidad, explotaciones ganaderas, educación, entre otros), que comprometen la



situación pre-incendio existente en los territorios afectados, y reflejan la vulnerabilidad de la población. De hecho, estas variables socioeconómicas pueden influir en las características de los incendios. Esta investigación analiza la dinámica de los incendios forestales en Galicia entre 2001 y 2015, examinando las tendencias espaciotemporales de su ocurrencia, la superficie afectada y la relación entre los incendios forestales y las características socioeconómicas de los distintos municipios gallegos.

Para ello se han utilizado diferentes metodologías a lo largo de las cuatro publicaciones realizadas, con el objetivo de precisar lo máximo posible el análisis. En concreto, las dos primeras publicaciones se basan en regresiones lineales sobre el conjunto de datos, para observar el efecto de las variables seleccionadas sobre las características de los incendios forestales (Ocurrencia, hectáreas quemadas e intensidad). La tercera publicación ahonda en el efecto de las variables en el mismo periodo a través de una metodología de datos de panel, donde es posible observar la influencia de las variables seleccionadas tanto en términos espaciales como temporales. Y, por último, con el objetivo de profundizar y precisar, aún más, el análisis de los efectos de las variables seleccionadas, se utilizaron técnicas de reducción de datos (componentes principales) y de agrupación (Clúster de K medias) para delimitar los municipios que tienen características similares. Finalmente, usando esta clasificación, se realiza un análisis de datos de panel sobre cada zona delimitada.

En este sentido, entre las variables de nuestra investigación que influyen en mayor medida en la producción de incendios, se encuentran el envejecimiento de la población y la baja densidad. También, variables referentes al territorio -como la pérdida de hectáreas rústicas o granjas- y económicas -como la pérdida de valor catastral o la renta. Todo ello está relacionado con el abandono del territorio y la desconexión de ciertas regiones con el entorno. La relevancia de los resultados, que establecen una relación entre las variables socioeconómicas y el número de incendios, debe ser tomada en consideración por los decisores técnicos y políticos. No solo es necesario actuar sobre las cuestiones climáticas, medioambientales y naturales a la hora de disminuir el riesgo de ocurrencia, hay que incidir de una manera holística en todos los aspectos que pueden también estar influyendo en la producción de incendios. Se deben elaborar estrategias que sean complementarias a las labores de prevención, donde se mitiguen aquellas variables que representan la vulnerabilidad social (como aspectos de exclusión, renta baja o envejecimiento). Las investigaciones demuestran esta relación y por tanto ponen de manifiesto un problema presente en la sociedad. Puede disminuirse su gravedad a través de estrategias y políticas que tendrán su efecto a largo y medio plazo.

Por lo tanto, los cambios propuestos deben promover un intercambio entre las diferentes estructuras poblacionales y a la vez intentar incidir en ciertos comportamientos tradicionales dañinos,

asociados a sociedades envejecidas (como la quema sistemática del monte). Ello permitiría mejorar los índices de recambio de población activa y la estructura demográfica. Uno de los grandes desafíos es establecer la unión entre todos los factores que intervienen en un incendio forestal, desde la prevención hasta la extinción, entendiendo su comportamiento y minimizando sus efectos.

En definitiva, a través de esta investigación hemos demostrado la influencia de las características sociales, especialmente aquellas relacionadas con la vulnerabilidad, en la producción de incendios. Nuestra recomendación (y a la vez nuestra esperanza) es que, trabajando sobre estas cuestiones, pueda llegar a generarse un cambio en la ocurrencia de los incendios de origen antrópico.

## Abstract

Since the beginning of the 21st century, most of the forest fire in Spain have occurred in the northern region, specifically in Galicia. This region represents 5.8% of the Spanish territory, but compromises, in certain years, up to 60% of all forest fires. Current forest fire research focuses on biophysical characteristics, post-fire situations, and their potential destructive capabilities. However, few investigations have delved into other socioeconomic factors (population structure, density, livestock farms, education, among others), which conformed the existing pre-fire situation in the affected territories and reflect the vulnerability of the population. In fact, these socioeconomic variables can affect the characteristics of fires (occurrence, hectares burned and intensity). This research analyzes the dynamics of forest fires in Galicia between 2001 and 2015, examining the spatiotemporal trends of their occurrence, the area affected and the relationship between forest fires and the socioeconomic characteristics of the different Galician municipalities.

Therefore, different methodologies have been used throughout the four publications made, with the aim of making the analysis as accurate as possible. Specifically, the first two publications are based on linear regressions on the data set, to observe the effect of the selected variables on the characteristics of forest fires. The third publication delves into the effect of the variables in the same period through a panel data methodology, where it is possible to observe the influence of the selected variables both in spatial and temporal terms. And, finally, in order to deepen and further specify the analysis of the effects of the selected variables, Data reduction techniques (principal components) and grouping (Cluster of K means) were used to delimit the municipalities with similar characteristics. Finally, using this classification, a panel data analysis is performed on each delimited area.

In this sense, aging of the population and low density, among the variables in our research, have the greatest influence on the production of fires. Also, variables referring to the territory - such as the loss

of rustic hectares or farms - and economic variables - such as the loss of cadastral value or income. All this is related to the abandonment of the territory and the disconnection of certain regions with the environment. The relevance of the results, which establish a relationship between the socioeconomic variables and the number of fires, must be taken into consideration by technical and political decision-makers. It is not only necessary to act on climatic, environmental, and natural issues when reducing the risk of occurrence, all aspects that may also be influencing fire production must be addressed in a holistic way. Strategies that are complementary to prevention efforts must be developed, where those variables that represent social vulnerability (such as aspects of exclusion, low income or aging) are mitigated. Research shows this relationship and therefore reveals a problem present in society. Its severity can be reduced through strategies and policies that will have their effect in the long and medium term.

Therefore, the proposed changes must promote an exchange between the different population structures and at the same time try to influence certain harmful traditional behaviors associated with aging societies (such as the systematic burning of the forest). This would make it possible to improve the labor force turnover rates and the demographic structure. One of the great challenges is to establish the union between all the factors that intervene in a forest fire, from prevention to extinction, understanding its behavior and minimizing its effects.

In short, through this research we have demonstrated the influence of social characteristics, especially those related to vulnerability, in the production of fires. Our recommendation (and at the same time our hope) is that, by working on these issues, a change can be generated in the occurrence of fires of anthropic origin.

## Introducción

Las catástrofes naturales afectan a amplios territorios a lo largo de todo el planeta y, por lo tanto, a la población que habita estas zonas. Sólo entre 2005 y 2015, más de 700.000 personas perdieron la vida, en torno a 1,4 millones resultaron heridas y alrededor de 23 millones se quedaron sin hogar como consecuencia de los desastres naturales (UNISDR, 2015). Lo que convierte un evento natural en desastre está determinado por el territorio y la población que se sitúa en las zonas expuestas. El origen de la mayor parte de estos eventos es natural, como es el caso de terremotos o inundaciones. Sin embargo, hay ciertos eventos, que se definen como naturales y pueden tener un origen en el ser humano.

La relación de la población con los desastres naturales puede analizarse desde dos perspectivas diferentes: por un lado, características de la población, como puede ser el tipo de vivienda, la alimentación o el acceso a medicamentos o sistema de salud, pueden hacer que el impacto de las catástrofes sea mayor (Ej: Inundaciones); por otro lado, características de la población, como puede ser la renta, la edad o la educación, pueden llegar a favorecer la ocurrencia de ciertos eventos (Ej: Incendios forestales), (Bergstrand et al, 2015; Brunsma y Picou, 2008). Esta última perspectiva de análisis define el concepto de catástrofe de origen antrópico. Y centrándonos en el objeto de nuestro análisis, debemos indicar que los incendios forestales provocados por el hombre son los responsables de grandes daños tanto a las personas, como a sus bienes, a las infraestructuras -líneas eléctricas, de comunicación- y, por supuesto, al medio ambiente.

Según la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO), más de 30% del territorio mundial ha sufrido de manera significativa y recurrente actividad incendiaria a lo largo de la historia, ocurriendo en la actualidad una media de 487.000 incendios anuales (período 2003-2007) (FAO, 2010). Unido a esto, la mayor parte de estos incendios son provocados o tienen relación directa con una actividad realizada por el ser humano, en torno al 90% (FAO, 2007). En tanto en cuanto los incendios forestales son una catástrofe natural, aunque su origen es mayoritariamente antrópico, las características que describen a una población (ya sean sociales, económicas o territoriales) pueden ser determinantes en la producción de incendios forestales (Spies et al, 2014; McCaffrey et al, 2013; Koch et al, 2016).

Tradicionalmente, la investigación en incendios forestales ha priorizado el análisis de variables únicamente biofísicas como el tipo de terreno, el tipo de vegetación, la climatología, la meteorología o el comportamiento del fuego, entre otras (Martín, 2012; Martínez-Fernández et al, 2013, Ponte y Bandín; 2008). Sin embargo, como hemos venido explicando, aunque estas variables climáticas y medioambientales son importantes a la hora de explicar las características de los incendios necesario tener en cuenta las características socioeconómicas que definen a la población de un territorio, ya que debe incluirse la relación del ser humano con el entorno para poder determinar con mayor precisión los parámetros que afectan al fuego (Viedma et al, 2018).

Algunas de estas características humanas están relacionadas con la vulnerabilidad socioeconómica (Faas, 2016; Ruiz Rivera, 2012). De hecho, existen algunos (no muchos) estudios académicos que ahondan en la utilización de variables socioeconómicas relacionadas con la vulnerabilidad y en la confección de índices de vulnerabilidad para mejorar el conocimiento de las causas de los incendios forestales (Martínez et al, 2004; Prestemon et al, 2002; Rodrigues et, 2018).

Aun así, el concepto de vulnerabilidad es muy amplio y difícil de concretar ya que, al ser un constructo, intervienen numerosas variables que pueden afectar a su valoración o medición (Blaikie et al, 2014, Morrow, 1999; Modica y Zoboli, 2016). Además, este concepto es distinto dependiendo del riesgo al que nos enfrentemos y la unidad observacional que utilicemos. Cada territorio y su población poseen ciertas particularidades que pueden determinar el grado de vulnerabilidad. Numerosos autores han analizado la vulnerabilidad mediante la elaboración de distintos índices (Elliott y Pais, 2010; McCaffrey et al, 2013; Birkmann et al, 2013). Cada uno de estos índices difiere según los factores presentes y medibles que existen en cada región estudiada. La vulnerabilidad se convierte en un concepto borroso ante la producción de eventos catastróficos: por ejemplo, no intervienen las mismas variables ante el riesgo de inundación que ante la producción de incendios forestales. Pero, además, las variables relacionadas con la vulnerabilidad pueden afectar a la producción de un evento catastrófico de origen antrópico, y a la vez se ven afectadas por la ocurrencia de desastres (Martínez et al, 2004; Koch et al, 2016).

España se encuentra entre los países con mayor incidencia de incendios forestales, en concreto presenta una media de 19.705 incendios anuales entre 1998 y 2007, que afectan a un total de 130.714 hectáreas (SECF, 2010) en casi toda la extensión del territorio español. Independientemente de las diferentes características biogeográficas que existen, los incendios afectan a distintos ecosistemas. En este sentido, las causas y los efectos difieren según el territorio al que afectan. Sin embargo, hay una cuestión común a todos los incendios y es el origen antrópico de estos, elevándose a un 97% de media en España (Hernández, 2016).

Galicia es el territorio español más afectado por los incendios forestales en las últimas décadas (Barreal y Loureiro, 2015), llegando a agrupar en años concretos hasta el 60% de los incendios ocurridos en España (Hernández, 2016; Fernández-Couto, 2006). Estos incendios pueden ser provocados o accidentales, pero su origen se encuentra la gran mayoría de las veces en la acción del ser humano. Las variables que explican la actuación humana son diversas y el enfoque de las investigaciones que las analizan también.

Las particularidades socioeconómicas que presenta Galicia hacen de este territorio una de las zonas más propensas a sufrir incendios forestales. Aparte de sus características biogeográficas, ampliamente estudiadas (Rodríguez y Ramil, 2007), que favorecen el crecimiento de la vegetación y la disponibilidad de combustible, se dan otros aspectos socioeconómicos relacionados con la vulnerabilidad que son cruciales a la hora de estudiar los incendios forestales. Los más relevantes son: envejecimiento poblacional, abandono rural, renta per cápita baja, valor territorial bajo, tasas de desempleo elevadas.

Estas variables están relacionadas entre sí y pueden agruparse en distintos factores o dimensiones que son esenciales y conforman la vulnerabilidad. Además, existen diferencias notables dentro del territorio y, por consiguiente, el efecto sobre los incendios forestales difiere según la región de Galicia que decida analizarse. Así mismo, el creciente grado de desarrollo urbano en entornos forestales, que genera áreas de contacto entre ambos espacios denominadas "interfaz urbano-forestal", hace que los incendios supongan un riesgo especialmente grave

Estas circunstancias exigen del conjunto de las administraciones públicas la revisión de los planes y la gestión de las medidas existentes, poniendo el foco no sólo en mitigar sino también en prevenir y evitar, en la medida de lo posible, los incendios forestales y sus efectos. De momento, la falta de integración entre los sistemas sociales y biofísicos en la planificación comunitaria de protección contra incendios forestales comprometen el progreso hacia la reducción de estos eventos

#### Objetivo de la investigación

El objeto general de nuestra investigación es **determinar la relación de la vulnerabilidad social con los incendios forestales en Galicia.**

En nuestro trabajo se ha podido observar la existencia de una correlación entre ciertas variables seleccionadas que reflejan la vulnerabilidad social y los aspectos relativos a incendios forestales: ocurrencia, hectáreas quemadas e intensidad. Esto puede ser un punto de partida para mejorar la prevención a medio-largo plazo, incidiendo directamente antes de la ocurrencia de una catástrofe como los incendios forestales.

Los objetivos parciales de esta investigación se han trabajado a lo largo de las cuatro publicaciones de las que la misma consta. Se describen a continuación:

1. El objetivo del primer artículo es establecer la relación entre los aspectos socioeconómicos que reflejan la realidad de los municipios gallegos y el número de incendios forestales ocurridos entre 2001 y 2015, y así poder **conocer qué variables tienen mayor peso.**
2. El segundo artículo tiene un doble objetivo: en primer lugar, **estudiar la distribución espacial de las áreas recorridas por los incendios forestales** (hectáreas quemadas y ratio hectáreas/nº de incendios) en Galicia. Se estudia primero, el comportamiento agregado temporalmente desde el 2001 al 2015 por municipio y posteriormente, se analiza mediante un análisis de tendencia, el comportamiento desagregado por año. En segundo lugar, **se establece la relación entre las variables socioeconómicas y medioambientales**

**seleccionadas** en referencia a los municipios gallegos **y las hectáreas quemadas y el ratio hectáreas/nº de incendios ocurridos**, desde 2001 a 2015.

3. El objetivo del tercer artículo es **estudiar el efecto de las variables socioeconómicas relacionadas con la vulnerabilidad social sobre las características de los incendios forestales (igniciones, hectáreas quemadas e intensidad) a lo largo del tiempo en Galicia**. La diferencia radica en la estructura de los datos, los cuales se caracterizan por ser datos de panel. Gracias a ello se identifican aquellas variables relevantes en la producción de incendios forestales que ayudarán a mejorar las acciones de prevención de incendios forestales.
4. El objetivo del cuarto y último artículo es **confeccionar nuestro propio mapa de la vulnerabilidad social y la producción de incendios forestales en Galicia**. Así, esta investigación busca comprender los efectos de las variables en los incendios mediante el estudio de un área mínima con características similares. En este sentido, hemos establecido el municipio como unidad observacional y hemos unificado aquellos que comparten características similares.

#### Metodología usada en esta tesis

Nuestra base de datos cubre el período 2001-2015 y contiene información para 314 municipios. Las variables son de diferentes tipos:

- Variables territoriales y ambientales
- Variables poblacionales
- Variables económicas
- Variables descriptivas.

Las principales fuentes de datos fueron el Banco de Datos de la Naturaleza (BDN) y Meteogalicia para las variables ambientales; las variables de corte socioeconómico se extrajeron de la información suministrada por el Instituto Estadístico de Galicia. La unidad observacional fue el municipio.

Las diferentes metodologías utilizadas a lo largo de la investigación y que corresponden a cada uno de los cuatro artículos utilizados se describen a continuación:

1. En la primera publicación, para realizar este análisis se utilizó un modelo de **regresión lineal múltiple**, estimado por el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). La variable dependiente es el número de incendios.

2. En el segundo artículo, se realizó un análisis espacial y temporal de las hectáreas quemadas y su correspondiente ratio (hectáreas /nº de incendios) a través de los principales estadísticos de dichas variables, comparando el comportamiento por provincia, mediante un **ANOVA de un Factor**. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de la relación bidimensional entre las variables independientes y las dos dependientes para cada uno de los municipios con los 15 años agregados. Finalmente, para establecer la relación, multidimensionalmente, entre las variables socioeconómicas y ambientales y las hectáreas quemadas y el ratio hectáreas/nº de incendios, se emplearon **dos modelos de regresión lineal múltiple**.
3. En el tercer artículo, dada la estructura de los datos antes mencionada, se aplicó una **metodología de datos de panel**. Estos datos de panel permiten visualizar las características para cada municipio cada año y la información nos permite, además, observar cambios en el tiempo.
4. Por último, estructuramos el análisis siguiendo nuestra propia investigación previa, definiendo las regiones de acuerdo con sus características socioeconómicas similares. En primer lugar, utilizamos el **análisis de componentes principales** para agrupar en factores las variables determinantes de la vulnerabilidad social. En un segundo estadio, los municipios gallegos fueron clasificados en función de su comportamiento ante los diferentes factores mediante la utilización del **análisis de conglomerados**; ello nos ha permitido establecer nuestro propio mapa de las variables socioeconómicas y la producción de incendios forestales en Galicia. Por último, desarrollamos **modelos de datos de panel** de ocurrencia de incendios forestales y área quemada para cada grupo (o “región”) identificado por el análisis combinado de factores y grupos. De esta manera se pudieron encontrar aquellas variables socioeconómicas más relevantes en la producción de incendios y área quemada para cada uno de los grupos a lo largo del tiempo.

Para los análisis realizados se ha usado mayoritariamente STATA, ya que es el software más adecuado para el tratamiento de datos de panel. También de manera complementaria, se ha usado en SPSS para el primer artículo y GRETL para realizar el test de Chow en el segundo artículo.

## Capítulo 1

Designing a model to Display the Relation between Social Vulnerability and Anthropogenic Risk of Wildfires in Galicia, Spain

Jaime de Diego <sup>1,\*</sup>, Antonio Rúa <sup>2</sup> and Mercedes Fernández <sup>1</sup>

<sup>1</sup> University Institute of Studies on Migration, Comillas Pontifical University, 28015 Madrid, Spain;



mercedes@comillas.edu

<sup>2</sup> Faculty of Economics and Business Administration, Comillas Pontifical University, 28105 Madrid, Spain;

rvieites@icade.comillas.edu

\* Correspondence: jdediego@comillas.edu

Received: 14 January 2019; Accepted: 6 March 2019; Published: 12 March 2019

**Abstract:** Since the beginning of the 21st century, most of the forest fires that have occurred in Spain have taken place in the northern region of Galicia. This area represents 5.8% of the Spanish territory, but compromises, in certain years, up to 50% of the total number of wildfires. Current research on forest fires is focused mostly on physical or meteorological characteristics, post-fire situations, and their potential destructive capacities (main areas burnt, type of vegetation, economic losses, etc.). However, the academic research to date has not delved into other socioeconomic factors (population structure, density, livestock farms, education, among others), which compromise the existing pre-fire situation in the affected territories, and subsequently reflect the prevailing vulnerability of the population. Indeed, these socioeconomic variables can influence fire occurrence, whether positively or negatively. To fill in this knowledge gap, this article analyzes the relationship between wildfire events and the socioeconomic variables that characterize the Galician municipalities affected. To that effect, first, a thorough examination and selection of the most relevant socioeconomic variables, and their subsequent justification will be carried out. Then, using IBM SPSS statistics 24, a linear regression is executed using the data of wildfires that occurred in Galicia between 2001–2015. The resulting model allows a better knowledge of the importance of the socioeconomic situation in Galician municipalities when wildfires occur. Therefore, this result identifies the existing relationship between the socioeconomic variables and wildfire events, and consequently will help to optimize the interventions that must be done. This may be the best way to carry out prevention actions in order to reduce vulnerability to forest fires

**Keywords:** socioeconomic variables; Spain; Galicia; wildfires; multiple linear regression.

### *1. Introduction*

Forest fires are natural disasters that are mostly associated with countries that have specific climatic characteristics and fire-prone vegetation. Spain is situated within the list of countries annually affected by these events together with the United States (US) and Australia. Moreover, in the United States, forest fires have increased their size and destructive potential [1]. In Australia, in

the last century, grassland fires have been the fourth risk associated with catastrophes, after heatwaves [2]. Even though it is considered as a natural disaster, the origin of forest fires is usually of human cause, which is around 96% in the case of Spain [3].

As pointed out in Section 2.1 of this paper, the current research on forest fires mostly focuses on physical or meteorological characteristics, post-fire situations, and their potential destructive capacities (main areas burnt, type of vegetation, economic losses, etc.). However, the academic research has not delved into the other socioeconomic factors (population structure, density, livestock farms, education, among others), that configure the existing pre-fire situation in the affected territories, and subsequently reflect a prevailing population vulnerability. Therefore, taking into account the characteristics of the existing population is crucial within the research on forest fires [4].

This perspective is taken from firefighting, which has globally emphasized post-fire actions, without giving priority to prevention efforts and action before a wildfire [5]. Hence, as a fundamental aspect in prevention, it is necessary to know the variables that influence the characteristics of social groups within environments where fires occur, in order to reduce the impacts and occurrence of forest fires [6]. Also, if we focus on Spain, this situation can be observed when analyzing the current legislation about forest fires: the action against wildfires is transferred to the emergency plans, which are emphasized in post-fire situations [7].

Although forest fires are a natural component and necessary within the ecological cycle of certain ecosystems, often, different variables such as the weather or existing populations alter natural fire patterns. This may modify the negative effects of fire so much that the positive consequences that could contribute to the ecosystem are bypassed [8]. In fact, variables such as unequal social and economic structure, where class, ethnicity, sex, and poverty factor in, are very relevant for determining and predicting the occurrence of wildfires.

The Autonomous Community of Galicia has been the Spanish region with the highest number of forest fires in the 21st century. According to the specialized studies quoted in Section 2.2 (Galicia, social vulnerability, and wildfires), forest fires in Galicia might be directly related to a mixture of socioeconomic factors (such as population aging or low population density among with low economic development) and natural or environmental factors (such as extensive livestock farming, abandoned areas, or urban–forest interface areas).

All these factors mean that forest fires, year after year, continue occurring in Galicia, and the measures that have been taken do not seem to be enough for a problem of this magnitude. The

situation described in Galicia reinforces the objective of investigating the connection between socioeconomic variables and forest fires in Galicia and, specifically, to find out which variables have the greatest weight.

The aim of this article is to establish the relationship between the socioeconomic aspects that reflect the reality of Galician municipalities and the number of forest fires that have occurred between 2001–2015, and to know which variables carry the greatest weight. A multiple linear regression model, estimated by ordinary least squares (OLS) method, was used to perform this analysis. The observational unit was the municipalities, since it was the smallest unit of information related to wildfires; in addition, it is the minimum territorial unit for which precise and uniform socioeconomic information exists. The model was firstly carried out for all of the municipalities of Galicia. Secondly, with the purpose of analyzing its structural stability, the model was run separately in the municipalities of each province. Finally, to determine if there were differences between provinces, Chow test was executed for the northern region (A Coruña and Lugo), the southern region (Ourense and Pontevedra), and within each region to compare each pair of provinces. This analysis offers action guidelines for the authorities in matters of prevention and awareness.

## *2. Materials and Methods*

### *2.1. Social Vulnerability and Wildfires*

The territory and the population within the exposed areas determine the qualities that make a natural event a disaster. To demarcate risks seems complicated because of this variability [9]. Disasters present multiple dimensions that can be classified as follows [10]:

- **Social and population dimension:** Includes aspects such as justice, social differences, and social organization and individual strengths. Some studies have incorporated variables such as poverty, social marginalization, demographics (age vulnerable groups), education, health and welfare, migration, and risk perception [11]. The factors that determine this dimension are influenced by specific conditions and are very different development processes, depending on the country or region and the kind of danger faced [12].
- **Economic dimension:** Deals with occupation, income, economic effects, consumption, property, and savings [13]. This dimension also contemplates housing and habitability issues together with livelihood, which may be an aspect to consider in cases where it is based on a single sector (agriculture, fisheries, etc.) [14].

- Environmental or territorial dimension: Even though the environment is the source of the natural processes that can cause a disaster, it is at the same time an important resource for people who have a high hazard exposure [15]. This dimension is related to the environmental destruction effects that cause changes in the natural ecosystem at different scales (melting, destruction of natural barriers in coasts, emissions, etc.) [16]. Therefore, this dimension examines both the population dependence to certain environmental services, and the sensitivity of these environmental services to certain hazards [17].

Social groups with certain characteristics of social vulnerability have a higher risk of suffering the effects of a disaster [18]. The socioeconomic features of a person (such as class, ethnicity, gender, and poverty) or a group of people (unequal social or economic structure) influence their ability to anticipate, cope with, resist, and recover from the impact of a natural disaster [19,20]. People in social disadvantage are more likely to suffer from scenarios that worsen their already adverse situation [21].

Within a natural disaster, such as forest fires, certain social, economic and political processes come into play; so, preventive actions should be targeted to people's characteristics. This reinforces the idea of studying the population's peculiarities in the analysis of forest fire risk rather than just looking at the post-disaster effects [22].

Vulnerable social groups become the main victims of forest fires. Nevertheless, individuals can play different roles [23]:

- Vulnerable to fire danger: Any individual or element to be affected by a wildfire.
- Generators of fire risk: They are the source of fire hazard by inappropriate use of the forest, traditional practices, negligence, etc.
- Relievers of fire risk: Those for whom the natural environment, and specifically the forest environment, is paramount.

Yet, what role does society play in forest fires? The responsiveness of citizens to an emergency depends largely on their conception of risk. This also affects their support for forest management policies and actions carried out by the emergency services. In fact, although in general fires are perceived as a catastrophic and random element, there are two underlying and coexistent stances about this assertion [23]:

- The fire as a threat to fight: Against this attitude prevails in areas where there is a close relationship between the urban and natural environment. In this case, the perception is

- negative, because there is a sense of danger associated with fire; also, adverse effects, such as a loss of quality of land, vegetation, forest landscape, etc., are considered
- Fire as a land management tool: This perception is common in mountain and rural areas with the presence of an agricultural and livestock sector. This view can lead to the expansion of small fires and can cause forest fires of greater intensity and extent.

Human factors as a cause of forest fires are very relevant in Mediterranean Europe and specifically in Spain [24]. One of the most important characteristics is their randomness. Therefore, it seems particularly difficult to predict the behavior of a fire, such as where and when it will begin [25].

Current changes in climate, as well as changes in land use, are unfavorable aspects for forest fires risk reduction in Spain, as they affect the occurrence and intensity. An increase in episodes that exceed the capabilities of extinguishing devices is expected to become a national emergency [26].

Although wildfires, in some cases, may be favorable for the biodiversity and ecological characteristics of a given area, this can have huge economic and social costs [27]. In recent years, these costs have increased considerably in the transition zones between urban and forestry [28]. Recent studies have shown a positive correlation between fire prevention spending and the presence of private land and buildings [29]. This type of land is predominant in northern Spain, where there are large numbers of smallholdings. Specifically, the autonomous community of Galicia stands out as a forest fires benchmark in Europe. However, this is not the only negative socioeconomic characteristic present in this community. Therefore, it is necessary to inquire into the reality that characterizes Galicia.

## 2.2. Galicia, Social Vulnerability, and Wildfires

According to Spanish statistics, the autonomous community of Galicia (Figure 1) has shown the highest rate of fires in Spain for the last decades [30].



**Figure 1.** Situation of Galicia (red). Own elaboration

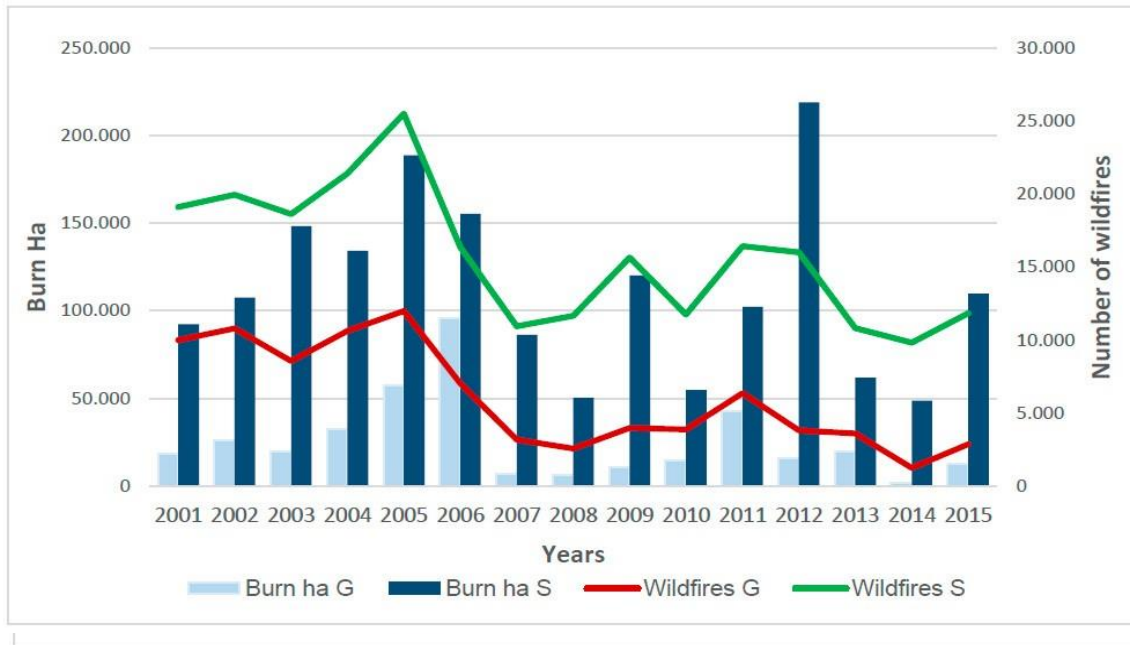
The objective of this paper is to establish the relationship between socioeconomic aspects that reflect the reality of the Galician municipalities and the number of forest fires from 2001 to 2015 (most recent official data available).

The first step is to establish the relevant socioeconomic variables available. For this purpose, it is paramount to have a broad knowledge of the relevant questions related to social vulnerability within a country. Galicia has been the Spanish autonomous community most affected by forest fires since the beginning of the 21st century [31].

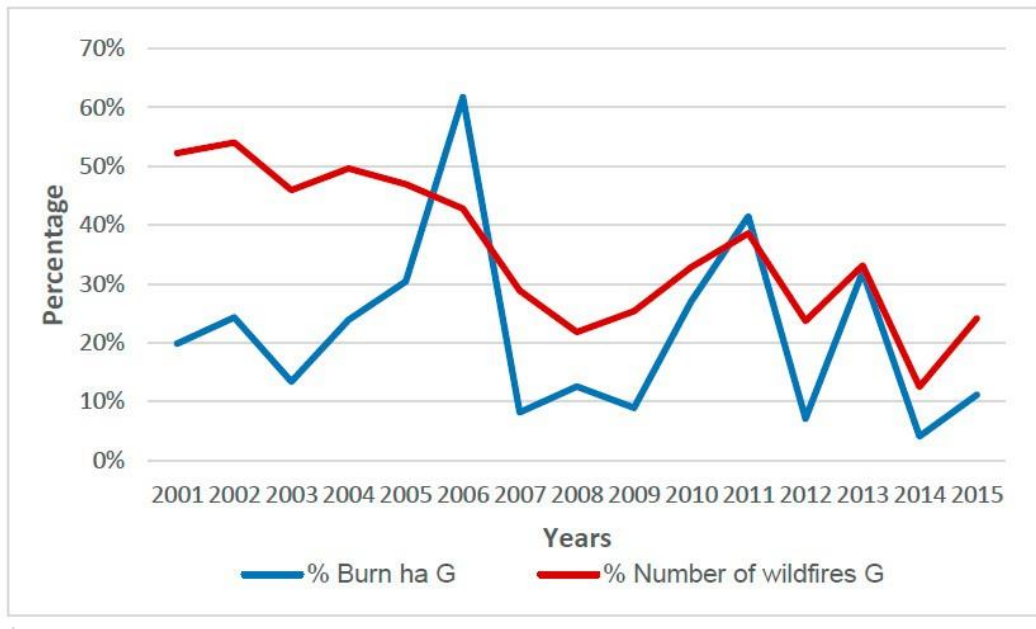
This can be seen in Figure 2, which compares Galicia and Spain in terms of hectares burnt and number of wildfires. In addition, recent reports show that fire seasons are lengthening and, within Europe, northern Spain and Portugal are the most critical areas [32]. Fires in Galicia have weighed significantly in Spain's general statistics. As shown in Figure 2, in certain years, both the number of wildfires occurred and burnt hectares in Galicia exceed 50% of

Spanish fire disasters (Figure 3). Moreover, although the number of fires has decreased, burnt hectares follow a cyclical nature, and their mean is constant. Forest fires are known as one of the most important environmental problems in Galicia [30]. They have a far-reaching impact on the regional economy and cause greater risks for people and ecosystems, which are all linked to public spending [3]. According to specialized studies [30–35], forest fires in Galicia are directly related to a mixture of environmental–territorial plus social–economic factors. These factors can be considered

well-known and predictable, but they typically exceed the capabilities of extinction means. Below, we detail the influence of both types of factors for the Galician case.



**Figure 2.** Relation between Galicia (G) and Spain (S). 2001–2015. Burnt hectares (ha) and number of wildfires. Source: Own elaboration from Nature Data Bank



**Figure 3.** Burn ha and number of wildfires in Galicia in relation to Spain. 2001–2015. Source: Ownelaboration from Nature Data Bank.

Environmental or territorial factors [36]:

- Deficient land management: Galicia is one of the regions with the highest vegetal production and plant growth in Spain. Galician territories have been increasing their areas with highly flammable shrubs and trees. This has been due to the lack of forest management, together with the abandonment of land used for agriculture and livestock.
- Extended livestock farming: Livestock owners make use of abandoned forest land. To acquire Grass, small fires are set, increasing the chances of a huge wildfire.
- Wastelands: They are characterized as the industrial parks, residential areas, and suburban areas of cities and towns, where shrub land and waste are mixed. They are not considered forest areas; however, they are areas where the work of extinguishing media is very intense.
- Wildland–urban interface areas: These can be defined as spaces where the surroundings of homes, neighborhoods, and urbanizations are embedded in adjacent forest areas with green spaces. They are considered high-risk areas because here, the occurrence and negligence in fire management multiply. There are large numbers of population centers with these characteristics and a higher risk of fires [37].
- Fire as a tool: Although there are permits for controlled burns, this practice is widespread in Galicia regarding both residues and forest scrub. This practice is very common in depressed and aged areas.

The above territorial factors are bound to the predominant types of land in Galicia and accordingly influence the fire data. In this region, lands are mostly privately ownership (97.26%). Within these private properties, 32.77% are common lands, and the rest is another undetermined type of private ownership; therefore, many plots are abandoned or neglected. According to the Galicia Forest Plan, private property in the region is completely fragmented: the number of forest owners, is above 650,000 and the average plot size is two to three hectares [38].

The cause of forest fires in Galicia relates directly to the archaic habits in depressed areas and negligent use of fire as a management tool [30]. There is a lack of knowledge about such disasters, a lack of awareness and forest culture, and, obviously, there are economic interests associated with livestock and agricultural uses, which are at odds with land and forest management [34]. In the long term, these imbalances cause an increase in forest fires, and thus the further degradation of natural areas [39]. On the other hand, the large abandoned agriculture areas and the lack of land management in forest production have a positive side effect, insofar as they favor industry related to combating desertification and rural mountain management.



