



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS



GRADO EN GEOGRAFÍA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

TRABAJO FIN DE GRADO

Curso: 2019-2020

Director: Domingo Rasilla Álvarez

**IMPACTO EN LA CALIDAD DEL AIRE DE
LOS INCENDIOS FORESTALES: GALICIA,
OCTUBRE DE 2017**

**IMPACT ON AIR QUALITY OF FOREST FIRES:
GALICIA, OCTOBER 2017**

Diego Ruiz Andrés

Junio de 2020

RESUMEN

Octubre de 2017 constituyó uno de los episodios de incendios más graves registrados recientemente en la Península Ibérica: en sólo dos días, el 14 y 15, se calcinaron más de 49.000 ha en Portugal y Galicia. El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es una primera aproximación al análisis de las causas y consecuencias de estos incendios, poniendo especial atención en las afecciones sobre la calidad del aire.

Este episodio de incendios se desarrolló bajo unas condiciones meteorológicas muy favorables: una intrusión de aire sahariano provocó altas temperaturas y baja humedad relativa, mientras que los fuertes vientos causados por los restos del huracán Ophelia ayudaron a propagar las llamas, todo ello precedido de una prolongada sequía. Los elevados valores de partículas en suspensión medidos en la costa de Galicia a lo largo del día 15, ligados a la intrusión sahariana, se propagaron a regiones vecinas, a causa de la dispersión de los residuos provocados por los incendios. Algunos de estos residuos también alcanzaron países de Europa Occidental y Septentrional.

Palabras clave: Galicia, incendios forestales, calidad del aire.

ABSTRACT

October 2017 fires in Galicia and Portugal have been one of the most serious fire events recently recorded in the Iberian Peninsula during the last decade: in two days, the 14th and 15th of October, more than 49,000 ha were burned. The objective of this work is an initial approach to the analysis of the causes and consequences of these fires, paying special attention to the affections on air quality.

This episode took place under very favorable weather conditions: a Saharan air intrusion, responsible for the high temperatures and low relative humidity, while the remnants of Hurricane Ophelia helped to spread the flames, all of this preceded by a prolonged drought. The high values of suspended particles measured on the Galician coast throughout the 15th of October, mostly linked to the Saharan intrusion, spread to neighboring regions the following day due to the dispersion of the waste caused by the fires. Some of them also spread thought Europe.

Key words: Galicia, forest fires, air quality.

ÍNDICE

	Págs.
1. INTRODUCCIÓN	4
1.1. Geografía de los incendios forestales	4
1.2. Impactos de los incendios en el territorio	6
1.3. Objetivos	8
2. FUENTES DE INFORMACIÓN Y METODOLOGÍA	9
3. EL CONTEXTO GEOGRÁFICO	11
3.1. Galicia, una región singular	11
3.2. Distribución geográfica de los incendios forestales en Galicia	13
3.3. Factores que aumentan el riesgo de incendios en Galicia	14
3.4. Medidas adoptadas para la prevención	16
4. LOS INCENDIOS DE OCTUBRE DE 2017	18
4.1. Caracterización geográfica	18
4.2. Mecanismos atmosféricos desencadenantes	22
4.2.1. A corto plazo: huracán Ophelia	22
4.2.2. A medio y largo plazo: la sequía	27
4.3. Impactos sobre la calidad del aire	30
4.3.1. Intrusión de aire sahariano	30
4.3.2. Análisis de la calidad del aire	32
4.3.3. La dispersión transfronteriza de contaminantes	36
5. CONCLUSIONES	41
BIBLIOGRAFÍA	43
FUENTES	44

1. INTRODUCCIÓN

El fuego es un elemento más de la dinámica de los sistemas naturales, ya desde el momento en el que la atmósfera terrestre contuvo cantidades apreciables de oxígeno. El análisis paleontológico señala su presencia ya en épocas como el Cretácico, por lo que algunas especies vegetales han evolucionado para adaptarse a un régimen de incendios frecuentes (Pausas, 2010).

Uno de los principales hitos de la evolución humana es el dominio del fuego, momento a partir del cual se convirtió en una herramienta habitual de muchas sociedades con finalidades agrícolas y ganaderas, además de formar parte en el modo de vida de estos primeros pobladores para su propio beneficio (James, 1989). Desde entonces, las actividades realizables con y gracias al fuego han ido evolucionando hasta hoy en día, pasando por su utilización como arma de destrucción en batallas, especialmente en el periodo medieval, como método de comunicación con las señales de humo etc.

1.1. GEOGRAFÍA DE LOS INCENDIOS FORESTALES

Cuando el fuego se extiende sin control sobre los combustibles forestales situados en el monte, nos encontramos ante un incendio forestal (RAE, 2019). Éstos, en su mayoría, son causados por el hombre (aproximadamente el 95% del total), aunque todavía las tormentas causan incendios naturales. Actualmente, la mayoría de los incendios se concentran en latitudes tropicales y subtropicales (Figura 1); esta elevada frecuencia está relacionada fundamentalmente con prácticas agrícolas, que requieren la quema continua para obtener nuevos terrenos (agricultura y ganadería extensivas), y que está conduciendo a un proceso generalizado de deforestación de los bosques tropicales. Otra región muy afectada por los incendios forestales es el SE de Australia, producto de una vegetación susceptible a los incendios y unas condiciones climáticas propicias a los periodos prolongados de sequía y altas temperaturas. También se aprecia una banda de incendios en latitudes medias, que en algunos casos está causada por el uso de las quemadas agrícolas como método de fertilización de las tierras y eliminación de rastrojos (pe. Ucrania).

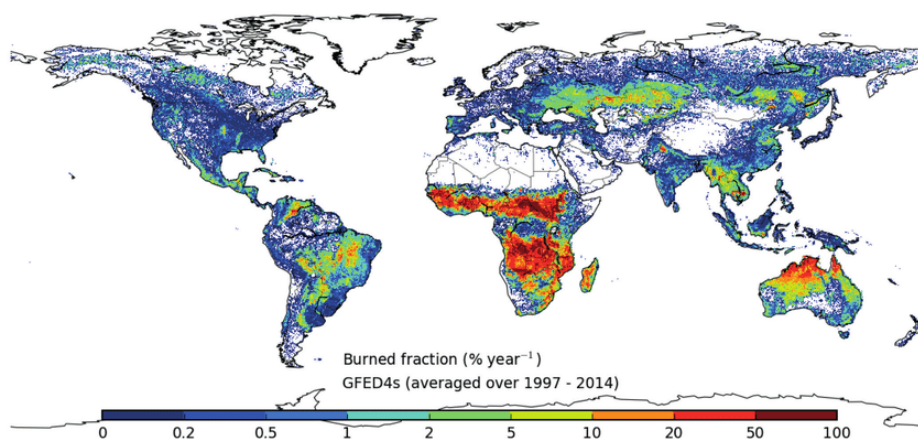


Figura 1: Distribución mundial de la superficie quemada 1997-2014

Fuente: Randerson *et al.*, 2018.

Otro de los ámbitos geográficos más afectados por los incendios forestales es el mediterráneo. Entre 2009 y 2018 experimentó una media anual de más de 56.000 siniestros, en los que ardieron más de 375.000 ha, aproximadamente el 0,6% de la superficie forestal total, con episodios especialmente relevantes (2003, 2007). Los ecosistemas mediterráneos son particularmente vulnerables, ya que, al factor climático (sequía estival) se añaden los efectos sinérgicos de una arraigada cultura del fuego, el abandono de usos tradicionales por una acelerada despoblación del mundo rural (grandes acumulaciones de combustible), y una gestión forestal discutida (replantaciones que ocupan grandes superficies). Estas causas son especialmente evidentes en los dos países que acumulan la mayor superficie quemada en el último decenio, Portugal y España (Hernández, 2019).

En España, la media anual de incendios a lo largo del último decenio fue 14.476, afectando a una superficie de 108.282 ha (MAPA, 2016), aunque la actividad también se distribuye de manera heterogénea. Paradójicamente, la zona más afectada, tanto en número de incendios como en superficie quemada es el noroeste de España, que incluye gran parte de la España Húmeda (comunidades autónomas de Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco, y las provincias de León y Zamora, pertenecientes a Castilla y León). En esta región se registran como de media 8.186 siniestros al año, mientras que la superficie quemada se sitúa muy cerca de las 60.000 ha anuales, representando en ambos casos más del 50% del total nacional. Obsérvese que a medida que nos alejamos de esta región, la ratio entre superficie quemada e incendios aumenta, ya que su dinámica está protagonizada

por un menor número de incendios, pero de una mayor virulencia, circunstancia que alcanza un máximo en Canarias.

A los factores anteriormente señalados se está añadiendo las consecuencias ligadas al calentamiento global. La alteración de los regímenes habituales de temperaturas y precipitaciones a lo largo de todo el planeta, con sequías largas e intensas, combinadas con olas de calor y episodios de vientos intensos, están favoreciendo un aumento del riesgo de incendios forestales (Flannigan et al., 2006). Este aumento del riesgo está modificando también los patrones de incendios forestales y perjudicando los esfuerzos de extinción, de tal manera que, aunque en algunos países disminuye la superficie total quemada, el número de grandes incendios y su virulencia está aumentado. Son los conocidos como “incendios de 6ª generación”, fuegos capaces de modificar las condiciones atmosféricas locales en forma de sistemas convectivos (“fire storms”), razón por la cual escapan de las capacidades actuales de los sistemas de extinción (Castellnou, 2018).

1.2. IMPACTOS DE LOS INCENDIOS

Los incendios forestales, especialmente cuando alcanzan grandes dimensiones, tienen una serie de impactos negativos sobre el medio natural y las actividades humanas. La pérdida de la cubierta vegetal tiene evidentes e inmediatas consecuencias sobre la fauna (especialmente de invertebrados) y la flora, que suelen prolongarse algunos años tras el incendio, y en ocasiones, pueden ser permanentes. También son evidentes las huellas sobre los suelos y la cantidad y calidad de los recursos hídricos, con una intensificación de los procesos erosivos sobre laderas.

Desde el punto de vista económico, las pérdidas también son relevantes, con cifras que superan los 54 billones de euros a nivel europeo en el periodo 2000-2017, lo que supone más 3 billones de euros al año (European Commission, 2018). Indirectamente, hay que añadir también la carga económica que supone para algunos estados los dispositivos técnicos y humanos movilizados para la extinción de los incendios.

Finalmente, cabe señalar el coste en vidas humanas. Aunque no existen estadísticas fiables, los publicados continúan mostrando la peligrosidad del trabajo, ya que, en España, según los datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 2016), fallecieron 147 personas trabajando en la extinción entre 1991 y 2015, siendo la mayor cantidad de muertes por atrapamientos y accidentes aéreos.

Un impacto menos conocido está relacionado con la calidad del aire. La combustión genera una serie de productos de desecho, algunos de carácter sólido, como las partículas, y otros gaseosos, como el humo, cuya composición química depende del material quemado. En el caso de los incendios forestales, el humo emitido se compone de partículas, dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NO) y otros compuestos químicos, por lo que, al ser respirado, tiene graves efectos sobre la salud de los seres humanos y animales. Los elementos más perjudiciales son la inhalación de partículas en suspensión y de monóxido de carbono. Las partículas son de distintos tamaños, pero las más peligrosas para los humanos son las pequeñas (entre 0,1 y 2,5 µm), ya que penetran de una manera directa en los pulmones, causando enfermedades respiratorias graves.

Como consecuencia de la inhalación de estos contaminantes, aparecen diferentes trastornos, que afectan sobre todo al aparato respiratorio (asma, cáncer de pulmón), aunque no son ajenos trastornos relacionados con la salud mental, con vínculos en relación a la depresión y el suicidio (Caamano-Isorna *et al.*, 2011; UCL, 2019).

Los contaminantes emitidos por los incendios forestales pueden extenderse lejos de su foco inicial, afectando a poblaciones alejadas de esos focos. Ejemplos relevantes de esta contaminación transfronteriza se produjeron en mayo 2016, cuando el humo de los incendios que afectaron al estado de Alberta (Canadá) alcanzó España y otros países europeos, tras cruzar todo el Océano Atlántico, empujado por la corriente de chorro. Estos incendios calcinaron más de 522.300 ha y obligaron la evacuación de 88.000 personas en las zonas más próximas a los focos (El Mundo, 2016). De manera aún más evidente, los incendios de Indonesia, entre 1997-1998, en los que se quemaron aproximadamente un millón de hectáreas, se liberaron unas 2,6 Tm de CO₂, que representaron entre el 15 y el 40% de emisiones anuales de carbono de todo el planeta (Figura 2).

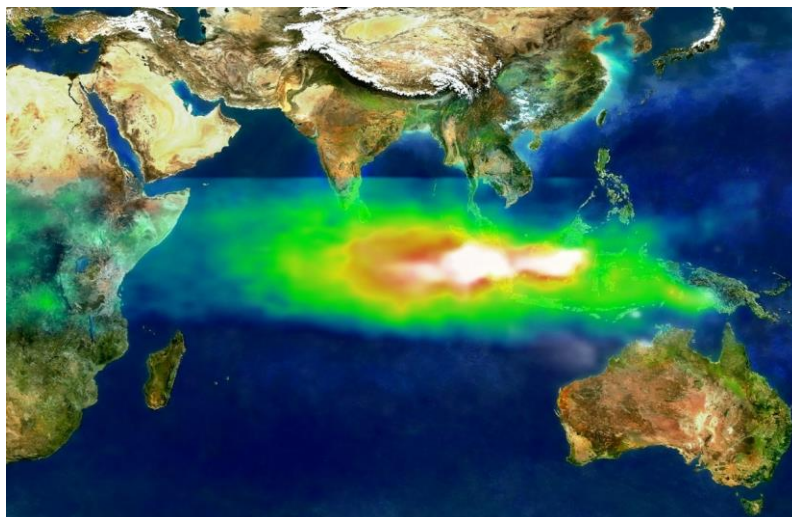


Figura 2: Contaminación en suspensión sobre el océano Índico y el sureste asiático producida por los incendios de Indonesia de 1997

Fuente: Wikipedia, 2013.

1.3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Octubre de 2017 ha sido el último de los episodios recurrentes de incendios generalizados en la Península Ibérica. Además de la pérdida de 49 vidas, 4 de ellas en Galicia, y la quema de más de 49.000 ha, otra especificidad fue un retraso de casi mes y medio respecto al periodo habitual de incendios.

Dada su relevancia, el objetivo fundamental de este Trabajo de Fin de Grado es una caracterización de este evento, abordando particularmente uno de los impactos menos estudiados de los incendios, su efecto sobre la calidad del aire. Para ello, este trabajo:

- a) Explora algunas de las peculiaridades del medio natural y humano en Galicia que favorecen la proliferación de incendios en esa región.
- b) Analiza la distribución espacial y temporal de los incendios en octubre de 2017 en relación con anteriores episodios de incendios generalizados en Galicia.
- c) Revisa las condiciones meteorológicas a corto y medio plazo que favorecieron la expansión de los incendios.
- d) Estudia la calidad del aire durante dicho episodio en Galicia y regiones circundantes para discriminar entre los aportes naturales de sustancias contaminantes y los producidos por los incendios forestales.

2. FUENTES DE INFORMACIÓN Y METODOLOGÍA

De acuerdo con los objetivos citados anteriormente, para la realización de este trabajo se utilizaron diferentes tipos de fuentes de información (Tabla 1).

Para la obtención de datos sobre los incendios forestales del episodio estudiado, se ha utilizado la información proporcionada por el *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS, 2020), perteneciente a la NASA. Esta página web ofrece gran variedad de datos, como la localización de los focos de incendios, su intensidad, el nivel de confianza del foco, etc. Esta información procede de los sensores MODIS y VIIRS, ubicados en los satélites Terra y Aqua. Ambos sensores se diferencian por su antigüedad (el MODIS es más antiguo), y por su resolución, siendo mejor y más precisa la del VIIRS (300 m en este último caso frente a 1.000 m en el caso de MODIS).

Respecto a los datos atmosféricos, se ha recurrido a la información libre proporcionada por la página web OGIMET (2020), la cual utiliza datos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA). Por su parte, NOAA ofrece información cartográfica del tiempo, incluyendo información sobre la calidad del aire y alertas meteorológicas (NOAA/ESRL Physical Sciences Laboratory).

Con el fin de analizar las condiciones atmosféricas en los meses previos al episodio de incendios, se obtuvo información del nivel de estrés hídrico consultando los datos del Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI, 2017). Para el cálculo de este índice se combinan datos de temperatura proporcionados por la NOAA, los de precipitación del Global Precipitation Climatology Centre (GPCC, 2020), y posteriormente se calcula el índice de sequía incorporando el balance hídrico calculado según el método de Thornwaite.

Para el conocimiento del estado de salud de la vegetación, se ha utilizado la información de la web *Global Agricultural Monitoring* (GLAM, 2020), que muestra el índice de vegetación de diferencia normalizada (NVDI). Los valores de este índice pueden considerarse un buen indicativo de la salud de la vegetación de una zona determinada, y son obtenidos a partir de la información proporcionada por el sensor MODIS.

Finalmente, también se hizo uso de información sobre la calidad del aire en diferentes localidades del área de estudio, gracias a MITECO (2020), página web perteneciente al Ministerio de Transición Ecológica. Los datos comprenden valores horarios y diarios de

los contaminantes más habituales (PM10, PM2.5, O3, NO2) registrados en las redes de calidad del aire.

En cuanto a los datos de calidad del aire en Portugal, se ofrecen en la base de datos de la calidad del aire (QualAr, 2020), la cual ofrece datos de los principales contaminantes en diferentes zonas de Portugal.

Para analizar la procedencia de los compuestos, así como su evolución y dirección, se recurrió al uso del modelo de dispersión HYSPLIT (ARL, 2020) y a las imágenes proporcionadas por sitio web Worldview (<http://worldview.earthdata.nasa.gov/>), dependiente de la NASA.

Tipo de información	Organismo / institución	Web
Incendios forestales	FIRMS	https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/download/
Atmosféricas	GLAM	https://glam1.gsfc.nasa.gov/v4.html
	OGIMET	https://www.ogimet.com/
	CSIC	https://spei.csic.es/map/maps.html
Calidad del aire	MITECO	https://www.miteco.gob.es/
	HYSPLIT	https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_disp.php
	QUALAR	https://qualar1.apambiente.pt/qualar

Tabla 1. Fuentes de información: organismos e instituciones consultados

3. EL CONTEXTO GEOGRÁFICO

3.1. GALICIA, UNA REGIÓN SINGULAR

Galicia ostenta la dudosa primacía de ser la región española con mayor número de incendios y superficie quemada. A pesar de que su superficie total sólo supone el 5,8% del total nacional, acumula en torno al 22% de la superficie quemada y el 29,2% del total nacional de incendios (Figura 3).

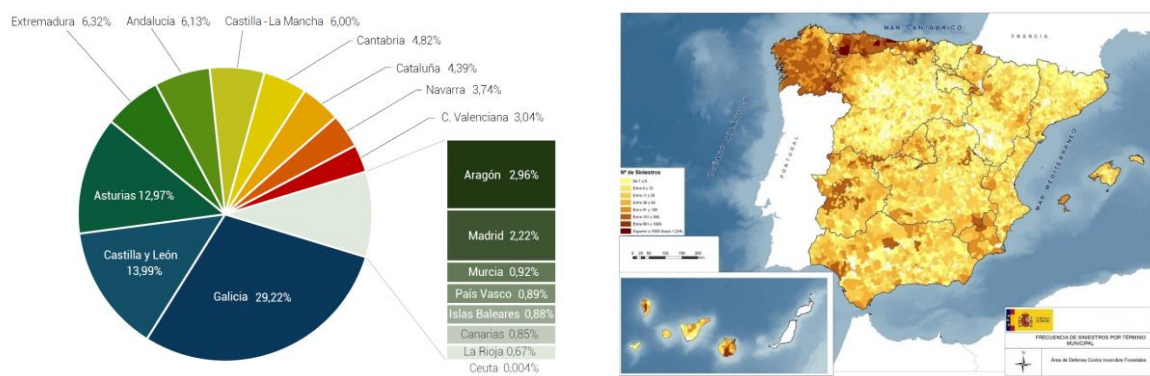


Figura 3: Número de siniestros por comunidades autónomas (izqda.) y por términos municipales (dcha.), 2006-2015

Fuente: MAPA, 2016.

Esta circunstancia puede explicarse, en primer lugar, porque Galicia cuenta con la mayor superficie forestal de España. Además, esa superficie tiene unas características muy concretas que favorecen los incendios (Figura 4).

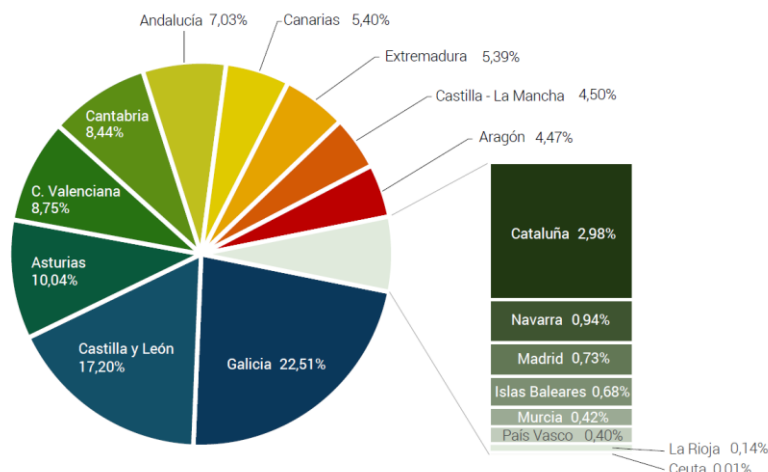


Figura 4: Superficie forestal por comunidades autónomas, 2006-2015

Fuente: MAPA, 2016.

Las estadísticas señalan que, desde mediados de los años setenta, se ha quemado aproximadamente el equivalente al 55% de la superficie total de Galicia, equivalente a más de un millón y medio de hectáreas. Estas cifras encubren una notable diversidad temporal y espacial. Con respecto a la primera característica, la evolución de la superficie quemada muestra que la mayor actividad se produjo durante los años setenta y ochenta, alcanzando un máximo en 1989, en el que se quemaron 198.889 ha. A partir de ese momento se asiste a una fase de reducción de la superficie quemada, interrumpida por el año 2006, en el que se quemaron 95.000 ha. Tras este episodio se inicia otra fase de escasa actividad, que concluyó en 2017 (Figura 5).

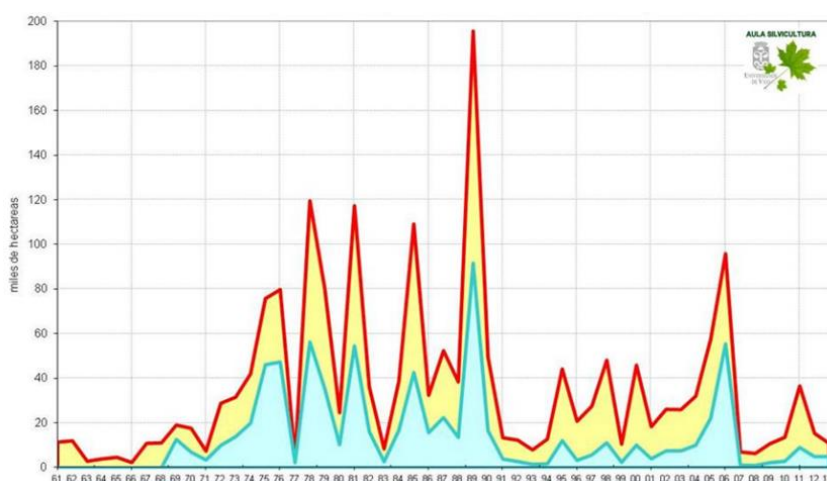


Figura 5: Evolución de la superficie quemada y la superficie arbolada quemada, 1961-2013

Fuente: Aula Silvicultura, 2011a.

3.2. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS INCENDIOS EN GALICIA

En cuanto a la distribución regional de los incendios, existe una cierta heterogeneidad dentro del territorio gallego. Los incendios han afectado a los *concellos* del interior, siendo los más afectados los ubicados en Ourense, y en el litoral atlántico de Pontevedra y A Coruña, mientras que la costa norte y el interior de Lugo registran una menor frecuencia de incendios (Figura 6).

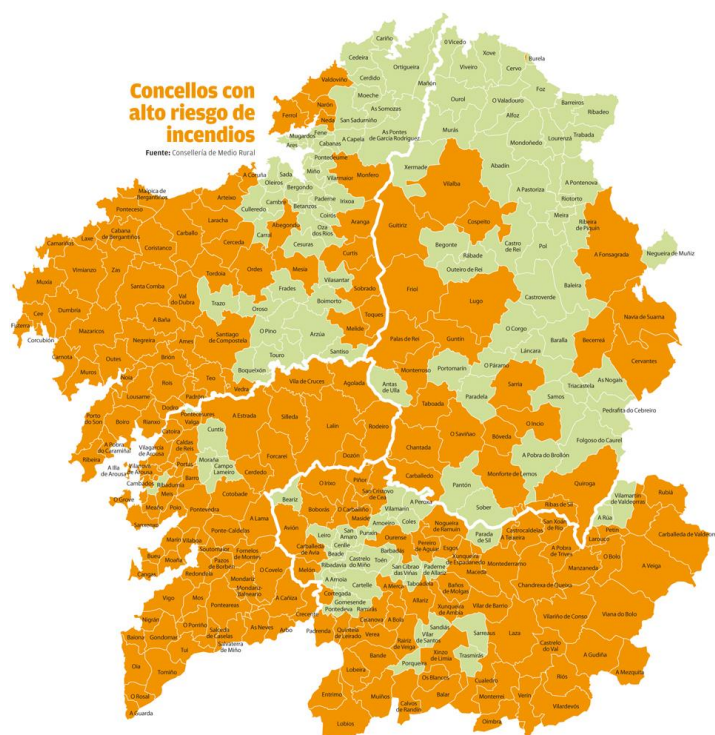


Figura 6: Concejios de Galicia con mayor riesgo de incendios

Fuente: Faro de Vigo, 2015.

Los incendios se encuentran en su mayoría de ocasiones ligados a actividad ganadera, debido a la quema pastos para la limpieza de matorral del monte. Sin embargo, ha habido grandes episodios de incendios en esta comunidad, como los de 1989, donde ardieron más de 205.000 ha (a lo largo de todo el año), o los de 2006, donde a lo largo de la primera quincena del mes de agosto se registraron hasta 1970 incendios y 77.000 ha quemadas, de las cuales 66.500 ha se concentraron entre A Coruña y Pontevedra, afectando sobre todo a plantaciones de pino (*Pinus sylvestris*) y eucalipto (*Eucalyptus globulus*), especies predominantes en los montes de estas provincias (Balsa-Barreiro et. al, 2014).

3.3. FACTORES QUE AUMENTAN EL RIESGO DE INCENDIOS EN GALICIA

El riesgo de que se produzcan incendios forestales en una zona determinada depende de una serie de factores, los cuales influyen sobre el territorio haciéndole más vulnerable a los incendios, así como teniendo que ver en su intensidad. En Galicia, varios factores intensifican la gravedad de sus incendios.

Esta abundancia de incendios es, en primera instancia, una circunstancia sorprendente, ya que Galicia ha sido englobada tradicionalmente dentro del conjunto de climas oceánicos, caracterizados por la abundancia y regularidad de las precipitaciones y una moderación de las temperaturas. Sin embargo, debido a su tamaño y compleja orografía, esos rasgos generales sufren considerables variaciones espaciales, relacionadas con dos gradientes geográficos: una progresión de los rasgos mediterráneos de N a S, y un aumento de los rasgos continentales, desde la costa hacia el interior, como se puede observar comparando los climogramas de A Coruña y Ourense (Figura 7). En comparación con la primera ciudad, la segunda disfruta de un verano más cálido (23°C en julio) y seco (2 meses), aunque los promedios encubren otros rasgos, como una mayor frecuencia de días cálidos (se duplican los días de verano, con temperatura máxima superior a 25°C) y rachas secas (sin precipitación) mucho más prolongadas. Son estas condiciones las que favorecen, en primer lugar, la propagación de incendios en el medio rural gallego.

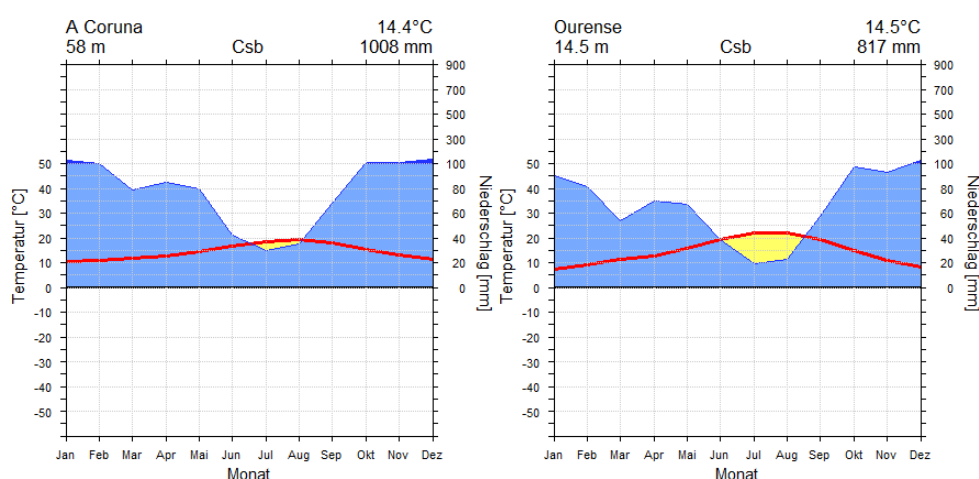


Figura 7: Climodiagramas correspondientes a las ciudades de A Coruña y Ourense

Fuente: Klimmadiagrame, s.f.

Pero los factores climáticos no son los únicos que explican la distribución espacial del número de incendios y la superficie quemada, sino también la despoblación del medio rural. En las últimas décadas del siglo XX el éxodo rural cobró fuerza en Galicia, lo que provocó un abandono de los usos tradicionales del monte, y esto a su vez facilitó la recuperación de la vegetación natural y el incremento del combustible en el medio natural. Ourense, la provincia más afectada en estos episodios de incendios, es también la provincia más despoblada de la comunidad autónoma. Hoy en día también se puede hablar de una “Galicia vaciada”, ya que hay grandes zonas del espacio de la comunidad con mínimas densidades de población (Figura 8). Por poner un ejemplo, concellos como A Chandrexa y Vilariño de Conso cuentan con una densidad de población de 2,8 hab/km², mientras que A Veiga cuenta con 3,1 hab/km² (Faro de Vigo, 2018). Todos ellos están situados en la provincia de Ourense, en una zona muy despoblada conocida como la “Siberia gallega”, pues los datos de densidad de este territorio gallego se emparejan con los de esa región.