### Social and Economic Factors

The Galician territory is complex; concentrated settlements are combined with other dispersed areas. Demographically and economically dynamic areas coexist with others characterized by a lack of vitality, but even within them there are some cities, headwaters of the region, which act as focal points of activity.

The rural depopulation is one of the major problems in Spain and, in particular, Galicia, where it is considered a demographic and territorial phenomenon. Indeed, the population in the region has dropped by 9.2% since 2008. As far as the foreign population is concerned, the increase of immigrants helped mitigate rural depopulation before the economic downturn [40].

Other critical points related to the depopulation of rural areas are the aging population or population density that is so low, it doesn't permit economic development. However, imbalances in age and gender structures may be to blame [30]. Rural masculinization occurs at young ages due to a predominantly female migration, and also due to a lack of equal productive and reproductive work, which results in a search of a higher educational level and job opportunities associated with urban areas [23]. For its part, the low density presents common problems, such as aging, geographical isolation, a lack of spatial integration with other adjacent areas, bad connection and difficulty in transport, a lack of adequate social services, and lower levels of human capital and employment opportunities. All this inevitably leads to economic decline [12].

The impact of human resource losses, lack of territory development, and the inability to maintain economic activities, has not only economic, but also patrimonial and environmental impacts [30]. With regard to environmental effects, the abandonment of livestock and traditional agricultural uses represents a risk factor for natural environment conservation. This is because landscape transformations occur without control, and forest land management associated with rural areas are located mostly within individual plots [34].

Extensive livestock used to have an impact on the forest landscape, favoring the mosaics and reducing fuel in the mountains of Galicia [35]. The decline in extensive livestock farming that has taken place in Spain (around 30% between 2004–2015) is thus considered an aggravating factor of forest fires [40].

The progressive abandonment of rural areas can be considered negative in the medium term, as the environmental effects, such as soil loss and exposure to erosive phenomena in large areas, are extensive [31]. In addition, a lack of forest land management occurs, increasing the risk of fire. In

Galicia, traditional burning activities and the traditional use of fire in mountain management can lead to an increased fire occurrence [41].

All these factors ensure that forest fires continue to occur year after year in Galicia and the measures taken seem to be not enough to solve a problem of this magnitude. This situation reinforces the aim of investigating the relationship between socioeconomic variables and forest fires in Galicia and, specifically, uncovering which variables have greater explanatory power.

### 2.3. Methodology

As explained above, the main objective of this work is to establish the relationship between socioeconomic aspects of the Galician municipalities and the number of forest fires between 2001–2015.

To analyze this relationship, a quality dataset corresponding to Galician wildfires is required. Fire data were obtained from the Nature Data Bank, which has extensive information on fires in Spain. The data were separated into municipalities, and we had to choose which variables were more suitable for research, such as burnt hectares, type of terrain, etc. Afterwards, Galician municipalities socioeconomic data were joined, which were obtained from the IGE (Galician Statistics Institute).

Previous studies have established various time horizons: 2001–2006 [33], 2001–2009 [34], 2006 [30], and 2001–2010 [31]. In this sense, as information was available, it was decided to extend the time scope of research, selecting the updated data spanning from 2001 to 2015. The observational unit has been set at the municipal level, as it has proven to be the most accurate when allowing display territory differences [33]; it is also the minimum territorial unit that provides precise and consistent socioeconomic information.

To establish the relationship between the occurrence of wildfires and the socioeconomic variables, the variables described in prior sections were considered (density, aging population, type of terrain, etc.), to allow observations of the actual effect of these data over wildfires, neglecting environmental issues. The reason for this is that in the case of a number of wildfires, the environmental impact, including the temperature, wind, and humidity is not as critical as in the case of burnt hectares [33].

Socioeconomic data were related to the Galician municipalities, so the number of fires and burnt hectares were pooled along with the Galicia socioeconomic data from each municipality. These data were adjusted to 15 years by the mean and median of every year for selected variables. Subsequently, they were adapted to avoid very large paths, positive asymmetries, or not constant marginal variations. Finally, to make these variables more representative and comparable, we made

some transformations and produced some ratios with variables such as municipal hectares or population size. As has been mentioned above [10], the variables can be grouped into three dimensions: social (population), economic, and environmental/territorial. The following variables (Table 1) were obtained:

**Table 1:** Variables: description and definition. Source: Own elaboration from IGE

Dimension	Variables	Min.	Max.	Average	Deviation	Description
Population	Population>64	76,91	51034,37	1932,85	4554,10	Population over 64 years
	Density	,03	64,61	1,44	4,26145	Number of people per Has
	I.replacement	72,34	585,26	179,83	68,03	The relation among the population between 60 and 64 years old and the population between 15 and 19 years old. Measures the capacity of a population to replace the individuals who are retiring.
	I.Masculinity	83,09	129,83	96,78	5,89	Relation between the number of men and women in a given population.
	I.active	72,40	177,34	118,78	19,43	Relation among the population between 40 and 64 years old and the population between 15 and 39 years old
	P.Foreign	,00	2,22	,03	,15	Proportion between foreign population and total population
Territory	ParcelVal	,08	9,23	1,03	,87	value of the plots in thousands of euros divided by the number of people registered in the Real Estate Cadastre
	DisCenter	,00	116,00	4,81	11,17	Buildings and dwellings of a singular entity that cannot be included in the concept of nucleus divided between the set of towns with less ten buildings, which are forming streets, squares or other urban roads.
	RusticHa	,47	1,00	,95	,07	Rustic Has by municipality
	Ranch	,00	,05	,01	,01	Number of livestock farms per municipality
Economy	Livestock	4,853	25032,06	3050,26	4501,22	Number of cattle heads per municipality
	IncCap	5915,88	18777,41	10368,81	1722,46	Gross Income per habitant
	Debthab	,00	,81	,19	,17	The balance of the debt that the town councils have contracted with the bank, at a certain date. The debt of the town councils was introduced dividing it among the inhabitants of each municipality so that it would be more representative of the weight of each territory.
	GDP	2680,62	7168155,94	176090,10	616411,74	Gross Domestic Product

To analyze the socioeconomic variables influence in the number of wildfires in Galicia between 2001–2015, a model of multiple linear regression estimated by ordinary least squares (OLS) method was used. The observational unit was the municipality, since it was the smallest unit of information on forest fires; also, it is the minimum territorial unit where there is accurate and consistent socioeconomic information.

The model was carried out for all of the municipalities of Galicia and later for the municipalities of each province separately, in order to analyze the structural stability of the model. To determine if there were differences between provinces, the Chow test was executed [42] for the northern region (A Coruña and Lugo) and southern region (Ourense and Pontevedra). The same test was set within each region to compare each pair of provinces. The results are the following:

#### **General Model:**

The null hypothesis is that there is structural stability between north and south Galicia; the Chow contrast of a structural difference from north and south yielded a value of the statistic test.  $F(15, 284) = 7.20223$   $p$ -value 0.0000, so the null hypothesis is REJECTED, and therefore, there exists a structural difference between the north and south. We proceed to see if there are structural differences within the north provinces (A Coruña and Lugo) and south provinces (Ourense and Pontevedra):

##### 1. North Model:

Chow contrast for the structural difference in the North Model  $F(15, 130) = 1.32671$   $p$  0.1952 value

Not reject the null hypothesis; therefore, no structural difference between the two northern provinces.

##### 2. South Model:

Chow contrast for the structural difference in the South Model  $F(15, 124) = 0.948374$   $p$ -value 0.5135

Not reject the null hypothesis; therefore, no structural difference between the two southern provinces. Moreover, to solve the heteroscedasticity problems presented in the model, robust standard deviations were used. To avoid other problems (variables with a large range of variation and/or skewness to the right, or not constant marginal effects), logarithms were taken when it was necessary.

### 3. Results

Model specification to explain the impact of the selected variables in the number of wildfires that occurred in Galician municipalities between 2001–2015 is:

$$\begin{aligned} \text{Number of Wildfires} = & \beta_0 + \beta_1 \text{LnPopulation}>64 + \beta_2 \text{LnDensity} + \beta_3 \text{IncCap} + \beta_4 \text{I.Masculinity} \\ & + \beta_5 \text{I.active} + \beta_6 \text{LnP.Foreign} + \beta_7 \text{LnParcelVal} + \beta_8 \text{LnDisCenter} \\ & + \beta_9 \text{LnRanch} + \beta_{10} \text{LnRusticHa} + \beta_{11} \text{LnGDP} + \beta_{12} \text{LnLivestock} \\ & + \beta_{13} \text{I.replacement} + \beta_{14} \text{LnDebtHab} + c \end{aligned}$$

**Table 1:** Regression Model of the impact of the selected variables in the number of wildfires that occurred in Galician municipalities between 2001–2015

#### Dependent Variable: Number of Wildfires

Independent Variables	General Model		North Model		South Model	
	Coefficients ( $\beta$ )	$p$ value	Coefficients ( $\beta$ )	$p$ value	Coefficients ( $\beta$ )	$p$ value
Constant	-931.816	0.002	-1207.57	0.000	-1750.38	0.000
LnPopulation>64	189.671***	0.000	132.692***	0.000	273.830***	0.000
LnDensity	-212.140***	0.000	-19.9101	0.573	-273.462***	0.000
IncCap	-0.0584683***	0.000	-0.0394832***	0.000	-0.0223893	0.264
I.Masculinity	5.68822**	0.010	1.71407	0.369	13.1212***	0.000
I.active	-3.11713*	0.051	-1.26194	0.384	-3.55956*	0.079
LnP.Foreign	53.7118***	0.002	-12.8223	0.291	50.9607	0.121
LnParcelVal	-60.4937***	0.001	4.24432	0.850	-36.5176	0.194
LnDisCenter	-30.7492***	0.001	-14.9480*	0.063	15.6403	0.379
LnRanch	35.4466	0.138	-21.3153	0.527	33.6097	0.158
LnRusticHa	-275.325	0.119	95.0943	0.659	-223.834	0.114
LnGDP	52.6489	0.119	46.6009**	0.011	-17.6842	0.766
LnLivestock	-2.94676	0.846	27.7159	0.194	10.2266	0.546
I.replacement	0.108139	0.714	-0.0719371	0.863	-0.207825	0.523
LnDebtHab	27.3305	0.676	47.9772	0.549	-2.70796	0.972
R <sup>2</sup>	<b>0,421</b>		<b>,547</b>		<b>0,501</b>	
Sample size	<b>314</b>		<b>160</b>		<b>154</b>	

(\*\*\*: significant at 1%, \*\*: significant at 5%, \*: significant at 10%.)

The obtained results for each model are shown in Table 2. For the General Model, the variables that show a negative relationship with the number of wildfires are density, per-capita gross income, active population index, plot value, and the relation between lone buildings and nucleus. In the same way, the population over age 64, masculinity index, and proportion of foreigners have a positive relationship with the number of wildfires. For the North Model, the variables per-capita gross income and the relation between lone buildings and nucleus show a negative relationship with the number of wildfires, while the population over 64 and gross domestic product (GDP) have a positive relationship. Finally, in the South Model, wildfires show a negative relationship with density and active population index, and a positive relationship with the population over 64 and the masculinity index.

#### *4. Discussion*

Table 2 shows the three models for the whole region (General Model), the north, and the south of Galicia. Thus, the differences in significance for each different model can be displayed. The R2 values of the models can be considered representative, because a high predictive ability of the dependent variable in the General, North, and South models is achieved (42.1%, 54.7%, and 50.1%, respectively). Therefore, the number of forest wildfires in Galicia has a high relationship with the socioeconomic variables that characterize the municipalities of this community, as the estimated models together are significant. The only variable that keeps the significance at 1% in the three models is the “population over 64 years old”, so it is one of the most explanatory variables of forest fires in Galicia. The variables “population density” and “gross income per capita” are also significant at 1% for two of the models (the South and General models in the case of the “population density”, and the North and General models in the case of “gross income per capita”). The “index of masculinity”, meanwhile, is significant at 1% in the South Model, and at 5% in the

##### **General Model.**

The “proportion of the assessed value by cadastral holder”, the “proportion of scattered/core”, and the “proportion of foreign” are only significant at 1% in the case of the General Model, while the “proportion of scattered/core” is 10% in North Model.

When analyzing the coefficients ( $\beta$ ) sign, the relations, direct or inverse, with the dependent variable, the “number of wildfires”, are the same for all three models. More details are set out below:

- There is an inverse relationship among “density”, “gross income per capita,” the “active population index”, the “plot value per holder”, and the “proportion of scattered/cores”, indicating that the lower the value of these variables, the greater the number of wildfires. In the case of the

“active population index”, if the value decreases, it means a more aged population. In the case of property value, a decrease means that the plots are less valuable. As to the ratio “scattered/cores”, a decrease in its value shows that there are fewer scattered areas and subsequently more wildfires; this is related to the forestry–urban interface fields (transition lands) associated with population centers.

- The relationship is direct to “population over 64 years,” which clearly shows that there are more wildfires within aging population environments; this relies on burning-land traditions and cultural habits, a lower level of education and, in particular, a higher vulnerability. These territories also present a higher “masculinity index”, since there has been a historical female abandonment of rural areas; as a result, the population density is lower. The positive association between wildfire numbers and the rate of foreign population could be connected with their higher presence in vulnerable areas with lower incomes, precarious services, exclusion factors, etc. A positive GDP ratio (higher GDP, means more wildfires) would be explained by the existence of a larger number of urban cores. This means higher municipality richness, and consequently, the existence of more forestry–urban interface, and a higher likelihood of wildfires.

These data show clear differences between the North and South models. So, a lesson to learn is that the fire-fighting actions that are to be carried out must be different depending on the municipality geographical location. While in the north, the economic aspects should be more considered in more depth, in the south, it would be necessary to delve into the social and demographic aspects. Indeed, this does not mean that all of the community problems cannot be solved with community activities.

Within the population and social variables, the strong positive relationship between the aging population and the increasing number of wildfires is remarkable, as is the strong negative relationship between density and wildfires: the lower the population, more wildfires occur because of an abandonment of the territory. These two variables together reflect that depressed areas, with higher aging rates, produce higher number of wildfires. In these areas, there is also a greater number of foreigners with fewer resources and lower incomes. In addition, a reduction in the cadastral value of plots occasions an abandonment of land, which in turn favors the number of fires.

## *5. Conclusions*

The object of this paper is to establish the relationship between socioeconomic aspects that reflect the reality of the Galician municipalities and the number of forest fires between 2001–2015.



The ultimate goal of our work is to identify those socioeconomic issues for achieving a greater impact on prevention actions.

At this point, the most explanatory variables in our model are an aged population and low population density; the community actions of the competent authorities should take into account the negative connotation of both variables on the intervention action planning. This is difficult in the short term, but a greater impact on improving rural life quality in these areas predictably would alter these variables positively toward their relation to forest fires. By promoting the participation and improvement of education, the variables that influence the occurrence of wildfires could be modified, changing the beliefs and activities linked to aged populations with lower levels of education. The need to establish models of sustainable development is detected, taking into account the social aspects that stand out as a cause of forest wildfires.

Regarding those dimensions related to the territory, the use of biomass has been carried out in Galicia, but the design of criteria that guarantee their sustainability remains open. Avoiding ground affections and competition with other sectors such as livestock and agriculture would also help give value to the forest. These measures would help increase the plots' cadastral value and, as shown by the results, would lower the occurrence of wildfires. Synergies should be encountered between agroforestry mosaics systems and holding investments. All of these measures are ultimately targeted to the quality improvement of life in rural areas, influencing variables such as population density and income per capita. Adding value to the land would help people change their perception of forest resources, and therefore could reduce wildfires.

Looking not to lose the forest value, a priority is to increase spending on prevention and elaborate long-term strategies. It is also necessary to restore damaged areas to prevent further deterioration in later adverse environmental conditions. The most efficient way to maintain economic, social, and environmental functions of an area is through trying to emphasize their importance before the occurrence of an event. By including social variables as a cause of the wildfires, authorities can insist on reducing these. It is important to emphasize the most meaningful variables related to wildfire production and carry out actions designed for their reduction (for instance, managing the wildland–urban interface areas, which are related to variables such as the ratio scattered/cores and GDP). It is also important to improve working conditions for women in rural areas, in order to reduce the masculinity index, and therefore increase the population density.

The works carried out on prevention and extinction are the responsibility of public institutions. Although in Spain, the central government is responsible for basic legislation and public policy design,

competences have been transferred to the autonomous communities. It is necessary to involve local bodies for the better management of natural hazards and specifically for forest wildfires, taking into account the socioeconomic variables that affect each. Therefore, it is important to establish the differences between existing social groups in a given area, analyze the exposure and risk involved, and educate these social groups. As it has been seen throughout the study, it is important to take into account the differences between northern and southern Galicia, working on the most important variables in each area. This will ensure that the actions are more efficient and better results against wildfires are achieved.

Changes should be planned for the mid–long term, promoting interactions between different population sections and age cohorts directed to influence certain harmful traditional behaviors associated with aging societies. This would make it possible to improve the labor force turnover rate and demographic structure. One of the great pending challenges is to establish unity among all the factors involved in a wildfire, from prevention to extinction, understanding their behavior and minimizing their effects.

The relevance of the findings of this paper, which establish a relationship between socioeconomic variables and the number of wildfires, must be considered by technical authorities and policymakers. It is not only necessary to act on climate, environmental, and natural issues when it comes to reducing the risk of occurrence. Actions must also affect all of the aspects that influence the risk of occurrence. Authorities must develop strategies that are complementary to prevention efforts, where these variables representing social vulnerability (such as aspects of exclusion, low income, or aging) are mitigated. The existing research shows this relationship, and therefore highlights an existing problem in society. Its severity can be reduced through strategies and policies that will have their effect in the long and mid-term.

In short, we have demonstrated the influence of social variables on the production of wildfire. Therefore, by working on these issues, the occurrence of anthropogenic wildfires could be reduced.

#### Future Research Lines and Limitations

The main limitation of the research is related to the data. Some very important variables in the socioeconomic sphere have not been selected because of the difficulty of obtaining them at the municipal level. In addition, it is very difficult to obtain prevention and extinction spending data, even making a request to different Galician agencies. We should also mention that another limitation

comes from the inability of the model to predict indirect relationships between variables, although this leads us directly into the future course of our investigation.

In order to deepen the relations established between socioeconomic variables and forest fires, a structural equation model (SEM) will be elaborated. This is a multivariate statistical technique for testing and estimating causal relationships from statistical data. SEM allows drawing qualitative assumptions on causality, developing different constructs by the data. The behaviors of the variables in the linear regression deserve to be studied more precisely. It is necessary to establish the intensity of relations, their direction, and more importantly, establish direct and indirect correlations between variables, in order to create constructs. These constructs will be composed of interrelated economic, climatological, environmental, or social variables. We propose a more precise way to study social vulnerability and its effect on forest fires, and investigate whether reducing vulnerability in all its components can reduce the risk of wildfire more efficiently.

**Author Contributions:** All the author of this article has contributed in the elaboration and designing of the model. They also collaborate in the writing of the main body of the paper.

**Funding:** This research was funded by Fundación AON España (<http://fundacionaon.es/>).

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## 6. References

1. Ager, A.; Evers, C.; Day, M.; Preisler, H.; Barros, A.; Nielsen-Pincus, M. Network analysis of wildfire transmission and implications for risk governance. *PLoS ONE* 2017, 12, e0172867. [CrossRef] [PubMed]
2. Haynes, K.; Handmer, J.; Mcaneney, J.; Tibbits, A.; Coates, L. Australian bushfire fatalities 1900–2008: Exploring trends in relation to the ‘Prepare, stay and defend or leave early’ policy. *Environ. Sci. Policy* 2010, 13, 185–194. [CrossRef]
3. Hernández, L. Dónde arden nuestros bosques. *Análisis y Soluciones de WWF* 2016, 1, 64. Available online: <http://awsassets.wwf.es/downloads/dondeardennuestrosbosques2016.pdf> (accessed on 22 April 2018).
4. Padilla, M.; Vega-García, C. On the comparative importance of fire danger rating indices and their integration with spatial and temporal variables for predicting daily human-caused fire occurrences in Spain. *Int. J. Wildland Fire* 2011, 20, 46–58. [CrossRef]

5. Kocher, S.; Butsic, V. Governance of Land Use Planning to Reduce Fire Risk to Homes Mediterranean France and California. *Land* 2017, 6, 24. [CrossRef]
6. Murphy, B. Enhancing Local Level Emergency Management: The Influence of Disaster Experience and the Role of Households and Neighborhoods; ICLR Research: Toronto, ON, Canada, 2005.
7. Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes. BOE» núm. 280, de 22/11/2003. BOE-A-2003-21339. Available online: <https://www.boe.es/eli/es/l/2003/11/21/43/con> (accessed on 16 May 2018).
8. Bentley, P.D.; Penman, T.D. Is there an inherent conflict in managing fire for people and conservation? *Int. J. Wildland Fire* 2017, 26, 455. [CrossRef]
9. Del Moral Ituarte, L.; Pita López, M.F. El papel de los riesgos en las sociedades contemporáneas. In *Riesgos Naturales*; Ayala-Carcedo, F.J., Olcina Cantos, J., Eds.; ARIEL: Barcelona, Spain, 2002; pp. 75–86.
10. Birkmann, J. *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies*, 2nd ed.; United Nation University Press: Tokyo, Japan; New York, NY, USA, 2013.
11. Donner, W.; Rodríguez, H. Population Composition, Migration and Inequality: The Influence of Demographic Changes on Disaster Risk and Vulnerability. *Soc. Forces* 2008, 87, 1089–1114. [CrossRef]
12. Bergstrand, K.; Mayer, B.; Brumback, B.; Zhang, Y. Assessing the Relationship between Social Vulnerability and Community Resilience to Hazards. *Soc. Indic. Res.* 2015, 122, 391–409. [CrossRef] [PubMed]
13. Ashe, B.; Mcaneney, K.J.; Pitman, A.J. Total cost of fire in Australia. *J. Risk Res.* 2009, 12, 121–136. [CrossRef]
14. Elliott, J.R.; Pais, J. When Nature Pushes Back: Environmental Impact and the Spatial Redistribution of Socially Vulnerable Populations. *Soc. Sci. Q.* 2010, 91, 1187–1202. [CrossRef]
15. Molina, J.; Rodríguez, Y.; Silva, F.; Herrera, M. Economic vulnerability of fire-prone landscapes in protected natural areas: Application in a Mediterranean Natural Park. *Eur. J. For. Res.* 2017, 136, 609–624. [CrossRef]
16. Iyalomhe, F. Understanding developing countries vulnerability and adaptation to climate change using theoretical change vulnerability framework. *Afr. J. Comput. ICT* 2011, 4, 33–40.

17. Sharma, S.; Pant, H. Vulnerability of Indian Central Himalayan Forests to Fire in a Warming Climate and a Participatory Preparedness Approach Based on Modern Tools. *Curr. Sci.* 2017, 112, 2100. [CrossRef]
18. Cirella, G.T.; Iyalomhe, F.O.; Russo, A. Vulnerability and risks related to climatic events in urban coastal environments: Overview of actuality and challenges of methodologies and approaches. *J. Urban Plan. Landsc. Environ. Des.* 2016, 1, 67.
19. Wisner, B.; Blaikie, P.; Cannon, T.; Davis, I. *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*, 2nd ed.; Routledge: New York, NY, USA, 2004; 471p, ISBN 0415-252164.
20. Morrow, B.H. Identifying 3rd Mapping Community Vulnerability. *Disasters* 1999, 23, 1–18. [CrossRef]
21. Fogel, S.J. Reducing Vulnerability for Those Who Are Homeless during Natural Disasters. *J. Poverty* 2017, 21, 208. [CrossRef]

22. Alonso Climent, I. Tercer mundo, desarrollo, desastres y tecnología. Una mirada desde la geografía. *Ser. Geográfica* 2002, 10, 11–26.
23. Ballart, H.; Vázquez, I.; Chauvin, S.; Gladine, J.; Plana, E.; Font, M.; Serra, M. La comunicación del riesgo de incendios forestales. Recomendaciones operativas para mejorar la prevención social; *Proyecto eFIRECOM (DG ECHO 2014/PREV/13)*; Ediciones CTFC: Boadilla del Monte, Spain, 2016; 30p.
24. Martínez-Fernández, J.; Chuvieco, E.; Koutsias, N. Modelling long-term fire occurrence factors in Spain by accounting for local variations with geographically weighted regression. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 2013, 13, 311–327. [CrossRef]
25. Paveglio, T.B.; Edgeley, C.M.; Stasiewicz, A.M. Assessing influences on social vulnerability to wildfire using surveys, spatial data and wildfire simulations. *J. Environ. Manag.* 2018, 213, 425–439. [CrossRef]
26. Moreno, J.M. Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. *Boletín CF+S* 38/39. 2014. Available online: <http://polired.upm.es/index.php/boletincfs/article/view/2617/2683> (accessed on 11 September 2018).
27. Crompton, R.; Mcaneney, J.; Chen, K.; Pielke, R.; Haynes, K. Influence of Location, Population, and Climate on Building Damage and Fatalities due to Australian Bushfire. *Weather. Soc.* 2010, 2, 300–310. [CrossRef]
28. Bouillon, C.; Fernandez Ramiro, M.M.; Sirca, C.; Fierro Garcia, B.; Casula, F.; Vila, B.; Long Fournel, M.; Pellizzaro, G.; Arca, B.; Tedim, F.; et al. A tool for mapping rural-urban interfaces on different scales. *Adv. For. Fire Res.* 2014. [CrossRef]
29. Stein, S.M.; Menakis, J.; Carr, M.A.; Comas, S.J.; Stewart, S.I.; Cleveland, H.; Bramwell, L.; Radeloff, V.C. Wildfire, Wildlands, and People: Understanding and Preparing for Wildfire in the Wildland-Urban Interface—A Forests on the Edge Report; Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-299; Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station: Fort Collins, CO, USA, 2013; 36p.
30. Balsa Barreiro, J.; Hermosilla, T. Socio-geographic analysis of the causes of the 2006's wildfires in Galicia (Spain). *For. Syst.* 2013, 22, 497–509. [CrossRef]
31. Loureiro, M.; Barreal, J. Modelling spatial patterns and temporal trends of wildfires in Galicia (NW Spain). *For. Syst.* 2015, 24, e022. [CrossRef]

32. San-Miguel-Ayanz, J.; Durrant, T.; Boca, R.; Libertà, G.; Branco, A.; de Rigo, D.; Ferrari, D.; Maianti, P.; Artés, T.; Costa, H.; et al. Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2017; EUR 29318 EN; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2018; ISBN 978-92-79-92831-4. [CrossRef]

33. Barreal, J.; Loureiro, M.; Picos, J. Estudio de la incidencia de los incendios en Galicia: Una perspectiva socioeconómica. *Revista Galega de Economía* 2011, 20. Available online: <https://www.redalyc.org/comocitar. oa?id=39121275013> (accessed on 14 March 2018).

34. Rigueiro, A.; Mosquera, M.R.; López, L.; Pastor, J.C.; González, M.P.; Romero, R.; Villarino, J.J. Reducción del riesgo de incendios forestales mediante el pastoreo del caballo gallego de monte. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencia Forestal* 2002, 14, 115–118.

35. Barreal, J.; Loureiro, M.; Picos, J. Estudio de la causalidad de los incendios forestales en Galicia. *Economía Agraria y Recursos Naturales* 2012, 12, 101–116. [CrossRef]

36. COSE Selvicultores. Informe: El problema actual de los incendios forestales en Galicia. Informe de la Confederación de Organizaciones de Selvicultores de España 2015, 1, 40. Available online: <https://studylib. es/doc/6173943/informe-%E2%80%99Cel-problema-actual-de-los-incendios-forestales-en> (accessed on 5 April 2018).

37. Galiana Martín, L. Las interfaces urbano-forestales: Un nuevo territorio de riesgo en España. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 2012, 58, 205–226. [CrossRef]

38. PLADIGA 2018. Memoria. Plan de Prevención e Defensa Contra los Incendios Forestais de Galicia; Xunta de Galicia, Consellería do Medio Rural: Santiago, Spain, 2018.

39. Vilariño, J.P. Desarrollo corporativo del sector forestal. *Agricultura y Sociedad* 1998, 85, 15–42.

40. Consejo Económico y Social (CES). Informe 01/2018, El medio rural y su vertebración social y territorial; Consejo Económico y Social: Madrid, Spain, 2018; Número 01; ISBN 978-84-8188-374-9.

*Urban Sci.* **2019**, 3, 32  
15

15 of

41. Wigtil, G.; Hammer, R.B.; Kline, J.D.; Mockrin, M.H.; Stewart, S.I.; Roper, D.; Radeloff, V.C. Places where wildfire potential and social vulnerability coincide in the coterminous United States. *Int. f. Wildland Fire* 2012, 25, 896. [CrossRef]

42. Fisher, F.M. Tests of equality between sets of coefficients in two linear regressions. *Econometrica* 1970, 38, 361–366. [CrossRef]

© 2019 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## Capítulo 2

Influencia de la realidad socioeconómica de Galicia en la dinámica de producción de incendios forestales. Socioeconomic reality of Galicia and dynamics of forest fire production

### *Resumen*

Galicia, con un 5,8% de la superficie de España, concentró el 50% de los incendios forestales del país en el siglo XXI. Las investigaciones han analizado principalmente las características físicas y meteorológicas, las situaciones post- incendio y sus capacidades destructivas. Los factores socioeconómicos existentes antes del incendio en los territorios afectados han sido menos estudiados. Este artículo analiza la dinámica de los incendios forestales en Galicia entre 2001 y 2015: examina las tendencias espaciotemporales de su ocurrencia, la superficie afectada y la relación entre los incendios forestales y las características socioeconómicas de los distintos municipios gallegos. Para ello se realizó un análisis descriptivo exploratorio y un modelo de regresión lineal múltiple con dos variables dependientes diferentes, las hectáreas quemadas y la virulencia de los incendios; las variables independientes incluyeron tanto factores ambientales como aquellos aspectos socioeconómicos más relevantes. Los resultados muestran que existe una relación entre variables socioeconómicas indicativas de vulnerabilidad social (envejecimiento, tasa de masculinidad, baja densidad poblacional o pérdida de valor catastral) y los incendios forestales. Estos resultados pueden resultar de utilidad para la mejora en el diseño de acciones de prevención de incendios por parte de las autoridades responsables.

Palabras clave: Incendios forestales, variables socioeconómicas, Galicia, Regresión lineal múltiple.

### Abstract

Galicia, with 5.8% of the surface of Spain, concentrated 50% of the wildfires in the 21st century. Current researchs have mainly analyzed the physical and meteorological characteristics, the post-fire situations and their destructive capacities. The socioeconomic factors existing before the fire have been less studied. This article analyzes the dynamics of forest fires in Galicia between 2001 and 2015: the spatial-temporal trends, the affected areas and their relationship with the socioeconomic characteristics of the different Galician municipalities. To this end, (1) exploratory descriptive analysis and (2) a multiple linear regression model with two different dependent variables -the hectares burned and the virulence of the fires- were carried out; the independent variables included both, environmental factors and socioeconomic aspects. The results show that there is a relationship between socioeconomic variables indicative of social vulnerability (ageing, rate of masculinity, low

population density or loss of cadastral value) and forest fires. These results can help improve the design of fire prevention actions by public authorities.

Keywords: Wildfires, socioeconomic variables, Galicia, Multiple linear regression.

## 1. *Introducción*

Los incendios forestales son desastres naturales que están asociados mayormente a regiones con características climatológicas determinadas y una vegetación propensa al fuego. España se sitúa dentro de los países más afectados anualmente por estos eventos, donde destacan Estados Unidos y Australia. De hecho, en los Estados Unidos, los incendios forestales han aumentado su tamaño y potencial destructivo (Ager et al, 2017) y en Australia, en el siglo pasado, los incendios en pastizales fueron el cuarto mayor riesgo asociado a las catástrofes, después de las olas de calor (Haynes et al, 2010). A pesar de ser considerados un desastre natural, el origen de los incendios forestales es generalmente antrópico, llegando a configurar el 96% de los casos en España (Hernández, 2016).

Uno de los grandes desafíos es establecer la unión entre todos los factores que intervienen en un incendio forestal, desde la prevención hasta la extinción, entendiendo su comportamiento y minimizando sus efectos.

Sin embargo, la perspectiva que se ha venido tomando tradicionalmente en el ámbito mundial para la lucha contra incendios se ha centrado en las situaciones post-incendio y sus potenciales capacidades destructivas (áreas quemadas, tipo de vegetación afectada, pérdidas económicas, etc) (Kocher y Butsic, 2017). Por estas razones, como se señala más adelante en este trabajo, la investigación actual sobre incendios forestales está enfocada principalmente a analizar sus características físicas o meteorológicas.

Por lo que respecta a las cuestiones referidas a los estadios anteriores a la producción del incendio, como la prevención, la minimización o la mitigación de sus efectos, es necesario conocer aquellas cuestiones que influyen en las características de los grupos sociales en los entornos en los que tienen lugar dichos incendios (Murphy, 2005). Estaríamos hablando de una serie de factores socioeconómicos (estructura y densidad de la población, renta per cápita, PIB, entre otros) que caracterizan a la población residente en los lugares donde se produce el fuego. Sin embargo, la investigación académica ha profundizado en menor medida en este tipo de factores. Analizar estas variables resulta crucial en el ámbito de la investigación sobre incendios forestales (Padilla y Vega-García, 2011).

Así, el hecho de que exista relación entre las variables socioeconómicas y los incendios forestales permite centrar la atención en aquellas cuestiones clave para lograr una mayor incidencia en las actuaciones de minimización de su producción y/o prevención de los mismos.

Los patrones naturales de los incendios se ven alterados por causas antrópicas que afectan al terreno, la climatología o a las poblaciones existentes. Este hecho puede magnificar los efectos negativos del fuego, generando grandes catástrofes naturales con consecuencias muy negativas para el entorno (Bentley y Penman, 2017). En este sentido, las zonas donde existen características socioeconómicas adversas pueden resultar muy relevantes para determinar y predecir la ocurrencia de los incendios forestales.

En España, la Comunidad Autónoma de Galicia ha sido la región que ha acaparado el mayor número de incendios forestales en lo que va de siglo XXI. Según los estudios especializados que se analizan posteriormente en este artículo, los incendios forestales en esta comunidad autónoma están directamente relacionados tanto con factores socioeconómicos relacionados con la vulnerabilidad social (el envejecimiento poblacional o la baja densidad de población unida al escaso desarrollo económico) como con factores naturales o medioambientales (la ganadería extensiva, las zonas abandonadas o las zonas de interfaz urbano forestal). Ello indudablemente refuerza la necesidad de investigar la relación entre las variables socioeconómicas y los incendios forestales de esta región y, específicamente, de encontrar qué variables son más determinantes en su producción.

Este artículo tiene un doble objetivo:

En primer lugar, estudiar la distribución espacial de las áreas recorridas por los incendios forestales (hectáreas quemadas y ratio hectáreas/nº de incendios) en Galicia. Se estudiará primero, el comportamiento agregado temporalmente desde el 2001 al 2015 por municipio y posteriormente, se analizará mediante un análisis de tendencia, el comportamiento desagregado por año.

En segundo lugar, se establecerá la relación entre las variables socioeconómicas y medioambientales seleccionadas en referencia a los municipios gallegos y (1) las hectáreas quemadas y (2) el ratio hectáreas/nº de incendios ocurridos, desde 2001 a 2015.

Para satisfacer estas necesidades de la investigación se utilizaron diferentes bases de datos, concretamente el Banco de Datos de la Naturaleza (BDN) y Meteogalicia para las variables ambientales; las variables de corte socioeconómico se extrajeron de la información suministrada por el Instituto Estadístico de Galicia. La unidad observacional fue el municipio.

Se realizó un análisis espacial y temporal de las hectáreas quemadas y su correspondiente ratio (hectáreas /nº de incendios) a través de los principales estadísticos de dichas variables, comparando

el comportamiento por provincia, mediante un ANOVA de un Factor. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de la relación bidimensional entre las variables independientes y las dos dependientes para cada uno de los municipios con los 15 años agregados. Finalmente, para establecer la relación, multidimensionalmente, entre las variables socioeconómicas y ambientales y las hectáreas quemadas y el ratio hectáreas/nº de incendios, se emplearon dos modelos de regresión lineal múltiple.