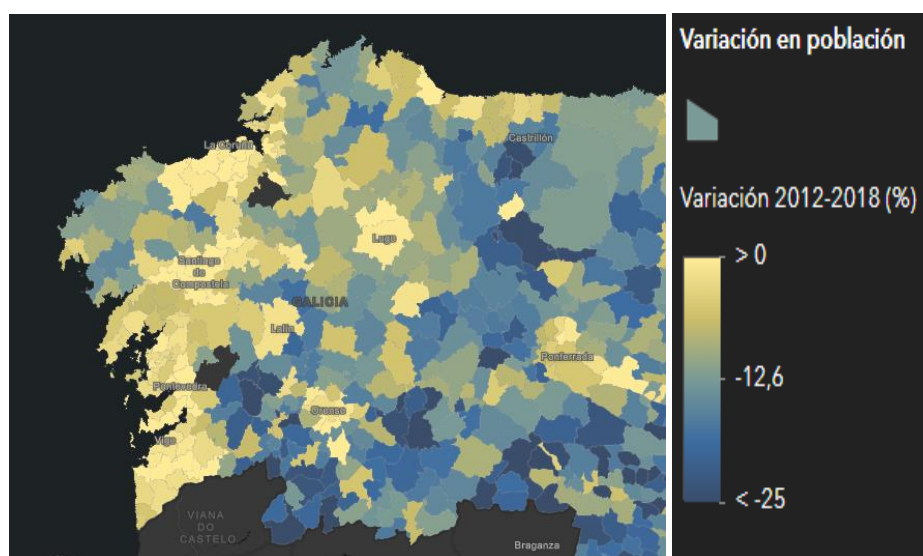


Figura 8: Variación de población en Galicia (2012-2018)

Fuente: GeoGeeks, 2018.

Por otro lado, los usos del territorio predominantes en Galicia son otro factor de riesgo adicional para la propagación de incendios. La superficie forestal en Galicia está ocupada por plantaciones de eucalipto o el pino, especialmente en la franja costera de la comunidad (Figura 9). Estas plantaciones se asientan sobre grandes superficies, lo que deriva en una homogeneidad del territorio que, en caso de incendio, facilitará su avance de manera mucho más rápida debido a la no existencia de cortafuegos naturales. Además, estas

especies son muy combustibles, debido a la producción de resinas y otros compuestos. El caso del eucalipto es paradigmático. Esta especie fue introducida en la segunda mitad del siglo XIX, y actualmente, Galicia es la región que más madera de este árbol produce. Su interés comercial, para su uso en la fabricación de papel, derivó en el establecimiento de fábricas de celulosa que contribuyeron al aumento de plantaciones de eucalipto, tanto directamente, con la compra de montes, como indirectamente, animando a otros productores a plantar eucaliptos en sus terrenos (Rico, 2018). En algunos casos, estas repoblaciones han causado numerosos conflictos entre los propietarios, a los que se atribuyen tradicionalmente muchos de los incendios (Soto y Prieto, 2004).

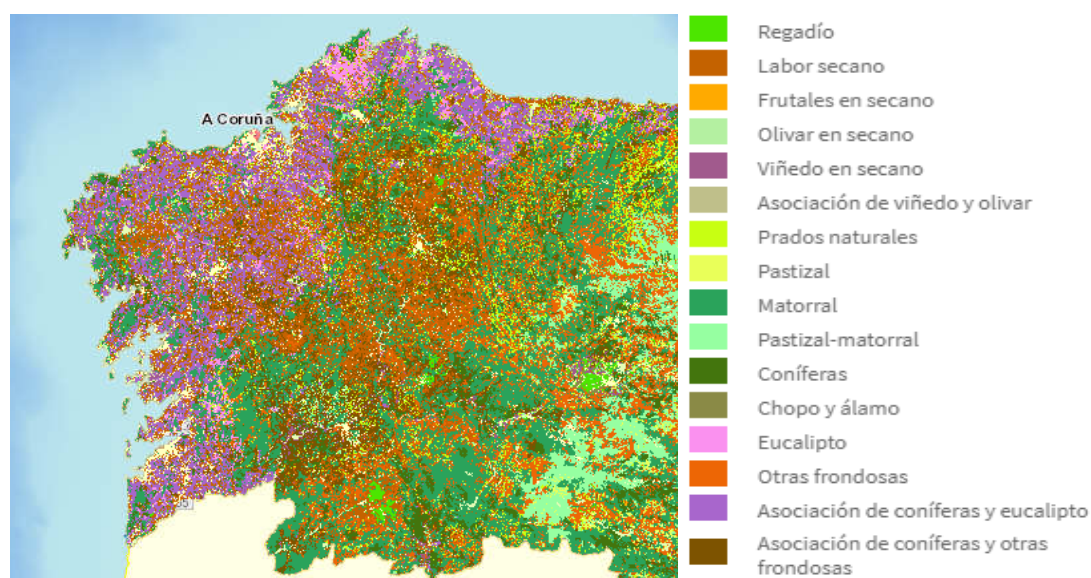


Figura 9: Usos del suelo en Galicia

Fuente: MAPA, 2020b.

3.4. MEDIDAS ADOPTADAS PARA LA PREVENCIÓN

Con el objetivo de prevenir los incendios forestales, desde la Junta de Galicia se ha desarrollado un programa de actuación preventiva. El ámbito de actuación de estas medidas preventivas se centra en los caminos forestales, zonas de servidumbre y en superficies de riesgo, tanto las que se desconozca el propietario como en las que se haya recibido el permiso de ellos. Los trabajos que se realizarán para favorecer la prevención consistirán en la puesta en marcha de brigadas que realizan trabajo manual en los propios terrenos (como limpieza de montes), además de tratamientos de prevención mecanizados, con el objetivo de reducir la cantidad de combustible en el caso de un posible incendio. La

realización de estas medidas seguirá la planificación de cada distrito forestal, y los trabajos a realizar deben ser aprobados por la Consejería del Medio Rural, que realizará una inspección previa.

Además de estas medidas oficiales, para la prevención de los incendios es muy importante la concienciación de la población, por lo que se establecen campañas de información en los medios de comunicación alertando sobre el riesgo de incendio y las consecuencias que pueden tener. Es importante que las personas eviten la realización de barbacoas en el monte en periodos de máximo riesgo, así como mantener la limpieza de los mismos sin arrojar residuos, ya que estos podrían provocarlos.

Por otro lado, se encuentra la comunicación de las sanciones económicas e incluso penales por la provocación de los incendios, una práctica muy habitual, ya que un importante porcentaje de ellos son intencionados, aunque en muchas ocasiones no se consigue localizar a los autores.

4. LOS INCENDIOS DE OCTUBRE DE 2017

4.1. CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA

En el conjunto nacional, a lo largo de 2017 se detectaron un total de 13.793 siniestros, de los cuales 5.088 eran incendios y los 8.705 restantes conatos, es decir, fuegos que afectaron a una superficie menor de 1 ha. Estos datos representan un aumento del 5,8% de conatos y del 23,05% de incendios con respecto a la media del decenio años anterior. Al mismo tiempo, la superficie quemada fue también muy amplia, con 66.849 ha de superficie arbolada y 178.233 ha de superficie forestal afectadas. El aumento en el apartado de superficie quemada nos muestra la gravedad de los incendios del año 2017, ya que supone un importante aumento del 145% en la superficie arbolada, y de un 94% en la superficie forestal con respecto a la media del decenio.

En Galicia y en el mismo año se registraron un total de 947 incendios y 2.302 conatos, y resultaron afectadas 61.901 ha en el total anual. Los incendios de octubre 2017 fueron uno de los episodios de incendios más importantes de los últimos años, ya que solo los días 14 y 15 de octubre de 2017, la Consejería del Medio Rural gallego cifró en más de 49.000 ha quemadas, repartidas en más de 264 focos detectados, lo que supone que solo en esos dos días se calcinaron el 79% de la superficie del total anual. Las provincias del sur fueron las más afectadas, con 22.600 ha quemadas en Ourense y 20.000 más en Pontevedra (MAPA, 2020a). En la figura 10 se observan, además, otras dos zonas con numerosos incendios, el Occidente de Asturias y el límite entre León y, Ourense y Lugo.

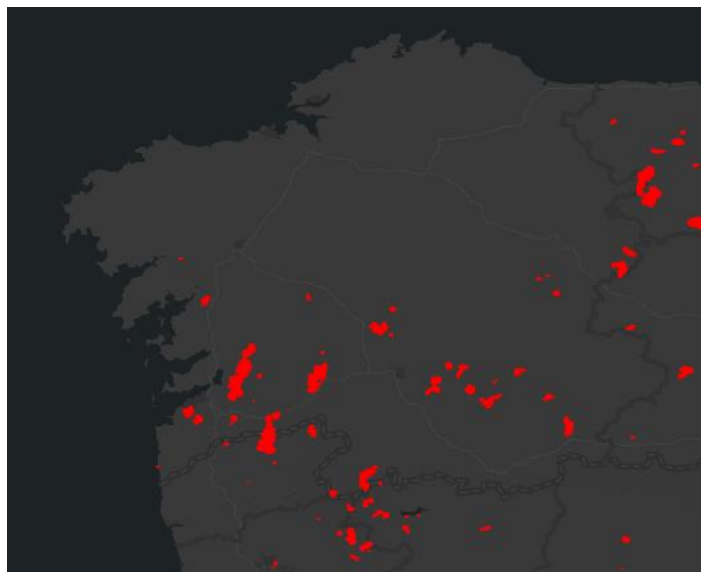


Figura 10: Distribución de los incendios de Galicia en 2017

Fuente: FIRMS, 2020.

La figura 10 plantea un modelo espacial de incendios mixto, con frecuentes incendios en la costa, pero también en el interior de Galicia. Se aleja, por lo tanto, del modelo costero que ha sido frecuente en los últimos años, como ocurrió en el año 2006 (Figura 11). En este último año, los incendios afectaron principalmente a municipios costeros, sobre todo en aquellos con repoblaciones de especies no autóctonas.

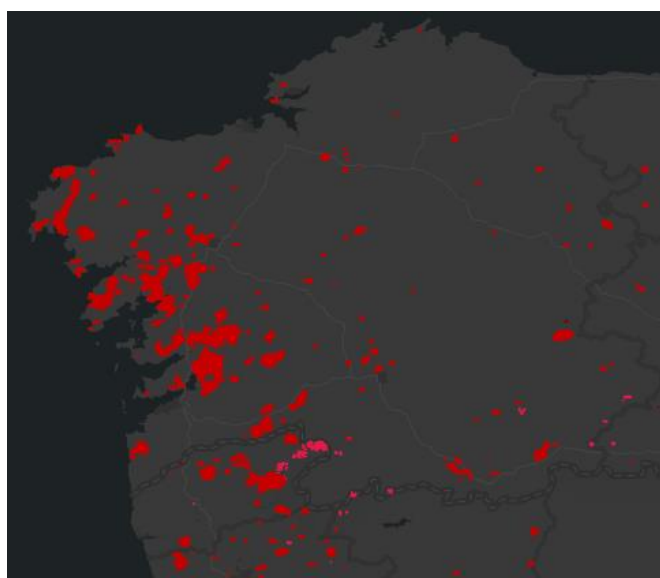


Figura 11: Distribución de los incendios de Galicia en 2006

Fuente: FIRMS, 2020.

El mayor número de incendios en octubre de 2017 se concentraron en los días 15 y 16, donde llegaron a haber más de 250 focos activos durante la noche del día 16. A partir del día 17, su número descendió bruscamente. Anteriormente, hubo un periodo de incidencias importante, aunque no tan masivo como el anterior, entre el 6 y el 9 de septiembre, llegando a registrarse más de 100 focos durante las horas diurnas del día 7. Ello supuso un aviso previo a lo que iba a ocurrir días más tarde, ya que las condiciones meteorológicas favorables persistieron, como ejemplifica el considerable número de focos activos. Por otro lado, analizando la variable “frp” (“fire radiative power”, que representa la intensidad del incendio en términos de calor emitido), se observa como los valores medios se mantuvieron por debajo de los 150 w/m² durante la mayor parte del mes de octubre (siendo más elevados por la noche), salvo durante el mediodía del 15, que puede considerarse el momento álgido del episodio, ya que dicha variable superó un valor medio de 300 w/m², que se corresponde con el momento en el que más focos estaban activos..

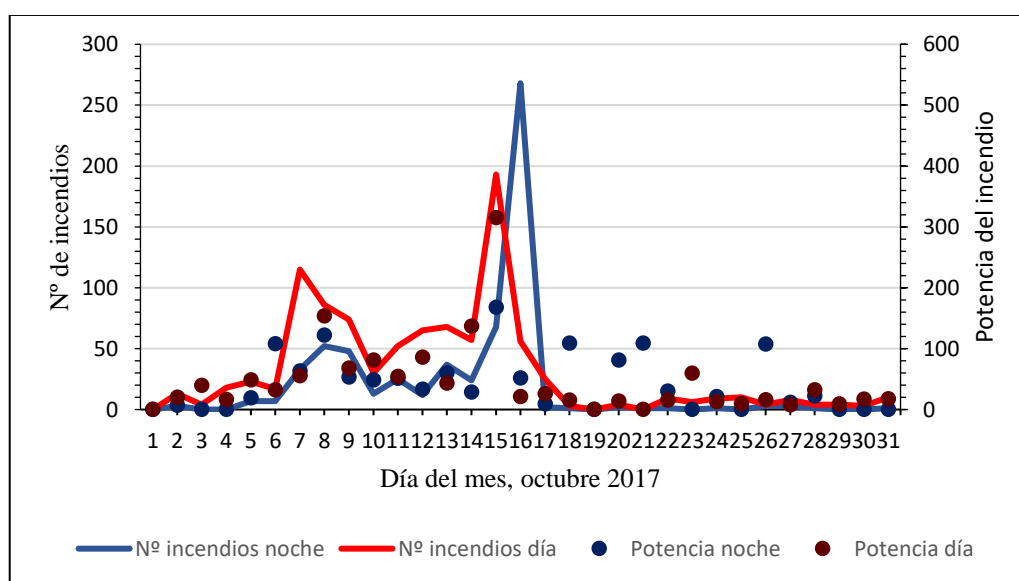


Figura 12: Número de incendios y su potencia en Galicia en octubre de 2017

Fuente: elaboración propia a partir de datos de FIRMS, 2020.

A partir de los datos proporcionados por el sensor MODIS también se observa (figura 13) que la evolución de la variable “frp” se dispara el día 15 de octubre. Junto a este máximo mensual, cabe señalar que las diferencias con el episodio inicial de incendios, no tan acusadas como en el caso de la variable frp, confirman un efecto acumulativo que se disparó el día 15.

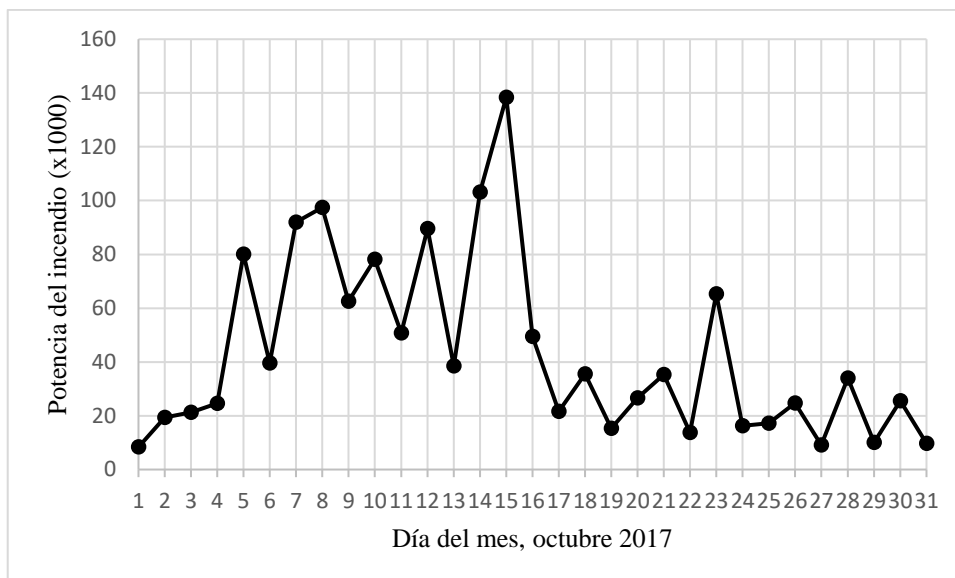


Figura 13: Señal calorífica media diaria de los incendios en Galicia en octubre de 2017, según el satélite Aqua/MODIS

Fuente: elaboración propia a partir de datos de FIRMS, 2020.

En el análisis de los episodios de incendios y su potencia a partir del satélite VIIRS, se observa (figura 15) una gráfica similar al del MODIS, ya que nos sigue indicando que el día 15 de octubre fue en el que más incendios y con mayor potencia se desarrollaron en Galicia.

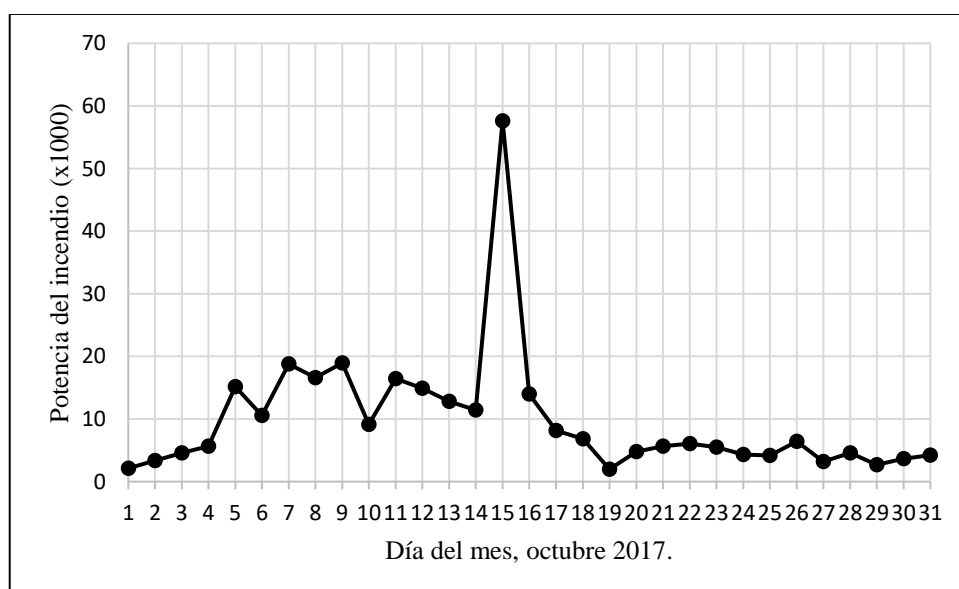


Figura 14: Potencia de los episodios de incendios en Galicia en octubre de 2017, según el satélite VIIRS

Fuente: elaboración propia a partir de datos de FIRMS, 2020.

4.2. MECANISMOS ATMOSFÉRICOS DESENCADENANTES

Para que se produzca un incendio forestal se requieren tres ingredientes, conocidos como triángulo del fuego: fuentes de ignición, combustible y condiciones atmosféricas. En relación al último aspecto, el clima constituye uno de los factores determinantes en el régimen de incendios de una región (Carracedo et al, 2010). En climas mediterráneos, predomina un régimen estival debido al calor y sequedad imperantes en el verano, que conducen a un aumento en la temperatura y una reducción de la humedad del combustible. Estas condiciones pueden exacerbarse cuando la vegetación es sometida a sequías intensas durante los meses precedentes. Además, las condiciones atmosféricas tanto de un día concreto como las de días anteriores, determinan la mayor o menor probabilidad de que un foco puntual se transforme en un incendio forestal, así como regula su capacidad de propagación. De manera resumida, la relación entre incendios forestales y condiciones atmosféricas se estudia en dos marcos temporales diferentes.

4.2.1. A corto plazo

En este marco temporal se estudian las condiciones atmosféricas que ocurrieron de manera simultánea a los incendios forestales. Octubre de 2017 puede separarse en dos quincenas bastante diferenciadas, como atestigua la evolución de la información meteorológica (Figura 15). Hasta el día 15 predominaron una gran estabilidad atmosférica, con temperaturas altas, humedad relativa baja, vientos suaves, ausencia de precipitación y elevada visibilidad. A partir del 16 la situación cambió radicalmente, con temperaturas frescas, ambiente húmedo y una alternancia de episodios estables y otros más inestables, ligados al paso de borrascas. Obsérvese que el episodio de incendios de baja intensidad inicial coincidió con unas condiciones favorables, caracterizadas por temperaturas cálidas (25°C), humedad relativa baja (50 %), pero vientos suaves (promedios diarios inferiores a 10 km/h), que explicarían que, a pesar de la proliferación de focos de incendios, no se propagaron de forma generalizada.

El día 15 se observa claramente un aumento repentino de la temperatura (que alcanzó en Vigo 33°C) y de la velocidad del viento (promedio diario 23 km/h pero con picos horarios que llegaron a los 45 km/h). Las condiciones registradas en gran parte de Galicia durante todo el día 15 estuvieron cerca de cumplir la regla de 30-30-30, que empíricamente señala

unas condiciones extremas, muy favorables para la propagación de incendios. Otro rasgo particular de esa jornada, además de la baja presión, es también la baja visibilidad, que no vino acompañada ni de una abundante cubierta de nubes ni de precipitaciones,

A partir del día 16 de las temperaturas disminuyeron considerablemente (una reducción próxima a los 20°C) mientras que la humedad relativa aumentó, condiciones que se mantuvieron alrededor de 4 días, coincidiendo con condiciones extremadamente inestables y abundantes precipitaciones, todo ello favoreciendo la extinción de los fuegos. Estas condiciones fueron el resultado del paso de sucesivas borrascas y frentes asociados a ellas.

A partir del día 21 las condiciones atmosféricas volvieron a estabilizarse, retornando un ambiente seco y cálido, aunque mucho más breve.

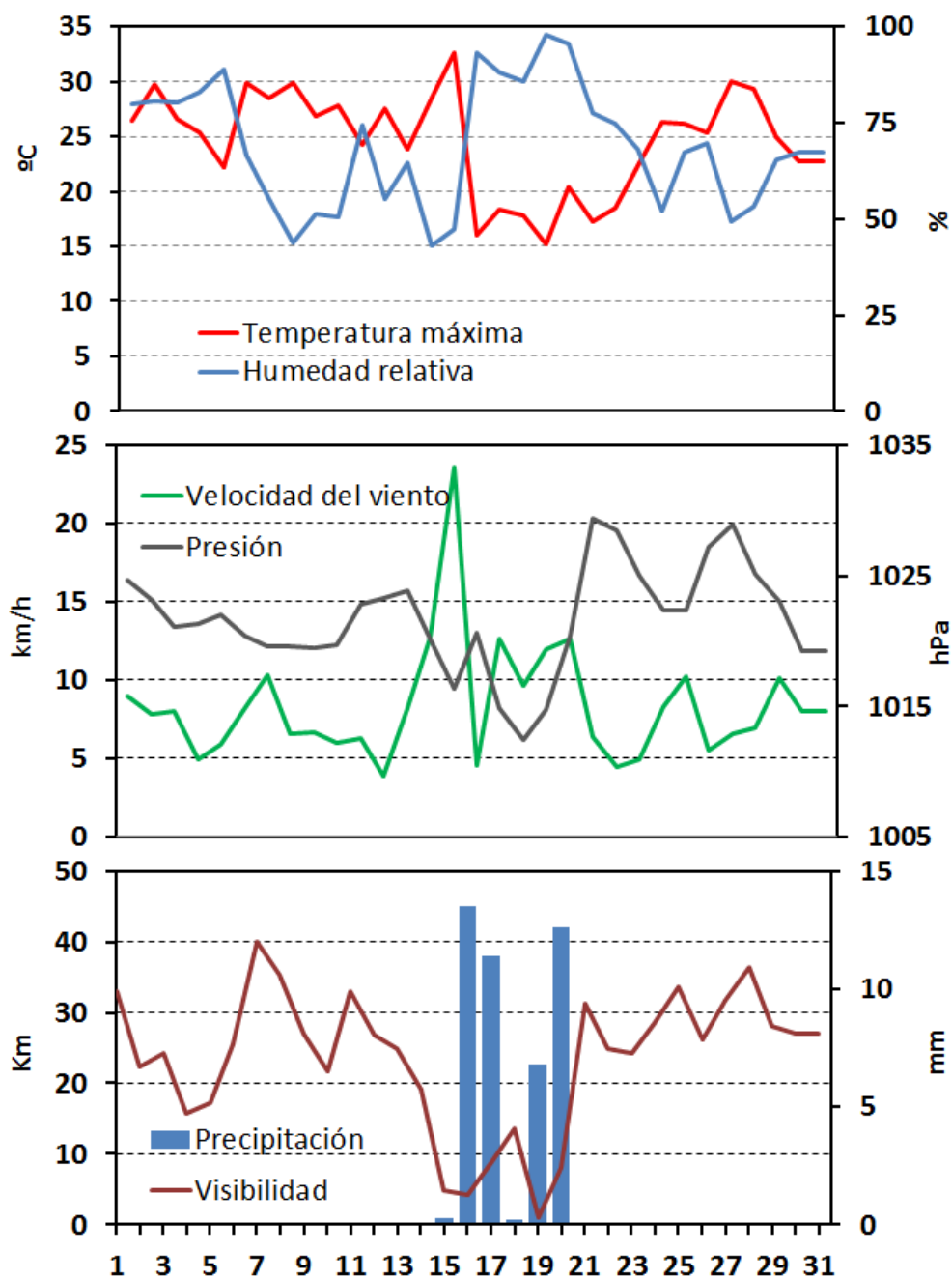


Figura 15: Evolución diaria de la temperatura máxima, humedad relativa, velocidad del viento, presión atmosférica, precipitación y visibilidad en el observatorio de Vigo-Peinador, correspondientes a octubre de 2017

Fuente: OGIMET.

El episodio de incendios y las condiciones atmosféricas más críticas coincidieron con un fenómeno meteorológico inusual, la perturbación *Ophelia*, un sistema que alcanzó las costas españolas como huracán de categoría 3, sufriendo con posterioridad al día 16 un proceso de conversión relativamente frecuente -transición tropical-extratropical-, que

acabó por convertirlo en borrasca extratropical, condición con la que recorrió Irlanda y Noruega los días siguientes (Figura 16; Rantanen y otros, 2020).

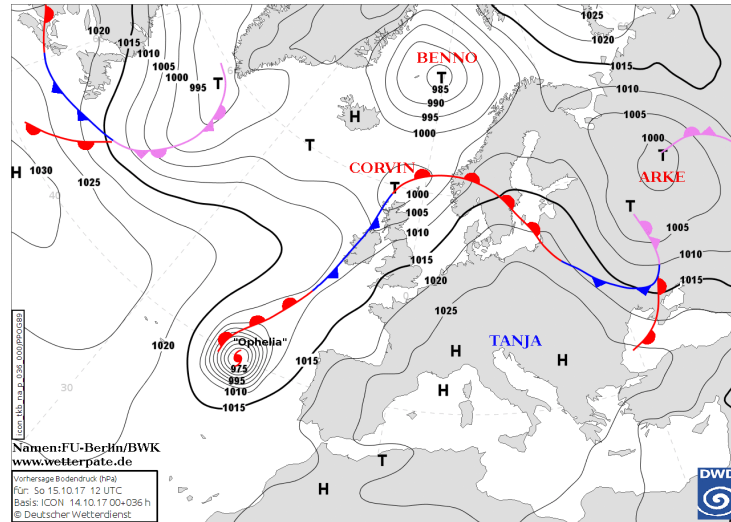


Figura 16: Mapa sinóptico previsto para el día 15/10/2017

Fuente: Institut für Meteorologie.

Pero este sistema perturbado también ofreció otras originalidades. Nacido en latitudes subtropicales, a partir de un embolsamiento de aire frío en las capas altas (DANA), se transformó en huracán gracias a la activa convección ligada al contraste entre aire frío en las capas altas y temperaturas elevadas del mar. Además, en vez de seguir la trayectoria E-W habitual, hacia el Caribe, se dirigió directamente hacia el NE, aproximándose a la Península Ibérica el día 15 (figura 17).

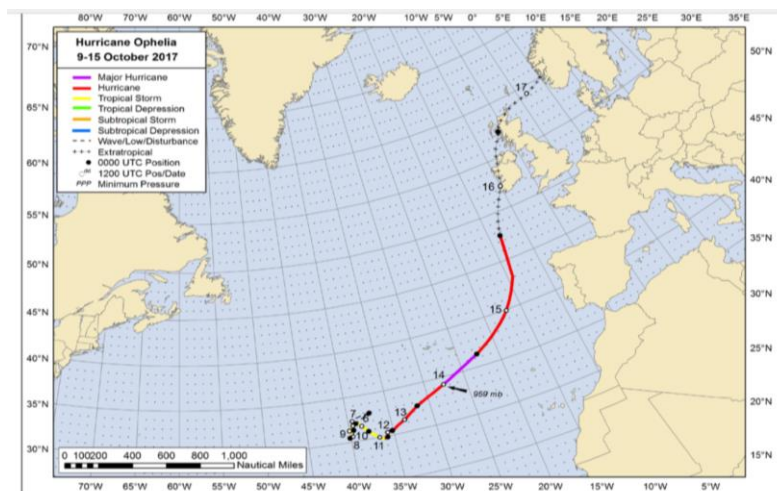


Figura 17: Trayectoria de Ophelia según su estado

Fuente: Stewart, 2018.