El análisis de los resultados establece la existencia de una relación entre los incendios ocurridos en Galicia entre 2001 y 2015 y las variables socioeconómicas que representan la realidad de los municipios gallegos. Estos permiten a las autoridades conocer en mayor medida las dinámicas de la producción de incendios y por ende adoptar medidas de prevención, minimización y mitigación.

## *2. Los incendios forestales*

En primer lugar, es necesario conocer las dinámicas que caracterizan a los incendios forestales y cuáles son los aspectos fundamentales de estos. Además, existen diferentes dimensiones que caracterizan a los incendios forestales, siendo de vital importancia para poder finalmente establecer la relación con los grupos humanos que están dentro de las zonas afectadas.

### *Los incendios forestales y las dinámicas en su producción*

La concepción de incendio forestal difiere en función del contexto de que se trate. Así, desde el punto de vista del manejo forestal, se hablaría de la propagación libre y no programada del fuego sobre la vegetación silvestre (Rodríguez et al, 2010). Sin embargo, en ecología, los incendios son un disturbio (Rowe y Sheard, 1981); es decir, una pérdida de individuos o biomasa, que se produce de forma repentina y eventual.

Desde el punto de vista ecológico, los incendios forestales provocan cambios globales que afectan a la biósfera y son la tercera causa en la pérdida y degradación de grandes extensiones de terrenos forestales. Son, además, una fuente significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero y la pérdida de millones de toneladas de carbono almacenado en los ecosistemas; influyen en el cambio de las características del suelo y la pérdida de biodiversidad; afectan al paisaje; impactan en el hábitat de la fauna y flora silvestre; e inciden en la disminución de la capacidad de retención de agua pluvial (Moritz et al, 2014).

Sin embargo, el impacto de los incendios no siempre es negativo: el problema surge cuando su recurrencia supera la capacidad de resistencia de los ecosistemas, y se alteran de manera irreversible procesos naturales que sirven de base para la producción de bienes y servicios ambientales (Benítez-Badillo et al, 2010).

Este es el caso de la región mediterránea en el sur de Europa: en la actualidad, los incendios forestales se producen con una frecuencia muy superior al régimen natural de incendios que ha tenido lugar históricamente. Esta modificación en la ocurrencia de incendios conlleva grandes problemas, ya que los sistemas naturales se ven afectados y sus capacidades de regeneración natural también. Por ejemplo, en el caso del pino silvestre (*Pinus sylvestris*), la regeneración a partir de los piñones es insuficiente al igual que la regeneración del corcho de los alcornoques (*Quercus suber*) no llega al mínimo para proteger el árbol (Úbeda y Francos, 2018). En las últimas décadas, además de los bienes naturales (vidas, paisajes y zonas protegidas con valor medioambiental), se han visto también afectados bienes humanos (infraestructuras públicas y viviendas privadas) y servicios medioambientales (calidad del aire y capacidad de retención de dióxido de carbono).

La mecánica de los incendios responde, fundamentalmente, a la concurrencia simultánea de tres elementos: oxígeno, combustible y la fuente de ignición (Crompton et al, 2010). No obstante, existen otras variables que resultan tan relevantes o más, como el cambio en las condiciones meteorológicas, la topografía y las actividades humanas en la zona (Birkmann, 2013). Esta última variable, la actividad humana –y su capacidad de alterar los ecosistemas, como los usos del suelo, agricultura y ganadería, nuevas construcciones, etc.- influye notablemente en la magnitud de los incendios, su capacidad destructiva y los efectos que pueden provocar en los sistemas circundantes (Moritz et al, 2014).

#### Factores que afectan a los incendios forestales:

Lo que convierte un evento natural en desastre está determinado por el territorio y la población que se sitúa en las zonas expuestas. Los incendios forestales son considerados desastres, siendo especialmente importantes en la zona mediterránea del sur de Europa. Dentro de estas áreas afectadas, las características sociales varían entre provincias, municipios, ciudades, clases, etc. Delimitar los riesgos derivados de los desastres se antoja complicado debido a esa variabilidad. (Del Moral y Pita, 2002). Por lo tanto, las dimensiones de una catástrofe son múltiples y pueden clasificarse de la siguiente manera (Birkmann, 2013):

#### **Dimensión medioambiental:**

Esta dimensión está relacionada con los efectos derivados de la destrucción medioambiental que produce cambios en el entorno natural a diferentes escalas, como el deshielo, la destrucción de barreras naturales en costas, emisión de gases, etc. (Iyalomhe, 2011). Su análisis puede dividirse en dos grandes bloques: el meteorológico y el territorial (Birkmann, 2013)

La dimensión meteorológica no depende del hombre, más que a gran escala, por su intervención en el cambio climático (Iyalombe, 2011). La composición de la vegetación, la humedad, la temperatura, las precipitaciones, la composición del terreno o el viento, estarían incluidas en este apartado.

Los usos del territorio (construcción, prácticas ganaderas, etc.) pueden alterar la composición del medio natural. Sin embargo, aunque este sea un recurso importante para las personas, es a la vez el origen de los procesos naturales que pueden causar un desastre (Molina et al, 2017).

#### **Dimensión socioeconómica:**

Por una parte, en la vertiente más social de esta dimensión, se tratan los aspectos de justicia, diferencias sociales y organización social, así como fortalezas individuales. En algunos estudios se tienen también en cuenta problemas como pobreza, marginalización social, demografía (grupos de edad vulnerables), educación, salud y bienestar, migraciones y percepción del riesgo (Donner y Rodríguez, 2008). Los factores que determinan esta dimensión dependen de condiciones específicas y procesos de desarrollo muy diferentes en función del país o región analizado, así como del tipo de peligro a encarar (Bergstrand et al, 2015).

Los aspectos de índole más económica se refieren a la ocupación, ingresos, efectos económicos, consumo, propiedades inmobiliarias y ahorros (Ashe et al, 2009). En esta dimensión se pueden introducir también cuestiones de habitabilidad y vivienda. Asimismo, se tiene en cuenta el medio de subsistencia de ciertos habitantes, que puede ser muy relevante en aquellos casos basados en un solo sector, especialmente el sector primario (agricultura, pesca, etc) por su clara conexión con el medio natural (Elliott y Pais, 2010).

#### [El papel de los grupos humanos en la producción de incendios](#)

Los grupos sociales con ciertas características propias de vulnerabilidad social son los que mayor riesgo presentan de sufrir los efectos de una catástrofe (Cirella et al, 2016). Las características socioeconómicas de una persona (clase, grupo étnico de pertenencia, sexo o nivel de pobreza) o grupo de personas (desigualdades en la estructura social o económica) influyen en su capacidad de anticipar, enfrentar, resistir y recuperarse del impacto de un desastre natural (Wisner et al, 2004; Morrow, 1999). Las personas en situación de vulnerabilidad presentan una mayor tendencia a encontrarse ante escenarios en los que se empeoren sus circunstancias adversas (Fogel, 2017).

Por otra parte, dentro de un desastre natural, como los incendios forestales, entran en juego ciertos procesos sociales, económicos y políticos; por este motivo, las actuaciones preventivas deben poner el énfasis en las características de las personas. Esto refuerza la idea de estudiar las

particularidades de las poblaciones en el análisis de riesgo de incendios forestales y no solo fijarse en los efectos post catástrofe (Alonso, 2002). Estas variables socioeconómicas son muy importantes para determinar y predecir la ocurrencia y efectos de los incendios forestales, teniendo en cuenta que la recuperación será muy diferente dependiendo del colectivo vulnerable al que dicho desastre afecte (Paveglio et al, 2016).

Pero ¿Qué papel juega la sociedad en los incendios forestales? La capacidad de respuesta de los ciudadanos ante una emergencia depende en gran medida de la concepción que estos tengan del riesgo. Esto incide también en el apoyo a las políticas de gestión forestal y a las acciones llevadas a cabo por los servicios de emergencia. No obstante, aunque, en general los incendios forestales son comúnmente percibidos como un elemento catastrófico y aleatorio, en el ámbito micro, existen dos visiones diferentes que pueden convivir en un mismo individuo (Ballart et al, 2016):

- El incendio visto como una amenaza a combatir: Esta visión aparece en zonas donde existe una relación intensa entre medio urbano y medio natural. En estos casos la percepción es negativa ya que existe una idea de peligro asociada a los incendios y además se tienen en cuenta efectos desfavorables como pérdida de calidad de terrenos, de vegetación, de paisajes forestales, etc.
- El fuego como herramienta de gestión territorial: Esta percepción es más habitual en zonas de montaña y territorios rurales con presencia de sector agrícola y ganadero. Esta visión puede conllevar a la expansión de conatos (fuego incipiente), pudiendo provocar incendios forestales de mayor intensidad y extensión.

Los factores humanos como causa de los incendios forestales son muy relevantes dentro de la Europa mediterránea y en concreto, en España (Martínez-Fernández et al, 2013). Uno de los rasgos más importantes es su aleatoriedad. Por ello, se antoja tan complicado predecir el comportamiento de un incendio, así como dónde y cuándo dará comienzo (Paveglio et al, 2018).

Los cambios en la climatología que se están produciendo actualmente, así como los cambios en los usos del territorio, son aspectos desfavorables de cara a la reducción del riesgo de incendios forestales en España, ya que influyen en la ocurrencia y en la intensidad. Se prevé un aumento de episodios que superen las capacidades de los dispositivos de extinción, convirtiéndose en situaciones de emergencia nacional (Moreno, 2014).

Aunque de los incendios se derivan en algunos casos consecuencias favorables para la biodiversidad y las características ecológicas de un espacio, a la larga acaban produciéndose grandes costes económicos y sociales (Crompton et al, 2010). Dichos costes han aumentado considerablemente en los últimos años en las zonas intermedias entre lo urbano y lo forestal

(Bouillon et al, 2014). Estudios recientes demuestran una correlación positiva entre los gastos realizados en prevención de incendios y la presencia de terrenos privados y edificables (Stein et al, 2013). En el caso del norte de España el tipo de terreno es predominante des el minifundio. En concreto destaca la comunidad autónoma de Galicia, una de las regiones de Europa con mayor número de incendios forestales.

Sin embargo, no es esta la única característica socioeconómica negativa que está presente en Galicia. Por ello, se hace necesario indagar en la realidad que caracteriza a esta región.

### 3. Los incendios forestales en España: El caso de Galicia

Galicia es la región más al noroeste de la península Ibérica, un territorio de un poco más de 29000 Km<sup>2</sup>, que presenta un alto porcentaje de monte y bosque, aproximadamente un 69% (Loureiro y Barreal, 2015), la mayor parte abandonado y lleno de maleza. Galicia cuenta con una de las más extensas superficies forestales desaprovechadas, hasta un 30 % de su territorio . De los algo más de dos millones de hectáreas de monte, hay 600.000 que no se encuentran arboladas, lo que quiere decir que una gran parte del territorio forestal está infrautilizado para usos industriales. Este porcentaje es más del doble que el estimado en países como Finlandia o Austria, y también muy superior al de Suecia o Estados Unidos.

Galicia ha sido la comunidad autónoma española más afectada por los incendios forestales desde comienzos del siglo XXI (Loureiro y Barreal, 2015). Además, los últimos informes demuestran que las temporadas de incendios se están alargando y que, dentro de Europa, el norte de España y Portugal, son las áreas más críticas. (San-Miguel-Ayanz et al, 2017).

Los incendios forestales se reconocen como uno de los problemas ambientales más importantes dentro de Galicia (Balsa y Hermosilla, 2013). Suponen un impacto de gran envergadura para el sector económico y provocan grandes riesgos para las personas y ecosistemas, todo ello unido al gasto público que suponen (Hernández, 2016).

Según los estudios especializados (Barreal et al, 2011), los incendios forestales en Galicia están directamente relacionados con una mezcla entre factores naturales o medioambientales y factores socioeconómicos. Dichos factores se pueden considerar bien conocidos y predecibles (Cardil et al, 2013), pero superan normalmente las capacidades de los medios de extinción. Los analizamos por separado a continuación.

#### Factores medioambientales

##### **Variables meteorológicas**



La producción vegetal que caracteriza el territorio gallego confiere a las zonas rurales y zonas cercanas a núcleos urbanos una gran capacidad de regeneración de especies arbustivas. Esto es debido a sus características edafológicas y climatológicas. Ante altas temperaturas, bajo grado de humedad y velocidad del viento elevada, este combustible tiene un grado de peligrosidad alto en los que a incendios forestales se refiere. Además, la velocidad de propagación es más elevada, viéndose favorecidas las reproducciones de focos iniciales y un avance muy rápido para la extinción directa (Ponte y Bandín, 2008).

Las variables medioambientales extremas son importantes en la ocurrencia de incendios forestales: la humedad relativa, la temperatura máxima y la velocidad del viento, suponen, en circunstancias especiales, un factor agravante de las consecuencias catastróficas de los incendios (Rodríguez y Ramil-Rego, 2007; Martínez-Fernández et al, 2013). Los informes elaborados por Meteogalicia reflejan un aumento de los días calurosos en primavera (1,5 días por década) y en verano (2,5 días por década), y un aumento también de las noches cálidas en otoño. Todo ello conlleva un aumento de las olas de calor, que influye directamente en los incendios forestales, incrementando tanto la ocurrencia de estos eventos como la capacidad destructiva de los mismos. En resumen, se da un mayor horizonte temporal de ocurrencia, donde la época de peligro es más larga, incrementándose el riesgo al que se ven sometidos todos los elementos del territorio (Gonçalves et al, 2012).

El aumento de las precipitaciones cuando el suelo está desprotegido conlleva grandes pérdidas. Si no existe vegetación, debido a un incendio forestal, la erosión en las épocas de lluvias es mayor lo que podría conducir a un empobrecimiento de los suelos por lavado de los nutrientes, pérdida de biodiversidad y disminución de la productividad. Aparte de tener otros riesgos asociados como inundaciones y deslizamientos de tierra (Gonçalves et al, 2012).

### **Variables territoriales**

Adicionalmente a los factores ambientales que se han descrito en párrafos anteriores, los usos del territorio en Galicia influyen también en la producción de incendios. En esta región, los terrenos son de tenencia mayormente privada (97,2%). Dentro de estos terrenos privados el 32,7% es monte vecinal o en mancomunidad. El resto de las tierras se enmarca en otro tipo de tenencia privada indeterminada, encontrándose muchos de estos terrenos abandonados o descuidados (Sineiro, 2006). El número de propietarios forestales, según el Plan Forestal de Galicia, está por encima de los 650.000 y el tamaño medio de parcela es de 2-3 hectáreas; ello demuestra el importante fraccionamiento de las propiedades forestales en Galicia (PLADIGA, 2018).

El territorio gallego es complejo pues en él se combinan y alternan núcleos urbanos con edificaciones aisladas. A su vez coexisten zonas muy dinámicas, desde el punto de vista demográfico y económico, con otras más deprimidas. Pero incluso en estas últimas existen ciudades que actúan como dinamizadores de la región. Muchas casas de las zonas de conexión entre medio urbano y medio forestal están en alto de riesgo de incendio. Sin embargo, el potencial daño económico de estos eventos es mayor en algunos sitios en comparación con otros; esto es, la magnitud del daño depende no sólo de cuestiones de densidad de población y distribución de las viviendas sino de factores como la meteorología, los tipos de vegetación, usos del territorio, etc., (Stein et al, 2013).

Por otra parte, las grandes superficies abandonadas por la agricultura y la falta de gestión de las parcelas tienen en la producción forestal un nicho de mercado importante, al mismo tiempo que se favorece la ordenación del monte rural y la lucha contra la desertización. El desconocimiento de las reglas más elementales de la lógica forestal y la falta de una educación ambiental adecuada producen un fuerte desajuste entre exigencias y comportamiento social (Vilariño, 1998). La causa de los incendios forestales en Galicia está directamente relacionada con costumbres arcaicas en áreas deprimidas o las negligencias en el uso del fuego como herramienta de gestión (Balsa y Hermosilla, 2013). Existe una gran ignorancia respecto a este tipo de catástrofes, una ausencia de conciencia y cultura forestal y, obviamente, intereses económicos asociados a los usos agrícolas y ganaderos que están directamente enfrentados a los terrenos forestales y su gestión (COSE, 2015). A largo plazo, estos desajustes producen un aumento de los incendios forestales y sus capacidades destructivas, produciendo una mayor degradación de las zonas naturales (Vilariño, 1998).

#### Factores socioeconómicos

##### **Variables sociales**

El despoblamiento rural es uno de los grandes problemas a los que se enfrenta España y en concreto Galicia, considerándose un fenómeno demográfico y territorial. De hecho, Galicia ha perdido con respecto a 2008 un 9,2 % de su población rural. No obstante, la caída en términos absolutos del número de habitantes puede ser resultado de un crecimiento vegetativo negativo. (CES, 2018)

Pero hay otros puntos críticos que se relacionan con la desertización demográfica del medio rural, como son el envejecimiento poblacional o una densidad de población tan baja que no permite el desarrollo económico. Asimismo, en este contexto, pueden existir desequilibrios en las estructuras de edad y género bastante acusados (Balsa y Hermosilla 2013).

La masculinización rural se produce en las edades jóvenes, debido a una emigración predominantemente femenina que viene motivada por la falta de igualdad laboral respecto al trabajo productivo y reproductivo y que termina derivando en un mayor nivel educativo y la búsqueda de oportunidades laborales asociadas a medios urbanos (Ballart et al, 2016).

La baja densidad presenta una serie de problemas asociados comunes, como son envejecimiento, aislamiento geográfico, falta de integración territorial con otras zonas contiguas, malas conexión y dificultad en el transporte, ausencia de servicios sociales adecuados, menores dotaciones de capital humano y oportunidades de empleo. Todo ello conduce inevitablemente a un declive económico (Bergstrand et al, 2015), aunque también produce impactos medioambientales (Balsa y Hermosilla, 2013).

El abandono de los usos tradicionales ganaderos y agrícolas supone un factor de riesgo para la conservación del medio natural. Esto es debido a que se producen transformaciones paisajísticas sin control del territorio forestal asociado al medio rural. En muchos casos, estos territorios se corresponden con parcelas particulares privadas (Wigtil et al, 2016).

La caída de la ganadería extensiva en España (un 30% entre 2004 y 2015) es un factor agravante en la producción de incendios forestales (CES, 2018): La ganadería extensiva repercute sobre el paisaje forestal, favoreciendo los mosaicos y la reducción del combustible en los montes de Galicia (Rigueiro et al, 2002).

En resumen, el progresivo abandono de las zonas rurales se puede considerar negativo a medio plazo. Esto se debe a los efectos sobre el medio ambiente como son la pérdida de suelo y la exposición de grandes superficies a fenómenos erosivos (Loureiro y Barreal 2015). Además, se produce una falta de gestión de terrenos forestales que, unido a los usos tradicionales de del fuego por parte de los ganaderos y agricultores, aumentan el riesgo de incendios (CES, 2018).

### **Variables económicas**

Desde comienzos del siglo XXI, Galicia ha experimentado dos períodos diferenciados, sinérgicos a la situación de la economía española:

- En el período 2000-2008 se produjo un incremento importante de la renta per cápita industrial, favoreciendo el impulso de la industria en Galicia. Gracias a esto, otros sectores productivos diferentes de la agricultura se han desarrollado notablemente, especialmente el de los servicios. Todo ello se traduce en un incremento de la renta per cápita y del consumo real por habitante, con el consiguiente ascenso del PIB (Guisán y Aguayo, 2009).

- El período posterior, 2008-2015, se caracteriza por ser una fase de estancamiento. La crisis iniciada en 2007 provocó la caída de diversos sectores productivos hasta el año 2013, traduciéndose en un descenso en la renta real por habitante y, por ende, del PIB (Guisán, 2017).

Esta disminución del PIB ha producido, a su vez, una reducción del capital disponible para realizar actividades en todos los sectores, siendo uno de ellos la lucha contra incendios forestales. En este sentido, como indica Muñoz (2009), en materia de incendios forestales, se actúa en lo urgente (la extinción) y apenas quedan recursos para la prevención. En este sentido, debido a la crisis acaecida en España, algunos ayuntamientos se han visto obligados a reducir la inversión en el avance de nuevas políticas y medidas necesarias para la lucha contra incendios forestales (Guisán, 2017)

Unido también a las variables económicas, el ganado bovino ha sufrido, como antes hemos explicado, una disminución en toda España, cuestión que ha afectado tanto al aspecto territorial - reducción de las explotaciones ganaderas- como al aspecto económico -disminución del número de cabezas de ganado (Rigueiro et al, 2002).

Por otra parte, los aspectos sociales antes mencionados guardan estrecha relación con las variables económicas. Así, el abandono del medio rural y el envejecimiento de la población de estas regiones han tenido como consecuencia la pérdida de valor de las parcelas consideradas rústicas, es decir no urbanizables, destinadas a la explotación agrícola, ganadera, forestal o de caza (Varela et al, 2007).

#### 4. Metodología

##### OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Como ya se ha mencionado anteriormente, los datos de las últimas décadas demuestran que, dentro de España, la comunidad Autónoma de Galicia es la que acapara la mayor parte de la ocurrencia de incendios (Balsa y Hermosilla, 2013).

De todas las dimensiones que explican la producción de incendios en Galicia, han sido las variables medioambientales las más profusamente tratadas en la literatura (Muñoz, 2009; Cardil et al, 2013; Gonçalves,2012). Sin embargo, los estudios que abordan las dimensiones social o económica han sido mucho más escasos (Wigtill, 2016; Paveglio,2016; Barreal et al,2011).

Concretamente, de Diego et al (2019) analizan la relación entre los aspectos socioeconómicos relacionados con la vulnerabilidad social que reflejan la realidad de los municipios gallegos y el número de incendios forestales ocurridos entre 2001 y 2015. El presente artículo amplía este espectro de análisis, desde una doble perspectiva: en primer lugar, centra la atención en otras dos variables vinculadas a la ocurrencia de incendios como son las hectáreas quemadas y el ratio

hectáreas /nº de incendios (medida esta última del grado de virulencia de los incendios); además, añade nuevas variables explicativas, relacionadas con los aspectos meteorológicos. Una relación entre las variables socioeconómicas y los incendios forestales permite centrar la atención en aquellas cuestiones clave para lograr una mayor incidencia en las actuaciones de minimización de su producción y/o prevención de los mismos

Así, el análisis que se va a realizar en este trabajo es el siguiente:

1. Estudiar la distribución espacial de las áreas recorridas por los incendios forestales (hectáreas quemadas y ratio hectáreas/nº de incendios) en Galicia. Se analizará, en primer lugar, el comportamiento agregado temporalmente desde el 2001 al 2015 por municipio y, en segundo lugar, el comportamiento desagregado por año, mediante un análisis de tendencia

2. Establecer la relación entre las variables socioeconómicas y medioambientales seleccionadas en referencia a los municipios gallegos y (1) las hectáreas quemadas y (2) el ratio hectáreas/nº de incendios ocurridos, desde 2001 a 2015.

#### FUENTES

Para poder realizar este análisis se necesita, un conjunto de datos de calidad correspondiente a los incendios ocurridos en Galicia. Estudios previos establecen diversos horizontes temporales: entre 2001-2006 (Barreal et al, 2011), 2001-2009 (Barreal et al, 2012), 2006 (Balsa y Hermosilla, 2013) y 2001-2010 (Loureiro y Barreal, 2015). En este sentido, dado que existía información disponible, se decidió ampliar el horizonte temporal de la investigación, seleccionándose los datos actualizados que abarcan desde 2001 hasta 2015. Se estableció la unidad observacional a nivel municipal para tener la mayor precisión posible que permitiera mostrar las diferencias del territorio (Barreal et al, 2011) y por ser la mínima unidad territorial de la que existe información socioeconómica precisa y uniforme.

Como se ha mencionado con anterioridad (Birkmann, 2013), las variables se pueden agrupar en dos grandes dimensiones: medioambiental y socioeconómica. La información sobre las variables medioambientales se obtuvo a partir del Banco de Datos de la Naturaleza (BDN) y Meteogalicia . Por lo que se refiere a las variables que componen la dimensión socioeconómica, estas se obtuvieron directamente a partir de la información estadística existente para cada uno de los municipios de la región, a través del Instituto Galego de Estatística (IGE) .

En la tabla 1 se describen las variables utilizadas para la elaboración de los modelos, atendiendo a la revisión de la literatura y la información disponible en las fuentes de datos reseñadas. Estas variables se han estructurado según las dimensiones antes descritas: meteorológica, territorial,

social y económica. Cada una de las variables utilizadas representa un agregado de los 15 años, es decir, primero se han realizado la media y mediana anual y posteriormente se ha calculado una media agregada para este período de 15 años. Por este motivo, algunos valores de variables que deberían ser números enteros (Ej: población mayor de 64 años) presentan decimales. Esta información ha servido de base para realizar los posteriores análisis.

**Tabla 3: Descripción de las variables utilizadas, por municipio (media del período de 15 años analizado)**

Dimensión	Variables	Min.	Max.	Mediana	Desviación Típica	Descripción
Meteorológicas	MediaTaEST	19,2	22,9	22,5	0,644	Media de la temperatura en época estival, en grados centígrados
	MediaHaEST	62,4	80,1	66,7	3,82	Media de la humedad relativa en época estival en porcentaje
	MediaVoEST	3,52	7,51	4,60	0,359	Media de la velocidad del viento en época estival en metros/segundo
Territoriales	DisNucleos	0	116,0	4,81	11,17	Número de construcciones individuales aisladas dividido entre el número de aglomeraciones con menos de diez construcciones
	Ganaderías	0	5	1	1	Número de granjas ganaderas de vacuno
	HaRústicas	0,47	1,00	0,95	0,07	Hectáreas rústicas (no urbanizable, destinadas a la explotación agrícola, ganadera, forestal o de caza)
Sociales	Población>64	76,91	5103	1932,8	4554,10	Número de personas mayores de 64 años
	Densidad	,03	64,61	1,44	4,26145	Número de personas por hectárea
	I.Reemplazo	0,72	5,85	1,79	0,68	Índice de remplazo: Cociente entre la población de 60 a 64 años y la población de 15 a 19 años. Mide la capacidad para reemplazar a las personas que se jubilan
	I.Masculinidad	0,83	1,29	0,96	0,058	Índice de masculinidad: Cociente entre el número de hombres y mujeres.
	I.RecACT	72,40	177,3	118,78	19,43	Índice de estructura de población activa: cociente entre la población de 40 a 64 años y la población de 15 a 39 años.

	PoblaciónEXT	0	2,22	,03	,15	Relación entre la población extranjera y la población total en porcentaje
Económicas	ValorCAT	0,08	9,23	1,03	0,87	Cociente entre el valor de las parcelas en miles de euros y el número de personas registradas en el Catastro.
	GanBov	4,85	2503 2,06	3050,2 6	4501,22	Número de cabezas de ganado vacuno.
	RBruHab	5915, 88	1877 7,41	10368, 81	1722,46	Renta bruta per cápita.
	DeudaHab	0	0,81	0,19	0,17	Cociente entre el saldo de la deuda que los ayuntamientos han contraído con el banco en euros y el número de habitantes.
	PIB	2680, 62	7168 155,94	17609 0,10	616411,7 4	Producto interior bruto en miles de euros.

Fuente: Elaboración propia, a partir del BDN

#### PROCESADO DE DATOS

Con la información que se ha obtenido y una vez ordenada la base de datos, se ha precedido a realizar los pertinentes análisis estadísticos. En concreto se realizaron tres análisis, descritos a continuación:

1. Para el análisis espacial y temporal de las hectáreas quemadas y su correspondiente ratio (hectáreas /nº de incendios) se ha llevado a cabo un análisis descriptivo de los principales estadísticos de dichas variables, comparando el comportamiento por provincia, mediante un ANOVA de un Factor, e identificando qué municipios han presentado los valores máximos y mínimos para dichas variables. Asimismo, se realizó un análisis de la tendencia durante los quince años de estudio.

2. Para determinar la relación bidimensional entre las variables independientes y las dos dependientes, se utilizaron las 314 observaciones correspondientes a cada uno de los municipios con los 15 años agregados. Habida cuenta de la falta de normalidad de las variables analizadas (Kolmogorov-Smirnov, pvalor =0,000), en lugar de usar el coeficiente de correlación de Pearson se hizo uso del coeficiente de correlación no paramétrico de Spearman.

3. Por último, para establecer la relación, multidimensionalmente, entre los aspectos socioeconómicos y ambientales que reflejan la realidad de los municipios gallegos y las hectáreas quemadas y el ratio hectáreas/nº de incendios ocurridos desde 2001 a 2015, se emplearon dos modelos de regresión lineal múltiple, estimados por el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Para evitar recorridos muy grandes, asimetrías positivas o variaciones marginales no constantes, haciendo así los datos más representativos y comparables, se efectuaron diferentes transformaciones (logaritmos, ratios de variables, etc.).

Los análisis estadísticos se hicieron con los programas estadísticos informáticos IBM SPSS Statistics versión 24 y GRETL. 2019.

## 5. Resultados

### DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN GALICIA

Tal y como se ha reseñado en el apartado de metodología, la unidad de observación objeto de análisis será el municipio. Se analizan las hectáreas quemadas y el ratio hectáreas /nº de incendios para cada uno de los quince años comprendidos entre el 2001 y el 2015.

En Galicia hay 314 municipios (concellos), siendo el municipio la administración básica más próxima al ciudadano. De ellos 93 pertenecen a la provincia de A Coruña, 67 a la de Lugo, 92 a la de Ourense, y 62 a Pontevedra. Con respecto al resto de los municipios de España, los gallegos son grandes en extensión y especialmente en población, pues sólo 32 (el 9,8%) tienen menos de 1.000 habitantes (conforme al censo del 2018). Consecuentemente, la densidad de población de Galicia es mayor que la media de España, especialmente en la costa occidental (INE,2019) .

Centrando el estudio ya en los incendios ocurridos en los municipios gallegos, en la tabla 2 aparecen reflejados los estadísticos principales de las dos variables mencionadas, esto es, las hectáreas quemadas y del ratio hectáreas/nº de incendios durante los quince años señalados.

Los incendios forestales en Galicia tienen una marcada estacionalidad. Entre los años 2001 y 2015 se concentran en la época estival, teniendo un repunte entre los meses de febrero y abril, en los que es habitual la limpieza de terrenos y la quema de rastrojo (Braña, 2015). En este sentido, el número medio de hectáreas quemadas por municipio durante los quince años analizados ha sido de 1.197,1, con una mediana de 612,1 y una desviación típica de 1.553,9.

La localización de los incendios en los 15 años seleccionados también es bastante constante. La provincia de Ourense es la más afectada por los incendios forestales en donde se quema sobre todo matorral frente a superficie arbolada (PLADIGA, 2018). El valor medio más elevado en hectáreas quemadas se produce en los municipios de la provincia de Ourense, con 1807,6, seguida por Pontevedra, con una media 1.387,5, A Coruña, con 880,2 y Lugo, con 622,5. En concreto, los municipios con mayor número de hectáreas quemadas a lo largo de estos quince años han sido Manzaneda y Viana do Bolo, en Ourense, con 10.607,0 y 8.320,5 hectáreas respectivamente, seguidos por Cerdedo, en Pontevedra, con 8.206,2. En un intento de perfilar las causas de la concentración de incendios en un lugar u otro se observa que los lugares más afectados poseen las mayores extensiones de monte de toda Galicia; además, la mayor parte del terreno forestal está compuesta de montes de titularidad pública, algunos de ellos declarados de utilidad pública, y



montes vecinales en mano común (PLADIGA, 2018). Por otra parte, los municipios con menor número de hectáreas quemadas durante estos quince años han sido Mugardos en A Coruña, con 3,3 hectáreas, Barreiros en Lugo, con 4,4, y Cabanas en Lugo con 4,3. Estos municipios tienen aspectos en común a destacar: en primer lugar, todos se encuentran en las provincias del norte de Galicia; en segundo lugar, disponen de menos hectáreas forestales en comparación con los municipios más afectados; y por último, en la provincia de Lugo es donde más hectáreas forestales gestionadas para productos madereros hay (PLADIGA,2018).

No obstante, las pequeñas diferencias biogeográficas que puedan existir entre todos los municipios antes mencionados no son un aspecto clave a la hora de explicar las diferencias que existen entre estos mismos municipios con respecto a los incendios forestales (Rodríguez y Ramil-Rego, 2007).

Si se analiza la distribución de hectáreas por número de incendios, se observa que el ratio medio obtenido en Galicia durante los quince años analizados ha sido de 4,3 hectáreas por incendio, con una mediana de 2,8 y una desviación típica de 5,1. Los municipios de Ourense y Pontevedra son los que presentan dicho ratio medio más alto, con 4,7 y 4,6 respectivamente, seguidos por A Coruña y Lugo con 4,0 y 3,8 respectivamente. El distrito de Verín-Viana es el número uno en Galicia en hectáreas quemadas y el Valdeorras-Trives está casi siempre en segundo lugar, ambos en la provincia de Ourense (IGE, 2013). El municipio donde el ratio alcanza un valor más elevado a lo largo de estos quince años ha sido en Cerdedo (37,5), en Pontevedra, seguido por Ribeira de Piguín (32,3), en Lugo, y A capela (30,2) en A Coruña. Por el contrario, los municipios donde menor ratio ha habido durante estos quince años han sido Cambados (0,15) en Pontevedra, Mugardos (0,15) en A Coruña y Barreiros (0,18) en Lugo.

La tendencia de concentración de los incendios forestales en el interior de Galicia se rompió en el año 2006. El fuego pasó de zonas rurales a las más pobladas y del interior a la costa. El cambio de situación de los incendios y su proximidad a los centros de población colapsaron los servicios de extinción provocando la alerta social y una imagen caótica en Galicia (Barreal et al, 2012; Balsa-Barreiro y Hermosilla, 2013). En este sentido, y con el objeto de determinar si el comportamiento era el mismo entre las cuatro provincias, se ha efectuado un contraste de igualdad de medias (Anova de un Factor) para las dos variables. Así, se obtienen dos patrones de comportamiento diferente para el número de incendios y las hectáreas quemadas, estando por un lado las provincias de Ourense y Pontevedra, con un comportamiento similar, sin diferencias significativas, y por otro las otras dos provincias, A Coruña y Lugo, donde las hectáreas quemadas son significativamente

inferiores a las provincias del sur. Sin embargo, no se encuentran diferencias significativas en cuanto al ratio hectáreas /nº de incendios. Estos resultados (p-valor) se muestran en la tabla 2.

**Tabla 4. Estadísticos y frecuencias mayores y menores de hectáreas quemadas y ratio hectáreas /nº incendios**

Variab les	Estadísti cos	Total	A Coruña	Lugo	Ourense	Ponteved ra	p- valor
Hectáre as Quemadas	Media	1.19 7,08	880,19	622,49	1.807,57	1.387,5	0,00
	D.T.	1.55 3,93	1.038,2 7	892,8	2.053,29	1.580,42	
	Median a	612, 1	443,74	333,94	1.282,78	658,18	
	Mínimo	3,37	3,37	4,46	8,53	16,71	
	Máximo	10.6 07,0	4.430,0 7	5.813,8 6	10.607,0 1	8.206,2	
	Asimetría	2,53	1,59	3,52	2,10	1,77	
Municipi os	Mayor		Carnota (4.430,07)	Quiroga (5.813,86)	<b>Manzan eda (10.607,01)</b>	Cerdedo (8.206,2)	
			Lousam e (3.918,33)	Navia de Suarna (2.589,45)	Viana do Bolo (8.320,55)	Pazos de Borbén (5.287,12)	
			Muxía (3.621,15)	Cervant es (2.327,9)	Cualedr o (8.295,56)	Cañiza, A (3.808,47)	
			Mazaric os (3.532,43)	Saviñao, O (2.177,89)	Carballe da de Valdeorras (6.797,34)	Ponte Caldelas (3.800,34)	
			Negreir a (3.504,23)	Palas de Rei (2.159,99)	Laza (6.422,35)	Forcarei (3.694,03)	
	Menor		Mugard os (3,37)	Barreiro s (4,46)	Beade (8,53)	Bueu (16,71)	
			Cabanas (4,34)	Alfoz (8,28)	Pontede va (18,93)	Mondariz- Balneario (32,06)	
			Cariño (8,08)	Rábade (8,58)	Arnoia, A (58,46)	Cambados (34,22)	
			Miño (14,14)	Lourenz á (17,77)	Leiro (93,44)	Ribadumi a (34,99)	
			<b>Bergon do (15,5)</b>	Burela (23,83)	Rúa, A (103,31)	Illa de Arousa, A (41,85)	
Ratio hectáreas/nº incendios	Media	4,28	3,99	3,83	4,71	4,58	0,63
	D.T.	5,07	5,18	4,97	3,21	6,97	
	Median a	2,76	2,18	2,26	3,85	1,94	
	Mínimo	0,15	0,15	0,18	0,20	0,15	
	Máximo	37,4 7	30,22	32,29	18,35	37,47	

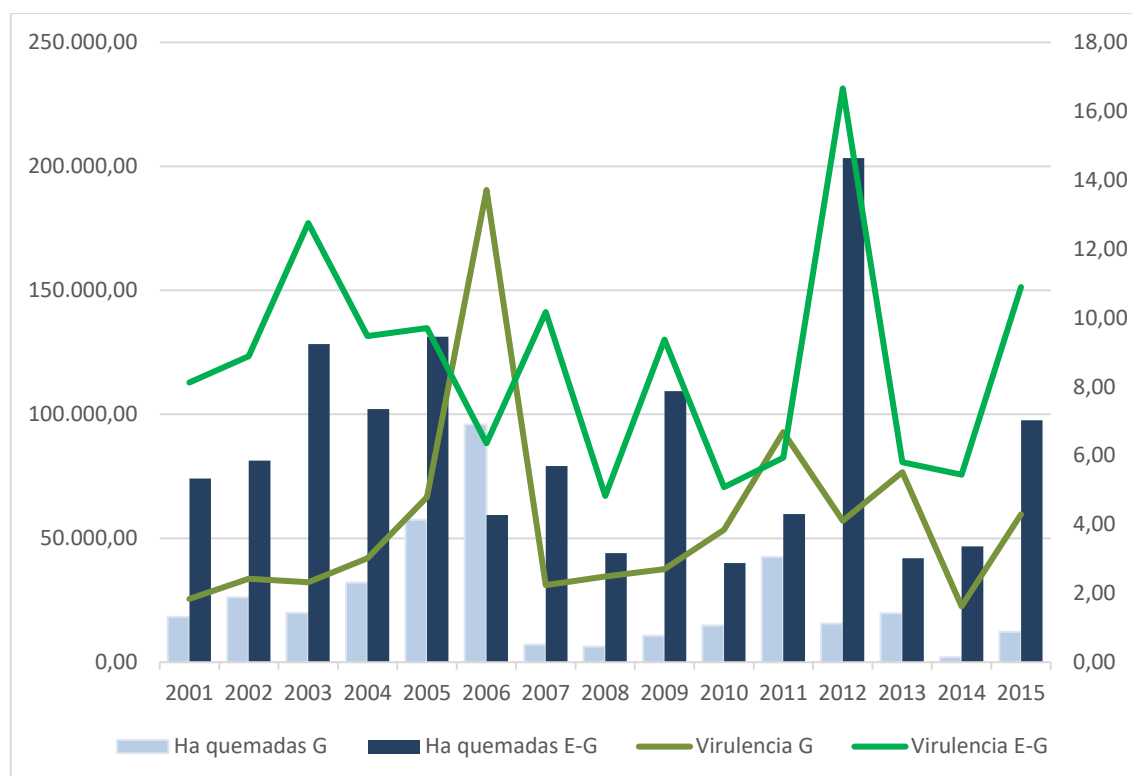
	Asimetría	3,05	3,07	3,63	1,62	2,63	
Municipios	Mayor	Capela, A (30,22)	Ribeira de Piquín (32,29)	Laza (18,35)	<b>Cerdedo (37,47)</b>		
		Camariñas (26,7)	Quiroga (19,06)	Avión (14,86)	Pazos de Borbén (22,5)		
		Carnota (21,2)	Trabada (13,83)	Larouco (13,99)	Campo Lameiro (20,49)		
		Padrón (17,48)	Navia de Suarna (13,56)	Carballada de Valdeorras (11,2)	Oia (19,28)		
		Cee (13,06)	Cervantes (11,25)	Cualedro (10,46)	Pontecesures (17,63)		
	Menor	Mugardos (0,15)	Barreiros (0,18)	Beade (0,2)	Cambados (0,15)		
		Cabanas (0,18)	Rábade (0,26)	Leiro (0,83)	Bueu (0,17)		
		Bergondo (0,22)	Alfoz (0,39)	San Amaro (0,92)	Vigo (0,17)		
		Cambre (0,23)	Viveiro (0,44)	Pontedeiva (0,95)	Nigrán (0,25)		
		<b>Miño (0,26)</b>	Ribadeo (0,55)	Arnoia, A (1,03)	Grove, O (0,35)		

Fuente: Elaboración propia a través de datos del BDN

#### ANÁLISIS DE TENDENCIA

Galicia sigue siendo la comunidad autónoma española más afectada por los incendios forestales desde comienzos del siglo XX. La figura 1 ofrece una comparación entre Galicia y España con respecto a las hectáreas quemadas y virulencia, evidenciando el peso que tiene esta comunidad dentro de estas catástrofes.

**Figura 4: Relación entre Galicia (G) y España sin Galicia (E-G). 2001-2015(15). Ha quemadas y virulencia**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del BDN.

Efectuado el correspondiente análisis de tendencia para las hectáreas quemadas y el ratio de ambas variables por municipio y por año, desde el 2001 al 2015 (n=4710) en la tabla 3, se observa una disminución significativa en las hectáreas quemadas; sin embargo, el ratio de virulencia no ofrece una tendencia significativa.

**Tabla 5: Análisis de tendencia Ha quemadas y Virulencia**

	Variable dependiente	Ha quemadas	Ratio Ha/nºincendios
<b>2001-2015</b>	<b>Cte</b>	10863,468	-103,649
	<b>año</b>	-5,370***	0,054
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,007***	0,000
<b>2001-2006</b>	<b>Cte</b>	-89921,607	-4412,669
	<b>año</b>	44,948***	2,205***
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,047***	0,034***
	<b>Cte</b>	-2574,172	-647,956

<b>2007-2015</b>	<b>año</b>	1,302	0,324**
	<b>R<sup>2</sup></b>	0,000	0,002**

Fuente: Elaboración propia a través de los datos del BDN

No obstante, se pueden identificar dos periodos claramente diferenciados: el primero va desde el 2001 hasta el 2006 y se caracteriza por que las hectáreas quemadas medias por municipio aumentan de forma significativa. En el segundo periodo no hay una tendencia significativa. Así, desde el 2006 hasta el 2015, se produce una drástica disminución de las hectáreas medias quemadas por municipio en los años 2007 y 2008, para continuar con un repunte los años siguientes hasta el 2011; en los últimos tres años de este periodo se produce un descenso, pero en menor proporción que lo ocurrido en los años 2007 y 2008. En definitiva, existe un aumento significativo en el primer periodo y no significativo en el segundo.

Por su parte, si se observa el ratio separadamente en ambos periodos temporales, se ve una tendencia creciente significativa en ambos periodos, al 1% y al 5% respectivamente, siendo los años más virulentos, (donde más hectáreas quemadas ha habido por incendio) el 2006 y el 2011.

#### RELACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES, TERRITORIALES Y SOCIOECONÓMICAS CON LOS INCENDIOS FORESTALES

Para determinar la posible existencia de una relación entre las variables que recogen las diferentes dimensiones ya comentadas (ambientales, territoriales, sociales y económicas) y las dos variables consideradas, esto es, Hectáreas quemadas y ratio hectáreas/nº de incendios se ha estimado el coeficiente de correlación de Spearman, cuyo valor y significatividad pueden observarse en la Tabla 4. Así, se observa una correlación significativa y positiva entre las hectáreas quemadas con el índice de reemplazo, Hectáreas Rusticas y el Índice de estructura de población activa; y significativa y negativa con la Densidad, Proporción de población extranjera, Valor Catastral, Renta Bruta per Cápita, PIB y Núcleos diseminados. Esto pone de manifiesto que aquellos municipios donde mayor es el índice de reemplazo, donde mayor número de hectáreas rusticas y donde mayor índice de estructura de población activa, mayor es el número de hectáreas quemadas; y donde mayor es la densidad, mayor proporción de población extranjera, mayor valor catastral, mayor renta bruta per cápita, mayor PIB y mayor diseminación menor es el número de hectáreas quemadas.

Por su parte, se observa una correlación significativa positiva entre el ratio hectáreas quemadas/nº de incendios con las variables número de personas mayores de 64 años, Índice de reemplazo, Índice de estructura de población activa y número de Hectáreas rusticas; y correlación significativa negativa con la Densidad, Proporción de población extranjera, Renta bruta per cápita,

PIB y núcleos diseminados. Por lo que, a mayor población envejecida, mayor índice de reemplazo, mayor estructura de población activa y mayor número de hectáreas rústicas mayor virulencia de los incendios forestales, y a mayor proporción de población extranjera, mayor renta bruta, mayor PIB y mayor diseminación menor virulencia.

No se observa relación significativa con las variables climáticas, posiblemente debido al agregado de 15 años realizado, y consecuente falta de variabilidad en dichas variables.

Según lo anterior, fruto de un análisis de dependencia bidimensional, parece que existe una relación significativa entre, al menos, alguna de las variables de las dimensiones territoriales, sociales y económicas y las hectáreas quemadas, así como también con la virulencia fruto de los incendios forestales acaecidos en los municipios gallegos entre el año 2001 y 2015. Por lo tanto, los incendios forestales acaecidos en Galicia están vinculados o relacionados con variables de carácter socioeconómico.

No obstante, es bien sabido que en la ocurrencia de los incendios forestales suelen incidir varios factores simultáneamente, presentando un marcado carácter multidimensional. Es por ello, por lo que en el siguiente apartado se va a tratar de explicar la ocurrencia de dichos incendios considerando, ahora, conjuntamente las variables en las diferentes dimensiones ya comentadas.

#### MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE

La especificación de los modelos para explicar la incidencia de las variables seleccionadas en las diferentes dimensiones sobre las hectáreas quemadas y el ratio hectáreas /nº de incendios o virulencia en los municipios de Galicia entre 2001-2015 ha sido la siguiente:

(Hectáreas quemadas); (ratio hectáreas /nº de incendios) =

$$\beta_0 + \beta_1 \text{Ln Población}>64 + \beta_2 \text{Ln Densidad} + \beta_3 \text{Ln I. Reemplazo} + \beta_4 \text{I. Masculinidad} + \beta_5 \text{I. RecACT} + \beta_6 \text{Ln PoblaciónEXT} + \beta_7 \text{Ln ValorCAT} + \beta_8 \text{Ln GanBov} + \beta_9 \text{Ln RBruHab} + \beta_{10} \text{Ln DeudaHab} + \beta_{11} \text{Ln PIB} + \beta_{12} \text{Ln DisNucleos} + \beta_{13} \text{Ln Ganaderías} + \beta_{14} \text{Ln HaRústicas} + \beta_{15} \text{MediaTaEST} + \beta_{16} \text{MediaHaEST} + \beta_{17} \text{MediaVoEST} + \varepsilon$$

Para determinar si existían diferencias según las provincias se realizó el test de Chow (Fisher, 1970) para la región norte (A Coruña y Lugo (Norte)) y región sur (Ourense y Pontevedra (Sur)) y el mismo test dentro de cada área para comparar cada par de provincias. Así, para la variable Hectáreas quemadas se observa un comportamiento diferenciado para las cuatro provincias, y para el ratio hectáreas /nº de incendios se observan diferencias estructurales entre el norte y el sur, y dentro del sur entre las provincias de Pontevedra y Ourense, y no así entre A Coruña y Lugo.

El modelo se llevó a cabo, por lo tanto, para todos los municipios del territorio gallego (Total) y posteriormente en los municipios de cada provincia por separado, en función de los resultados del análisis estructural efectuado.

Por otra parte, para solucionar la cuestión de la heterocedasticidad que se presentaba en el modelo se utilizaron desviaciones típicas robustas. Asimismo, para contrarrestar los problemas ocasionados por las variables con gran rango de variación y/o asimetría a la derecha, o los efectos marginales no constantes fueron tomados logaritmos en los casos necesarios, como ya se ha comentado con anterioridad.

En la tabla 4 se muestran los nueve modelos finales utilizados para explicar las dos variables dependientes consideradas: dos modelos para todo el conjunto de municipios gallegos (Total, uno por cada variable dependiente), cuatro para la variable hectáreas quemadas (uno por cada una de las cuatro provincias) y otros tres para la variable ratio (uno para el norte y otros dos para cada una de las provincias del sur de Galicia).

Variables		Ha Quemadas						PropHaINC				
		Rho de Spearman	Total	A Coruña	Lugo	Ourense	Pontevedra	Rho de Spearman	Total	Norte	Ourense	Pontevedra
Dimensiones	Variable Independiente		b	b	b	b	b		b	b	b	b
	const		34475,5	43163,1	-3008,16	25563,7	-20713,7		86,885	73,617	54,154	123,022
POBLACIONAL	LnPoblación>64	0,013	516,043	745,470*	1029,28**	731,580	-434,757	-0,299**	0,435	0,825	-0,088	-5,855**
	LnDensidad	-0,305**	-815,686***	-126,459	-794,095*	-1407,82***	167,303	-0,418**	-1,372	-1,268	-0,819	2,074
	LnI.Remplazo	0,196**	-3045,47***	-4627,59***	-2148,76	-3913,79*	-4919,60*	0,318**	-9,728**	-17,064**	-3,219	-20,806
	I.Masculinidad	-0,012	9,535	-19,719	10,516	43,763	-83,078	0,042	-0,069	-0,000	-0,0560	-0,324
	I.RecACT	0,191**	0,390	0,872	4,478	-0,036	31,131**	0,317**	0,002	0,022	0,000	0,147
	LnPoblaciónEXT	-0,214**	-133,962	-90,473	-81,172	-148,923	-385,480	-0,344**	-0,801	-0,260	-0,790	-2,417*
ECONOMICA	LnValorCAT	-0,118*	-195,784	-304,080*	264,563	-408,628*	742,252*	-0,068	0,567	-0,709	-0,837*	4,122**
	LnGanBov	0,045	-11,242	371,063	-50,909	268,228	104,331	0,022	-0,690**	-0,056	0,417	-0,695
	LnRBruHab	-0,419**	-2884,11***	-2311,25**	174,959	-1017,47	477,174	-0,403**	-3,409	-3,234	-0,765	6,514
	LnDeudaHab	0,027	-219,184	-371,887	1157,50	-748,519	113,281	-0,055	-0,388	-0,934	0,304	-1,146
	LnPIB	-0,095	389,200	-349,768	-120,204	472,919	550,867	-0,340**	0,084	-0,535	0,601	3,657
TERRITORIAL	LnDisNucleos	-0,247**	-220,629***	-42,272	-90,990	-32,021	94,475	-0,208**	-0,252	-0,385	-0,100	-0,330
	LnGanaderías	-0,239**	-331,411**	-1347,08**	-594,550	-401,420	-781,133*	-0,345**	-0,499	-3,242*	-1,274*	-2,169
	LnHaRústicas	0,245**	287,965	2637,15**	-5048,10	2587,31*	839,736	0,323**	1,158	10,815*	6,142***	-0,978
METEOROLOGICA	MediaTaEST	0,007	-90,686	-216,110	-3,165	-431,255	1108,77	-0,006	-0,327	0,337	-1,132	-2,445
	MediaHaEST	-0,004	-23,037	-33,551	7,717	-60,110	293,342	0,008	0,017	0,216	-0,257**	0,0277
	MediaVoEST	0,007	14,725	40,182	76,422	-377,927	-1788,39	0,018	0,379	0,453	0,0932576	-6,071
	R2		0,375	0,490	0,595	0,544	0,637		0,167	0,266	0,333	0,525
	n		314	93	67	92	62		314	160	92	62
Contraste de Chow Norte/Sur		Chi-cuadrado (18) = 62,3332 con valor p 0,0000 forma F: F (18, 278) = 3,46295 con valor p 0,0000						Chi-cuadrado (18) = 32,8619 con valor p 0,0173 forma F: F (18, 278) = 1,82566 con valor p 0,0223				
Contraste de Chow Este/Oeste		Chi-cuadrado (18) = 65,0765 con valor p 0,0000 forma F: F (18, 278) = 3,61536 con valor p 0,0000						Chi-cuadrado (18) = 37,8473 con valor p 0,0041 F (18, 278) = 2,10263 con valor p 0,0061				
Contraste de Chow Norte (A Coruña-Lugo)		Chi-cuadrado (18) = 37,5733 con valor p 0,0044 forma F: F (18, 124) = 2,08741 con valor p 0,0098						Chi-cuadrado (18) = 22,1267 con valor p 0,2264 forma F: F (18, 124) = 1,22926 con valor p 0,2484				
Contraste de Chow Sur (Ourense-Pontevedra)		Chi-cuadrado (18) = 47,929 con valor p 0,0002 forma F: F (18, 118) = 2,66272 con valor p 0,0008						Chi-cuadrado (18) = 34,8025 con valor p 0,0100 forma F: F (18, 118) = 1,93347 con valor p 0,0192				
Contraste de Chow Este (Ourense-Lugo)		Chi-cuadrado (18) = 39,4922 con valor p 0,0024 F (18, 123) = 2,19401 con valor p 0,0063						Chi-cuadrado (18) = 29,1174 con valor p 0,0470 F (18, 123) = 1,61763 con valor p 0,0655				
Contraste de Chow Oeste (A Coruña-Pontevedra)		Chi-cuadrado (18) = 57,9621 con valor p 0,0000 F (18, 119) = 3,22012 con valor p 0,0001						Chi-cuadrado (18) = 25,5935 con valor p 0,1094 F (18, 119) = 1,42186 con valor p 0,1336				

**Tabla 6: Coeficiente de correlación de Spearman, modelos de regresión lineal múltiple Fuente: Elaboración propia**



La R2 que presentan los modelos se pueden considerar representativa ya que se logra una capacidad predictiva alta de las variables dependientes en todos los modelos, oscilando entre el 16,7% para el modelo Total explicando la variable hectáreas /nº incendios hasta el 63,8% en el modelo para Pontevedra explicando las Hectáreas quemadas. Por lo tanto, la incidencia de los incendios forestales en Galicia tiene una alta relación con las variables socioeconómicas y territoriales que caracterizan a los municipios de esta comunidad, al resultar los modelos estimados significativos conjuntamente.

#### **Variable dependiente: Hectáreas quemadas**

En el modelo Total, las variables que resultan significativas al 1% son “densidad”, el “índice de reemplazo”, la “renta bruta por habitante” y “núcleos diseminados”. Ninguna de las variables climáticas resulta significativa.

Al no haber estabilidad estructural entre las cuatro provincias se ha realizado una estimación del modelo para cada una de las mismas. Así, en A Coruña han resultado significativas al 1% el “índice de reemplazo”, al 5%, la “renta bruta por habitante”, el “número de granjas ganaderas” y el “número de hectáreas rústicas”, y al 10% la “población mayor de 64 años” y el “valor catastral”. En Lugo han resultado significativas, al 5% la “población mayor de 64 años” y al 10% la “densidad”. En Ourense las variables significativas han sido, al 1%, la “densidad”, y al 10% el “índice de reemplazo”, el “valor catastral” y el “número de hectáreas rústicas”. Y, finalmente, en Pontevedra, las variables significativas resultantes al 5% han sido el “Índice de estructura de población activa” y “el número de granjas ganaderas, y al 10% el “índice de reemplazo” y el “valor catastral”.

#### **Variable dependiente: Ratio hectáreas /nº de incendios (virulencia)**

En el modelo Total, las únicas variables que resultan significativas al 5% son el “índice de reemplazo” y el “número de cabezas de ganado bovino”.

En el modelo Norte, la única variable que resulta significativa al 5% es el “índice de reemplazo”, y al 10% el “número de granjas ganaderas” y el “número de hectáreas rústicas”.

En el Sur, al no haber estabilidad estructural se han estimado dos modelos, uno por provincia. Así en Ourense, resulta significativa al 1%, el “número de hectáreas rústicas”, al 5% la “humedad relativa” y al 10% el “valor catastral” y “el número de granjas ganaderas”. Por su parte en Pontevedra, las variables significativas al 5% ha sido la “población mayor de 64 años” y el “valor catastral”, y al 10% “la proporción de población extranjera”.

Si nos fijamos en el signo que tienen los coeficientes ( $\beta$ ), las relaciones, directa o inversa, con las variables dependientes, esto es, “hectáreas quemadas” o “ratio hectáreas /nº de incendios” coinciden en todos los modelos para casi todas las variables y se explican de la siguiente manera:

- La relación es inversa en el caso de la “densidad”, “Índice de reemplazo” “la renta bruta por habitante”, el “número de granjas ganaderas” y el “número de cabezas de bovino”, lo que indica que, a menor valor de estas variables, mayor incidencia en las hectáreas quemadas o en el grado de virulencia de los incendios medido a través del ratio hectáreas /nº de incendios hay. Así, la mayor densidad de población, el mayor índice de reemplazo, la mayor renta por habitante y el mayor número de ganaderías son factores de protección para los municipios ante la incidencia de los incendios forestales. Con relación a las variables meteorológicas, la única que resulta significativa e inversa es la humedad relativa, en Ourense; ello supone una mayor incidencia de incendios cuanto menor sea la humedad, como es lógico.

- La relación es directa para las “hectáreas rústicas”, esto es, a mayor cantidad de hectáreas rústicas mayor incidencia de los incendios forestales, actuando claramente como un factor de riesgo para este fenómeno. También se detecta una relación directa en el caso del “índice de estructura de población activa”, lo que indica que cuanto mayor es este índice, esto es, mayor porcentaje de personas mayores en edad de trabajar respecto al porcentaje de jóvenes, mayor incidencia en la ocurrencia de incendios, lo que puede estar vinculado, a un mayor envejecimiento de la población. mayor número de personas de mayor edad hay, esto a la larga favorece el envejecimiento por la falta de jóvenes. Esto está relacionado con los incendios a través de la variable de población mayor de 64 años, que ha resultado ser significativa.

- El resto de las variables presentan una relación o bien directa o inversa dependiendo del modelo especificado. Así, la “población mayor de 64 años” tiene un impacto directo en las hectáreas quemadas en A Coruña y Lugo, mientras que es inverso sobre la virulencia de los incendios en la provincia de Pontevedra. El “Valor Catastral” presenta un impacto negativo sobre las hectáreas quemadas en A Coruña y Ourense y positivo en Pontevedra, y negativo también sobre la virulencia en Ourense y positivo en Pontevedra. En el caso concreto del valor catastral, un menor valor implica que las parcelas tengan un menor valor, y por lo tanto se descuiden las labores de gestión y cuidado, favoreciendo las Ha quemadas y/o la virulencia cuando tiene lugar algún incendios forestales.

- Por su parte la “proporción de extranjeros” presenta un signo negativo y significativo sólo cuando se trata de explicar la virulencia de los incendios y sólo en Pontevedra, lo que implicaría que, a mayor porcentaje de extranjeros, menor virulencia de los incendios en los municipios gallegos. En todo caso, debe reseñarse que el porcentaje de extranjeros en Galicia es bajo, supone, a fecha del

año 2019, el 3,7% de la población (INE, 2019). Además, entre los años 2019 al 2017, el número de ayuntamientos gallegos cuya población extranjera supera el 5% del total se ha desplomado casi a la mitad, pasando de los 36 que había en 2010 a los 20 de finales de 2017 (La opinión, 2018) .

Con los datos obtenidos se puede observar primeramente una clara diferencia entre el Norte y el Sur en general y entre las provincias en particular. Por lo tanto, los requerimientos para mitigar los efectos de las variables socioeconómicas sobre las características de los incendios son diferentes dependiendo de donde nos situemos.

Dentro de las variables poblacionales y sociales destaca el envejecimiento de la población como causa de aumento de las hectáreas quemadas y la virulencia. También destaca la densidad: donde esta es menor, se producen más incendios debido a un abandono del territorio. Las dos variables en conjunto reflejan que zonas deprimidas, con índices que envejecimiento alto, presentan más hectáreas quemadas y virulencia. Además, se produce una reducción del valor catastral que conlleva un abandono de los terrenos, lo cual de nuevo favorece el número de incendios.

En referencia a los datos climáticos la explicación de que no exista una relación entre estas variables y el número de incendios y las hectáreas quemadas puede deberse al hecho de que las variables se han obtenido a través de la media anual de cada distrito forestal y luego se ha realizado la media para los 15 años que representa el abanico temporal del estudio. Al realizar este cálculo estas medias tienden a igualarse y no se pueden observar los casos extremos que son los que verdaderamente pueden influir en la ocurrencia de incendios forestales y afectar en las características de estos, por una clara carencia de variabilidad de las variables de estas características.

## *6. Discusión y conclusiones*

En este trabajo se analizan las dinámicas de la producción de incendios forestales en los municipios de Galicia, entre 2001 y 2015, y su posible vinculación con factores de índole fundamentalmente socioeconómica. De esta manera, se pretende contribuir al mayor conocimiento de aquellos factores anteriores a la producción de un incendio, que han sido mucho menos abordados en una literatura científica centrada en el análisis de la extinción y sus consecuencias.

No obstante, algunos estudios anteriores que tratan sobre incendios forestales y variables socioeconómicas en Galicia establecen una relación entre estos dos conceptos (Barreal et al, 2011, Balsa y Hermosilla, 2013 y Loureiro y Barreal, 2015). En este trabajo también se ha podido comprobar que las distintas variables socioeconómicas seleccionadas son importantes a la hora de determinar tanto las hectáreas quemadas como la virulencia de los incendios. Uno de los principales

hallazgos de la presente investigación es que los efectos son distintos dependiendo de la zona de Galicia a la que nos refiramos. Así, a través de la prueba de Chow, se constató la presencia de un cambio estructural en el análisis de los datos. Se realizaron varios modelos para diferentes zonas de la Comunidad, sin la necesidad de usar variables ficticias como se ha hecho en otros estudios (Barreal et al, 2011 y Barreal et al, 2012).

Las variables climáticas, en cambio, no han sido tan determinantes. Esto se ha debido a la que la media de dichas variables agregada en quince años tiende a igualarse y por tanto no se pueden comprobar los efectos de los casos extremos en grandes incendios forestales (Rodríguez y Ramil-Rego, 2007; Martínez-Fernández et al, 2013).

El hecho de que exista relación entre las variables socioeconómicas relacionadas con la vulnerabilidad social y los incendios forestales permite centrar la atención en aquellas cuestiones clave para lograr una mayor incidencia en las actuaciones de minimización de su producción y/o prevención de los mismos.

Así, el abandono progresivo del medio rural es uno de los principales problemas que favorecen los incendios forestales (Wigtill et al, 2016, Varela et al, 2007 y Rigueiro et al, 2002). A su vez, este lleva asociadas cuestiones sociales (envejecimiento, baja densidad, etc) y cuestiones económicas (baja renta bruta por habitante, bajo valor catastral, etc.). Es, por ello, importante tomar medidas destinadas, por ejemplo, a mejorar las condiciones de trabajo femenino en el medio rural, reduciendo así el índice de masculinidad, aumentando la densidad de población y disminuyendo el envejecimiento a medio-largo plazo; todas ellas variables que cómo se ha visto en los modelos anteriores, impactaban sobre los incendios forestales.

Otro aspecto relevante es la falta de gestión del territorio forestal, que lleva asociados la pérdida de valor del monte y el aumento de combustible, con el consecuente incremento del riesgo de incendios (Vilariño,1998). Una manera de contrarrestar este efecto adverso es revalorizar el territorio forestal, lo cual produce un aumento del valor catastral, minimizando la producción y/o el impacto de los incendios (ya sea en número de hectáreas quemadas o en su virulencia). De cara a alcanzar esta revalorización, sería necesario aumentar las inversiones en estas explotaciones buscando además sinergias con otras medidas, como por ejemplo la creación de sistemas de mosaicos agroforestales (Martínez-Fernández et al, 2013). Todo ello conllevaría una mejora de la calidad de vida en las zonas rurales, incidiendo finalmente en variables como la densidad de población y la renta por habitante. Otorgando valor al bosque se cambia la percepción que se tiene de los medios forestales y por tanto se pueden reducir los incendios. Hay que tener en cuenta que el monte gallego es un recurso para la obtención de materias primas y también un espacio de suma

importancia dentro del sector del turismo (Balsa-Barreiro y Hermosilla,2013), esto es, el monte tiene un valor intrínseco. Por esta razón, si la población local tomara conciencia de esta realidad, se lograría el objetivo de mantener y conservar estos territorios forestales.

Asimismo, la manera más eficiente de mantener las funciones económicas, sociales y ambientales de una zona es tomar medidas antes de la ocurrencia de un evento catastrófico (Birkmann, 2013): aumentar el gasto en prevención y diseñar estrategias para ello se convierte en una prioridad. Por ejemplo, en lo que respecta a los modelos desarrollados en este artículo, estas medidas pasarían por la gestión de las zonas de interfaz urbano forestal, relacionadas con variables como la proporción de zonas dispersas/núcleos y el PIB.

Los trabajos que se llevan a cabo en materia de prevención son competencia de las instituciones públicas, concretamente de la Administración Central del estado. No obstante, estas competencias están transferidas a las Comunidades Autónomas. Por este motivo, para mejorar la gestión de los riesgos naturales y en concreto de los incendios forestales, resulta necesario implicar a las entidades locales, primeras conocedoras de la realidad socioeconómica que afecta a cada uno de sus municipios (Loureiro y Barreal, 2015). Esto resulta complicado a corto plazo, pero una mayor incidencia en la mejora de la calidad de vida en el medio rural previsiblemente modificaría de manera positiva estas variables de cara a su relación con los incendios forestales. Se detecta la necesidad de establecer modelos de desarrollo sostenible donde se tengan en cuenta los aspectos sociales que destacan como una causa de los incendios forestales.

Los cambios propuestos deben potenciarse a medio-largo plazo, donde se promueva un intercambio entre las diferentes estructuras poblacionales y a la vez se pueda incidir en ciertos comportamientos tradicionales dañinos, asociados a sociedades envejecidas (Balsa-Barreiro y Hermosilla,2013). Ello permitiría mejorar los índices de recambio de población activa y la estructura demográfica.

La relevancia de los resultados que establecen una relación entre las variables socioeconómicas relacionadas con la vulnerabilidad social y hectáreas quemadas y virulencia debe ser tomada en consideración por los decisores técnicos y políticos. No solo es necesario actuar sobre las cuestiones climáticas, medioambientales y naturales a la hora de disminuir el riesgo; hay que incidir en todos los aspectos que tienen influencia. Se deben elaborar estrategias de medio-largo plazo que sean complementarias a las labores de prevención, donde se mitiguen los impactos adversos de algunas variables socioeconómicas (como abandono rural, renta baja o envejecimiento). Las investigaciones demuestran esta relación reflejando, por tanto, un problema presente en la sociedad.

Como se ha venido demostrando en este artículo, uno de los grandes desafíos es establecer la unión entre todos los factores que intervienen en un incendio forestal, desde la prevención hasta la extinción, entendiendo su comportamiento y minimizando sus efectos. En definitiva, este trabajo ha permitido probar la influencia de las variables socioeconómicas en las hectáreas quemadas y en la virulencia de los incendios forestales en Galicia. Sus conclusiones permiten sugerir que, trabajando sobre estas cuestiones, se puede generar un cambio en los efectos destructivos de los incendios de origen antrópico.

## 7. Bibliografía

1. Ager, A., Evers, C., Day, M., Preisler, H., Barros, A. and Nielsen-Pincus, M. (2017). Network analysis of wildfire transmission and implications for risk governance. *PLoSOne*; 12(3):e: e0172867. doi: 10.1371/journal.pone.0172867.
2. Alonso Climent, I. (2002). Tercer mundo, desarrollo, desastres y tecnología. Una mirada desde la geografía. *Serie Geográfica* 10, 11-26.
3. Ashe, B., Mcaneney, K.J. and Pitman, A.J. (2009). Total cost of fire in Australia. *Journal of Risk Research*, 12(2), pp. 121-136.
4. Ballart, H., Vázquez, I., Chauvin, S., Gladine, J., Plana, E., Font, M. and Serra, M. (2016). La comunicación del riesgo de incendios forestales. Recomendaciones operativas para mejorar la prevención social. *Proyecto eFIRECOM (DG ECHO 2014/PREV/13)*. Ediciones CTFC. 30pp
5. Balsa Barreiro, J. and Hermosilla, T. (2013). Socio-geographic analysis of the causes of the 2006's wildfires in Galicia (Spain). *Forest Systems*, 22(3), pp. 497-509.
6. Barreal, J., Loureiro, M. and Picos, J., (2012). Estudio de la causalidad de los incendios forestales en Galicia. *Economía agraria y recursos naturales*, pp. 101-116.
7. Barreal, J., Loureiro, M. and Picos, J. (2011). Estudio de la incidencia de los incendios en Galicia: una perspectiva socioeconómica. *Revista Galega de Economía*, 20.
8. Benítez-Badillo, G.; Hernández-Huerta, A.; Equihua-Zamora, M.; Pulido-Salas, M.T.; Ibáñez-Bernal, S.; Mirando-Martín del Campo, L. (2010). Biodiversidad. *Atlas del Patrimonio Natural, Histórico y Cultural de Veracruz*. Tomo I. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia y la Revolución Mexicana. México. Pp. 169-199
9. Bentley, PD. and Penman, TD. (2017). is there an inherent conflict in managing fire for people and conservation? *International Journal of Wildland Fire*. 26(6):455. doi: 10.1071/WF16150.

10. Bergstrand, K., Mayer, B., Brumback, B. and Zhang, Y. (2015). Assessing the Relationship between Social Vulnerability and Community Resilience to Hazards. *Social Indicators Research*, 122(2), pp. 391-409.
11. Birkmann, J. (2013). *Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies* (second edition). United Nation University Press. Tokio & New York.
12. Bouillon C, Fernandez Ramiro MM, Sirca C, et al. (2014) A tool for mapping rural-urban interfaces on different scales, in *advances in forest fire research*. 2014. doi: 10.14195/978-989-26-0884-6\_70.
13. Braña Rey, F. (2015). Imaginarios de monte y fuego. Los incendios forestales en Galicia imagonautas. *Revista Interdisciplinaria sobre Imaginarios Sociales*. 6: 15-26. Universidade de Vigo. ISSN 0719-0166.
14. Cardil, A., Molina, D. M., Ramirez, J., and Vega-García, C.: Trends in adverse weather patterns and large wildland fires in Aragón (NE Spain) from 1978 to 2010. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 1393-1399, <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1393-2013>, 2013.
15. Cirella, G. T., Iyalomhe, F. O., and Russo, A. (2016). Vulnerability and risks related to climatic events in urban coastal environments: Overview of actuality and challenges of methodologies and approaches. *UPLanD-Journal of Urban Planning, Landscape & environmental Design*, 1(1), 67.
16. Consejo Económico y Social (CES). (2018). Informe 01/2018, El medio rural y su vertebración social y territorial. ISBN 978-84-8188-374-9. Consejo Económico y Social. Número 01.
17. COSE Selvicultores. (2015). Informe: El problema actual de los incendios forestales en Galicia. Informe de la Confederación de Organizaciones de Selvicultores de España.
18. Crompton, R., Mcaneney, J., Chen, K., Pielke, R. and Haynes, K. (2010). Influence of Location, Population, and Climate on Building Damage and Fatalities due to Australian Bushfire. *Weather, Climate, and Society*, 2(4), pp. 300-310.
19. De Diego, J.; Rúa, A.; Fernández, M. (2019). Designing a Model to Display the Relation between Social Vulnerability and Anthropogenic Risk of Wildfires in Galicia, Spain. *Urban Science*. 3, 32.
20. Del Moral Ituarte L. and Pita López M.F. (2002) El papel de los riesgos en las sociedades contemporáneas. *Riesgos Naturales* (ed. Ayala-Carcedo F.J. and Olcina Cantos J.), pp. 75-86. ARIEL, Barcelona.