Indirectamente, la trayectoria SW-NE de Ophelia favoreció la intrusión de una masa de aire muy cálida y seca, procedente de África. Como puede observarse en el mapa de la figura 19, la temperatura en el nivel de 850 hPa (a una altura aproximada de 1.500 m), la temperatura superaba los 291°K (unos 18°C), siendo por lo tanto unos 10°C superior a los valores normales en esa época del año (Figura 18)

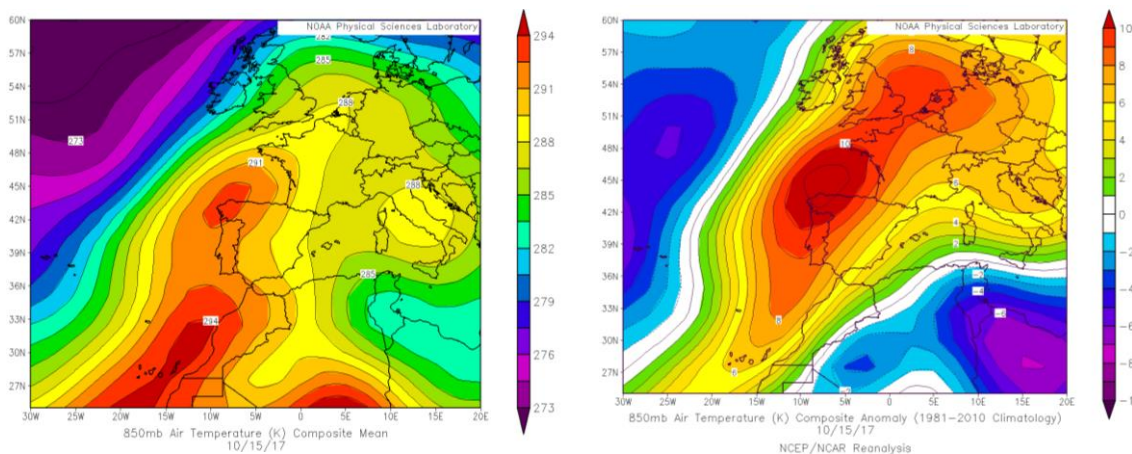


Figura 18: Temperatura del aire, Europa y anomalía con respecto a los valores normales durante el día 15/10/2017

Fuente: NOAA/ESRL Physical Sciences Laboratory.

Como consecuencia de la llegada de esa masa de aire, las temperaturas en gran parte de España superaron los 30°C durante el día 15 de octubre, con registros muy superiores a los esperables en esa época del año. Debido al origen de la misma, las temperaturas más elevadas se registraron en la mitad occidental de la Península Ibérica, siguiendo una diagonal SE-NE, que uniría Almería con A Coruña. Otra zona muy cálida fue el litoral cantábrico, donde los vientos de componente sur elevaron considerablemente la temperatura bajo las transformaciones causadas por el efecto “foehn”. Las altas temperaturas vinieron acompañadas de una gran sequedad del aire, con registros de humedad relativa muy por debajo del 30%. Por el contrario, la mitad oriental, y en especial la costa mediterránea experimentó condiciones mucho menos rigurosas, con valores de temperatura inferiores y, sobre todo, una humedad relativa mucho más alta, lo que implicaría un régimen de brisas costeras bastante desarrollado a lo largo de dicha jornada.

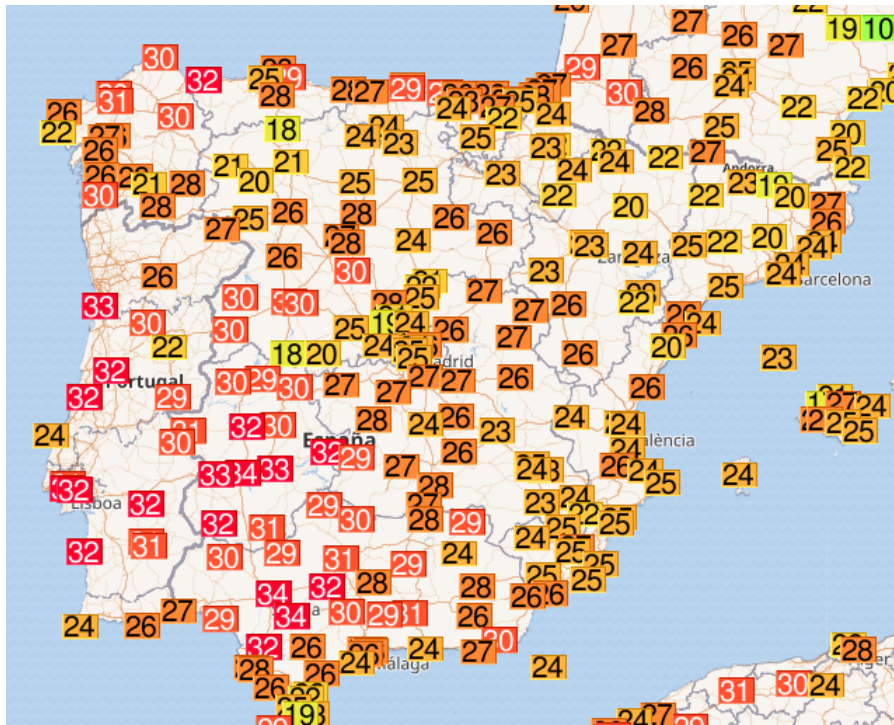


Figura 19: Temperaturas en España el día 15/10/2017

Fuente: OGIMET.

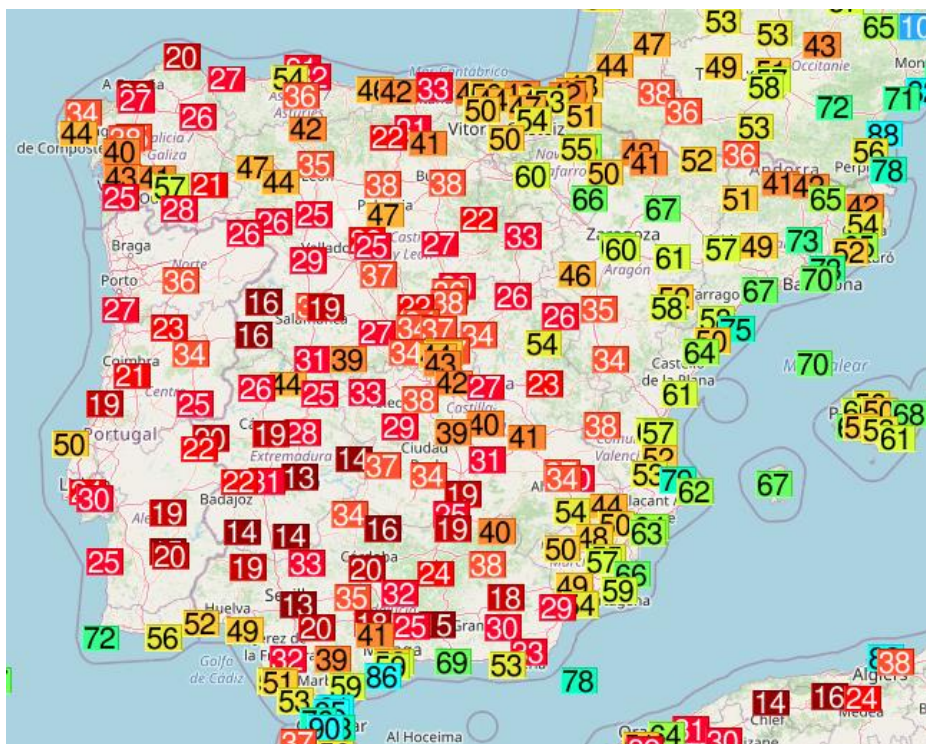


Figura 20: Humedad relativa a las 12 UTC el día 15/10/2017

Fuente: OGIMET.

4.2.2. A medio y largo plazo: la sequía

La ausencia de precipitaciones durante los meses precedentes, que conduce a una situación de déficit hídrico (sequía) es también un elemento a tener en cuenta a la hora de explicar la virulencia de este episodio, ya que condiciona el estado de la vegetación, y consiguientemente, del combustible vegetal, especialmente el más fino. En la figura 21 se aprecia la situación de extrema sequía, causada por la falta de lluvias en los meses previos, así como las altas temperaturas generalizadas que hubo durante el verano.

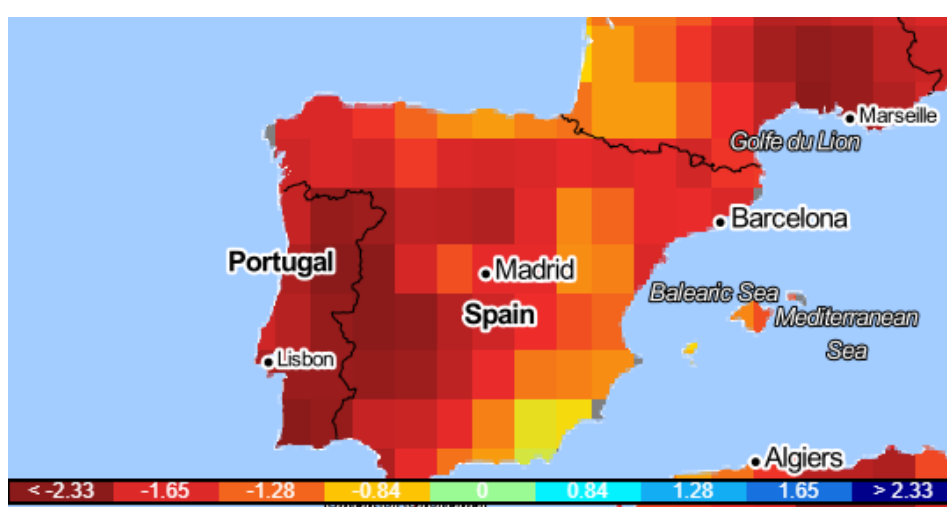


Figura 21: Magnitud de la sequía en la Península Ibérica en octubre 2017

Fuente: CSIC.

Tomando como referencia de estudio el pixel con coordenadas [41.75, -9.25], [43.75, -6.75], que corresponde aproximadamente al S de la comunidad autónoma de Galicia, octubre de 2017 fue uno de los meses que registró una sequía más severa de toda la segunda década del siglo XX, alcanzando el índice SPEI_12 meses un valor de -1,714 (figura 22).

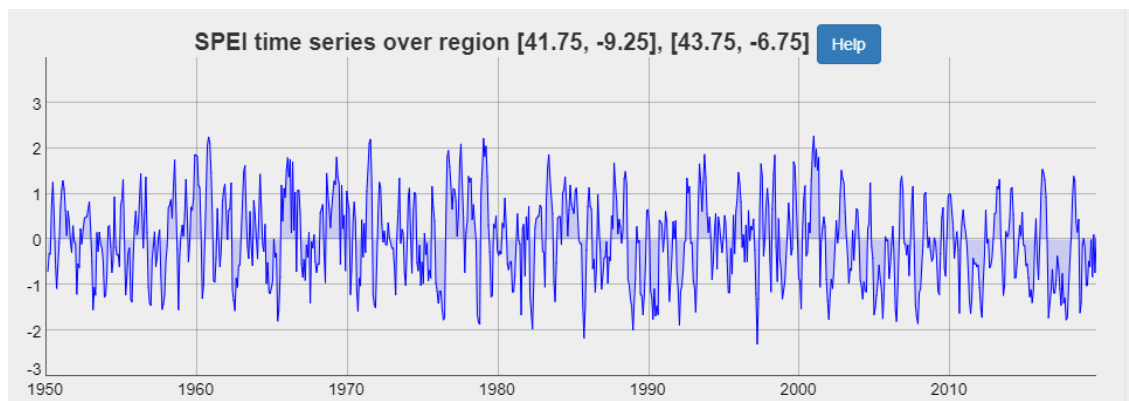


Figura 22: Evolución del índice SPEI en Galicia, 1950-2020

Fuente: CSIC.

El índice SPEI cuantifica la intensidad de la sequía meteorológica, pero una mejor aproximación al estado real de la vegetación se obtiene utilizando el índice NVDI. En la semana previa a los incendios (7-14 de octubre), se registraron valores inferiores a los normales en esa época del año en la mayor parte de Galicia, lo que supone un elevado nivel de estrés hídrico en la vegetación, en consonancia con los valores del índice SPEI. Esta situación de estrés de la vegetación es la que habría favorecido la propagación de los incendios forestales.

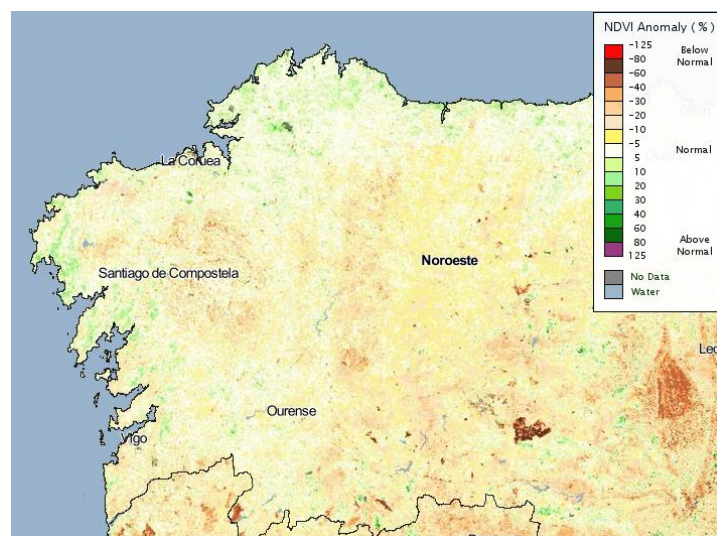


Figura 23: Anomalías en la vegetación de Galicia entre los días 7 y 14 de octubre de 2017

Fuente: GLAM, 2020.

4.3. IMPACTOS SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE

Como se ha señalado en la introducción del trabajo, uno de los impactos menos conocidos de los incendios forestales es la liberación de grandes cantidades de partículas y gases, que pueden llegar a conformar un riesgo para gran parte de la población. Además, puede afectar a zonas lejanas de los focos principales, lo que supone un problema a nivel global y no solo del lugar donde se estén produciendo los incendios. En el caso que nos ocupa la complejidad del episodio fue agravada por la llegada de polvo sahariano.

4.3.1. Intrusión de aire sahariano

El episodio de incendios coincidió en el tiempo con una “intrusión sahariana”, es decir, con la llegada de una masa de aire cargada de partículas en suspensión, que provocó un notable empeoramiento de la calidad del aire

El origen de esta masa de aire cargada de partículas puede situarse en el N de África, en latitudes cercanas al desierto del Sahara, procedencia habitual de la mayoría de estos episodios. Gracias a la retrotrayectorias del modelo Hysplit, se puede observar la trayectoria seguida por las partículas contaminantes los 3 días anteriores al 14 de octubre de 2017, momento en el que aparecieron la mayoría de los focos de incendios que se propagaron a lo largo de la noche siguiente. Obsérvese que la retrotrayectoria que muestra con mayor claridad la procedencia sahariana de la advección corresponde al nivel de 1500 m (Figura 24).

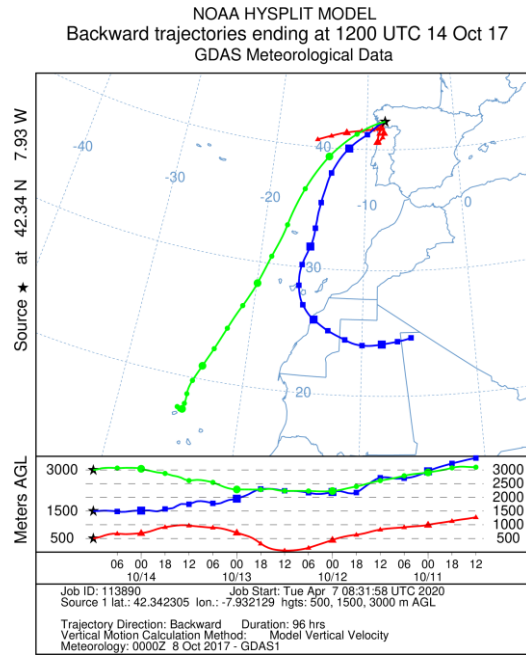


Figura 24: Trayectoria del aire en los días previos a los incendios de octubre de 2017

Fuente: ARL, 2020.