21. Donner, W. and Rodríguez, H. (2008). Population Composition, Migration and Inequality: The Influence of Demographic Changes on Disaster Risk and Vulnerability. *Social Forces*, 87(2), pp. 1089-1114.
22. Elliott, J.R. and Pais, J. (2010). When Nature Pushes Back: Environmental Impact and the Spatial Redistribution of Socially Vulnerable Populations. *Social Science Quarterly*, 91(5), pp. 1187-1202.
23. Fisher FM. (1970) Tests of equality between sets of coefficients in two linear regressions. *Econometrica*. 38(2):361-6.
24. Fogel, S.J. (2017). Reducing Vulnerability for Those Who Are Homeless During Natural Disasters. *Journal of Poverty*, 21(3), pp. 208.
25. Galiana Martín, L. (2012). Las interfaces urbano-forestales: un nuevo territorio de riesgo en España. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. (58):205-26.
26. Gómez Nieto I., Martín Isabel M. P., Salas Rey F. J. (2015): Análisis del régimen de incendios forestales y su relación con los cambios de uso del suelo en la comunidad autónoma de Madrid (1989-2010). *GeoFocus (Artículos)*, nº 16, p. 281-304. ISSN: 1578-5157
27. Gonçalves, AB. Vieira, A., Leite, FF. Y Lourenço, L. (2012). Mudanças climáticas e risco de incêndio florestal no ave (noroeste de Portugal). *Revista Geonorte, Edição Especial.*; V.1, N.4, p.830–842.
28. Guisán, M.C. (2017). la economía de Galicia y España en 2007-2017: diez años de crisis y recuperación. *Revista Galega de Economía*, vol. 26, núm. 1, pp. 103-114 Universidade de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela, España.
29. Guisán, M.C. y Aguayo, E. (2009). Empleo y producción en Galicia en el período 2001-2008. Efectos de la industria y el turismo sobre los sectores de Servicios. *Revista Galega de Economía*, Vol. 18-2, disponible online.
30. Haynes K., Handmer J., Mcaneney J., Tibbits A. and Coates L. (2010). Australian bushfire fatalities 1900–2008: Exploring trends in relation to the ‘Prepare, stay and defend or leave early’ policy. *Environmental Science and Policy*.13 (3):185-194. doi: 10.1016/j.envsci.2010.03.002
31. Hernández, L. (2016). Dónde arden nuestros bosques. Análisis y soluciones de WWF.



32. Iyalomhe, F. (2011). Understanding developing countries vulnerability and adaptation to climate change using theoretical change vulnerability framework. *African Journal of Computing and ICT*, 4(3), 33-40.
33. Kocher, S. and Butsic, V. (2017). Governance of Land Use Planning to Reduce Fire Risk to Homes Mediterranean France and California. *Land*, 6(2), pp. 24.
34. Loureiro, M. and Barreal, J. (2015). Modelling spatial patterns and temporal trends of wildfires in Galicia (NW Spain). *Forest Systems*, 24(2), pp. e022.
35. 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(2):311-327.  
<https://search.proquest.com/docview/1315216267>. doi: 10.5194/nhess-13-311-2013.
36. Molano Martín, F.J., Rodríguez Rodríguez, C. y Ponte Pintor, J.M. (2007). Informe sobre investigación de incendios forestales en Galicia. Verano 2006. A Coruña: Diputación de A Coruña.
37. Molina, J., Rodríguez Y., Silva, F. and Herrera, M. (2017). Economic vulnerability of fire-prone landscapes in protected natural areas: application in a Mediterranean Natural Park. *European Journal of Forest Research*, 136(4), pp. 609-624.
38. Moreno, J.M. (2014). Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. *Boletín CF+S*. (38/39), 37-56.
39. Moritz MA., Batllori E., Bradstock RA., et al. (2014). Learning to coexist with wildfire. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/nature13946>. doi: 10.1038/nature13946. vol. 515, no. 7525, p. 58
40. Morrow, B.H. (1999). Identifying and Mapping Community Vulnerability. *Disasters*, 23(1), pp. 1-18.
41. Muñoz, R. V. (2009). Cambio global e incendios forestales: Perspectivas en la Europa Meridional. *Recursos rurais: revista oficial do Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural (IBADER)*, (5), 49-54.
42. Murphy, B. (2005) Enhancing Local Level Emergency Management: The Influence of Disaster Experience and the Role of Households and Neighborhoods. ICLR Research, Toronto.
43. Padilla M. and Vega-García C. (2011). On the comparative importance of fire danger rating indices and their integration with spatial and temporal variables for predicting daily human-caused fire occurrences in Spain. *International Journal of Wildland Fire*, 20, 46-58.

44. Paveglio TB, Edgeley CM, Stasiewicz AM. (2018). Assessing influences on social vulnerability to wildfire using surveys, spatial data and wildfire simulations. *Journal of Environmental Management*.213:425:439.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718301750>. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.02.068.
45. Paveglio, T., Prato, T., Edgeley, C., Nalle, D. (2016). Evaluating the Characteristics of Social Vulnerability to Wildfire: Demographics, Perceptions, and Parcel Characteristics. *Environmental Management*, 58(3), pp. 534-548.
46. PLADIGA 2018. Memoria. (2018). Plan de Prevención e Defensa Contra os Incendios Forestais de Galicia. Xunta de Galicia, Consellería do medio rural.
47. Ponte, J.M. y Bandín, C. (2008). Los incendios forestales en Galicia y su investigación. *Estudios penales y criminológicos*, 28, 317-341.
48. Rigueiro, A., Mosquera, M.R., López, L., Pastor, J.C., González, M.P., Romero, R. and Villarino, J.J. (2002). Reducción del riesgo de incendios forestales mediante el pastoreo del caballo gallego de monte. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencia Forestal*, 14, pp. 115-118.
49. Rodríguez Guitián, M.A., Ramil-Rego P. (2007). Clasificaciones climáticas aplicadas a galicia: Revisión desde una perspectiva biogeográfica. *Recursos Rurais*. IBADER: Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvemento Rural.; Vol1 nº 3: 31-53.
50. Rodríguez, F. de J., Pompa-García, M., Hernández-Díaz, C., Juárez-Reyes, A. (2010). Patrón de distribución espacial de la pérdida, degradación y recuperación vegetal en Durango, México. *Avances en Investigación Agropecuaria* [en línea], Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83716113004>> ISSN 0188-7890.
51. Rowe, J. S., y Sheard, J. W. (1981). Ecological land classification: a survey approach. *Environmental management*, 5(5), 451-464.
52. San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Boca, R., Libertà G., Branco, A., de Rigo, D., Ferrari, D., Maiani, P., Artés, T., Costa, H., Lana, F., Löffler, P., Nuijten, D., Christofer, A. and Leray, T. (2018). *Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2017*. EUR 29318 EN, ISBN 978-92-79-92831-4, doi: 10.2760/663443.
53. Sharma, S. and Pant, H. (2017). Vulnerability of Indian Central Himalayan Forests to Fire in a Warming Climate and a Participatory Preparedness Approach Based on Modern Tools. *Current Science*, 112(10), pp. 2100.

54. Stein, S.M., Menakis, J., Carr, M.A., Comas, S.J.; Stewart, S.I., Cleveland, H., Bramwell, L. and Radeloff, V.C. (2013). Wildfire, wildlands, and people: understanding and preparing for wildfire in the wildland-urban interface- a Forests on the Edge report. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-299. Fort Collins, CO. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 36 p.
55. Úbeda, X.; Francos, M. (2018). Incendios forestales, un fenómeno global. Biblio3W, Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales. Barcelona: Universidad de Barcelona, vol. XXIII, nº 1.253. [ISSN: 1138-9796]
56. Varela, E., Calatrava, J., Ruiz-Mirazo, J., Jiménez, R., & González-Rebollar, J. L. (2007). Valoración económica del pastoreo en términos de costes evitados en labores de prevención de incendios forestales. 4th International Wildland Fire Conference.
57. Vilariño, J. P. (1998). Desarrollo corporativo del sector forestal. Agricultura y sociedad, (85), 15-42.
58. Wigtil, G., Hammer, R.B., Kline, J.D., Mockrin, M.H., Stewart, S.I., Roper, D. and Radeloff, V.C. (2016). Places where wildfire potential and social vulnerability coincide in the coterminous United States. International Journal of Wildland Fire, 25(8), pp. 896.
59. Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T. and Davis, I. (2004). At Risk: Natural Hazards, people's vulnerability and disasters. 2nd edition. 471p, Routledge, New York. ISBN: 0415-252164.

## Capítulo 3

The effect of socio-economic variables related to social vulnerability on the wildfires in Galicia (Spain). A panel data analysis.

**Abstract.** This paper studies the effect of the socio-economic variables related to social vulnerability on wildfire characteristics (ignitions, hectares burned, and intensity) in Galicia, Spain. Our final aim is to identify those variables that are relevant to the starting of wildfires that can help improve the prevention of wildfires. Panel data of 15 years (2001–2015) of the municipalities of Galicia was used in this study. The results show that vulnerability-related socio-economic factors affect the number of wildfires and the extent of the destruction they cause. Indeed, the progressive abandonment of rural areas is one of the most important problems that increase the occurrence of wildfires. This abandonment is connected to population factors such as aging or low density of population, economic factors such as the decrease in or low cadastral value, and territorial factors such as the decrease in rustic hectares and ranches. We conclude that prevention focused on areas prone to wildfires could be enhanced taking into account these variables.

**Keywords:** Forest fires, wildfires, socio-economic variables, vulnerability, panel data, Galicia, Spain.

### *Introduction*

Vulnerability is a construct that depends on multiple variables and differs over territory and time. For the purposes of this article, it is defined as the capacity of a person or group to avoid or anticipate, cope with, resist and recover from the impact of a natural hazard (Wisner, 2016). The vulnerability level and the capacity of people to face the risk depend on different social, economic, political, and cultural factors (Alexander, 2013).

A hazardous natural phenomenon (e.g. wildfires) that affects a defined place in a specific time is only considered a natural disaster as far as human population is involved (Alcántara-Ayala, 2002; Birkmann, 2013). In fact, the importance of a disaster is measured by the damage it causes to a population (Del Moral and Pita, 2002). In this respect, scholars have commonly analyzed how, when a natural disaster occurs, the most vulnerable people or communities suffer the greatest impact and its consequences (Birkmann, 2013). However, it has been much less studied whether the greater or lesser vulnerability of a community can influence the characteristics of certain disasters.

To investigate this question, we are going to follow Faas developments (2016). This author defines an overall place vulnerability that arises from the interaction of social and biophysical characteristics. Vulnerability affects the occurrence of a disaster, which, in turn, impacts social vulnerability. Therefore, it is important to differentiate pre-disaster vulnerability from post-disaster vulnerability (Faas, 2016; Wisner, 2016). Post-disaster vulnerability is defined by the characteristics of the population after being affected by a certain disaster. Pre-disaster vulnerability is defined by those variables related to economy, demography, and territory that are consequence of a previous socioeconomic situation.

Moving on to the wildfires issue, it must be taken into account that most wildfires are caused by human activity and meteorological variables together (Vaiciulyte et al., 2019; Ballart et al., 2016, Amatulli et al., 2007). So, socio-economic variables such as the structure and density of the population, income per capita, or GDP, in a territory affected by wildfires, become as important as meteorological variables (Padilla and Vega-García, 2011; de Diego et al., 2020; Faas, 2016). Furthermore, an unfavorable socio-economic situation in such territories (represented by rural abandonment, non-management of the territory, low investment, etc.) could reduce the effectivity of local and regional authorities' prevention efforts, (Guisán and Aguayo, 2009; Guisán, 2017; Loureiro and Barreal, 2015). In sum, a population and its socio-economic characteristics (like poverty, aging rural abandonment, lacking resources, etc) become paramount factors to be considered for risk management (McCaffrey et al., 2013).

Additionally, it should be highlighted that knowing the characteristics that affect the occurrence of wildfires, their extent, and intensity turns out to be very useful in preventing the occurrence of wildfires in the future (Murphy, 2005).

Spain is one of the European countries most affected by forest fires; concretely, the Autonomous Community of Galicia (the north-west Spanish region) recorded most of forest fires occurred in the country in the last few decades (Loureiro and Barreal, 2015, de Diego et al., 2020). The vast majority of scholars have analyzed the influence of meteorological and territorial variables in the region's wildfire production (Prestemon, 2013; Molina et al., 2019); only a few works have paid attention to the relation between wildfires and socio-economic variables (Balsa and Hermosilla, 2013; Loureiro and Barreal, 2015; Barreal et al., 2012); research on socio-economic variables connected to the pre-disaster social vulnerability is practically nonexistent (Prestemon et al., 2013).

Thus, the objective of this paper is to study the effect of the socio-economic variables related to social vulnerability on the characteristics of wildfires (ignitions, hectares burned, and intensity) over time in Galicia, Spain. For this purpose, we have used the panel data methodology. Our last aim is to

identify those relevant variables in the production of wildfires that will help improve wildfires' prevention actions.

#### Social factors and wildfire management

Although the characteristics of fires (ignition, extension, and intensity) change over time and vary in response to the interaction and dependencies between fire, people, and biophysical features, the most influential driver of change in fire frequency comes from the population, rather than from the existing climate and flora (Archibald, 2016; Vaiciulyte et al., 2019). However, research on social factors and wildfire risk, is much less well known than investigation focused on the effect of climate variability on forest fires (Mancini et al., 2018). This is due to the higher complexity of the human factors in comparison to the biophysical drivers (Ager et al, 2015; Archibald, 2016).

In any case, as a natural event like a forest fire becomes a natural disaster only if the human population is affected, the knowledge of the territory, the people living within the areas exposed to forest fires, and their social and economic factors related to social vulnerability is essential in determining the magnitude of the event (Del Moral and Pita, 2002; Alcantara-Ayala, 2002).

As mentioned before, the determination of vulnerability is complex and depends on the territory and the time frame (Faas, 2016). Indeed, vulnerability is a construct that can be split into the following dimensions (de Diego et al., 2019; Birkmann, 2013):

- Social and population dimension: It includes aspects such as social differences and social organization. Variables related to this dimension are poverty, social marginalization, demographics or education.
- Economic dimension: This dimension includes variables such as per capita income, GDP, poverty, and property.
- Environmental and territorial dimension: This dimension includes meteorological variables such as temperature, humidity, and wind velocity, and where territory is involved, variables like ranches, rustic hectares, and infrastructures.

Groups with a higher socio-economic vulnerability tend to be located in more dangerous areas and are more exposed to hazardous events and greater damage (Wilches, 1993; Cirella et al., 2016). In effect, these less favored groups are overrepresented in the rural areas and peri-urban deprived areas that surround the main towns and cities. Rural areas are usually affected by deprivation, principally due to decreasing employment in the primary sector and the subsequent reduction in farm density and livestock (Viedma et al., 2018). For its part, urban development in forestry areas

aggravates the risk of wildfire as the wildland-urban interface areas (WUI) increase the wildfire risk and threat to the surrounding population (Kolden and Helson, 2019).

In disaster management, it is important to minimize the risk of a disaster event; in fact, local governments' ability to improve prevention is as important as their focusing on the extinguishing measures (PEPCEIF). For this reason, it is necessary to identify the factors that could play an important role on prevention (Kulig and Westlund, 2015; McCaffrey, 2004; McCaffrey et al., 2013; Padli et al., 2018). However, there is a lack of integration between social and biophysical systems in community wildfires-protection planning and very few studies describe how prevention could be improved considering the analysis of social and biophysical factors together (Ager et al., 2015; Molina et al., 2019; Vaiciulyte et al., 2019; Witgil et al., 2016).

Additionally, wildfire studies are dissimilar in the timelines, so there is a great difference in the analytical approach used to investigate pre- and post-fire situations. Both situations are closely connected, and the study of socio-economic characteristics related to social vulnerability and climatological variables is equally important (Bergstrand et al., 2015). The pre-fire situation, which is determined by socio-economic variables, specifically the ones related to social vulnerability, affects the wildfires' ignitions and behavior (hectares burned and intensity). The post-fire situation shows the impact of wildfires on the socio-economic variables in a particular area (Prestemon et al., 2013). In other words, when analyzing pre-fire situations, socio-economic variables are the independent variables, while when analyzing post-fire situations, the characteristics of the fire become the explanatory variables.

The present article is specifically focused on the pre-fire situation. It mainly aims to identify relevant socio-economic variables related to social vulnerability in Galicia that affect the wildfires' characteristics, with the purpose of helping improve the prevention of wildfires in a medium-long term.

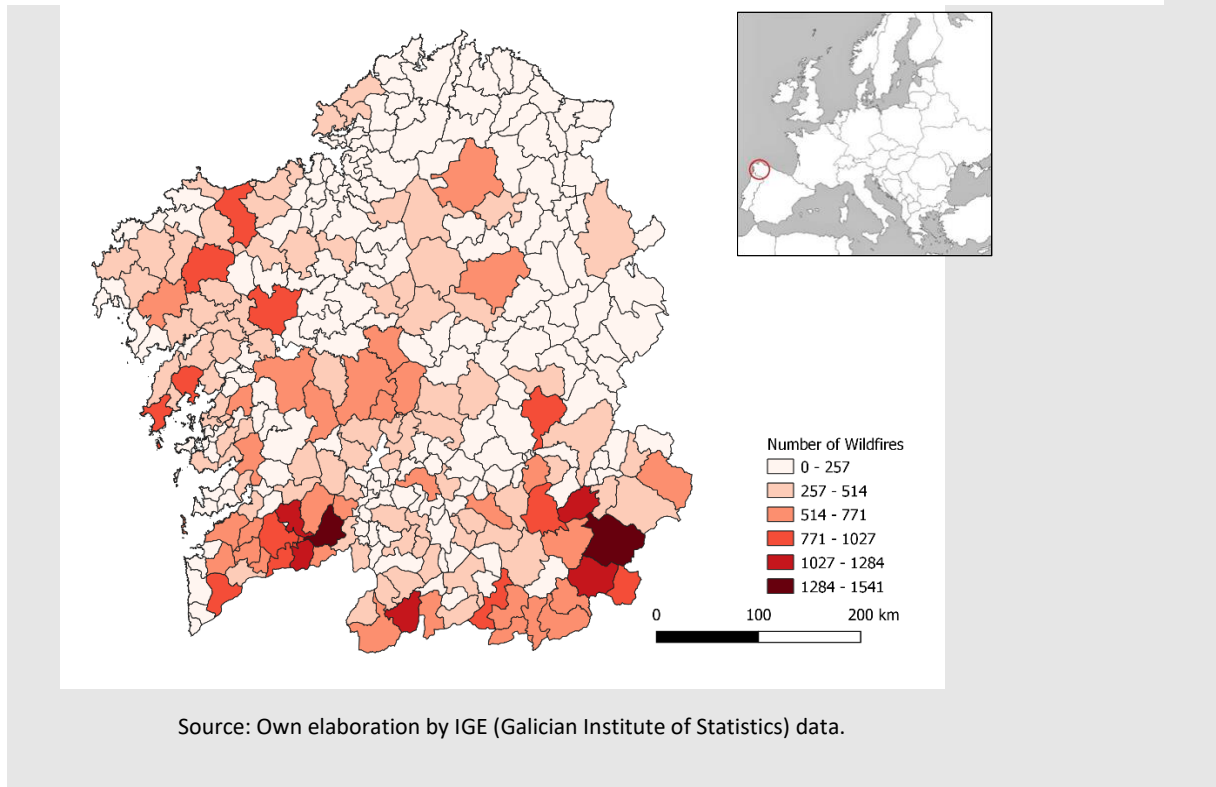
#### [Wildfire and social variables in a specific area: The northwestern Spanish region of Galicia](#)

Spain is one of the European countries most affected by forest fires. Every year, large areas of forest are burned. Although wildfires in this country are considered natural disasters because they involve forests (Pausas et al., 2009), most of the ignitions (around 96%) are of anthropogenic origin (Hernández, 2016).

So far in the 21<sup>st</sup> century, the Autonomous Community of Galicia (north-west of the country) is the Spanish region with the highest number of forest fires (Loureiro and Barreal, 2015; de Diego et al., 2020). According to different studies (Balsa and Hermosilla, 2013; Loureiro and Barreal, 2015;

San-Miguel et al., 2018), wildfires are directly related to social and economic factors mixed with environmental factors. **Figure 1** shows the number of wildfires in Galician municipalities in the first 15 years of the 21<sup>st</sup> century.

**Figure 5:** Number of wildfires in Galician municipalities between 2001 and 2015.



Galicia has 2,060,453 hectares of forest that cover 69% of the area of the region. The forest produces, in certain years, about 50% of Spain's timber and about 4.5% that of the European Union. Forest territories are divided chiefly among small owners, agricultural use, and a mixture of farmed and forested lands. Additionally, over the past 40 years, there has been an abandonment of rural activities due to the decrease in the rural population and the resultant thinning of population density (Bruña and Marey, 2018).

Over 96.6% of forestlands in Galicia are privately owned. According to Rodriguez and Marey (2010), approximately 700,000 individual proprietors manage 63.7% of these forestlands. Of these forest-land owners, 29.8% are farmers and 19.5% are woodland producers. This is a fire-prone region, and abundant literature points at the anthropogenic origin of the majority of fires (Hernández, 2016; Loureiro and Barreal, 2015; Ballart et al., 2016; de Diego et al., 2020).

Galicia stands out as one of the most deprived regions in Spain (Guisan, 2017), marked by an aging population, abandonment of rural activities, lack of job opportunities in its rural areas,



migration of young people to urban areas, significant reduction of the forestry sector, and increase in the social vulnerability of the population that remains in the region (Barreal et al., 2011). All these macro-level characteristics can be translated to the micro-level, as they match the description of the typical fire-starter in Galicia: a low-income, low-educated, ailing elderly man, frequently a farmer, landowner in the wildfire location. Furthermore, this character usually lacks environmental consciousness and does not feel the wildfires as a risk as the forest has no value for him. (Ponte and Bandín, 2008).

As pointed out before, defining the social and ecological reasons for wildfires is of paramount importance in developing a realistic and comprehensive framework for estimating the risk of a forest fire, its reduction, and prevention (Tedim et al., 2018; Mancini et al., 2018; Kulig and Westlund, 2015; Alonso, 2002; Kelman et al., 2016). Thus, the objective of this research is to study the effect of the socio-economic variables related to social vulnerability over the characteristics of wildfires in Galicia. Specifically, we considered the pre-fire socio-economic characteristics to establish their effect on the ignition, extension (hectares burned), and intensity of wildfires. To study the causation, we used a panel data methodology. The identification of these variables and the knowledge of their effect on wildfire characteristics could be used to ultimately improve wildfire prevention and management (Kulig and Westlund, 2015).

### *Materials and Methods*

As mentioned earlier, of the 17 Spanish regions, Galicia is the one worst affected by wildfires (de Diego et al., 2019; Barreal et al., 2011; Loureiro and Barreal, 2015), and therefore, it is necessary to delve into the effect of socio-economic variables related to social vulnerability on the wildfires characteristics in Galicia. These effects need to be studied together with the meteorological variables as a possible driver for the risk of origin of wildfires (Murphy, 2015).

Although in wildfire research, the number of fire ignitions is commonly used as an essential variable, recent studies (Urbieto et al., 2015; Boubeta et al., 2019; Costafreda-Aumedes et al., 2018) are progressively highlighting the importance of the ignitions to know the other characteristics of fires such as their extension and intensity (ratio of hectares burned/number of wildfires). Besides, some authors (Michetti and Pinar, 2013; Costafreda-Aumedes et al., 2018) have used statistical and econometric models (panel data and predictive models) to demonstrate the fire frequency and extension originated by socio-economic variables related to social vulnerability.

Panel data models are used when there are repeated observations of a sample of individual units over time. It can be said that for a variable “Yit,” there are ... N individuals observed along  $t = 1 \dots T$  periods (Arellano, 1992). This technique is not often used in wildfire research. However, some

authors have already demonstrated it as a useful tool for risk analysis (Michetti and Pinar, 2018; Padli et al., 2018; Prestemon and Butry, 2005).

Panel data were used with the intent to explain the effect of the socio-economic variables related to social vulnerability on the characteristics of wildfires for 15 years in Galician municipalities (314 in total). To capture the dynamics of forest fires, a balanced panel dataset for the 314 municipalities was produced for the 2001–2015 period. The municipalities were chosen as the observational unit since they are the smallest entity of information on forest fires. Also, municipalities are the smallest territorial division for which accurate and consistent socio-economic information related to social vulnerability is available. We also selected updated data covering the period 2001–2015. These data are compiled every five years by the Ministry of Agriculture, Fisheries, and Food<sup>1</sup> and are the most accurate and comprehensive statistical information on wildfires. A decision was taken to extend the research timeframe beyond those used in the previous studies. Different but shorter time spectrums were used in these studies: 2001–2006 used by Barreal et al. (2011), 2001–2009 used by Barreal et al. (2012), 2006 used by Balsa and Hermosilla (2013), and 2001–2010 used by Loureiro and Barreal (2015).

The dataset includes three dependent variables -Number of wildfires (N<sup>o</sup> WF), Hectares burned (HaBur), Intensity (ratio of hectares burned/number of wildfires) - and 16 explanatory variables (**Table 1**). These panel data allow visualizing statistics for every municipality of each year and the information allows us to observe changes over time (Hsiao, 2003; Moreno-Brieva et al., 2019).

**Table 7.** Variables Selected for the Models. Source: Own Elaboration

<b>Dimension</b>	<b>Explanatory Variables</b>	
<b>Population</b>	<b>Population &gt; 64</b>	Population > 64 years
	<b>Density</b>	N <sup>o</sup> of people divided by Has
	<b>I.active (active population)</b>	Population between 40 and 64 divided by population between 15 and 39
	<b>I.replacement (replacement index)</b>	Population between 60 and 64 divided by population between 15 and 19.
	<b>P. Foreign (percentage of foreign)</b>	Foreign population divided by total population
<b>Territorial</b>	<b>ParcelVal (parcel Value)</b>	Plots in thousands of euros divided by people registered in the Real Estate Cadastre

<sup>1</sup> [https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/Incendios\\_default.aspx](https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/Incendios_default.aspx)

	<b>DisCenter (buildings and dwellings)</b>	Buildings and dwellings of a singular entity divided by set of towns with less ten buildings, which are forming streets, squares, or other urban roads.
	<b>RusticHa (rustic hectares)</b>	Rustic Has per municipality
	<b>Ranch</b>	Livestock farms per municipality
<b>Economic</b>	<b>Livestock</b>	Cattle heads per municipality
	<b>IncCap</b>	Gross Income per habitant
	<b>DebtHab (debt per habitant)</b>	The debt of the town councils divided by habitants of each municipality
	<b>GDP</b>	Gross Domestic Product
<b>Meteorological</b>	<b>T°Sum</b>	Average summer temperature
	<b>HuSum</b>	Average summer Humidity
	<b>WiSum</b>	Average summer Wind velocity

The variables were selected following different criteria and due to the data available.

For the period 2001–2015, the dependent variables were the number of forest fires, the hectares burned, and the intensity (ratio of hectares burned/number of wildfires) per municipality. These dependent variables are the most commonly analyzed ones in wildfire research (Prestemon et al., 2013). It must be pointed out that the factors that mostly influence intensity have to do with a particular type of vegetation and soil characteristics (Martínez-Fernández et al., 2013, Boubeta et al., 2019). As this article is focused on socio-economic factors and not a particular fire behavior, these variables have not been included in the model.

The socio-economic explanatory variables related to social vulnerability were extracted from the literature analyzed about wildfires in Galicia (Barreal et al., 2011; Loureiro and Barreal, 2015; Balsa and Hermosilla, 2013); they were also selected depending on their availability in statistical sources for the observational unit selected (municipalities). Variables such as the population over 64 years of age, density, active population, replacement index, and percentage of foreigners representing the population dimension of social vulnerability. Economic variables related to social vulnerability were also used, such as livestock, income per capita, debt per habitant, and GDP (Modica and Zoboli, 2016; Faas, 2016). The territorial dimension of vulnerability is also important in wildfires (Bergstrand et al., 2015). Therefore, variables such as parcel value, buildings and dwellings, rustic hectares, and ranches were selected. Finally, meteorological variables were added to the dataset, as these are common important drivers for wildfire characteristics (San-Miguel et al., 2018).

The first step was to gather the data available using different information sources and databases—I GE (Galician Institute of Statistics) and INE (National Institute of Statistics)—and variables of different types and formats. To ensure uniformity, completeness, and accuracy of the available data, a process of screening and quality assurance was conducted. Every variable added to the database was carefully selected and subjected to a standardization process of units and meanings, codified, and re-codified, if considered necessary. First, we divide certain variables by the total population or the total Ha of the municipality (Table 1); Second, we take logarithms to normalize the needed variables, described in the models ahead (results).

It is also important to mention that the principal limitation of this research is related to the available data. We tried to obtain information about wildfire prevention funds in the Galician municipalities. The authors repeatedly (and unsuccessfully) attempted to contact regional and municipal authorities. It could also be useful to obtain information about the sources of wildfires because the official reports do not include accurate evidence on these issues, or simply do not provide this information at all.

Panel data are useful when there is evidence that the dependent variable is influenced by non-observable independent variables that are correlated with the observed independent variables. If these non-observable independent variables are constant over time, the real effect on the selected fire variables can be determined (Schmidheiny, 2013). The panel data model is represented as follows (Hsiao, 2003; Arellano, 2003; Moreno-Brieva et al., 2019):

$$y_{it} = \alpha + x_{it}\beta + u_{it} \quad i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T$$

$i$  subscripts the independent variables (cross-section dimension) and  $t$  denotes time-series dimension (years).

$y$  represents the dependent variables: the number of wildfires, hectares burned, and intensity (hectares burned/number of wildfires). Therefore, the three models are run.

$x$  is the  $it^{\text{th}}$  observation on  $K$  explanatory variables.

$u$  denotes the unobservable individual-specific effect.

$\alpha$  is a scalar and  $\beta$  is the variable coefficient.

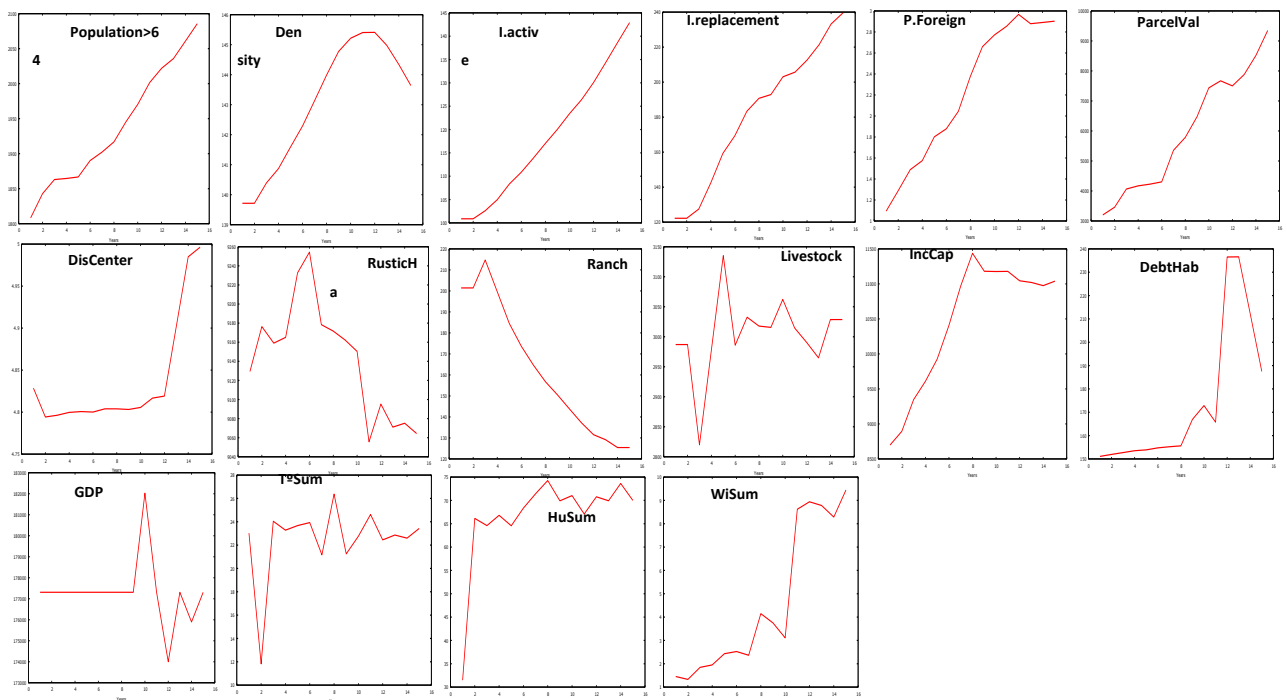
The software STATA.16 was used to run three-panel data models, establishing the data as cross-sections of individuals observed over time. Panel data models turn out to be very useful when applied to long-time periods and enable examination of changes over time (Hsiao, 2003). The

models were run for three different dependent variables, namely, “number of wildfires” (Nº WF), “hectares burned” (HaBur), and “intensity.”

### Results

The 16 selected independent variables were the ones most commonly used in scientific articles related to wildfires in Galicia, provided they were available in the municipality information (Barreal et al., 2011; Loureiro and Barreal, 2015; Balsa and Hermosilla, 2013). Figure 2 shows, for mere illustrative purposes, the evolution of these independent variables over time. This figure represents the aggregated average annual values of all municipalities for each variable. Time-series analysis for every variable was performed to detect any remarkable result.

**Figure6:** Time evolution of the variables selected. 2001-2015.



Source: Own elaboration by IGE (Galician Institute of Statistics) data.

The insights to be gleaned from the above figure are that some variables are mutually indirectly related, such as ranches and livestock. During the 15 years under consideration, while ranches significantly decreased in number, average livestock increased (though not significantly), indicating a more extensive livestock farming (Varela et al., 2007). In the case of the population in the 64-and-older group, the 15-year increase pattern is similar to the Spanish trends during the past decades, but according to the time series analysis, it is not significant (Martínez-Fernández et al., 2013). The

growing value of density is consistent with the increasing urban population, while rural areas show diminishing density. However, this value is not significant in time (Viedma et al., 2018). There are other variables, such as the percentage of foreigners, buildings, and dwellings or the meteorological variables (summer temperature, summer humidity, and summer wind velocity), whose evolution over time is not remarkable but emerges as significant in the time series analysis. Therefore, these small changes turn out to be useful in panel data analysis where the models compare every municipality every year, so the former variation is usually bigger (Arellano, 2003; Baltagi, 2008).

The results of the multivariate models are shown in **Table 2**. These different models show the effect of the 16 selected variables on the characteristics of wildfire (number of wildfires, hectares burned, and intensity). In the case of the “number of wildfires,” we chose a fixed-effect model, but for the two other variables, random-effects models were selected. The use of fixed effects derives from the contrast of Hausmann (Hsiao, 2003), which demonstrated that fixed effects, in this case, are better than random effects<sup>2</sup>. Besides, robust standard deviations were used to solve the heteroscedasticity problems. Logarithms were taken when necessary.

**Table 8.** Models. Fixed Effects (N° WF) and Random Effects (Ha Bur and Intensity). Source: Own Elaboration

<b>Variables description</b>	<b>Variables</b>	<b>N° WF</b>	<b>HaBur</b>	<b>Intensity</b>
	<b>const</b>	324.70	463.38	24.43
-Population > 64 years	<b>LnPopulation &gt; 64</b>	9.184	<b>34.38*</b>	-0.06
-N° of people / Has	<b>LnDensity</b>	-13.95	<b>-70.15***</b>	<b>-2.34***</b>
-Population between 40 and 64 / population between 15 and 39	<b>LnL.active</b>	<b>-43.07***</b>	<b>-137.35***</b>	<b>-7.52**</b>
-Population between 60 and 64 / population between 15 and 19.	<b>I.replacement</b>	-0.013	-0.12**	0.00
-Foreign population/total	<b>LnP.Foreign</b>	-1.12	-2.60	<b>-1.14**</b>
-Plots in thousands of euros / people registered in the Real Estate Cadastre	<b>LnParcelVal</b>	-1.90	<b>-25.47***</b>	-0.01
-Buildings and dwellings of a singular entity / set of towns with less ten buildings, which are forming streets, squares, or other urban roads.	<b>LnDisCenter</b>	-0.99	<b>-17.40***</b>	<b>-0.38**</b>
-Rustic Has per municipality	<b>LnRusticHa</b>	<b>-5.28***</b>	<b>15.03*</b>	<b>1.06**</b>

<sup>2</sup> Fixed effect panel data models identify the effects of explanatory variables based on within-municipality variation and random panel data models assume that the overall effect of omitted variables is randomly distributed over time and municipalities and therefore, uncorrelated with other explanatory variables (Hargraves and Kis-katos, 2013).

-Livestock farms per municipality	<b>LnRanch</b>	<b>8.84***</b>	4.30	-0.15
-Cattle heads per municipality	<b>LnLivestock</b>	<b>-2.80**</b>	<b>-10.86*</b>	<b>-1.12**</b>
-Gross Income per habitant	<b>IncCap</b>	-3.25	-2.87	0.10
-The debt of the town councils / habitants of each municipality	<b>LnDebtHab</b>	0.08	-1.84	-0.06
-Gross Domestic Product	<b>LnGDP</b>	-3.86	8.08	0.62
-Average summer temperature	<b>T°Sum</b>	<b>-0.22***</b>	<b>4.92***</b>	<b>0.21***</b>
-Average summer Humidity	<b>HuSum</b>	<b>-0.14***</b>	<b>0.93***</b>	<b>0.07***</b>
-Average summer Wind velocity	<b>WiSum</b>	<b>0.36**</b>	-1.26	0.29

(\*\*\*: significant at 1%, \*\*: significant at 5%, \*: significant at 10%.)

As pointed out above, the objective of this paper is to study the effect of socio-economic variables, specifically, the ones related to social vulnerability, on wildfire characteristics (number of wildfires, hectares burned, and intensity) in Galicia. The results demonstrate this effect and also illustrate the importance of meteorological variables, considering that wildfires are caused by human activity as well as by natural phenomena (Vaiculyte et al., 2019).

The wildfires in Galicia are mostly caused by human activity. Therefore, the effect of the selected variables that relate to social vulnerability (the variables that describe population characteristics in the pre-fire situation) is paramount in understanding the fire dynamics in this region. Those relevant variables are useful to possibly improve wildfire preventive actions (Kulig and Westlund, 2015). The coefficients' ( $\beta$ ) sign shows direct or inverse relations with the dependent variables. Significant relations are highlighted with asterisks. However, there are differences among the models:

In the case of the "number of wildfires" (N° WF), all meteorological variables are significant, but the one that stands out is the inverse relationship between the temperature ("T°Sum") and wildfires. In other words, if the temperature is lower, there are more wildfires. This reinforces the idea of the anthropogenic origin of wildfires because forests are naturally prone to wildfires when the temperature rises (Fernández-Couto, 2006; Padilla M. and Vega-García C., 2011). Furthermore, the variables related to rural areas like ranches and livestock are significant. Their effect is due to the management and control of the bush and pasture. The direct effect of ranches has proven to be because, if the stakeholders do not manage them, these areas tend to have bush and pasture (Rodríguez and Marey, 2010). This kind of vegetation is, specifically, more prone to wildfires. Nevertheless, the effect of livestock is in inverse proportion because grazing on vegetation helps control it (Varela et al., 2007). Rustic hectares also cause the same issue.

Finally, the relationship between the size of the active population and the number of wildfires is inverse. In other words, when the younger population, which is the active population, diminishes (due to the lowering employment in the primary sector), the number of wildfires increases.

Probably, this is due to two important factors: first, the disconnection of the young population from their natural surroundings so that their collaboration in mitigation and prevention efforts decreases, and second, the prevailing (land-burning) cultural behavior of the increasing proportion of the aging population. (Balsa-Barreiro and Hermosilla, 2013; de Diego et al, 2020).

When the dependent variable is “hectares burned” (HaBur), the significant determinants are those related to the management of the territory (parcel value, buildings and dwellings, and rustic hectares) and the population of these areas (population aged 64 years or more, density, and the active population). The relation between these variables is connected to the abandonment of the rural areas, which is reflected in the direct relationship with the population over 64 and the rustic hectares and the inverse relation with the rest of the variables (Wigtil et al., 2016, Varela et al., 2007; Rigueiro et al., 2002). In other words, lands would be more prone to big wildfires due to the lack of management of forest areas (Vega-García and Chuvieco, 2006). This rural depopulation is a consequence of the lack of job opportunities in these regions (Guisán and Aguayo, 2009). The main reason for this is the industrial-scale market, which damages small-scale traditional agricultural businesses run by poor rural landowners (Bowman et al., 2019).

In the case of fire “intensity,” the results are similar to the hectares burned, although the foreign population is noteworthy. This may be because foreigners (mostly migrant people) have a lower economic capacity and therefore live in such deprived places as rural areas. Also, these areas are populated largely by aged people and the proportion of the active population is low and the overall density of population is low. As a result, the lands are not properly managed or are abandoned (PLADIGA, 2020). This leads to a situation of fuel increase, which results in a greater probability of high-intensity wildfires (Hernández, 2016).

In sum, some socio-economic variables related to social vulnerability stand out among the three models that were run. Most of them are connected to the abandonment of the territory, which results in a lack of management of the lands. There are also some variables linked to the population, which point to the problem associated with the increasing proportion of the aged and the decreasing population of the young in rural areas due to factors as a scarcity of job opportunities. Insofar as these variables related to social vulnerability form a complex situation in Galicia, the identification of those that are relevant to the occurrence of wildfire production will possibly help improve the wildfire prevention measures.

### *Discussion*

This research has revealed the effect of the socio-economic variables related to social vulnerability on the characteristics of wildfires in Galicia, such as the number of wildfires, hectares



burned, and fire intensity. As mentioned before, research on wildfires has not delved into socio-economic variables related to social vulnerability (Prestemon et al., 2013). Therefore, knowledge of these key variables that affect the characteristics of wildfires could be used to improve wildfire prevention management (Kulig and Westlund, 2015; Tedim et al., 2018).

Together with other research (Wigtill et al., 2016; Varela et al., 2007; Rigueiro et al., 2002), this paper demonstrates that the progressive abandonment of the rural areas is one of the most important factors that boost wildfires. This abandonment is related to population factors—aging or low density— territorial factors—a decrease in rustic hectares and ranches—and economic factors—low GDP due to low cadastral value. In turn, all these factors, which are strongly related, contribute to people’s social vulnerability (Faas, 2016).

Population variables, such as aging, low population density, and the decreasing young people, have become a problem in some areas of Galicia. Aging becomes particularly relevant: as some harmful traditional behaviors of the senior population (for example, scrub-burning) turn out to be closely related to the origin of wildfires (Balsa and Hermosilla, 2013; de Diego et al., 2020). The involvement of the aged people in raising awareness campaigns and prevention plans could be effective because, as they represent the majority of Galician landowners, they could participate both actively and directly in the preventive measures.

Variables related to territory increase the challenges of fire management in areas with a scattered population. This is the case of Galicia where rural properties are mostly smallholdings, thus complicating fire control and control of wildfire ignitions (Barreal et al., 2012). Furthermore, the values of parcels are generally low, so the owners do not take much care of their land for minimizing the risk of wildfires. As indicated before, land management, particularly to control the accumulation of fuel, is critical to limit the impact of wildfires (Micheti and Pinar, 2013). Besides, municipalities with higher GDP tend to have more individual houses; this means larger WUI extensions (Galiana, 2012). In this regard, fuel control and land management contribute to improve the management of these WUI areas and make them less prone to wildfires (Kolden and Henson, 2019; Coughlan et al., 2019). Additionally, it is crucial to maintain a balance between the number of ranches and livestock. Controlling bush and grasslands could be positive to wildfire characteristics (Varela et al., 2007), but it also could be negative because owners tend to burn forest areas to expand pasture areas (Viedma et al., 2018).

Concerning the economic variables, the most relevant challenge in rural areas (in terms of reducing the impact of wildfires) is the necessity to improve life quality, the level of education, and income per capita (PLADIGA, 2020). These recommendations could sound naive or simple; however,

the Galician reality leads to the adoption of these measures in a medium-long term. As explained in previous sections of this paper, the typical fire-starter in the region is a low-income, low-educated, ailing elderly man, frequently a farmer, landowner in the wildfire location. This character usually lacks environmental consciousness and does not feel the wildfires as a risk, as the forest has no value for him. (Ponte and Bandín, 2008). So, this socioeconomic challenge could be met by improving land management through the reduction of rural abandonment (Padli et al., 2018). Education becomes important as it opens more job opportunities in these rural areas. It is also relevant to add to the value of the forest. This could be achieved through measures such as agroforestry-mosaic systems and investments in forest improvement. As already pinpointed in the literature (Rigueiro et al., 2002), if people can derive something valuable from the forest, they might be more inclined to protect it. Consequently, enhancing the quality of rural life in the affected areas would predictably and positively improve job opportunities and land management, cut rural abandonment, thus reducing the incidence of forest fires.

Therefore, the best way to preserve the economic, social, and environmental characteristics of an area is to work on disaster prevention (Birkmann, 2013). Considering these socio-economic variables together might be useful to improve wildfire prevention and management and policymakers' decision-making. Indeed, preventive actions go beyond just emergency improvement. They are also related to the implementation of policies to improve social wellbeing in some areas. As pointed out above, to enhance prevention it is important to focus, as a medium and long-term solution, on education, the spread of risk awareness, and participation of the population in the implementation of the policies (Padli et al., 2018; Balsa-Barreiro and Hermosilla, 2013).

### *Conclusion*

The results of this study demonstrate the adverse effect of the aging population and the lack of young residents on the occurrence of wildfires. So, it may be concluded that, concerning socio-economic variables, it is necessary to involve security forces and social fabric (Witgil et al., 2016) in promoting interactions among various sections of the population and age cohorts. Variables related to the territory are also important. Some of these variables are complex and comprise a duality that is at times difficult to measure. For example, livestock controls the fuel available in most of the territories, but sometimes, the ranch owners burn forest areas intentionally to expand the pasture.

It is necessary to increase public spending on the prevention of wildfires and to develop anticipation strategies. This should be the priority in contrast with the more common practice of prioritizing emergency actions (PLADIGA, 2020). Climatic, environmental, and natural variables are not the only important issues. To reduce disasters risk, the focus should be put on those aspects

from which such disasters arise. Prevention might be focused on wildfire-prone areas and take into account their vulnerability-related, socio-economic variables, which, as has been demonstrated in this paper, influence wildfire characteristics.

#### *Acknowledgments*

We acknowledge the support and the funding of “Fundación Aon España” and all the members of the “Catastrophe Observatory.” Funding: This study was funded by AON Foundation Spain.

#### *Declaration of Interest*

The authors declare that they have no conflict of interest. The article has not been published elsewhere, nor has it been submitted simultaneously for publication elsewhere.

#### *References*

Ager, A. A., Kline, J. D., and Fischer, A. P. 2015. Coupling the biophysical and social dimensions of wildfire risk to improve wildfire mitigation planning. *Risk Analysis*, 35(8), 1393-1406.

Alcántara-Ayala, I. 2002. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 47(2-4), 107-124.

Alexander, D. J. 2013. Vulnerability. In *Encyclopedia of Crisis Management*. K. Bradley Penuel, Matt Statler, and Ryan Hagen, eds. Pp. 980–983. Los Angeles: Sage.

Amatulli, G., Pérez-Cabello, F., and de la Riva, J. 2007. Mapping lightning/human-caused wildfires occurrence under ignition point location uncertainty. *Ecological modelling*, 200(3-4), 321-333.

Archibald, S. 2016. Managing the human component of fire regimes: lessons from Africa. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1696), 20150346.

Arellano, M. 1992. Introducción al análisis econométrico con datos de panel [Introduction to Econometric Analysis with Panel Data]. *Banco de España*. Servicio de Estudios.

Arellano, M. 2003 *Panel Data Econometrics*. Oxford University Press, New York.  
<https://doi.org/10.1093/0199245282.001.0001>.

Ballart, H., Vázquez, I., Chauvin, S., Gladine, J., Plana, E., Font, M. and Serra, M. 2016. La comunicación del riesgo de incendios forestales. Recomendaciones operativas para mejorar la prevención social [Communication of the risk of forest fires. Operational recommendations to improve social prevention]. *Proyecto eFIRECOM* (DG ECHO 2014/PREV/13). Ediciones CTFC. 30pp

Balsa Barreiro, J. and Hermosilla, T. 2013. Socio-geographic analysis of the causes of the 2006’s wildfires in Galicia (Spain). *Forest Systems*, 22(3), pp. 497-509.

- Baltagi, B. 2008. *Econometric analysis of panel data*. New York: Wiley.
- Barreal, J., Loureiro, M. and Picos, J. 2011. Estudio de la incidencia de los incendios en Galicia: una perspectiva socioeconómica [Study of the incidence of fires in Galicia: a socioeconomic perspective]. *Revista Galega de Economía*, 20.
- Barreal, J., Loureiro, M. and Picos, J. 2012. Estudio de la causalidad de los incendios forestales en Galicia [Study of the causality of forest fires in Galicia]. *Economía agraria y recursos naturales*, pp. 101-116.
- Bergstrand, K., Mayer, B., Brumback, B. and Zhang, Y. 2015. Assessing the Relationship between Social Vulnerability and Community Resilience to Hazards. *Social Indicators Research*, 122(2), pp. 391-409.
- Birkmann, J. 2013. *Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies (second edition)*. United Nation University Press. Tokio & New York.
- Boubeta, M., Lombardía, M. J., Marey-Pérez, M., and Morales, D. 2019. Poisson mixed models for predicting number of fires. *International Journal of Wildland Fire*, 28(3), 237-253.
- Bruña-García, X., and Marey-Pérez, M. 2018. The challenge of diffusion in forest plans: A methodological proposal and case study. *Forests*, 9(5), 240.
- Cirella, G.T.; Iyalomhe, F.O.; Russo, A. 2016. Vulnerability and risks related to climatic events in urban coastal environments: Overview of actuality and challenges of methodologies and approaches. *J. Urban Plan. Landsc. Environ. Des.* 1, 67.
- Costafreda-Aumedes, S., Comas, C. and Vega-Garcia, C. 2018. Human-caused fire occurrence modelling in perspective: a review. *Int. J. Wildland Fire* 26 (12), 983–998.
- Coughlan, M., Ellison, A., and Cavanaugh, A. 2019. Social Vulnerability and Wildfire in the Wildland-Urban Interface Literature synthesis. Ecosystem work force program working paper, number 96. *Northwest Fire Science Consortium*. Oregon State University.
- de Diego Abad, J., Fernández García, M., and Rúa Vieites, A. 2020. Influencia de la realidad socioeconómica de Galicia en la dinámica de producción de incendios forestales [Socioeconomic reality of Galicia and dynamics of forest fire production]. *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*, (84). <https://doi.org/10.21138/bage.2839>
- de Diego, J.; Rúa, A. and Fernández, M. 2019. Designing a Model to Display the Relation between Social Vulnerability and Anthropogenic Risk of Wildfires in Galicia, Spain. *Urban Sci.* 3, 32.

Del Moral Ituarte, L. and Pita López, M.F. 2002. El papel de los riesgos en las sociedades contemporáneas [The role of risks in contemporary societies]. *Riesgos Naturales*; Ayala-Carcedo, F.J., Olcina Cantos, J., Eds.; ARIEL: Barcelona, Spain; pp. 75–86.

Faas, A. J. 2016. Disaster vulnerability in anthropological perspective. *Annals of Anthropological Practice*, 40(1), 14-27.

Fernández-Couto, T. 2006. Los incendios forestales en Galicia. Real Sociedad Económica de Amigos del País Valencia (RSEAPV), Valencia, Spain.

Galiana Martín, L. 2012. Las interfaces urbano-forestales: un nuevo territorio de riesgo en España [Urban-forest interfaces: a new risk territory in Spain]. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. (58):205-26.

Guisán, M.C. 2017. La economía de Galicia y España en 2007-2017: diez años de crisis y recuperación [The economy of Galicia and Spain in 2007-2017: ten years of crisis and recovery]. *Revista Galega de Economía*, vol. 26, núm. 1, pp. 103-114 Universidade de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela, España.

Guisán, M.C. y Aguayo, E. 2009. Empleo y producción en Galicia en el período 2001-2008. Efectos de la industria y el turismo sobre los sectores de Servicios [Employment and production in Galicia in the period 2001-2008. Effects of industry and tourism on the Service sectors]. *Revista Galega de Economía*, Vol. 18-2, disponible online.

Hargrave, J., and Kis-Katos, K. 2013. Economic causes of deforestation in the Brazilian Amazon: a panel data analysis for the 2000s. *Environmental and Resource Economics*, 54(4), 471-494.

Hernández, L. 2016. Dónde arden nuestros bosques. Análisis y Soluciones de WWF [Where our forests burn. WWF Analysis and Solutions]. 1, 64. Available online: <http://awsassets.wwf.es/downloads/dondeardennuestrosbosques2016.pdf>.

Hsiao, C. 2003. Analysis of Panel Data .*Cambridge University Press*, Cambridge.

Kelman, I., Gaillard, J. C., Lewis, J. and Mercer, J. 2016. Learning from the history of disaster vulnerability and resilience research and practice for climate change. *Natural Hazards*, 82, 129–143. <http://doi.org/10.1007/s11069-016-2294-0>.

Kolden, C. A., and Henson, C. 2019. A socio-ecological approach to mitigating wildfire vulnerability in the wildland urban interface: a case study from the 2017 Thomas fire. *Fire*, 2(1), 9.

Kulig, J. C. and Westlund, R. 2015. Linking Research Findings and Decision Makers: Insights and Recommendations from a Wildfire Study. *Society & Natural Resources*, 28:8, 908-917, DOI: 10.1080/08941920.2015.1037876.

Loureiro, M. and Barreal, J. 2015. Modelling spatial patterns and temporal trends of wildfires in Galicia (NW Spain). *For. Syst.* 24, e022.

Mancini, L. D., Corona, P., and Salvati, L. 2018. Ranking the importance of Wildfires' human drivers through a multi-model regression approach. *Environmental Impact Assessment Review*, 72, 177-186.

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(2):311-327.  
<https://search.proquest.com/docview/1315216267>. doi: 10.5194/nhess-13-311-2013.

McCaffrey, S. 2004. Thinking of Wildfire as a Natural Hazard. *Society and Natural Resources*. 17: 509-516

McCaffrey, S., Toman, E., Stidham, M., and Shindler, B. 2013. Social science research related to wildfire management: an overview of recent findings and future research needs. *International Journal of Wildland Fire*, 22(1), 15-24.

Michetti M, and Pinar, M. 2018. Forest Fires Across Italian Regions and Implications for Climate Change: A Panel Data Analysis. *Environmental and Resource Economics*.  
<https://doi.org/10.1007/s10640-018-0279-z>.

Michetti, M., Pinar, M. 2013. Forest fires in Italy: an econometric analysis of major driving factors. *CMCC research papers*, RP0152: pp. 1-39.

Modica, M., and Zoboli, R. 2016. Vulnerability, resilience, hazard, risk, damage, and loss: a socio-ecological framework for natural disaster analysis. *Web Ecology*, 16(1), 59-62.

Molina-Terrén, D. M., Xanthopoulos, G., Diakakis, M., Ribeiro, L., Caballero, D., Delogu, G. M., and Cardil, A. 2019. Analysis of forest fire fatalities in southern europe: Spain, portugal, greece and sardinia (italy). *International Journal of Wildland Fire*, 28(2), 85-98.

Moreno-Brieva, F.; He, Y. and Merino, C.. 2019. Manual Práctico para Datos de Panel [A Practical Handbook for Panel Data] *Easy Global Practical Studies*. . ISBN: 978-84-09-15553-8. DOI: 10.13140/RG.2.2.22226.40648.

Murphy, B. 2005. Enhancing Local Level Emergency Management: The Influence of Disaster Experience and the Role of Households and Neighborhoods; *ICLR Research*: Toronto, ON, Canada.

Padilla M. and Vega-García C. 2011. On the comparative importance of fire danger rating indices and their integration with spatial and temporal variables for predicting daily human-caused fire occurrences in Spain. *International Journal of Wildland Fire*, 20, 46-58.

Padli, J., Habibullah, M.S., and Baharom A. H. 2018. The impact of human development on natural disaster fatalities and damage: panel data evidence. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, DOI: 10.1080/1331677X.2018.1504689.

Pausas, J. G., Llovet, J., Rodrigo, A., and Vallejo, R. (2009). Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? –A review. *International Journal of wildland fire*, 17(6), 713-723.

PLADIGA. 2020. Memoria. Plan de Prevención e Defensa Contra os Incendios Forestais de Galicia [Memory. Prevention Plan of Defense Against Forest Fires of Galicia]. *Xunta de Galicia, Consellería do medio rural*. (2018).

Ponte Pintor, J. M., and Bandín Buján, C. 2008. Los incendios forestales en Galicia y su investigación. *Estudios penales y criminológicos*, ISSN 1137-7550, Nº. 28, págs. 317-341

Prestemon, J. P., and Butry, D. T. 2005. Time to burn: modeling wildland arson as an autoregressive crime function. *American journal of agricultural economics*, 87(3), 756-770.

Prestemon, J. P., Hawbaker, T. J., Bowden, M., Carpenter, J., Brooks, M. T., Abt, K. L., ... and Scranton, S. 2013. Wildfire ignitions: a review of the science and recommendations for empirical modeling. *Gen. Tech. Rep. SRS-GTR-171*. Asheville, NC: USDA-Forest Service, Southern Research Station. 20 p., 171, 1-20.

Rigueiro, A., Mosquera, M.R., López, L., Pastor, J.C., González, M.P., Romero, R. and Villarino, J.J. 2002. Reducción del riesgo de incendios forestales mediante el pastoreo del caballo gallego de monte [Reduction of the risk of forest fires through the Galician mountain horse grazing]. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencia Forestal*, 14, pp. 115-118.

San-Miguel-Ayanz, J.; Durrant, T.; Boca, R.; Libertà, G.; Branco, A.; de Rigo, D.; Ferrari, D.; Maianti, P.; Artés, T.; Costa, H.; et al. 2018. Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2017; EUR 29318 EN; *Publications Office of the European Union*: Luxembourg, ISBN 978-92-79-92831-4.

Schmidheiny, K. 2013. Short Guides to Microeconometrics. Panel Data: Fixed and Random Effects. University of Basel. <https://www.schmidheiny.name/teaching/panel2up.pdf>.

Tedim, F.; Leone, V.; Amraoui, M.; Bouillon, C.; Coughlan, M.R.; Delogu, G.M.; Fernandes, P.M.; Ferreira, C.; McCaffrey, S.; McGee, T.K.; Parente, J.; Paton, D.; Pereira, M.G.; Ribeiro, L.M.; Viegas, D.X. and Xanthopoulos, G. 2018. Defining Extreme Wildfire Events: Difficulties, Challenges, and Impacts. *Fire*, 1, 9. <https://doi.org/10.3390/fire1010009>

Urbieto, I. R., Zavala, G., Bedia, J., Gutiérrez, J. M., San Miguel-Ayanz, J., Camia, A., Keeley, J.E. and Moreno, J. M. 2015. Fire activity as a function of fire–weather seasonal severity and antecedent climate across spatial scales in southern Europe and Pacific western USA. *Environmental Research Letters*, 10(11), 114013.

Vaiciulyte, S., Galea, E.R., Veeraswamy, A. and Hulse, L.M. 2019. Island vulnerability and resilience to wildfires: A case study of Corsica. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101272>.

Varela, E., Calatrava, J., Ruiz-Mirazo, J., Jiménez, R., and González-Rebollar, J. L. 2007. Valoración económica del pastoreo en términos de costes evitados en labores de prevención de incendios forestales [Economic valuation of grazing in terms of costs avoided in forest fire prevention]. *4th International Wildland Fire Conference*.

Vega-García C. and Chuvieco E. 2006. Applying local measures of spatial heterogeneity to Landsat-TM images for predicting wildfire occurrence in Mediterranean landscapes. *Landscape Ecology*. 21, 595–605. Doi: 10.1007/S10980-005-4119-5.

Viedma, O., Urbieto, I. R., and Moreno, J. M. 2018. Wildfires and the role of their drivers are changing over time in a large rural area of west-central Spain. *Scientific reports*, 8(1), 17797.

Wigtil, G., Hammer, R.B., Kline, J.D., Mockrin, M.H., Stewart, S.I., Roper, D. and Radeloff, V.C. 2016. Places where wildfire potential and social vulnerability coincide in the coterminous United States. *International Journal of Wildland Fire*, 25(8), pp. 896.

Wilches-Chaux, G. 1993. La vulnerabilidad global. Los desastres no son naturales [The global vulnerability. Disasters are not natural]. 11-44.

Wisner, B. 2016. Vulnerability as Concept, Model, Metric and Tool in a Hazardous World. In Oxford Encyclopedia of Natural Hazard Science. Susan Cutter, Ed. New York: Oxford University Press.



## Capítulo 4

Clustering fire-production behaviors in a fire-prone region: influence of vulnerability factors in wildfires at Galicia (Spain). A panel data analysis 2000-2015

**Jaime de Diego\*** (<https://orcid.org/0000-0002-2865-1660>). University Institute of Studies on Migration, Comillas Pontifical University, 28015 Madrid, Spain. [jdediego@comillas.edu](mailto:jdediego@comillas.edu)

**Mercedes Fernández** (<https://orcid.org/0000-0003-0077-4682>). University Institute of Studies on Migration, Comillas Pontifical University, 28015 Madrid, Spain. [mercedes@comillas.edu](mailto:mercedes@comillas.edu).

**Antonio Rúa** (<https://orcid.org/0000-0002-6915-2067>) Faculty of Economics and Business Administration, Comillas Pontifical University, 28105 Madrid, Spain. [rveites@icade.comillas.edu](mailto:rveites@icade.comillas.edu).

**Jeffrey Kline** (

\* Correspondence: [jdediego@comillas.edu](mailto:jdediego@comillas.edu)

### *Abstract*

The Northwestern Spanish region of Galicia accounts most of the forest fires that have occurred in the last decades, not only in Spain but throughout Europe. The vast majority of these wildfires are directly or indirectly related to human causes; so, the characteristics and status of the human population significantly influence the degree of people's vulnerability to wildfire. Furthermore, the causes and distribution of forest fires differ among regions and may also differ spatially and temporally within the same region.

The main aim of this paper is to study the effects of socioeconomic characteristics related to vulnerability over the wildfires ignitions and hectares burned in Galicia. We developed a panel data regression model to analyse both the temporal and spatial influence of natural and human variables. We established the municipality as the smallest geographical section with relevant information on socioeconomic factors and forest land wildfires. In addition, we unified the municipalities that share similar characteristics.

The results show that socioeconomic variables related to social vulnerability can become as important as meteorological variables in wildfire occurrences and hectares burned. This could be useful in the design of prevention policies best suited to the socioeconomic, cultural, and environmental circumstances of each region.

## *Introduction*

Wildfires are a significant natural hazard that has affected nearly 178,000 hectares of European land and forests in varying ecosystems in just 2018 alone (Jiménez-Ruano et al. 2017; Molina et al. 2019; San-Miguel-Ayanz et al. 2019). Effective management of risks associated with potential wildfires depends on managers having an accurate understanding of the many factors and processes that influence wildfire occurrence and behavior before, during, or following wildfire events. Such information is of great importance for ensuring safety and minimizing negative effects for affected communities where wildfires occur (Maccfrey et al. 2013; Mancini et al. 2018; Bowman et al. 2019), as well as accurately anticipating potential future wildfire risks (Michetti and Pinar 2013; Moreno et al. 2014; Mansuy et al. 2019).

Although the influence of biophysical factors, such as topography, vegetation, and climate, on wildfire have received significant research attention in wildfire literature, the potential role of human factors can be fundamental in different fire regimes, because of their potential influence on wildfire ignitions, area burned, and severity and intensity (Moritz et al. 2014). In many regions, humans account for a majority of ignitions and burned area, with lightning being the most common ignition source for natural wildfires (Prestemon et al. 2013; McLauchlan et al. 2020). Disentangling the influence of human factors from natural factors in wildfire ignition and behavior can be useful for both evaluating wildfire risks and identifying potential policy and management approaches for addressing risks in different locations (Mansuy et al. 2019, Cattau et al. 2020).

From a human perspective, the current characteristics and status of the human population significantly influence the degree of vulnerability to wildfire present in any given population. Natural hazards research literature suggests that vulnerability is determined in part by the capacity of people to avoid or anticipate, cope with, resist and recover from the impact of a natural hazard (e.g., Wisner 2016). Additionally, different social, economic, political, and cultural factors can determine the vulnerability situation (e.g., Alexander, 2013) and existing vulnerability can be a significant factor in anthropogenic disasters such as human-caused wildfires (Michetti and Pinar 2013, de Diego et al. 2019). For this reason, wildfire researchers have shown increasing interest in identifying and evaluating the potential influence of socioeconomic characteristics and other human factors on peoples' vulnerability in wildfires (Ager et al. 2015; Archibald 2016; Costafreda-Aumedes et al. 2018). Moreover, joint analysis of both biophysical factors and socioeconomic characteristics associated with wildfire vulnerability could facilitate better understanding of wildfires occurrence and behavior, and thus could contribute to the development of improved wildfire prevention strategies (Syphard et al., 2007; Mavsar et al., 2013; Ager et al., 2015; Grala 2017). Therefore, managers and decision-makers

should be made aware of the importance of socioeconomic variables and include them in their wild-land fire management decisions (McCaffrey et al. 2013).

Each year, European Mediterranean countries account for 85 percent of the total burned area in Europe (San-Miguel-Ayanz and Camia 2010). Between 2006 and 2010, 96 percent of forest fires in the Mediterranean region were directly or indirectly related to human causes (Ganteaume et al. 2013). Some explanatory factors included: changes in human behavior associated with socioeconomic development, increasing mobility of people, increases in tourism and recreational activities (San-Miguel-Ayanz 2017), as well as traditional uses of fire as management tool in agriculture, silviculture, and livestock breeding (Rodríguez-Vicente and Marey-Pérez 2010).

Among Mediterranean counties, Spain is among those that suffer the most from wildfires. The Autonomous Community of Galicia, for example, situated in the Northwest of the country experiences the highest number of forest fires, with a total burned area equivalent to 42% for the entire country from 2001 and 2010 (MAPAMA 2012; Arellano et al 2018). Galicia comprises 2,060,453 hectares of forest, accounting for 69 percent of all land in the region. Forest lands are almost exclusively (96.6%) under private ownership and comprised of small forest parcels, agricultural operations, and livestock farms totally around 700,000 small proprietors (Bruña and Marey 2018). The region has been affected by rural abandonment and a pronounced decline in population in recent decades (Rodríguez and Marey 2010).

Galicia provides a useful study area for examining human factors in wildfire occurrence and behavior, because some socioeconomic characteristics prevalent there are often found to be associated with vulnerability to natural hazards and thus wildfires. Recent research (Birkmann 2013; Faas 2016; de Diego et al. 2020) has tended to categorize these various factors into three primary dimensions:

- Land and environment: including meteorological variables (temperature, humidity and wind velocity) and land-management related variables (cattle/livestock farms, rustic lands, and infrastructures).
- Population: Focusing on demographic variables, such as the vegetative balance, the number of foreigners, and the ageing of the population; and socioeconomic variables, such as the retirement and unemployment rates
- Economy: Taking into account variables that measure wealth, such as per capita income or gross domestic product (GDP).

These three factor categories present a synergic interdependence. For example, population largely depends on land and the economy, but in turn population can influence both land uses and the economy (Adger 2005). As a consequence, interactions and interdependencies between climate, fire, people, and vegetation can change over time, along with the effect each of these factors can have on

fire regimes in different locations (Archibald 2016). In sum, the causes and distribution of forest fires differ among countries and may also differ spatially and temporally within the same country (Calviño-Cancela et al. 2017).

We sought to improve understanding of the causes of forest land wildfires by examining potential relationships between natural or human explanatory variables. We developed a panel data regression model to enable account for both the temporal and spatial influence natural and human variables over time (Lora 2008; Moreno-Brieva et al. 2019). In this way, we build upon previous research examining the influence of multiple anthropogenic factors on fire frequency and size at regional scales using statistical and econometric approaches, including the panel data strategy (e.g., Michetti and Pinar, 2013; Costafreda-Aumedes et al., 2018; Padli et al., 2018 and Prestemon and Butry, 2005).

Our specific objective was to study the effects of socioeconomic characteristics related to vulnerability over the wildfires ignitions and hectares burned in the region of Galicia. Thus, this research seeks to understand the aforementioned effects by studying a minimal area with similar characteristics (Prestemon et al. 2013). In this sense, we have established the municipality as that minimal area, given the fact that it is the smallest geographical section with readily available information on socioeconomic factors and forest land wildfires. In addition, we have unified the municipalities that share similar characteristics. This could be useful in the design of prevention policies best suited to the socioeconomic, cultural, and environmental circumstances of each region (Ganteaume et al. 2013; Coughlan et al. 2019). Indeed, eradicating and reducing the number of wildfires becomes easier when there is better knowledge of their causes (Keeley and Syphard 2018).

#### *Materials and methods*

Galicia is the area in Spain most affected by wildfires, and it also is one of the most affected regions in Europe (Molina et al. 2019). Although the biophysical factors involved in Galician wildfires have been studied extensively in recent decades (Díaz-Avalos 2001; Turco et al. 2014), less research has focused on socioeconomic factors related to wildfire vulnerability (Costafreda-Aumedes et al. 2018; Charnley et al. 2018). Still, a few research studies do suggest potential relationships between socioeconomic factors and the prevalence of wildfires in the region (Barreal et al. 2011; Balsa and Hermosilla 2013; Loureiro and Barreal 2015; de Diego et al. 2019). We sought to build on this previous work, by using panel data to further evaluate potential relationships between socioeconomic factors and vulnerability to wildfire.

We assembled panel data covering 15 years for all Galician municipalities. The dataset is balanced across all 314 municipalities and includes numerous socioeconomic variables that are available from the Galician Institute of Statistics (IGE) for the 2001-2015 period. We chose to use municipalities as

the observational unit since they are the smallest entity for which information on wildfires and the smallest territorial division for which accurate, and consistent socioeconomic data are available. The “Wildfire Dataset” is compiled every 5 years by the Ministry of Agriculture, Fisheries, and Food<sup>3</sup> and is the most accurate and comprehensive statistical information available on wildfires in Spain. We applied a process for screening and quality assurance to the data to ensure uniformity, completeness, and accuracy. First, we divide certain variables by the total population or the total Ha of the municipality (Table 1); second, we take logarithms to normalize the needed variables, described in the models ahead (results). The research timeframe is larger than others offered in different studies related to this region: 2001–2006 used by Barreal et al. (2011), 2001–2009 used by Barreal et al. (2012), 2006 used by Balsa and Hermosilla (2013), and 2001–2010 used by Loureiro and Barreal (2015).

We used the data to estimate an empirical model that described numbers of wildfires and hectares burned as a function of both biophysical and socioeconomic factors (Table 1). Our panel data set enabled us to take advantage of both the spatial and temporal variation in fire and socioeconomic data, which is necessary for designing wildfire risk mitigation and prevention policies adapted to different regions (e.g., Costafreda-Aumedes et al. 2018). Numbers of wildfires and area burned are one of the most studied variables in wildfire research along with the area burned and include studies by Turco et al. (2017), Boubeta et al. (2019), McLauchlan et al. (2020), and also in Leone et al. (2003) or Amatulli et al. (2007). We build upon these studies by using similar dependent variables in a panel data methodology for Galicia Region; in this sense the variables are specific for this given area.