El modelo BSC-DREAM8b (<https://ess.bsc.es/bsc-dust-daily-forecast>) también muestra cómo la mayor concentración de partículas de origen sahariano llegó a la península a una altitud inferior a 6.000 m, encontrándose el grueso entre 500 y 2.000 m s.n.m (figura 25).

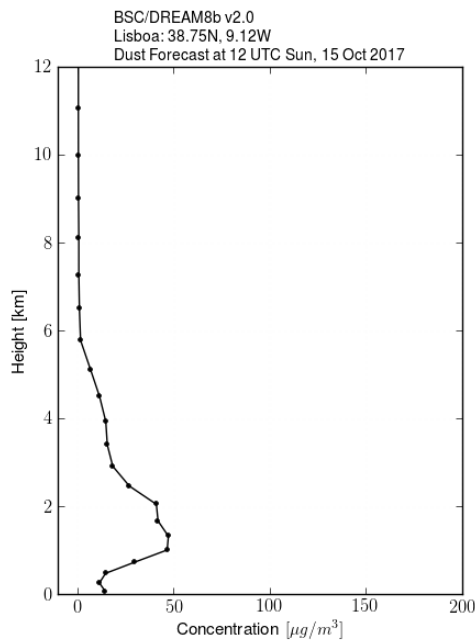


Figura 25: Desplazamiento

Fuente: BSC, 2020.

La intrusión sahariana se desplazó hacia el N siguiendo la costa portuguesa y gallega durante el día 15, conforme a la circulación del viento en las capas bajas y medias de la atmósfera. Si bien su potencia se redujo el día 16, la misma dinámica atmosférica permitió el avance de la intrusión hacia el N, situándose sobre las Islas Británicas y el Mar del Norte (Figura 26).

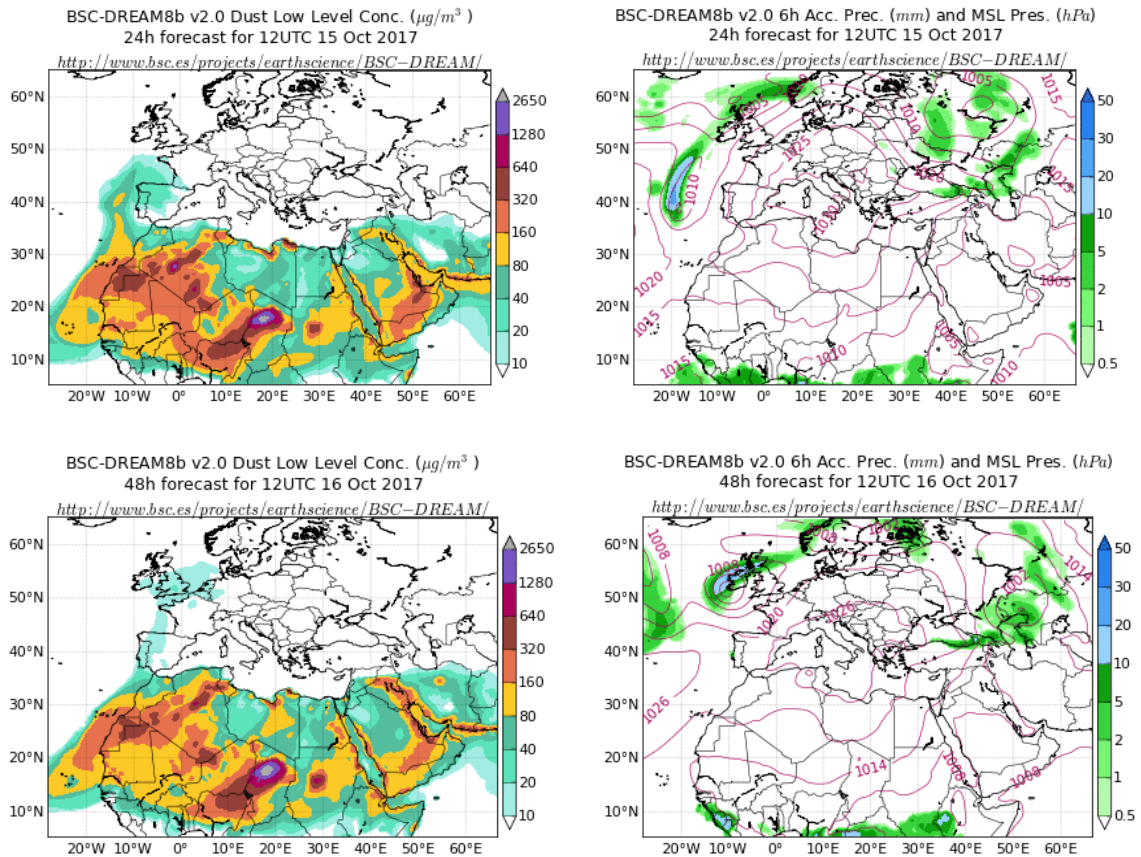


Figura 26: Avance de las partículas y del huracán entre los días 15 y 16 de octubre de 2017

Fuente: BSC, 2020.

4.3.2. Análisis de la calidad del aire a partir de las observaciones de superficie en el N de la Península Ibérica

La imagen de la figura 27 muestra la localización de los incendios forestales el día 15 de octubre, y la dispersión de los penachos de humo hacia el N, en concordancia con la componente sur del viento, como nos han mostrado las simulaciones de los modelos HYSPLIT y BSCDREAM8b (figura 26). Para analizar el impacto de estas emisiones

biogénicas contaminantes se ha recurrido al análisis de los datos proporcionados por las redes de vigilancia y control de la calidad del aire en Galicia y comunidades limítrofes.

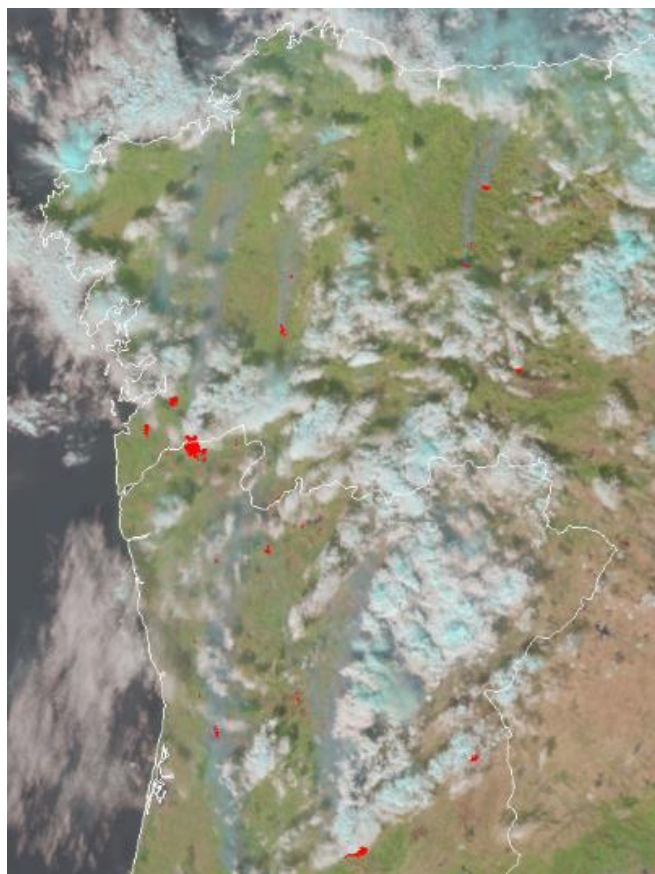


Figura 27: Humo emitido por los incendios del día 15/10/2017

Fuente: Roesli *et al.*, 2017.

Para analizar los efectos de los incendios forestales sobre la calidad del aire se ha recurrido a dos fuentes de información. Por un lado, el análisis de los datos proporcionados por las redes de calidad del aire a nivel de superficie, situadas fundamentalmente en núcleos de población, como estaciones de la red EMEP. A esa fuente se ha añadido la información proporcionada por sensores situados en satélites.

Las redes de calidad del aire suelen medir un gran número de compuestos sólidos y gaseosos en la atmósfera, pero sólo dos de los más habituales, las partículas y el monóxido de carbono (CO) tienen una relación directa con los incendios. Pero este último se registra habitualmente en núcleos urbanos, por lo que sus valores reflejan las condiciones locales ligadas al tráfico rodado.

Por esta razón, el análisis de los datos procedentes de las redes de superficie se centrará en las partículas, fundamentalmente las de tamaño medio (PM10), ya que son las

registradas más frecuentemente. Las estaciones de O Saviñao y Noia (pertenecientes a la red EMEP, que registra los niveles de concentración de fondo de contaminantes, no los urbanos) han sido utilizadas para evaluar la magnitud y distribución temporal de la concentración de PM10 sobre Galicia durante el episodio de incendios. La concentración de PM10 se disparó durante el día 14 y 15 de octubre, con un pico de 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el 14 de octubre en la estación de Noia, situada en la provincia de A Coruña. Cabe señalar que concentraciones superiores a los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sirven para calificar la calidad del aire como muy mala, mientras que valores superiores a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ al día se considera muy perjudicial para los humanos. Este máximo, que refleja la potencia de la intrusión, se debe a la proximidad de Noia al “chorro” de partículas saharianas. Obsérvese que el máximo en O Saviñao, una estación situada más al interior, en la provincia de Lugo, fue más reducido y se desplazó al día siguiente, día 16 (figura 28). Esta circunstancia podría explicarse por la conjunción de dos hechos, por un lado, su ubicación interior, alejada del “chorro” de partículas, y, por otro lado, la propagación de los productos derivados de la combustión en los incendios forestales, que se habrían desplazado hacia el E, empujados por los vientos del SW que soplaban por delante del frente frío. Una vez los incendios finalizaron y los vientos amainaron, los valores de PM10 volvieron a sus valores habituales.

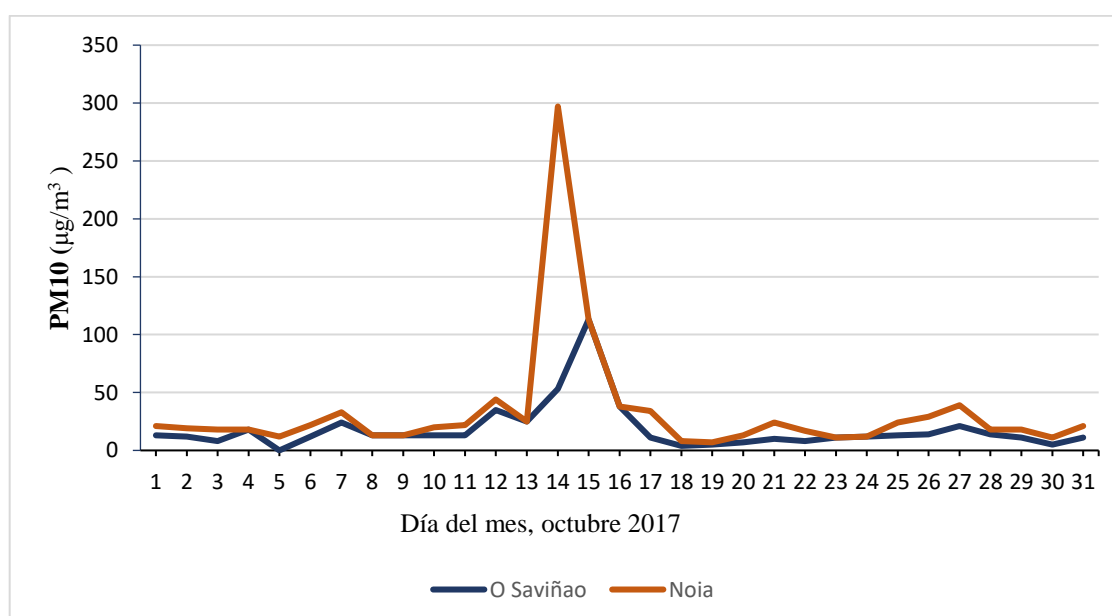


Figura 28: Comparativa de la evolución de la producción de partículas PM10 entre O Saviñao y Noia (Galicia) en el mes de octubre de 2017

Fuente: elaboración propia a partir de datos de MITECO, 2020.

La hipótesis de sendos patrones espacio-temporales, vinculados a diferentes mecanismos de producción de partículas se confirma en la figura 28, que muestra la magnitud y la fecha del máximo de PM₁₀ durante los días 15 y 16 de octubre. Durante el primer día, los valores máximos de PM₁₀ se registraron a lo largo de la costa atlántica gallega, siguiendo un patrón lineal muy claro, consecuencia directa de la intrusión sahariana en forma de “chorro”. El día 16 ese patrón lineal desaparece, observándose una mayor dispersión, aunque los valores más elevados se registraron en las estaciones del S de Galicia (Ourense), S de Asturias (Cangas de Narcea) y El Bierzo (Ponferrada). Obsérvese además que en algunas estaciones los valores de PM₁₀ superaron incluso los registrados en la costa gallega, lo que implicaría que, al menos, una parte de esos valores estuvo causada por los incendios forestales (figura 29).

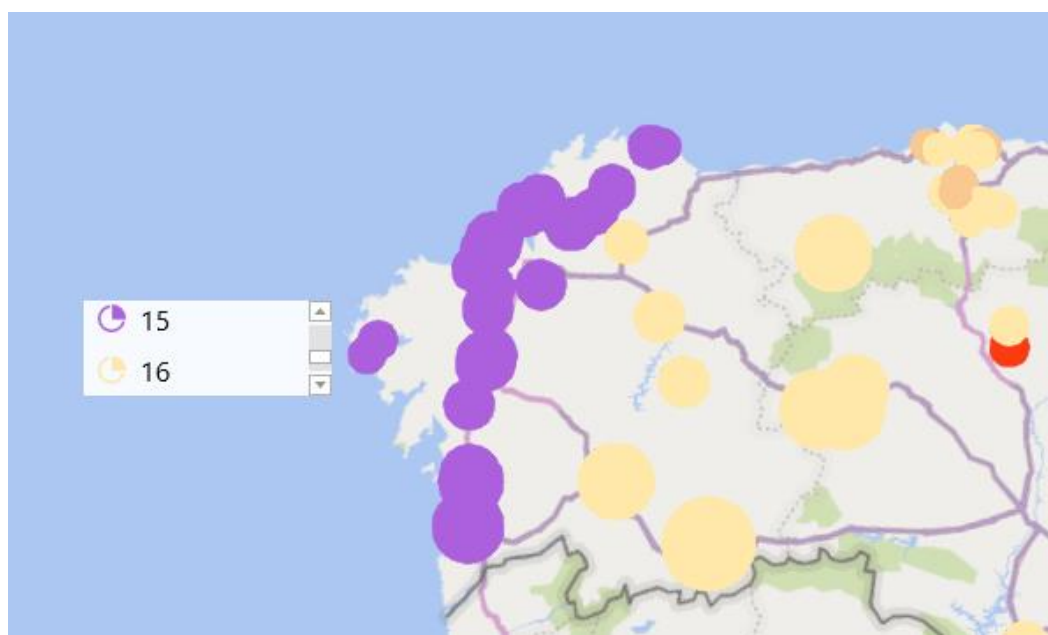


Figura 29: Día y magnitud de la concentración máxima diaria de PM₁₀ en el NW de la Península Ibérica, en octubre de 2017

Fuente: elaboración propia a partir de datos de MITECO, 2020.