**Table 9:** Variables panel-summary.

Dimension	Variable	Statistics <sup>4</sup>	Mean	Std. Dev.	Min	Max
<b>LAND AND ENVIRONMENT</b>	WiSum <i>Wind velocity during summer</i>	overall	4.598	3.164	0.558	17.092
		between		0.358	3.516	7.512
		within		3.143	0.243	15.661
	HuSum <i>Humidity during summer</i>	overall	66.664	10.775	27.333	85.583
		between		3.818	62.419	80.143
		within		10.077	28.866	79.454
	T°Sum <i>Temperature during summer</i>	overall	22.485	3.223	6.683	29.100
		between		0.643	19.206	22.934
		within		3.159	8.277	29.488
	DisCenter <i>Proportion between disseminate dwelling and buildings.</i>	overall	4.882	1.119	0.0114	116
		between		1.115	0.0114	116
		within		0.968	3.147	4.435

<sup>4</sup> Note that Stata lists three different types of statistics: overall, between, and within. Overall statistics are ordinary statistics that are based on all the observations. “Between” statistics are calculated on the basis of summary statistics of 314 municipalities (entities) regardless of time period, while “within” statistics by summary statistics of 15 time periods regardless of municipality. (Park 2011)

	Ruralhotels	overall	2.062	2.139	1	28	
	<i>Rural hotels per municipality</i>	between		2.077	1	2.353	
		within		.5115	1.271	6.528	
		overall	1768.01	2.503	1	16073.01	
	<i>Proportion of bush and pasture per municipality</i>	between		2.440	1	15716.4	
		within		5.588	3.926	10101.12	
		overall	0.468	0.145	0.064	0.807	
	<i>Proportion of tree forest per municipality</i>	between		0.144	0.075	0.802	
		within		0.0129	0.407	0.526	
		overall	1.533	1.519	1	1.856	
	<i>Percentage of cattle heads per farm</i>	between		132.471	1	1.089	
		within		7.492	8.313	9.208	
		overall	0.0137	0.0213	0.0004	1	
	<i>Road km per municipality</i>	between		0.0577	0.0004	1	
		within		0.002	.0396	.0597	
		overall	-27.125	47.577	-638	405	
	<b>POPULATION</b>	<i>Difference between the number of births and number of deaths per municipality</i>	between		44.018	-361.466	207.6
			within		18.213	-326.525	327.141
overall			661.784	1.722	1.00e-06	9.684	
<i>Waste produced per habitant per year.</i>		between		1.724	1.00e-06	9.662	
		within		0.066	6.287	6.902	
		overall	6.624	1.394	0.0643	369.294	
<i>Population temporarily off per municipality</i>		between		1.294	0.085	2.335	
		within		518.751	-1.029	1.423	
		overall	0.024	0.054	0.0003	1	
<i>Percentage of foreigners per municipality</i>		between		0.0618	0.001	1	
		within		0.043	0.312	0.953	
		overall	1.356	0.123	1	1.739	
<i>Population over 64 per municipality</i>		between		0.122	1	1.695	
		within		0.020	1.265	1.444	
		overall	9.594	1.793	1	1996	
<i>Number of retirement pensions per municipality</i>		between		1.788	1	1.906	
		within		1.390	4.599	1.854	
		overall	1.166	1.565	0.064	2.120	
<b>ECONOMY</b>	<i>Plot value per person</i>	between		1.212	0.084	1.255	
		within		0.990	8.310	982.383	
		overall	1.804	2.721	0.419	5.094	
	<i>GDP per person</i>	between		2.698	0.430	4.352	
		within		3.603	5.906	9.225	
		overall	10460.56	2189.017	4651	28653	
	<i>Income per person</i>	between		1679.083	5939.8	1921727	
		within		1407.429	3256.359	1989629	
		overall	0.356	0.425	0.0004	8.192	
	<i>Municipality debt per person</i>	between		0.323	0.001	2.934	
		within		0.278	2.264	5.615	

Source: Own elaboration

Recent wildfire research suggests a need for improved analysis of biophysical and socioeconomic factors in wildfire occurrence and area burned, in order to begin to understand wildfire dynamics

within regions as well as differences between territories (Ganteaume et al. 2013; Costafreda-Aumedes et al. 2018). We structured the present analysis following on our own previous research, by defining regions according to their similar socioeconomic characteristics. First, we used factor analysis with the main explanatory variables to identify major classes or themes represented by variables. We then used these factors to in a cluster analysis to identify regions having similar biophysical and socioeconomic characteristics. Lastly, we developed regression models of wildfire occurrence and burned area for each cluster (or “region”) identified by the combined factor and cluster analysis. The result is a set of regression models for each cluster characterizing wildfire occurrence and burned area as a function of biophysical and socioeconomic variables over time.

## Results

### Factor and Cluster analysis

#### 1. Factor analysis

Factor analysis generally is used to reduce a large number of variables into a fewer number of factors (Table 1). It calculates the maximum common variance for all variables and translates it into a common score. As an index of all variables, this score can be used for further analysis.

**Table 10:** Factor loadings. Own elaboration

Variable	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5	Factor6	Factor7	Factor 8	Uniqueness
	Ageing	Meteo	Deprivation	Wealth	Forest	Veg.Balance	Rural H	Debt	
<b>LnPlotVal.Hab</b>	-0.8882								0.1787
<b>Lnforeign.%</b>	0.8788								0.1585
<b>LnPopulation&gt;64</b>	0.7315					0.4080			0.1669
<b>LnLivestock.Farm</b>	-0.6906								0.2832
<b>LnRetirement.Pension</b>	0.5200		0.4385						0.2692
<b>HuSum</b>		0.9510							0.0906
<b>T°Sum</b>		-0.9364							0.1215
<b>WiSum</b>		0.8851							0.2069
<b>Unemployment (%)</b>			0.8624						0.2113
<b>LnWaste.Hab</b>			0.8415						0.2591
<b>GDP per person</b>				0.8428					0.2316
<b>Income.Cap</b>	0.4193			0.6888					0.2701
<b>LnDisCenter</b>				0.4008					0.4603
<b>LnBush.Pasture</b>					-0.8011				0.2542
<b>PropForest.tree</b>					0.7898				0.2948
<b>Veg.balance</b>						-0.7802			0.2847
<b>LnRoadDensity</b>						0.5869	-0.4086		0.2716
<b>LnRuralhotels</b>							0.8276		0.3071
<b>LnDebtHab</b>								0.9638	0.0478

Each factor loading is the correlation coefficient between a given variable and a given factor. It shows the variance explained by the variable on that particular factor. The criteria for any given factor selection generally are determined by values above 0.4. Our analysis resulted in the following 8 factors:

- **Factor 1:** We identified an “Ageing” factor that was positively correlated with population over 64 years of age, retirement pensions, and the percent of foreigners, and negatively correlated with ageing pasture lands which increasingly are being abandoned in the study area. The presence of foreigners can be explained either by their employment in the elderly care sector or by their occupying low-price lands.
- **Factor 2:** We identified a “Meteorological: factor that included variables describing temperature, humidity, and wind velocity. The relation between temperature and humidity and wind velocity is inverse. Therefore, low temperatures usually mean high levels of humidity and increased wind velocity.
- **Factor 3:** We identified a “Deprivation” factor that represents the relationship between unemployment and waste production per person. A higher population density implies a higher unemployment rate. Also, a larger population generates a greater waste accumulation (Jiménez and Medina, 2001).
- **Factor 4:** We identified a “Wealth” factor, represented by GDP and Income. These variables are strongly related--specifically municipalities with high GDP tend to also have high incomes per capita.
- **Factor 5:** We identified a “Forest” factor related to the physiognomy of land. It has a positive correlation with wooded territory and a negative correlation with bush and pasture lands.
- **Factor 6:** We identified a “Population density” factor, representing the relationship between an increase in population (positive vegetative balance) and higher road densities. Generally, more populated areas tend to have greater road and infrastructure networks, which can influence the prevalence of wildland-urban interface which account for a high percentage of wildfires (Coughlan et al. 2019).
- **Factor 7:** We identified a “Tourism” factor that includes rural hotel infrastructure, showcasing the increasing importance of the tourism sector in the region from both the ecological and the economic point of view.
- **Factor 8:** We identified a “Debt” factor that addresses the economic situation of different municipalities. Those municipalities with high levels of debt usually face more direct economic conditions.

Together, these factors reasonably align with the dimensions of Land, Population and Economy as we have labeled them (table 2)

**Table 11:** relation between factors and dimension. Own elaboration

Variable	Factor	Dimension (according to literature)
WiSum	Meteo	Land and environment
HuSum		
T°Sum		
LnRuralhotels	Tourism	
LnBush.Pasture	Forest	
PropForest. tree		
Veg.balance	Population density	Population
LnWaste.Hab	Deprivation	
LnUnemploy.		
Lnforeign.%		



LnPopulation>64	Ageing	Economy
LnRetirement.Pension		
LnGDPperHab	Wealth	
Income.Cap		
LnDebtHab	Debt	

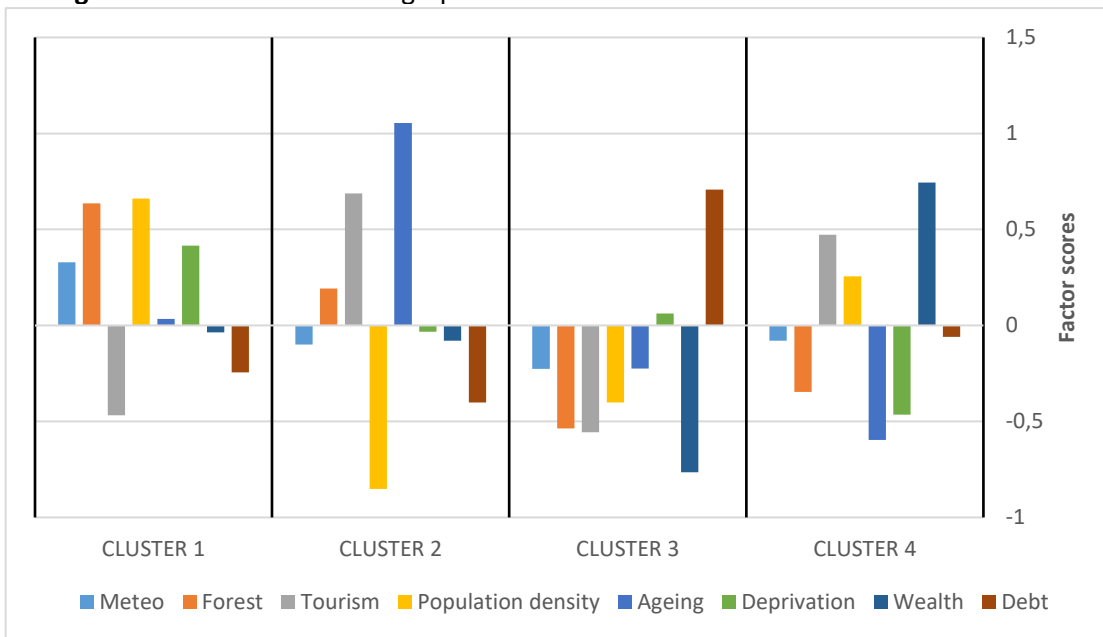
## 2. Cluster analysis

Cluster analysis is used to classify objects or cases into relative groups (or clusters). We cluster analysis to group together municipalities possessing similar biophysical and socioeconomic characteristics. We used dendrogram criteria (Kaufman and Rousseeuw, 2009) to create the minimum number of clusters with sufficient information. This resulted in four clusters. We also explored possible relation between those clusters and their distribution by province. Table 3 and Figure 1 show factor scores for each cluster of observation units (municipalities). Map 1 is a visual of the geographical distribution of the clusters.

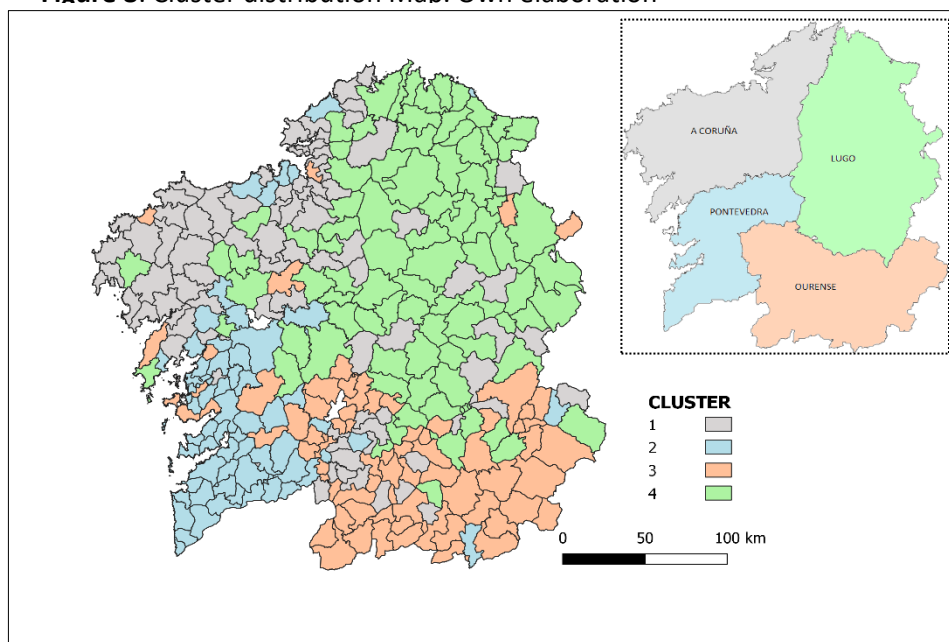
**Table 12:** Cluster distribution. Own elaboration

Dimensions	Factors	Clusters			
		CLUSTER 1	CLUSTER 2	CLUSTER 3	CLUSTER 4
Land +environment	Meteo	0,329	-0,099	-0,227	-0,08
	Forest	0,635	0,193	-0,536	-0,346
	Tourism	-0,468	0,687	-0,556	0,472
Population	Population density	0,661	-0,851	-0,401	0,256
	Ageing	0,034	1,054	-0,224	-0,596
	Deprivation	0,416	-0,033	0,062	-0,464
Economy	Wealth	-0,036	-0,079	-0,764	0,744
	Debt	-0,245	-0,401	0,707	-0,059
n / %		<b>91/28,98</b>	<b>62/19,75</b>	<b>74/23,57</b>	<b>87/27,71</b>

**Figure 7:** Cluster distribution graph. Own elaboration



**Figure 8:** Cluster distribution Map. Own elaboration



As we can see in Figure 2, each municipality can belong to one cluster, and there is a clear geographical distribution pattern: municipalities belonging to cluster 1 are more prevalent in the Galician Northwest, where as cluster 2 is mosyt prevalent in the Southwest, cluster 3 in the Southeast, and cluster 4 in the Northeast. To confirm this distribution, we analyzed the relation between the clusters and the Galician provinces using both Chi and Crammér’s V tests ( $p\text{-value} = 0.000$  / Crammér’s  $V = 0,4603$ ) (Table 3) (Heumann and Shomaker, 2016). Our results of both tests suggest that the geographical distribution of the municipalities belonging to the four clusters has a similar pattern to

that of the Galician provinces: cluster 1, NW, A Coruña; cluster 2, SW, Pontevedra; cluster 3, SE, Ourense; and cluster 4, NE, Lugo.

**Cluster 1 (Northwest):** Encompassing 29% of the municipalities, cluster 1 is mainly located in the Galician NW, although some of the municipalities can be found near the center of the region. Climate variables are especially relevant in this cluster for two reasons: the proximity of the whole area to the sea, and the predominance of forestry areas over pasture lands. Three important Galician cities are located in this cluster (A Coruña, Santiago de Compostela, and Ourense). These cities have a high population density, which inevitably implies high unemployment rates, but their relative prosperity has resulted in reasonably low debt rates. As far as the risk of wildfires is concerned, this region could be affected by accidental fires related to the interface zones between wild lands and urban areas, and to ill-managed forestry areas (Table 4)

**Cluster 2 (Southwest):** Including 20% of Galician municipalities, cluster 2 is mainly composed of unpopulated areas (more or less forestry areas) dedicated to rural tourism, with the exception of the two urban cores present in the cluster: Pontevedra and Vigo. Cluster 2 is characterized by a low population density, aging population and, consequently, low unemployment rates. Its reasonably good economic situation can be linked to the prosperity of the region's urban centers, and also to the two decade-long booms of rural tourism.

**Cluster 3 (Southeast):** With 24% of Galician municipalities, this subregion is mainly made up of depopulated areas and abandoned pasture lands, with a scarce presence of the tourist sector. There are no noteworthy urban centers; Cluster 3's municipalities have the lowest income and the highest debt rate of those studied. This situation, together with the peculiarities of the climate variables (low wind, low humidity, high temperatures) may be associated with anthropogenic fire risks.

**Cluster 4 (Northeast):** 28% of Galician municipalities belong to this cluster, mainly those of the NE of the Autonomous Region, but also some towards the center. There is only one urban core to speak of, Lugo, the rest being a relatively low-populated, rural region, dedicated to the exploitation of pasture lands and agro-tourism. Its high per capita income and low debt ratio explain the economic prosperity Cluster 4 enjoys (Table 4).

Clusters' characteristics:

Table 4 illustrates the differences between clusters using factor mean.

**Table 13:** cluster analysis of variance (ANOVA). Own

Dimension	Factor	ANOVA. p-value	Cluster means			
			1 (Northwest)	2 (Southwest)	3(Southeast)	4(Northeast)
Land +environment	Meteo	<b>0.018</b>	0,329	-0,099	-0,227	-0,08
	Forest	<b>0.000</b>	0,635	0,193	-0,536	-0,346
	Tourism	<b>0.000</b>	-0,468	0,687	-0,556	0,472
Population	Population density	<b>0.000</b>	0,661	-0,851	-0,401	0,256
	Ageing	<b>0.000</b>	0,034	1,054	-0,224	-0,596
	Deprivation	<b>0.000</b>	0,416	-0,033	0,062	-0,464
Economy	Wealth	<b>0.000</b>	-0,036	-0,079	-0,764	0,744
	Debt	<b>0.000</b>	-0,245	-0,355	0,707	-0,059
Dependent variables	Nº Wildfires	<b>0.000</b>	222,46	375,52	343,85	242,13
	Ha Burned	<b>0.001</b>	809,65	1.184,72	1.996,19	931,46

Scores difference	
	0-0,30 (<40*)
	>0,30 (>40*)

The p-value obtained through variance analysis (ANOVA) demonstrates that there is at least one cluster whose variable values are statistically significantly different from the other three. Using the mean of each one of the factors in each cluster, the similarities between those clusters can be established. In Table 4, same-colored cells represent factors with similar means.

As we can see in Table 4, population density is the only factor that is different for every cluster. Most of the clusters have two similar factors: Debt and Meteo, the ones that present the lowest variability in every cluster; the similar Meteo values in every cluster can be explained by the nature of the time series, which present the average values for the last fifteen years in every municipality, and thus has a tendency towards equalization. Nonetheless, it is possible to observe the influence of the sea in the NW area (Rodríguez Guitián and Ramil-Rego, 2007). At the same time, the dependent variables, Number of wildfires and Hectares burned, show an interesting behavior. For Number of wildfires, the Northern clusters (Cluster 1 and Cluster 4) behave similarly but differently than the Southern clusters (Clusters 2 and 3). With respect to Hectares burned, Northern clusters also behave alike (that is, they show a similar quantity of Hectares burned for a similar Number of wildfires). Nevertheless, in the Southern clusters, with a similar Number of wildfires, Hectares burned is higher in the Southeast region (Cluster 3) than in the Southwest (Cluster 2).

We can conclude that there are territorial socioeconomic differences among regions in Galicia, which could be used to inform and refine analysis and models of wildfire occurrence and burned area, and the design of wildfire risk mitigation and prevention efforts in different regions.

## Panel Regression models

Our regression models for each cluster identified suggest that several socioeconomic variables are at least correlated with and may influence wildfire occurrence and burned area in Galicia. Specifically, we found a trend in the different clusters used, confirming the difference between territories in terms of the socioeconomic effects over the number of ignitions and hectares burned. We present the panel data models for Number of ignitions and Hectares burned, along with an additional table extracting the variables that have a significant effect over the characteristics of wildfires. In those additional tables, the variables highlighted in dark grey have a direct relation with the dependent variable analyzed (higher values imply an increase in the dependent variable), while those highlighted in light grey have an inverse relation with the dependent variable (higher values imply a decrease in the dependent variable); the variables with no effect over the dependent one are shown in white.

### Number of Wildfires

**Table 14:** Number of wildfires panel data model. Own

Dimension	N° Wildfires	Cluster 1		Cluster 2		Clusters 3		Cluster 4	
		Coef.	P>t	Coef.	P>t	Coef.	P>t	Coef.	P>t
Land and Environment	WiSum	-.01183	0.286	-.03009	0.041	.02118	0.083	.00399	0.757
	HuSum	-.00984	0.000	-.01433	0.000	-.00918	0.000	-.00458	0.059
	T°Sum	-.01582	0.014	-.01344	0.088	-.01777	0.010	-.00254	0.708
	LnDisCenter	.15547	0.240	-1.4103	0.269	-.11133	0.241	.25372	0.112
	LnRuralhotels	-.21279	0.056	-.19625	0.075	-.37618	0.007	-.07725	0.438
	LnBush.Pasture	-1.5933	0.000	-.66432	0.213	-.58266	0.208	.2535	0.482
	PropForest.tree	-10.168	0.000	-8.5549	0.000	-.29113	0.863	-6.4757	0.001
	LnLivestock.Farm.	-.08887	0.286	-.19342	0.038	-.24270	0.000	-.73732	0.000
LnRoadDensity	-.0021	0.980	-.23780	0.140	-.64574	0.008	.62055	0.142	
Population	Veg.balance	.00103	0.225	-.00014	0.886	-.0013	0.575	.00062	0.653
	LnWaste.Hab	.10676	0.149	.00301	0.951	-.0045	0.917	.00509	0.865
	LnUnemploy.	-.11372	0.441	-.34137	0.036	-.43534	0.001	.17234	0.194
	Lnforeign.	-.07457	0.102	-.15793	0.087	-.06604	0.153	-.04223	0.265
	LnRetirement.Pens	.73193	0.000	.50857	0.050	.30486	0.003	.20861	0.122
Economy	LnPlotVal.Hab	-.0321	0.482	-.05571	0.232	.06689	0.206	-.10407	0.157
	LnGDPperHab	.3546	0.275	-.33950	0.368	-1.7156	0.000	-1.2344	0.000
	Income.Cap	-.00007	0.000	-.00001	0.348	-9.51e-06	0.593	-.00008	0.000
	LnDebtHab	.00380	0.884	.00271	0.933	-.05532	0.046	-.08246	0.000
	_cons	14.343	0.000	10754	0.019	9.2605	0.020	11.345	0.008
	n/Obs (n*years)	<b>91/ 1.365</b>		<b>62 /930</b>		<b>74 / 1.110</b>		<b>87 /1.305</b>	
	R2	within = 0.2946 between = 0.0545 overall = 0.0114		within = 0.3795 between = 0.0381 overall = 0.0014		within = 0.3368 between = 0.0026 overall = 0.0061		within = 0.2831 between = 0.1708 overall = 0.1642	

Dimensions (variables)		1NW	SW	3 SE	4NE
Land and environment	WiSum				
	HuSum				
	T°Sum				
	LnRuralhotels				
	LnBush.Pasture				

	PropForest.tree				
	LnLivestock.Farm.				
Population	LnRoadDensity				
	LnUnemploy.				
	LnRetirement.Pens				
Economy	LnGDPperHab				
	Income.Cap				
	LnDebtHab				

Cluster 1 (NW) is characterized by the effects of land-related, meteorological, and economic variables over the number of ignitions and, most notably, by the inverse relation linking the variables bush/pasture and forest on the number of wildfires. As a consequence, the low number of fires is connected to the predominance of forest areas and the existence of big cities with greater wildland-urban interface. Therefore, abandoned or ill-managed shrub-lands are more prone to fires (Calviño-Cancela et al., 2017). The relative prosperity of those cities (A Coruña, Santiago de Compostela, and Ourense) results in economic variables having little effect on the number of wildfires. Even so, the model shows some evidence of how economic deprivation can have an influence over the anthropogenic origin of wildfires. Indeed, the number of wildfires has a positive relation to the number of pensioners and is inversely linked to the income per capita: disadvantaged homes with various members perceiving government aids (i.e. retirement pensions and subsidies given to the unemployed if they help with the efforts of extinguishing forest fires) can consider the occurrence of wildfires as an additional income source. The hypothesis of the anthropogenic source of ignitions can also be reinforced by the contradictory behavior of the variables related to the climate in this sub region. On the hand, the negative relation between wildfires and humidity seems to make sense, as drought-strike lands show a higher propensity for fires; on the other hand, the inverse relation between temperature levels and wildfires could reinforce the anthropogenic source of ignitions.

Cluster 2 (SW) is characterized by the coexistence of unpopulated areas and prosperous cities. The behavior of land-related variables (negative impact of abandoned pasture lands and the lack of forests) is similar to that of Cluster 1, but reinforced by the effect of the decrease in livestock farms as an additional factor in the degradation of pasture lands that, abandoned, become shrub-lands (Lasanta et al. 2019). In other words, for Cluster 2 fires are caused by climate conditions (drought brought on by low humidity) and their effect on neglected or abandoned areas. This is proven by the negative values of the variables Rural hotels, Livestock farms, and Unemployment (the inverse relationship between the unemployment rate and the number of fires can be explained because unemployment is concentrated in urban centers). It is further proven by the positive value of the variable Retirement pensions (that shows the positive relationship between the number of fires and the number of pensioners living in deprived areas). The positive connection between lower

temperatures, low wind velocity and wildfire occurrence may reinforce the hypothesis of an anthropogenic source of the ignitions.

In Cluster 3 (SE), mainly made up of deprived, depopulated areas, all the analyzed dimensions (climatological, land-related, population, and economic dimensions) contribute to explain the anthropogenic origin of wildfire occurrences. While the behavior of the land-related and environmental variables is similar to that of the other clusters, there is a higher, and more significant, direct effect of the economic and population variables on wildfires. Fires in this region are mostly caused by climate conditions (drought brought on by low humidity and high wind speeds) and their action on neglected or abandoned areas inhabited by a decreasing number of ageing, low-income population. This is shown by the negative value of the variables Rural hotels, livestock farms, unemployment rate, and GDP; and by the positive value of the variable Retirement pensions. The weight of deprivation in fire occurrence is strengthened by the negative value of the variable Debt per capita: a low level of debt per capita also means a low level of investment in preventive actions and infrastructures.

The results for Cluster 4 (NE), a mainly rural, prosperous, and scarcely populated, region, dedicated to the exploitation of pasture lands and to agro-tourism, corroborate previous findings. The lesser impact of land-related and environmental variables in wildfire occurrence can be explained by the greater importance given in the region to the conservation of the environment, which has a positive impact in its economy. Economic variables associated with poverty (low GDP, low income) and deprivation (low investment in fire prevention or in infrastructure) explain the anthropogenic origin of wildfires in this area.).

In short, the anthropogenic causes of wildfires in Galicia are reinforced by the contradictory relationship between temperature (low) and humidity (low). According to the results of our model, rural abandonment and neglect of the environment, together with ageing, deprivation and low investment in prevention and infrastructure turn out to be the main fire catalysts in Galicia.

### Hectares burned

**Table 15:** Hectares burned panel data model. Own

Dimension	Ha Burned	Cluster 1		Cluster 2		Cluster 3		Cluster 4	
		Coef.	P>t	Coef.	P>t	Coef.	P>t	Coef.	P>t
Land and environment	WiSum	-.02801	0.145	-.0605824	0.011	.0669	0.003	.04468	0.047
	HuSum	-.00223	0.517	-.01431	0.008	-.00738	0.088	.00708	0.057
	T <sup>o</sup> Sum	-.00004	0.996	.00189	0.842	-.00805	0.512	.01912	0.056
	LnDisCenter	.17163	0.187	-.3179	0.887	-.25961	0.030	.03178	0.863
	LnRuralhotels	-.20130	0.311	-.31360	0.230	-.51579	0.177	-.03847	0.847
	Ln <sup>bush</sup> .Pasture	-3.0286	0.000	-3.4749	0.023	-2.8869	0.005	-.34483	0.725
	PropForest. tree	-1.5550	0.005	-16.052	0.006	-6.4288	0.109	-9.5839	0.057

	LnLivestock.Farm.	-0.28676	0.067	-0.56377	0.004	-0.25846	0.043	-0.86850	0.031
	LnRoadDensity	.21189	0.000	-.01169	0.957	-1.7110	0.002	-.36098	0.586
<b>Population</b>	Veg.balance	.00039	0.717	-.00132	0.570	.00184	0.693	.00066	0.824
	LnWaste.Hab	.03017	0.809	.05754	0.540	.02610	0.768	.02302	0.651
	LnUnemploy.	.12995	0.603	.14741	0.658	.09595	0.755	.01529	0.944
	Lnforeign.	-.12844	0.138	-.22934	0.174	-.2812	0.002	-.14476	0.045
	LnRetirement.Pens	.85544	0.040	.76612	0.148	.78235	0.000	.02389	0.946
<b>Economy</b>	LnPlotVal.Hab	-.16374	0.046	-.12050	0.273	-.37516	0.002	-.30552	0.220
	LnGDPperHab	.10595	0.877	-1.5639	0.049	-2.3881	0.001	-2.1871	0.002
	Income.Cap	-.0001	0.000	.00002	0.630	.00002	0.496	-.00009	0.033
	LnDebtHab	.02321	0.635	.01553	0.800	-.12473	0.012	-.06769	0.223
	_cons	25.309	0.000	33.277	0.005	21.167	0.009	15.18622	0.114
	n/obs (n*years)	91/ 1.365		62 /930		74 / 1.110		87 /1.305	
	R2	within = 0.1537 between = 0.2560 overall = 0.0693		within = 0.1936 between = 0.3876 overall = 0.0958		within = 0.1594 between = 0.2056 overall = 0.0709		within = 0.1115 between = 0.0618 overall = 0.0490	

Dimensions (variables)		1NW	2SW	3SE	4NE
<b>Land and Environment</b>	WiSum				
	HuSum				
	TpSum				
	LnDisCenter				
	Ln bush.Pasture				
	PropForest. tree				
	LnLivestock.Farm.				
	LnRoadDensity				
<b>Population</b>	Lnforeign.				
	LnRetirement.Pens				
<b>Economy</b>	LnPlotVal.Hab				
	LnGDPperHab				
	Income.Cap				
	LnDebtHab				

For the municipalities in Cluster 1 (NW), the number of hectares burned depend, rather than on the variables associated with climate, on the abandonment of the land (shown by the negative value of the coefficients for the variables Proportion of forest, bush, and pasture and Number of livestock farms). The presence of large cities in the Cluster underlines the importance of some economy and population variables in wildfire occurrence, shown by the negative values of the coefficients for variables such as Plot value, and income per capita; and by the positive value of the variable retirement pensions.

Cluster 2 (SW), although similar to cluster 1, presents a stronger connection between the number of hectares burned and land-related and climate variables; and a weaker effect of the population and economic variables. This can be explained by the absence of big cities in this cluster, and the presence of a larger number of abandoned, unpopulated areas.



Cluster 3 (SE) is one of the most fire-stricken areas. Here, land-related and environmental variables are as important as those related to the population and the economy. This fact reflects the socioeconomic vulnerability of this low-income area. Depopulated areas with abandoned pasture lands result in a negative effect of the land-related variables, shown by a higher percentage of shrub-lands and a low rate of livestock per farm. Climate variables demonstrate the direct effect of wind velocity and the inverse effect of humidity over the spread of wildfires. The negative relation between the number of foreigners and the number of hectares burned deserves special attention: foreigners in Galicia live mainly in bigger urban centers, where they are employed in the elderly care sector, and thus their number is an indicator of urban prosperity.

In Cluster 4 (NE), climate variables (mainly wind velocity) and temperature) have a remarkable weight in the number of hectares burned. In any case, these variables have to be considered together with those describing land abandonment (a decreasing number of livestock farms results in larger shrub-land areas) and precarious economic conditions (lower GDP and/or income per capita). As in Cluster 3, the low number of foreigners indicates that these people live in larger cities, where they are employed in the elderly care sector.

In sum, in order to explain the number of hectares burned, the variables related to the different uses of the land, and to the climatological conditions, seem to bear more weight than others. Indeed, economic and population variables also fall behind in their ability to explain the size of wildfires, but our analysis shows that social variables have more to do with the causes of fires than with their consequences. Therefore, Cluster 3 is the most affected one in terms of hectares burned. Its difference with the other cluster lies in the economic and population characteristics explained above.

#### *Discussion and conclusions*

Previous literature suggests that there is a need for greater integration of social and biophysical systems in wildfire research to support community planning for wildfire risk mitigation and protection. Our findings contribute to fulfilling this need by confirming the potential role that socioeconomic variables can play in evaluating community vulnerability to wildfire, including wildfire occurrence and burned area, in the fire-prone regions.

Taking into consideration these variables may help community officials and wildfire managers optimize prevention activities. The factor and cluster analysis described demonstrated the existence of a geographical difference in the region of Galicia, and allowed us to run a much more accurate analysis of the characteristics of wildfires which may, in turn, also help enhance fire management decision making. This type of in-depth analysis is of use in adjusting the prevention efforts to the socioeconomic and environmental situation of each area.

Some valuable **insights** can be extracted from the previous analysis:

- Regarding **the variables**: In the first place, factor analysis splits the set of previously selected variables into various dimensions; this demonstrates the relation between certain variables, but also the existence of different socioeconomic components. These factors, similar to the dimensions described in the relevant literature (Adger 2006; Faas 2016), allow us to analyze the region with higher precision. In the second place, cluster analysis has made it possible to unearth geographical differences within the region; these geographical differences have proven to be very useful for fire management, as the variables within the factors affect the number of ignitions and the hectares burned differently. In general terms, Cluster 3 clearly presents a stronger connection between socioeconomic vulnerability and the characteristics of wildfires.
- Concerning **the dependent variable ‘Number of wildfires’**, the importance of the land and environmental dimensions is remarkable. Ignitions turn out to be directly related to an increase in available fuel load and in turn unveil the existence of ill-managed lands (Moreira et al. 2011). The presence of farms and livestock has also been suggested as an explanation for ignitions in rural areas (Ganteaume 2013); in this sense, the results confirm the direct relation between these variables and the number of ignitions. In addition, together with the relevant literature, this paper has considered the ageing of the rural population as one of the primary causes of ignitions through traditional fire-use practices (Grala et al. 2017). The existing relation between economic deprivation and ignitions, especially visible in Cluster 3 and 4, corroborates that the economic dimension plays an important role in wildfire occurrence. Nevertheless, the behavior of the unemployment rate shows contradictory findings: in Mercer and Prestemon (2005) it is considered as a proxy for economic activity, so there is a positive relationship between the number of ignitions and the unemployment rates; the negative relationship between unemployment and ignitions shown by this research could be explained because the unemployment variable is part of the ‘Population’ factor, and so it describes the features of urban centers, where number of ignitions is much lower.
- As far as **the dependent variable ‘Hectares burned’** is concerned, the effects of the independent variables are slightly different, as it is related to the fire’s behavior, that is, its intensity and spread (Calviño-Cancela et al. 2017). For this reason, the hectares burned are mostly affected by land-related variables or biophysical factors, at the expense of the economic and population variables (Balch et al 2017). Our results corroborate these previous findings, showing a significant impact of the meteorological variables, as well as the land-related variables, in the hectares burned. The remarkable and positive relationship between road density and hectares burned can be explained by the importance of roads in the spread of a wildfire; this finding confirms the results of some pieces of research. In contrast, roads have also proven to be of great help in stopping the spread of wildfires in some regions (Ganteaume 2013). Additionally, as it has already been pointed out by other authors (Grala et al. 2017; Cattau et al. 2020), to better explain the characteristics of fire it is still necessary to consider the interaction between climate, land and socioeconomic factors; this is reflected on the results of this research, where the population and its socioeconomic characteristics are statistically significant. In this respect, land abandonment, one of the main problems in rural areas, directly affects the quantity of fuel available, as it increases the presence of shrub and grassland, along with non-managed forest areas (Vega-García and Chuvieco 2006; Padli et al. 2018; Arellano-Pérez et al. 2018).

In addition to the findings described above, **the most important outcome** of this research is given by the use of cluster analysis, which allowed for a detailed exploration of the differentiated areas of the Galician region. The possibility of identifying significant inter-territorial differences in fire determinants may be paramount to the design of prevention actions with more precision. Indeed, a bespoke –and consequently more efficient- regional fire prevention system would result in great benefits for both the land and the people who inhabit it.