Corroboración del papel desempeñado por el humo de los incendios en el empeoramiento de la calidad del aire se detecta también en las observaciones visuales sobre visibilidad y meteoros realizadas en las estaciones meteorológicas de la red principal de Aemet. Así, durante el mediodía y primeras horas del día 15 (observación de las 12, 15 y 18 UTC), los observatorios más próximos a los incendios (Santiago de Compostela y Vigo) registraron humo como meteoro significativo. Como consecuencia del

desplazamiento del humo hacia el E, empujado por los vientos del SW y WSW que soplaban por delante del frente frío, los observatorios de Ourense y Ponferrada también registraron humo como meteoro significativo, pero a las 06 UTC del día 16, mientras que los del Aeropuerto de Asturias, León y Santander lo hicieron a las 09 UTC, consecuencia de la progresión de la nube de humo. Esta circunstancia quedó reflejada también en los periódicos regionales (Figura 30).

Bierzo | El Bierzo amanece bajo una intensa nube de humo y cenizas de los incendios de

El Bierzo amanece bajo una intensa nube de humo y cenizas de los incendios de Galicia, Cabrera y Alto Sil

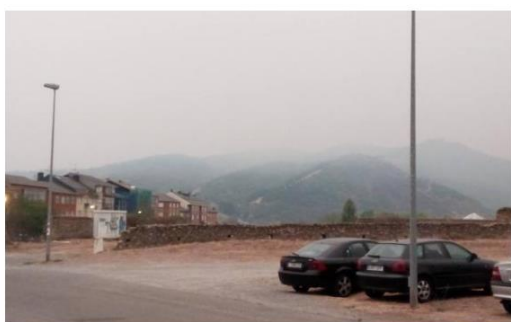


Imagen de la nube de intenso humo y cenizas que cubre Ponferrada. / C. RAMOS

Los fuegos y el viento sur dejan temperaturas inusuales con una mínima de 22º a las siete de la mañana en Ponferrada

DM Cantabria | El viento sur propaga por toda Cantabria humo y ceniza de los

El viento sur propaga por toda Cantabria humo y ceniza de los incendios de Asturias



Imagen de Santander esta mañana, cubierta de humo. / ALBERTO AJA

Figura 30: Efectos de la propagación del humo recogidos en la prensa local

Fuentes: El Bierzo Noticias, 2017; El Diario Montañés, 2017.

4.3.3. La dispersión transfronteriza de contaminantes

La singularidad de este episodio de incendios respecto a su impacto sobre la calidad del aire no proviene de la propagación de los productos de la combustión hacia las regiones vecinas, sino también hacia países alejados de la Península Ibérica, consecuencia de la evolución de la dinámica atmosférica en las horas siguientes al desencadenamiento de los incendios forestales. La figura 31 muestra el antiguo huracán Ophelia, ahora convertido en borrasca extratropical, como demuestra el alargado frente frío que atravesaba la Península Ibérica, el Golfo de Vizcaya y las Islas Británicas; por delante de este frente estaban soplando vientos del SW.

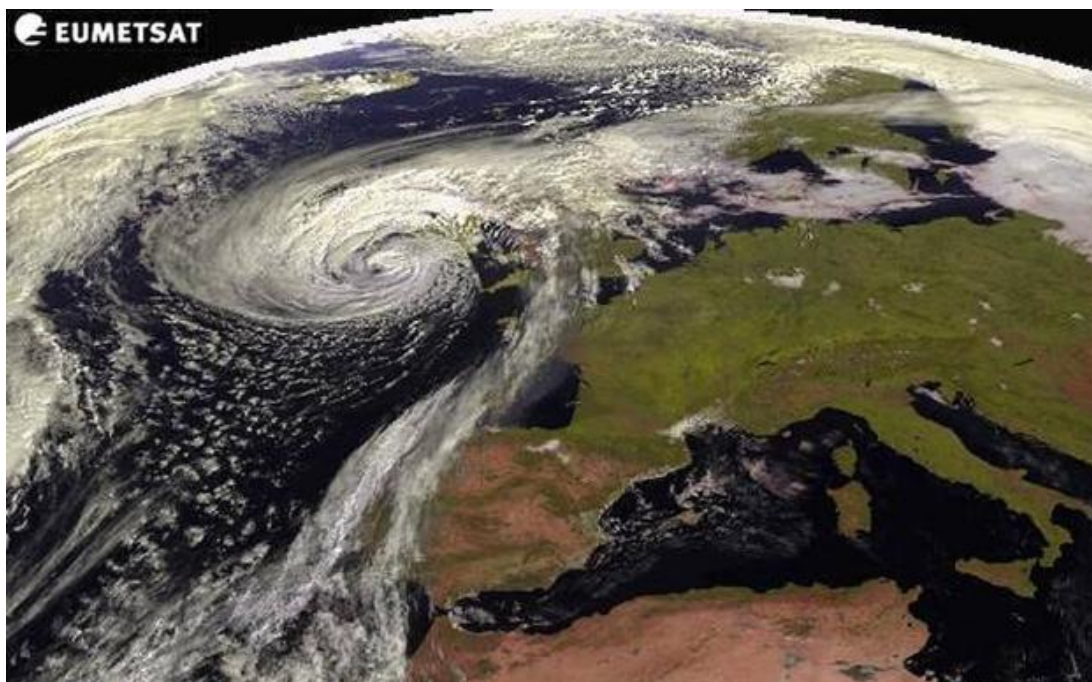


Figura 31: Desplazamiento del humo empujado por el huracán Ophelia, en octubre de 2017

Fuente: Roesli *et al.*, 2017.

La configuración atmosférica señalada en líneas previas era muy favorable a la propagación de los contaminantes desde el NW de la Península Ibérica hacia las Islas Británicas. Las trayectorias simuladas por el modelo Hysplit para el día 15 de octubre a las 12 UTC (es decir, el momento en el que se estaban propagando los incendios en Portugal y Galicia) confirma esta suposición. Las partículas que comenzaron su desplazamiento en Galicia, cualquiera que fuera su altura, se desplazaron siguiendo una trayectoria arqueada que las habría llevado a situarse sobre las Islas Británicas y el Mar del Norte a mediodía del 16, y sobre los países bálticos a mediodía del 17 (figura 32). El desplazamiento de los posibles contaminantes habría tenido lugar sobre todo en las capas medias de la atmósfera, tal y como señala la simulación, debido a que la cuña que conforma el aire frío que llegó posteriormente, habría empujado hacia arriba la masa de aire más cálida que la precedía.

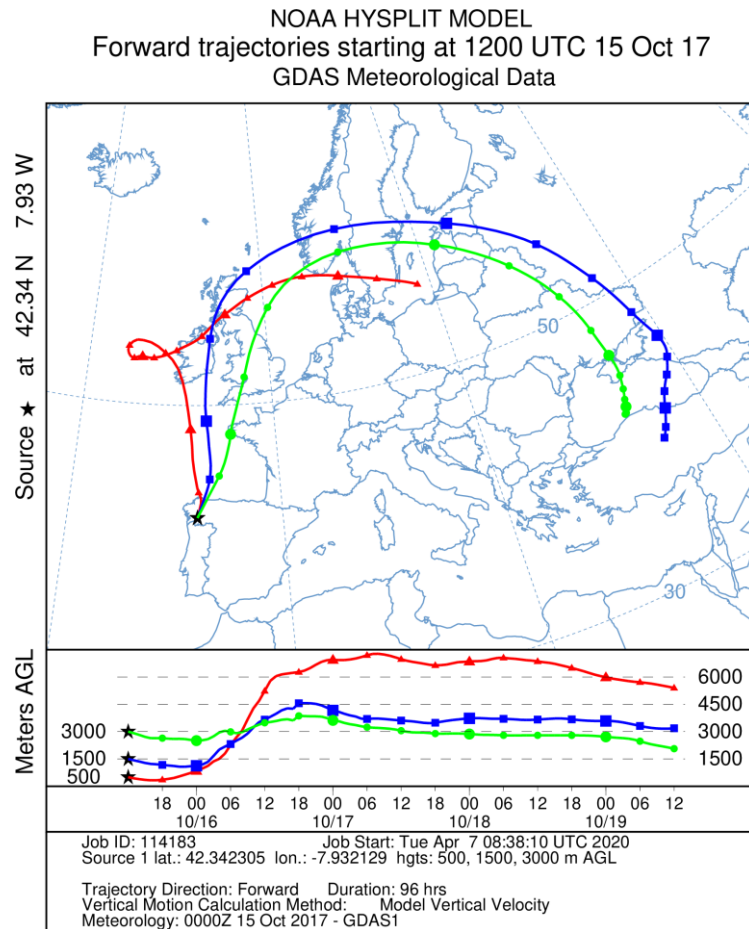


Figura 32: Trayectoria del aire en los días siguientes a los incendios de octubre de 2017

Fuente: ARL, 2020.

Esta sería la causa de las noticias de prensa con referencias a cielos anaranjados en las Islas Británicas y Gales, acompañadas de referencias a humo. Por si fuera poco, el día 17 de octubre ocurrió un fenómeno de lluvia negra en Estonia, lo cual se debió a la precipitación junto con el hollín y el humo. En la imagen se observa claramente una capa nubosa bastante tenue, con un color grisáceo, que correspondería al hollín dispersado por la circulación atmosférica (figura 33).

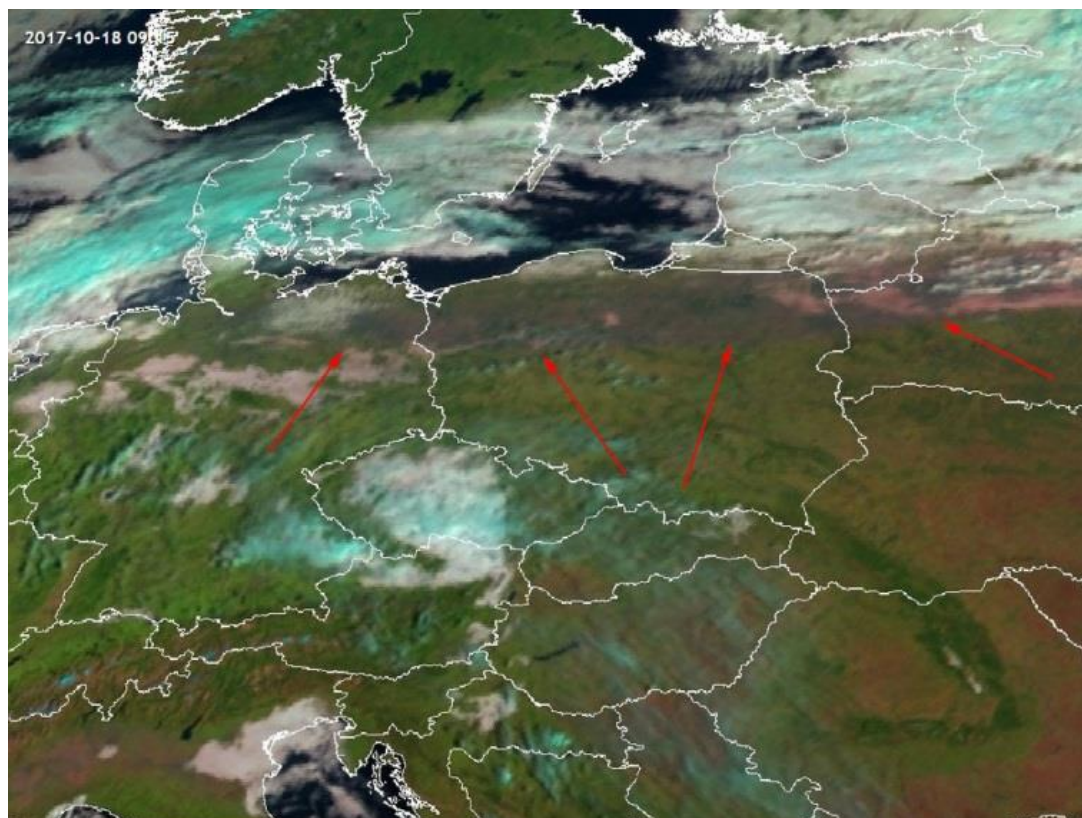


Figura 33: Llegada del humo a países bálticos el 17 de octubre de 2017

Fuente: Roesli *et al.*, 2017.

También es posible obtener evidencias de esta contaminación transfronteriza utilizando como fuentes de información los productos derivados de satélite. Uno de los contaminantes registrados por estos satélites es el monóxido de carbono, el contaminante más abundante en la atmósfera Terrestre. Este compuesto gaseoso puede transportarse a grandes distancias como en este caso, permaneciendo en la atmósfera hasta un mes, siendo además uno de los gases que cuenta con una importancia mayor sobre el efecto invernadero.

Las imágenes obtenidas del sensor AIRS, instalado en el satélite Aqua muestra la dispersión de una pluma de CO los días 16 y 17 a lo largo de toda Europa, siguiendo en gran medida la trayectoria prevista por el modelo Hysplit (figuras 34 y 35).

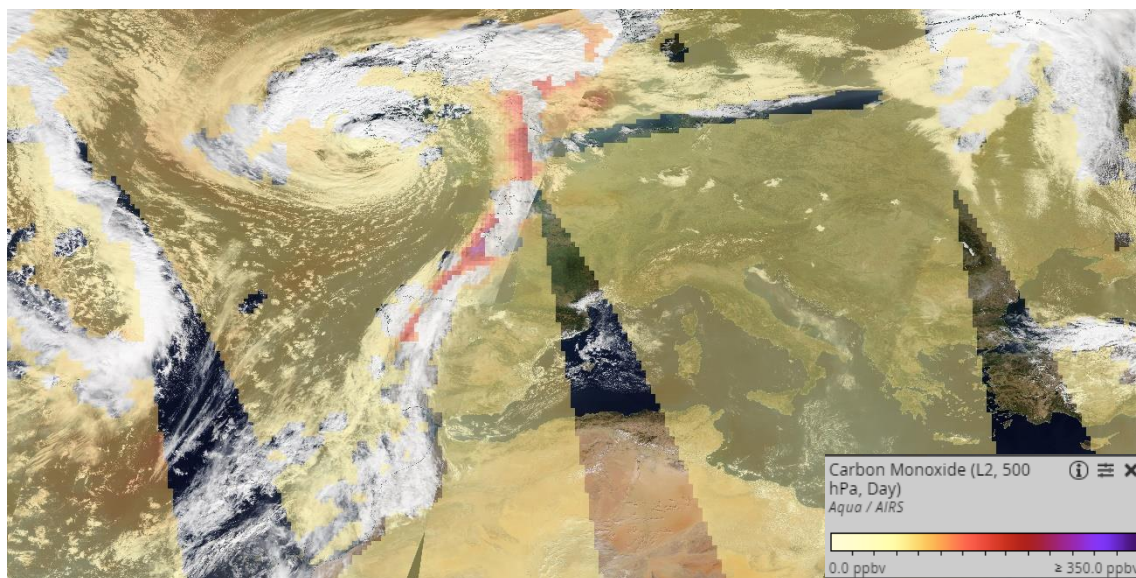


Figura 34: Concentración de monóxido de carbono el día 16 de octubre 2017, en unidades de partes por millón por volumen a 500 hPa de presión (L2, 500 hPa)
Fuente: Worldview, 2017.