**In conclusion**, empirical evidence has shown that socioeconomic variables related to social vulnerability, such as population and its characteristics, income per capita, GDP, etc., can become as important as meteorological variables in wildfire occurrences and in the number of hectares burned. As a result, measures targeted to the development of the economy of rural areas, and to the improvement of land management, would contribute to reducing the occurrence and impact of wildfires. Moreover, in order to reduce the number of ignitions and hectares burned, it is necessary to revise the policies and practices of every territory involved: it is to be expected that working on the specific issues affecting each particular area will lead to a reduction in disasters like wildfires.

As previously stated, prevention is essential in order to keep emergencies from happening, and also to lessen the severity of this kind of events. A holistic approach encompassing all factors related to that emergency should be a focus point in the planning process, so as to improve emergency preparedness and fast response actions. Likewise, accurate knowledge of the land and its characteristics has proven to be fundamental in achieving a noteworthy improvement in firefighting in all its phases, from fire prevention to fire extinction.

#### *Acknowledgements.*

We acknowledge the support and the funding of “Fundación Aon España” and all the members of the “Catastrophe Observatory.” Funding: This study was funded by AON Foundation Spain. Also, the USFS service for their support.

#### *References*

- Adger, W. Neil. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change* 16:268–281.
- Ager, A. A., Kline, J. D., and Fischer, A. P. (2015). Coupling the biophysical and social dimensions of wildfire risk to improve wildfire mitigation planning. *Risk Analysis*, 35(8), 1393-1406.
- Alexander, David, J. 2013. Vulnerability. In *Encyclopedia of Crisis Management*. K. Bradley Penuel, Matt Statler, and Ryan Hagen, eds. Pp. 980–983. Los Angeles: Sage.
- Amatulli, G., Pérez-Cabello, F., and de la Riva, J. (2007). Mapping lightning/human-caused wildfires occurrence under ignition point location uncertainty. *Ecological modelling*, 200(3-4), 321-333.

Archibald, S. (2016). Managing the human component of fire regimes: lessons from Africa. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1696), 20150346

Arellano-Pérez, S., Ruiz-González, A. D., Álvarez-González, J. G., Vega-Hidalgo, J. A., Díaz-Varela, R., and Alonso-Rego, C. (2018). Mapping fire severity levels of burned area in Galicia (NW Spain) by Landsat images and the dNBR index: preliminary results about the influence of topographical, meteorological and fuel factors on the highest severity level. *Advances in Forest Fire Research 2018 - D. X. Viegas (Ed.) Chapter 5 - Decision Support Systems and Tools*[https://doi.org/10.14195/978-989-26-16-506\\_116](https://doi.org/10.14195/978-989-26-16-506_116)

Balch, J. K., Bradley, B. A., Abatzoglou, J. T., Nagy, R. C., Fusco, E. J., and Mahood, A. L. (2017). Human-started wildfires expand the fire niche across the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 114, 2946–2951. <https://doi.org/10.1073/pnas.1617394114>.

Barreal, J., Loureiro, M. and Picos, J. (2011). Estudio de la incidencia de los incendios en Galicia: una perspectiva socioeconómica [Study of the incidence of fires in Galicia: a socioeconomic perspective]. *Revista Galega de Economía*, 20.

Birkmann, J. (2013). Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies (second edition). *United Nation University Press*. Tokio & New York.

Boubeta, M., Lombardía, M. J., Marey-Pérez, M., and Morales, D. (2019). Poisson mixed models for predicting number of fires. *International Journal of Wildland Fire*, 28(3), 237-253.

Bowman, D. M., Moreira-Muñoz, A., Kolden, C. A., Chávez, R. O., Muñoz, A. A., Salinas, F., ... and Borchers, N. (2019). Human–environmental drivers and impacts of the globally extreme 2017 Chilean fires. *Ambio*, 48(4), 350-362.

Bowman, D. M., O'Brien, J. A., and Goldammer, J. G. (2013). Pyrogeography and the global quest for sustainable fire management. *Annual Review of Environment and Resources*, 38.

Bruña-García, X., and Marey-Pérez, M. (2018). The challenge of diffusion in forest plans: A methodological proposal and case study. *Forests*, 9(5), 240.

Calviño-Cancela, M., Chas-Amil, M. L., García-Martínez, E. D., and Touza, J. (2017). Interacting effects of topography, vegetation, human activities and wildland-urban interfaces on wildfire ignition risk. *Forest Ecology and Management*, 397, 10-17.

Cameron, A. Colin and Pravin K. Trivedi. (1998). *Regression Analysis of Count Data*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Cattau, M. E., Wessman, C., Mahood, A., and Balch, J. K. (2020). Anthropogenic and lightning-started fires are becoming larger and more frequent over a longer season length in the USA. *Global Ecology and Biogeography*, 29(4), 668-681.

Charnley, S., Kline, J. D., White, E. M., Abrams, J. McLain, R. J., Moseley, C., Huber-Stearns, H. (2018). Chapter 8: Socioeconomic well-being and forest management in Northwest forest plan- area communities. In: Spies, T.A.; Stine, P.A.; Gravenmier, R.; Long, J.W.; Reilly, M.J., tech. coords. (2018). Synthesis of science to inform land management within the Northwest Forest Plan area. *Gen. Tech. Rep.* PNW-GTR-966. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station: 625-715.

Costafreda-Aumedes, S., Comas, C., and Vega-Garcia, C. (2018). Human-caused fire occurrence modelling in perspective: a review. *International Journal of Wildland Fire*, 26(12), 983-998.

Coughlan, M., Ellison, A., and Cavanaugh, A. (2019). Social Vulnerability and Wildfire in the Wildland-Urban Interface Literature synthesis. Ecosystem work force program working paper number 96. *Northwest Fire Science Consortium*. Oregon State University

de Diego Abad, J., Fernández García, M., and Rúa Vieites, A. (2020). Influencia de la realidad socioeconómica de Galicia en la dinámica de producción de incendios forestales [Socioeconomic reality of Galicia and dynamics of forest fire production]. *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*, (84). <https://doi.org/10.21138/bage.2839>

De Diego, J.; Rúa, A. and Fernández, M. (2019). Designing a Model to Display the Relation between Social Vulnerability and Anthropogenic Risk of Wildfires in Galicia, Spain. *Urban Sci.* 3, 32.

Díaz-Avalos, C., Peterson, D. L., Alvarado, E., Ferguson, S. A., and Besag, J. E. (2001). Space time modelling of lightning-caused ignitions in the Blue Mountains, Oregon. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(9), 1579-1593.

Faas, A. J. (2016). Disaster vulnerability in anthropological perspective. *Annals of Anthropological Practice*, 40(1), 14-27.

Fernando Moreno-Brieva; Yanfei He; Carlos Merino. (2019). Manual Práctico para Datos de Panel. *Easy Global Practical Studies*. ISBN: 978-84-09-15553-8. DOI: 10.13140/RG.2.2.22226.40648.

Ganteaume, A., Camia, A., Jappiot, M., San-Miguel-Ayanz, J., Long-Fournel, M., and Lampin, C. (2013). A review of the main driving factors of forest fire ignition over Europe. *Environmental management*, 51(3), 651-662.

Grala, K., Grala, R. K., Hussain, A., Cooke, W. H., and Varner, J. M. (2017). Impact of human factors on wildfire occurrence in Mississippi, United States. *Forest Sector Trade*, 81, 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.04.011>

Hausman, J.A. (1978): "Specification test in econometrics". *Econometrica*. 46: 1251-1271.

Heumann, C., and Schomaker, M. (2016). Introduction to statistics and data analysis. *Springer International Publishing Switzerland*.

J. San-Miguel-Ayanz, T. Durrant, R. Boca, G. Liberta, A. Branco, D. de Rigo, D. Ferrari, P. Maianti, T. Artes Vivancos, H. Costa, F. Lana, P. Löffler, D. Nuijten, A.C. Ahlgren, T. Leray, *Forest fires in Europe, Middle East and north Africa*.(2017), EUR 29318 EN.

Jiménez-Ruano, A., Rodrigues Mimbbrero, M., and de la Riva Fernández, J. (2017). Exploring spatial–temporal dynamics of fire regime features in mainland Spain. *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 17(10).

Jímenez, I., and Medina, J. A. (2001). Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales.

Kaufman, L., and Rousseeuw, P. J. (2009). Finding groups in data: an introduction to cluster analysis (Vol. 344). *John Wiley & Sons*.

Keeley, J. E. and Syphard, A. D. (2018). Historical patterns of wildfire ignition sources in California ecosystems. *International journal of wildland fire*, 27(12), 781-799.

Lasanta, T., Nadal-Romero, E., and García-Ruiz, J. M. (2019). Clearing shrubland as a strategy to encourage extensive livestock farming in the Mediterranean mountains. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 45(2), 487-513.

Leone, V., Koutsias, N., Martínez, J., Vega-García, C., Allgöwer, B., and Lovreglio, R. (2003). The human factor in fire danger assessment. In *Wildland Fire Danger Estimation and Mapping: The Role of Remote Sensing Data* (pp. 143-196).

Lora, E. (2008). Técnicas de medición económica. *Metodología y aplicaciones en Colombia*, 4.

Loureiro, M. and Barreal, J. (2015). Modelling spatial patterns and temporal trends of wildfires in Galicia (NW Spain). *For. Syst.* 24, e022.

Mancini, L. D., Corona, P., and Salvati, L. (2018). Ranking the importance of Wildfires' human drivers through a multi-model regression approach. *Environmental Impact Assessment Review*, 72, 177-186.

Mann, M. L., Batllori, E., Moritz, M. A., Waller, E. K., Berck, P., Flint, A. L., ... Dolfi, E. (2016). Incorporating anthropogenic influences into fire probability models: Effects of human activity and climate change on fire activity in California. *PLoS ONE*, 11, e0153589. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153589>

Mansuy, N., Miller, C., Parisien, M. A., Parks, S. A., Batllori, E., and Moritz, M. A. (2019). Contrasting human influences and macro-environmental factors on fire activity inside and outside protected areas of North America. *Environmental Research Letters*, 14(6), 064007.

MAPAMA (2012) Los incendios Forestales en España (decenio 2001-2010). Enríquez Alcalde E, del Moral Vargas L Coord. ADIF. Madrid.

Mavsar, R., Cabán, A. G., and Varela, E. (2013). The state of development of fire management decision support systems in America and Europe. *Forest Policy and Economics*, 29, 45-55.

McCaffrey, S., Toman, E., Stidham, M., and Shindler, B. (2013). Social science research related to wildfire management: An overview of recent findings and future research needs. *International Journal of Wildland Fire*, 22, 15–24. <https://doi.org/10.1071/WF11115>

McLauchlan, K. K., Higuera, P. E., Miesel, J., Rogers, B. M., Schweitzer, J., Shuman, J. K., ... & Balch, J. K. (2020). Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers. *Journal of Ecology*, 108(5), 2047-2069.

Mercer, D. E., and Prestemon, J. P. (2005). Comparing production function models for wildfire risk analysis in the wildland–urban interface. *Forest policy and economics*, 7(5), 782-795.

Michetti, M. and Pinar, M. (2013). Forest fires in Italy: an econometric analysis of major driving factors. *CMCC research papers*, RP0152: pp. 1-39.

Molina-Terrén, D. M., Xanthopoulos, G., Diakakis, M., Ribeiro, L., Caballero, D., Delogu, G. M., ... & Cardil, A. (2019). Analysis of forest fire fatalities in southern Europe: Spain, Portugal, Greece and Sardinia (Italy). *International Journal of Wildland Fire*, 28(2), 85-98.

Moreira, F., Viedma, O., Arianoutsou, M., Curt, T., Koutsias, N., Rigolot, E., ... & Mouillot, F. (2011). Landscape–wildfire interactions in southern Europe: implications for landscape management. *Journal of environmental management*, 92(10), 2389-2402.

Moreno, J. M., Arianoutsou, M., González-Cabán, A., Mouillot, F., Oechel, W. C., Spano, D., ... & Véléz, R. (2014). Forest fires under climate, social and economic changes in Europe, the Mediterranean and other fire-affected areas of the world: FUME: lessons learned and outlook.

Moritz MA., Batllori E., Bradstock RA., et al. (2014). Learning to coexist with wildfire. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/nature13946>. doi: 10.1038/nature13946. vol. 515, no. 7525, p. 58

Moritz, MA., Morais, ME, Summerell LA, Carlson J and Doyle J .(2005). Wildfires, complexity, and highly optimized tolerance. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 102 17912–7

Padli, J., Habibullah, M.S., and. Baharom A. H. (2018). The impact of human development on natural disaster fatalities and damage: panel data evidence. *Economic Research-Ekonomika Istraživanja*, DOI: 10.1080/1331677X.2018.1504689.

Park, Hun Myoung. (2011). Practical Guides to Panel Data Modeling: A Step-by-step Analysis Using Stata. *Tutorial Working Paper*. Graduate School of International Relations, International University of Japan.” This document is based on Park, Hun Myoung. 2005-2009. Linear Regression Models for Panel Data Using SAS, Stata, LIMDEP, and SPSS. The University Information Technology Services (UITS) Center for Statistical and Mathematical Computing, Indiana University.

Prestemon, J. P., Hawbaker, T. J., Bowden, M., Carpenter, J., Brooks, M. T., Abt, K. L., ... & Scranton, S. (2013). Wildfire ignitions: a review of the science and recommendations for empirical modeling. Gen. Tech. Rep. SRS-GTR-171. Asheville, NC: USDA-Forest Service, Southern Research Station. 20 p., 171, 1-20.

Prestemon, J. P., and Butry, D. T. (2005). Time to burn: modeling wildland arson as an autoregressive crime function. *American journal of agricultural economics*, 87(3), 756-770.

Rodríguez Guitián, M.A. and Ramil-Rego P. (2007). Clasificaciones climáticas aplicadas a galicia: Revisión desde una perspectiva biogeográfica. *Recursos Rurais. IBADER: Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural.*; Vol1 nº 3: 31-53.

Rodríguez-Vicente, V.; Marey-Pérez, M. (2010). Analysis of individual private forestry in northern Spain according to economic factors related to management. *J. For. Econ.*, 16, 269–295.

Romero-Calcerrada, R., Barrio-Parra, F., Millington, J. D. A., & Novillo, C. J. (2010). Spatial modeling 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.

San-Miguel-Ayanz J., Camia A. (2010). Forest fires. In: Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe: an overview of the last decade. *EEA Technical report No 13/2010*, Publications Office of the European Union, Luxembourg, pp 49–55.

San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Boca, R., Liberta`, G., Branco, A., De Rigo, D., Ferrari, D., Maianti, P., Artes Vivancos, T., Pfeiffer, H., Loffler, P., Nuijten, D., Leray, T. and Jacome Felix Oom,



D.(2019).Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2018, EUR 29856 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, , ISBN 978-92-76-11234-1 (online),978-92-76-12591-4 (print), doi:10.2760/1128 (online),10.2760/561734 (print), JRC117883.

Syphard, A. D., Radeloff, V. C., Keeley, J. E., Hawbaker, T. J., Clayton, M. K., Stewart, S. I., and Hammer, R. B. (2007). Human influence on California fire regimes. *Ecological applications*, 17(5), 1388-1402.

Taylor, A. H., Trouet, V., Skinner, C. N., & Stephens, S. (2016). Socioecological transitions trigger fire regime shifts and modulate fire–climate interactions in the Sierra Nevada, USA, 1600–2015 CE. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(48), 13684-13689.

Turco, M., Jerez, S., Augusto, S., Tarín-Carrasco, P., Ratola, N., Jiménez-Guerrero, P., and Trigo, R. M. (2019). Climate drivers of the 2017 devastating fires in Portugal. *Scientific reports*, 9(1), 1-8.

Turco, M., Llasat, M. C., von Hardenberg, J., & Provenzale, A. (2014). Climate change impacts on wildfires in a Mediterranean environment. *Climatic Change*, 125(3-4), 369-380.

Vega-García, C., and E. Chuvieco. (2006). Applying local measures of spatial heterogeneity to Landsat-TM images for predicting wildfire occurrence in Mediterranean landscapes. *Land scape Ecology*. 21:595–605.

Vilar, L., Camia, A., and San-Miguel-Ayanz, J. (2014). Modelling socio-economic drivers of forest fires in the Mediterranean Europe. Parte: <http://hdl.handle.net/10316.2/34013>.

Wisner, B. 2016. Vulnerability as concept, model, metric, and tool. *Natural Hazard Science*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.25>.

#### *Conflicts of Interest.*

The authors declare that they have no conflict of interest. The article has not been published elsewhere, nor has it been submitted simultaneously for publication elsewhere.

## Principales resultados, contribuciones de este trabajo y líneas de investigación futuras

### Resumen de resultados

El objetivo de la investigación, **determinar la relación de la vulnerabilidad social con los incendios forestales en Galicia**, se va alcanzado de una forma más precisa y concreta a medida que se ahonda en los cuatro artículos que configuran la tesis doctoral. En este sentido, el efecto de las variables socioeconómicas relacionadas con la vulnerabilidad es significativo y además se observa una delimitación territorial que consigue afinar, en mayor medida, las conclusiones que se obtienen del análisis.

Los resultados más importantes de los cuatro artículos son los siguientes:

1. El primer artículo tiene como objetivo **determinar las variables relacionadas con la vulnerabilidad en la producción de incendios forestales**. Atendiendo al resultado de la investigación, dichas variables son el envejecimiento poblacional y la densidad de población. Estas variables se relacionan con el abandono del territorio ya que juntas reflejan regiones deprimidas, con altos valores de envejecimiento y gran número de incendios. Unido a esto se aprecian valores referidos al abandono territorial, y población con bajos recursos e ingresos.
2. En el segundo artículo se pretende por una parte **estudiar la distribución espacial de las áreas afectadas por los incendios forestales y por otra establecer la relación entre las variables socioeconómicas y medioambientales** en referencia a los municipios gallegos **y las hectáreas quemadas y el ratio hectáreas/nº de incendios ocurridos**. A través del análisis realizado, pudimos comprobar que las distintas variables socioeconómicas seleccionadas son importantes a la hora de determinar tanto las hectáreas quemadas como la intensidad de los incendios. Uno de los principales hallazgos de la investigación es que los efectos son distintos dependiendo de la zona de Galicia a la que nos refiramos. Así, a través de la prueba de Chow, se constató la presencia de un cambio estructural en el análisis de los datos. Se realizaron varios modelos para diferentes zonas de la Comunidad Autónoma. Las variables climáticas, en cambio, no fueron tan determinantes. Esto se debe a la que la media de dichas variables agregada en quince años tiende a igualarse y por tanto no se pueden comprobar los efectos de los casos extremos en grandes incendios forestales.
3. El objetivo del tercer artículo es **estudiar el efecto de las variables socioeconómicas relacionadas con la vulnerabilidad social sobre las características de los incendios forestales (igniciones, hectáreas quemadas e intensidad) a lo largo del tiempo en Galicia**. En este sentido, una vez más, entre los resultados obtenidos destacan ciertas variables relacionadas

con la vulnerabilidad como son la población envejecida y la falta de población joven. Además, el modelo utilizado en este caso, los datos de panel, nos permite ser más precisos en el tiempo establecido ya que la estructura de datos de panel arroja unos resultados que se ajustan mejor a la realidad de Galicia, pudiendo observar cambios en el territorio en cada uno de los 15 años de observación.

4. En el último artículo, con el objetivo de **confeccionar nuestro propio mapa de la vulnerabilidad social y la producción de incendios forestales en Galicia** se refinan los resultados obtenidos en los anteriores, consiguiéndose de esta manera un análisis más preciso tanto temporal como territorialmente. Se obtuvieron siete factores de vulnerabilidad, que a su vez fueron agrupados en tres dimensiones: Territorial-ambiental, poblacional y económica. Además, el análisis clúster permitió dividir Galicia en cuatro grandes áreas en cuanto a su comportamiento ante los incendios. Resulta reseñable el hecho de que las áreas obtenidas en el análisis estadístico coinciden con la demarcación de las cuatro provincias gallegas. Finalmente, la aplicación de los modelos de datos de panel (años 2000-2015) a cada uno de los grupos obtenidos nos permitió encontrar aquellas variables socioeconómicas más relevantes en la producción de incendios para cada una de las cuatro áreas geográficas seleccionadas. Este hecho ha permitido afinar en las recomendaciones que se haga a los responsables de gestionar la prevención y mitigación de incendios forestales en Galicia, mejorando de esta manera la administración de recursos y el servicio a la comunidad.

#### Conclusiones generales

La investigación realizada ha permitido establecer una relación entre las características socioeconómicas relacionadas con la vulnerabilidad que definen Galicia y las características de los incendios forestales en esta comunidad autónoma. Estos resultados pueden ser de gran utilidad a la hora de encarar un problema que cada año acucia a esta región, generando cuantiosas pérdidas económicas, medioambientales y humanas en todos los sectores.

Los hallazgos de nuestra investigación permitirán, pues, explorar la **implementación de medidas de prevención complementarias a todo el actual sistema de lucha contra incendios forestales** promovido por la Xunta de Galicia a través de PLADIGA, de cara a reducir el número de emergencias. La relevancia de los resultados, que establecen una relación entre las variables socioeconómicas relacionadas con la vulnerabilidad social y los incendios forestales, debe ser tomada en consideración por los decisores técnicos y políticos. Es necesario **incrementar el gasto público en prevención de incendios forestales y desarrollar las estrategias de anticipación**; esto debería ser prioritario al igual que la práctica común actualmente: gasto en emergencias (PLADIGA, 2020).

No solo es necesario actuar sobre las cuestiones climáticas, medioambientales y naturales a la hora de disminuir el riesgo; hay que incidir en todos los aspectos relacionados con la población que tienen influencia. Por lo tanto, se deben **elaborar estrategias** que sean complementarias a las labores de prevención, donde se mitiguen los impactos adversos de algunos factores relacionados. El hecho de que se hayan identificado una serie de variables socioeconómicas muy concretas relacionadas con la vulnerabilidad social y los incendios forestales permite **centrar la atención en aquellas cuestiones clave para lograr una mayor incidencia en las actuaciones de minimización** de su producción y/o prevención de los mismos. Las medidas que tratamos en esta investigación están relacionadas con **características poblacionales, territoriales y económicas**. Los resultados se caracterizan por ser a **medio-largo plazo**, pero con un **gran impacto**, ya no solo para la prevención sino **para el tejido social en general**.

Si nos centramos en las cuestiones poblacionales, la investigación demuestra que una mejora de la calidad de vida en el ámbito rural puede alterar las variables relacionadas con este entorno y, por tanto, con los incendios. Así, el **abandono progresivo del medio rural** es uno de los principales problemas que favorecen los incendios forestales. A su vez, este lleva asociadas **cuestiones sociales** (envejecimiento, baja densidad, etc.) y el trabajo sobre estas debe promover un **intercambio entre las diferentes estructuras poblacionales** y que a la vez se pueda **incidir en ciertos comportamientos tradicionales** dañinos, asociados a sociedades envejecidas. Ello permitiría mejorar los índices de recambio de población activa y la estructura demográfica.

Por otro lado, desde la perspectiva territorial, un aspecto relevante son las deficiencias en la gestión del territorio forestal, que lleva asociados la **pérdida de valor del monte y el aumento de combustible, con el consecuente incremento del riesgo de incendios**. Otro ejemplo de las variables relacionadas con el territorio, que son complejas y frecuentemente comprenden una dualidad que es difícil de medir; son las **explotaciones ganaderas**, que controlan el combustible vegetal disponible en la mayor parte del territorio, pero, puntualmente, los propietarios queman áreas forestales intencionadamente para expandir las zonas de pasto disponible. En este sentido, añadiendo valor al entorno, cambia la percepción de la población hacia él, velando por su conservación. La manera más eficiente de mantener las funciones económicas sociales y medioambientales de estas áreas es a través de medidas que enfatizan en la importancia de éstas antes de la ocurrencia de un evento catastrófico. Todo ello conllevaría una **mejora de la calidad de vida en las zonas rurales**, incidiendo como ya hemos comentado en variables como la densidad de población y la renta por habitante. **Otorgando valor al bosque** se cambia la percepción que se tiene de los medios forestales y por tanto se pueden reducir los incendios.

Asimismo, dentro de los factores económicos relacionados hay que tener en cuenta que el monte gallego es un recurso para la obtención de materias primas y también un espacio de suma **importancia dentro del sector del turismo**, esto es, **el monte tiene un valor intrínseco**. Por esta razón, si la población local tomara conciencia de esta realidad, se lograría el objetivo de mantener y conservar estos territorios forestales. Un ejemplo, en lo que respecta a los modelos desarrollados en esta investigación, es la **gestión de las zonas de interfaz urbano forestal**, relacionadas con variables como la proporción de dispersados/núcleos y el PIB, y el trabajo directo cuestiones económicas (baja renta bruta por habitante, bajo valor catastral, etc.).

En este sentido, es importante destacar que los trabajos que se llevan a cabo en materia de prevención son competencia de las instituciones públicas, concretamente de la Administración Central del estado. No obstante, estas competencias están transferidas a las Comunidades Autónomas. Como se ha podido comprobar, los factores poblacionales, territoriales y económicos son igualmente importantes en la toma de decisiones para la mejora de la prevención. Esto es debido principalmente a la estrecha relación que hay entre todas las variables que conforman la vulnerabilidad de cada territorio. Por este motivo, para mejorar la gestión de los riesgos naturales y en concreto de los incendios forestales, **resulta necesario implicar a las entidades locales**, primeras conocedoras de la realidad socioeconómica que afecta a cada uno de sus municipios. Esto resulta complicado a corto plazo, pero una mayor incidencia en la mejora de la calidad de vida en el medio rural previsiblemente modificaría de manera positiva estas variables de cara a su relación con los incendios forestales. Se detecta la necesidad de establecer modelos de desarrollo sostenible donde se tengan en cuenta los aspectos sociales que destacan como una causa de los incendios forestales.

Como se ha venido demostrando en esta investigación, **uno de los grandes desafíos es establecer la unión entre todos los factores que intervienen en un incendio forestal, desde la prevención hasta la extinción, entendiendo su comportamiento y minimizando sus efectos**. En definitiva, este trabajo ha permitido probar la influencia de las variables socioeconómicas en las características de los incendios forestales en Galicia. Sus conclusiones permiten sugerir que, trabajando sobre estas cuestiones, se puede generar un cambio en los efectos destructivos de los incendios de origen antrópico.

Sin embargo, también se ha demostrado que **las medidas no pueden ser las mismas para toda la región**. Siguiendo la tendencia de las últimas investigaciones, se ha precisado lo máximo posible el efecto de las variables socioeconómicas, con el objetivo de detectar áreas lo más pequeñas posible donde se pueden observar efectos sobre incendios forestales. **Esto es necesario para mejorar la**

**prevención, incidiendo sobre la problemática exacta** que afecta a cada unidad observacional. Por lo tanto, con el objetivo de reducir el número de incendios y las hectáreas quemadas, es necesario **revisar las políticas y prácticas de cada territorio involucrado**; en este sentido, trabajando en los problemas específicos que afectan a las regiones estudiadas puede conllevar una reducción de los incendios forestales.

La prevención es fundamental para evitar que se produzcan emergencias y también para atenuar la gravedad de este tipo de eventos. **Un enfoque holístico que abarque todos los factores** relacionados con esa emergencia debe ser tenido en cuenta **en el proceso de planificación**, a fin de mejorar la preparación para emergencias y las acciones de respuesta rápida. Asimismo, nuestra investigación ha demostrado que **el conocimiento preciso del terreno y sus características es fundamental para lograr una mejora notable en la lucha contra incendios en todas sus fases, desde la prevención hasta la extinción.**

#### Líneas de investigación futuras

Entre los meses de febrero y mayo de 2020 se realizó una estancia doctoral en el Servicio Forestal de Estados Unidos (<https://www.fs.fed.us/>), concretamente en su sede “Pacific Northwest Research Station” de Corvallis, Oregón. El objetivo de la estancia fue replicar la metodología usada en España con datos de EEUU, bajo la supervisión del Dr. Jeffrey D. Kline (<https://www.fs.fed.us/research/people/profile.php?alias=jkline>), investigador de esta institución.

Actualmente se está trabajando con una base de datos muy completa que abarca tanto el estado de Oregón como el de Washington. Se han utilizado diferentes fuentes de datos como son el Censo de EE. UU. y la base de datos de incendios forestales del US Forest Service. Se han elaborado los modelos correspondientes que permiten establecer la relación entre los incendios forestales y la vulnerabilidad social en los sub-condados de los dos estados implicados. Con los resultados obtenidos se elaborará un artículo en una revista alto impacto, todavía por determinar con el supervisor. De esta manera, esta tesis opta a la mención de Doctorado Internacional.

Por último, se apuntan dos líneas adicionales de investigación que permitirían complementar los resultados, refinar las conclusiones obtenidas y, por ende, establecer unas recomendaciones políticas que redunden de manera más efectiva en el beneficio de la población afectada.

En primer lugar, muchos de los actores implicados ponen inconvenientes a la hora de facilitar información respecto de financiación en incendios forestales, distribución precisa de los fondos destinados a prevención, cuestiones relacionadas con la contratación de personal de extinción y

trabajos de prevención, etc. En este sentido, disponiendo de más información de las variables implicadas o incluso nuevas variables, se puede mejorar la precisión de los modelos desarrollados.

En segundo lugar, se puede recurrir a la utilización de técnicas cualitativas de investigación (entrevistas, grupos de discusión, observación participante, investigación acción participativa), como herramienta metodológica complementaria a la utilizada en esta tesis. A través de esta vía se podrían captar cuestiones relevantes en la temática de incendios forestales tales como puede ser la percepción del riesgo, la valoración del entorno natural, la educación ante catástrofes naturales, etc. Por ejemplo, Seijo (2005), describe, a través de diferentes entrevistas a los actores implicados en los incendios forestales, la tradición y cultura existente alrededor del fuego en Galicia. Además, no debe olvidarse que Galicia siempre ha sido el foco de atención mediático en lo que a incendios forestales se refiere. No sólo por la cantidad de incendios que se producen cada año, sino por cuestiones políticas y la intencionalidad, o conceptos como “economía del fuego”, “terrorismo incendiario”, “Galicia no arde, la queman”, entre otros muchos. Al largo de las dos últimas décadas han surgido distintas noticias y afirmaciones relacionadas con los incendios que han puesto en el punto de mira a las empresas de Galicia, a los servicios de extinción y a la Xunta. En muchos casos han sido reprobados, como puede ser la recalificación de las zonas quemadas para obtención de terreno edificable o las quemas para producir zonas de plantación de eucaliptos. Aun así, hay otros hechos que siguen sin ser claros, como la quema por parte de las cuadrillas contratadas temporalmente y las irregularidades alrededor de la contratación de estas, los procesos judiciales excesivamente laxos o el sobrado conocimiento de la actividad incendiaria y quienes la realizan por parte de las autoridades locales, sin efecto alguno.

## Bibliografía

Barreal, J. y Loureiro, M. L. (2015). Modelling spatial patterns and temporal trends of wildfires in Galicia (NW Spain). *Forest Systems*, 24(2).

Bergstrand, K., Mayer, B., Brumback, B. y Zhang, Y. (2015). Assessing the relationship between social vulnerability and community resilience to hazards. *Social indicators research*, 122(2), 391-409

Birkmann, J., Cardona, O. D., Carreño, M. L., Barbat, A. H., Pelling, M., Schneiderbauer, S. ... y Welle, T. (2013). Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework. *Natural hazards*, 67(2), 193-211.

Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. y Wisner, B. (2014). *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Routledge.

Brunsmas, D. y Picou, J. S. (2008). Disasters in the twenty-first century: Modern destruction and future instruction. *Social Forces*, 87(2), 983-991.

Elliott, J. R. y Pais, J. (2010). When nature pushes back: Environmental impact and the spatial redistribution of socially vulnerable populations. *Social Science Quarterly*, 91(5), 1187-1202.

Faas, A. J. (2016). Disaster vulnerability in anthropological perspective. *Annals of Anthropological Practice*, 40(1), 14-27.

FAO (2007) Fire management global assessment 2006. A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Forestry Paper 151. (Rome, Italy).

FAO (2010) Global Forest Resources Assessment 2010 – Main report. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Forestry Paper 163. (Rome, Italy)

Fernández-Couto, T. (2006). Los incendios forestales en Galicia. Valencia: Real Sociedad Económica de Amigos del País Valencia (RSEAPV). Universidad de Valencia. Recurso disponible en la web de la RSEAPV.< [http://www.uv.es/rseapv/Anales/06/A\\_Los\\_incendios\\_forestales.pdf](http://www.uv.es/rseapv/Anales/06/A_Los_incendios_forestales.pdf)>.

Hernández, L. (2016). Dónde arden nuestros bosques. Análisis y soluciones de WWF.

Koch, G., Ager, A., Kline, J., y Fischer, P. (2016). Polishing the prism: improving wildfire mitigation planning by coupling landscape and social dimensions. *Science Findings* 189. Portland, OR: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 5 p., 189.

Martín, L. G. (2012). Las interfaces urbano-forestales: un nuevo territorio de riesgo en España. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*.

Martínez, J., Martínez, J. y Martín, M. P. (2004). El factor humano en los incendios forestales: Análisis de factores socio-económicos relacionados con la incidencia de incendios forestales en España. *Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales*. (Eds E Chuvieco, MP Martín) pp, 101-142.

Martínez-Fernández, J., Chuvieco, E. y 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(2), 311-327.

McCaffrey, S., Toman, E., Stidham, M. y Shindler, B. (2013). Social science research related to wildfire management: an overview of recent findings and future research needs. *International Journal of Wildland Fire*, 22(1), 15-24.

Modica, M. y Zoboli, R. (2016). Vulnerability, resilience, hazard, risk, damage, and loss: a socio-ecological framework for natural disaster analysis. *Web Ecology*, 16(1), 59-62.



- Morrow, B. H. (1999). Identifying and mapping community vulnerability. *Disasters*, 23(1), 1-18.
- PLADIGA. (2020). Memoria. Plan de Prevención e Defensa Contra os Incendios Forestais de Galicia [Memory. Prevention Plan of Defense Against Forest Fires of Galicia]. Xunta de Galicia, Consellería do medio rural.
- Ponte Pintor, J. M., y Bandín Buján, C. (2008). Los incendios forestales en Galicia y su investigación.
- Prestemon, J. P., Pye, J. M., Butry, D. T., Holmes, T. P. y Mercer, D. E. (2002). Understanding broadscale wildfire risks in a human-dominated landscape. *Forest science*, 48(4), 685-693.
- Rey, F. B. (2015). Imaginarios de monte y fuego. Los incendios forestales en Galicia. *imagonautas. Revista interdisciplinaria sobre imaginarios sociales*, (6), 15-26.
- Rodrigues, M., Jiménez-Ruano, A., Peña-Angulo, D. y De la Riva, J. (2018). A comprehensive spatial-temporal analysis of driving factors of human-caused wildfires in Spain using geographically weighted logistic regression. *Journal of environmental management*, 225, 177-192.
- Rodríguez Guitián, M. A. y Ramil Rego, P. (2007). Clasificaciones climáticas aplicadas a Galicia: revisión desde una perspectiva biogeográfica.
- Ruiz Rivera, N. (2012). La definición y medición de la vulnerabilidad social. Un enfoque normativo. *Investigaciones geográficas*, (77), 63-74.
- SECF (Sociedad Española de Ciencias Forestales). (2010). Situación de los bosques y del sector forestal en España [online], available in: <http://www.secforestales.org/web/images/inforestal2010.pdf>
- Seijo, F. (2005). The politics of fire: Spanish forest policy and ritual resistance in Galicia, Spain. *Environmental Politics*, 14(3), 380-402.
- Spies, T. A., E. M. White, J. D. Kline, A. P. Fischer, A. Ager, J. Bailey, J. Bolte, J. Koch, E. Platt, C. S. Olsen, D. Jacobs, B. Shindler, M. M. Steen-Adams, y R. Hammer. (2014). Examining fire-prone forest landscapes as coupled human and natural systems. *Ecology and Society* 19(3): 9. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06584-190309>.
- UNISDR (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgos de Desastre). (2015). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. Ginebra: UNISDR. [https://www.unisdr.org/files/43291\\_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf](https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf)
- Viedma, O., Urbieto, I. R. y Moreno, J. M. (2018). Wildfires and the role of their drivers are changing over time in a large rural area of west-central Spain. *Scientific reports*, 8(1), 1-13.