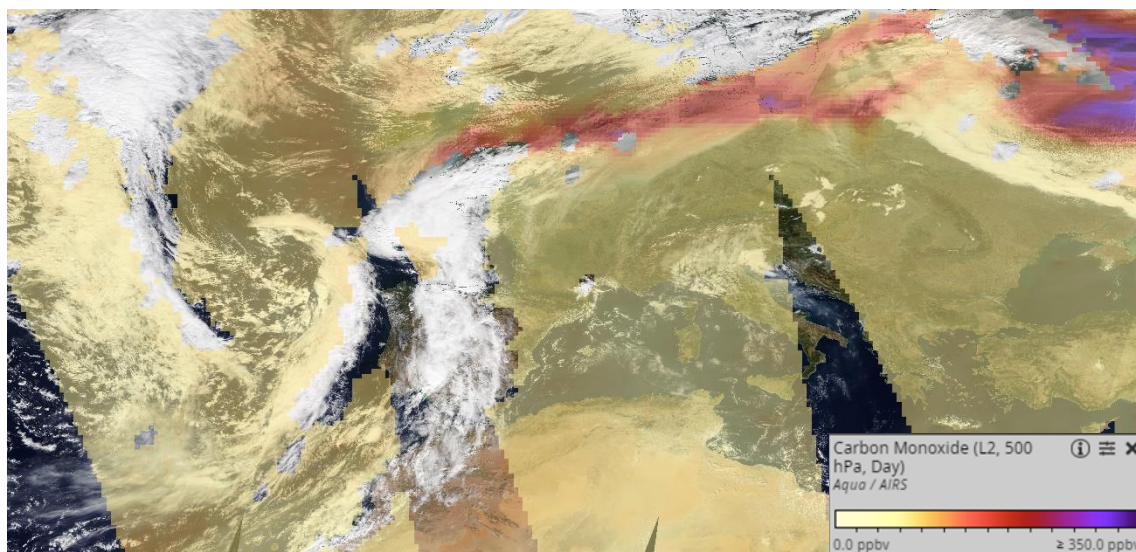


Figura 35: Concentración de monóxido de carbono el día 17 de octubre 2017, en unidades de partes por millón por volumen a 500 hPa de presión (L2, 500 hPa)
Fuente: Worldview, 2017.

5. CONCLUSIONES

El episodio de incendios forestales analizado en este TFG ofrece una serie de singularidades atractivas para su análisis. Una primera es su extraordinaria incidencia en Galicia, una región que contabiliza el mayor número de incendios y la mayor superficie quemada de España, en franca contradicción con su pertenencia a la “España Húmeda”. Además, ocurrieron fuera del periodo más habitual de incendios en esta región, que suele ser el mes de agosto, aunque no es posible confirmar si su rápida propagación pudo estar favorecida en parte por la desactivación de las brigadas contra-incendios.

Amén de esa circunstancia, la virulencia del fuego se explica por unas condiciones atmosféricas muy favorables a la propagación de los incendios, tanto a largo plazo, en forma de una prolongada e intensa sequía, como a corto plazo, combinando las altas temperaturas y sequedad de una intrusión sahariana con los fuertes vientos ocasionados por la llegada de los restos del huracán Ophelia, convertidos en depresión extratropical.

Como consecuencia de la intrusión sahariana, la concentración de partículas en la atmósfera aumentó considerablemente en la mitad occidental de la Península Ibérica, y en particular en las comarcas próximas a la costa atlántica gallega, durante el día 15. El desplazamiento del sistema perturbado dispersó los contaminantes ligados a los incendios hacia las regiones españolas limítrofes con Galicia a lo largo de la mañana del día 16, y hacia el N de Europa a lo largo de los dos días siguientes.

Esta combinación de condiciones atmosféricas extremas en un momento del año no habitual para la aparición de incendios forestales podría considerarse un anticipo de las condiciones esperables en las próximas décadas como consecuencia del aumento global de las temperaturas, ligado a una mayor concentración de gases invernadero en la atmósfera.

En los últimos años se asiste a una mejora de la calidad del aire en España, gracias a la disminución en la emisión de contaminantes y a las restricciones impuestas por los gobiernos en la lucha contra las emisiones y el cambio climático. Aunque no se ha podido demostrar una relación entre aumento de las temperaturas y aumento de las intrusiones saharianas en España, sus efectos sí coinciden con las consecuencias previstas por el Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC), con una mayor frecuencia futura, tanto en la Península Ibérica como en las Islas Canarias. El desplazamiento latitudinal hacia el N del anticiclón de las Azores, podría estar facilitando la llegada de

episodios de calima más potentes en los últimos años, ya que permite el ascenso de masas de aire caliente hacia el Norte. Esta circunstancia podría contrarrestar los logros obtenidos hasta la fecha en la reducción de la emisión de contaminantes.

La evolución esperada de temperaturas, humedad y viento en los próximos decenios hará mucho más frecuentes situaciones de riesgo de incendios extremas. Dada la dificultad en la lucha contra incendios bajo estas condiciones, parece necesario optar por medidas de prevención que eviten la propagación de este tipo de incendios. Por otro lado, este episodio es una muestra de que en un futuro próximo va a ser necesario mantener activas estas brigadas a lo largo de todo el año, ya que el cambio climático contribuye a aumentar el riesgo en épocas anteriormente seguras. En las últimas décadas los incendios forestales han ido perdiendo la estacionalidad que les caracterizaba, extendiéndose a lo largo de todo el año debido al alargamiento del periodo favorable para su desencadenamiento. Por ejemplo, el alargamiento de los veranos y las cada vez más frecuentes condiciones de sequía en el norte de España, provoca que los suelos sean más vulnerables y por tanto los incendios más frecuentes.

Por último, en cuanto a los huracanes, cabe esperar una llegada a tierras europeas más frecuente que en la actualidad. Hasta ahora, se limitaba a unos pocos fenómenos por década, mientras que en los últimos años se ha visto cómo se acercaban cada vez de manera más habitual a las costas europeas. Los huracanes llegan a estas latitudes debido a las cada vez temperaturas más altas, tanto del mar como del aire, que provocan el desplazamiento en direcciones anteriormente infrecuentes. Hasta comienzos del siglo XXI, apenas se registraba la llegada de un huracán cada 4 años, siendo por tanto algo anómalo, pero desde 2005, con el acercamiento del Huracán Vince a las costas peninsulares, la frecuencia aumentó hasta registrarse un fenómeno al año. Este último año destaca por el aumento considerable de la llegada por primera vez en una misma temporada de hasta tres huracanes (Pablo, Lorenzo y Sebastien).

BIBLIOGRAFÍA

- Balsa-Barreiro, J.; Hermosilla, T.; Lois González, R. C. (2014). La campaña de incendios de 2006 en Galicia: un análisis del cambio en la distribución espacial de la actividad incendiaria. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, N.º 64 – 2014, págs. 81-100. I.S.S.N.: 0212-9426
- Bytnerowicz, A.; Arbaugh, M.; Riebau, A.; Andersen, C. (Eds.) (2009). *Widland Fires and Air Pollution. Developments in environmental Science*, Vol. 8. Disponible, en mayo de 2020, en: <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/34227>
- Caamano-Isorna, F.; Figueiras, A.; Sastre, I.; Montes-Martínez, A.; Taracido, M.; Piñeiro-Lamas, M. (2011). Respiratory and mental health effects of wildfires: an ecological study in Galician municipalities (north-west Spain). *Environmental Health*, 10(48). doi:10.1186/1476-069X-10-48
- Carracedo, V.; Diego, C.; García Codrón, JC. y Rasilla Álvarez, DF. Los incendios forestales. Barcelona, Davinci, Colección Nueva GeoAmbiente XXI, 3, 2009, 250 pp.
- Castellnou, M. (2018). Los incendios de sexta generación son más difíciles de controlar y afectan a medio planeta”. En: La Vanguardia, la actualidad del medio ambiente, 17 de agosto de 2018.
- Fernández-Couto, T. (2006). Los incendios forestales en Galicia. *Anales Real Sociedad Económica Valenciana de Amigos del País*: 401-412. Disponible, en mayo de 2020, en: https://www.uv.es/rseapv/Anales/06/A_Los_incencios_forestales.pdf
- Flannigan, M., Amiro, B., Logan, K., Stocks, B. y Wotton, M. (2006). Forest Fires and Climate Change in the 21ST Century. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 11. 847-859. Doi: 10.1007/s11027-005-9020-7.
- James, SR (1989). Hominid Use of Fire in the Lower and Middle Pleistocene: A Review of the Evidence. *Current Anthropology* 30 (1): 1–26. doi: 10.1086/203705.
- Miranda, A.I.; Marchi, E.; Ferretti, M.; Millán, M.M. (2009). Forest Fires and Air Quality Issues in Southern Europe. *Developments in Environmental Science*, 8: 209-231. doi:10.1016/S1474-8177(08)00009-0
- Pausas, J. G. (2010). Fuego y evolución en el Mediterráneo. *Investigación y Ciencia*, Universidad de Valencia, agosto 2020. Disponible, en mayo de 2020, en: https://www.uv.es/jgpausas/papers/Pausas-2010-lyC_fuego-evolucion.pdf

- Randerson, J.T.; Van der Werf, G.R.; Giglio, L.; Collatz, G.J.; Kasibhatla, P.S. (2018). *Global Fire Emissions Database, Version 4, (GFEDv4)*. Tennessee: ORNL DAAC. doi:[10.3334/ORNLDAAC/1293](https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1293)
- Rantanen, M., Räisänen, J., Sinclair, V., Lento, J. y Järvinen, H. (2020): The extratropical transition of Hurricane Ophelia (2017) as diagnosed with a generalized omega equation and vorticity equation. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*. 72. 1-26. Doi: [10.1080/16000870.2020.1721215](https://doi.org/10.1080/16000870.2020.1721215).
- Rico Boque, E. (2018) Las ayudas públicas a la repoblación forestal privada en Galicia, 1952-1992. *SÉMATA, Ciencias Sociais e Humanidades*, 30: 319-338.
- Soto Fernández, D. y Prieto, L. (2004). Política forestal e conflictividade nas terras comunais de Galicia durante o franquismo (1939-1975). En “Mundo Rural, Transformação e resistencia na Península Ibérica (século XX)”; Dulce Freire I y Fonseca, P (Eds):.225-249. Doi: [10.13140/2.1.1225.5525](https://doi.org/10.13140/2.1.1225.5525).
- Van Der Werf, G.R.; Randerson, J.T.; Giglio, L.; Collatz, G.J.; Mu, M.; Kasibhatla, P.S.; Morton, D.C.; DeFries, R.S.; Jin, Y.; Van Leeuwen, T.T. (2010). Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997-2009). *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10: 11707-11732. doi:[10.5194/acp-10-11707-2010](https://doi.org/10.5194/acp-10-11707-2010)
- Westwerling, A.L.; Hidalgo, H.G.; Cayan, D.R.; Swetnam, T.W. (2006). Warming and Earlier Spring Increase Western U.S. Forest Wildfire Activity. *Science*, 313(5789): 940-943. doi:[10.1126/science.1128834](https://doi.org/10.1126/science.1128834)

FUENTES

- ABC (2016). *El 80% de los incendios forestales están provocados por el hombre y el 30% son descuidos*. Madrid: Diario ABC, Sección Sociedad, Edición Digital, 16 de junio, 21:54h. Disponible, en mayo de 2020, en: www.abc.es/sociedad/abci-80-por-ciento-incendios-forestales-estan-provocados-hombre-y-30-por-ciento-descuidos-201606162138_noticia.html
- Álvarez del Vayo, M. (2019). Municipios que no se preparan contra el fuego. *Blog CIVIO*. Madrid: Fundación Ciudadana Civio. Disponible, en mayo de 2020, en:

<https://civio.es/espana-en-llamas/?gclid=EAIaIQobChMIInrax0KTY5wIVwvRCh3 trwahEAAAYASAAEgIn3vD BwE>

ARL (2020). *HYSPLIT*. Maryland: NOAA, Air Resources Laboratory (ARL). Disponible, en mayo de 2020, en: <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>

Aula Silvicultura (2011a). Galicia: Estadísticas de Incendios Forestales 1961-2011 (Parte I). *Blog Silvicultor*. Pontevedra: Universidad de Vigo. Disponible, en mayo de 2020, en: <https://silvicultor.blogspot.com/2011/11/galicia-estadisticas-de-incendios.html>

Aula Silvicultura (2011b). Galicia: Estadísticas de Incendios Forestales 1961-2011 (Parte II). *Blog Silvicultor*. Pontevedra: Universidad de Vigo. Disponible, en mayo de 2020, en: https://silvicultor.blogspot.com/2011/11/galicia-estadisticas-de-incendios_10.html

BSC (2020). *Dust Daily Forecast*. Barcelona: Barcelona Supercomputing Center, Earth System Services. Disponible, en mayo de 2020, en: <https://ess.bsc.es/bsc-dust-daily-forecast>

Cardoso Castro Rego, J. F.; Moreno Rodriguez, J. M.; Vallejo Calzada, V. R.; Xanthopoulos, G. (2018). *Forest fires. Sparking firesmart policies in the EU*. European Commission Brussels, Belgium. Disponible, en mayo de 2020, en: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/181116_booklet-forest-fire-hd.pdf

Earth Observatory (2006). *Fires in Spain and Portugal*. Washington, D.C.: NASA, MODIS Rapid Response Team. Disponible, en mayo de 2020, en: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/17138/fires-in-spain-and-portugal>

El Bierzo Noticias (2017). *El Bierzo amanece bajo una intensa nube de humo y cenizas de los incendios de Galicia, Cabrera y Alto Sil*. León: Diario El Bierzo Noticias, Sección Bierzo, C. Ramos, Edición Digital, 16 de octubre, 12:33h. Disponible, en mayo de 2020, en: <https://www.elbierzonoticias.com/bierzo/bierzo-amanece-bajo-20171016102311-nt.html>

El Diario Montañés (2017). *El viento sur propaga por toda Cantabria humo y ceniza de los incendios de Asturias*. Santander: El Diario Montañés, Sección Cantabria, M. Álvarez, Edición Digital, 16 de octubre, 21:00h. Disponible, en mayo de 2020, en: https://www.eldiariomontanes.es/cantabria/viento-propaga-cantabria-201710161126_33-nt.html?ref=https:%2F%2Fwww.google.com%2F

El Mundo (2016) *El humo de un incendio en Canadá cruza el Atlántico y llega a España*. El Mundo, Edición Digital, Sección Medio Ambiente, 26 de mayo, 14:10h. Disponible,

- en junio de 2020, en:
<https://www.elmundo.es/ciencia/2016/05/26/5746d981468aeb0a058b464e.html>
- El País (2016). *Los incendios de Galicia*. Madrid: Diario El País, Sección España. Disponible, en mayo de 2020, en:
https://elpais.com/diario/2006/08/10/espana/1155160802_740215.html
- El País (2018). *Incendios como bombas atómicas*. Madrid: Diario El País, Sección Opinión, M. Castellnou Ribau y A. García Hernández. Disponible, en mayo de 2020, en: https://elpais.com/elpais/2018/07/24/opinion/1532457837_710821.html
- Enríquez Alcalde, E.; Moral Vargas, L. del (Coords.) (2012). *Los Incendios Forestales en España: Decenio 2001-2010*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), Área de Defensa contra Incendios Forestales (ADCIF). Disponible, en mayo de 2020, en: https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/incendiosforestales2001-2010finalmod1_tcm30-132603.pdf
- Faro de Vigo (2015). *Áreas de Galicia alto riesgo de incendios*. Vigo: Diario Faro de Vigo, Sección Gráficos, L. Monsoriu. Disponible, en mayo de 2020, en: <https://mas.farodevigo.es/canales/graficos/2874/%C3%A1reas-de-galicia-alto-riesgo-de-incendios-.html>
- Faro de Vigo (2017). *La ola de incendios en Galicia arrasó 49.000 hectáreas de monte*. Vigo: Diario Faro de Vigo, Sección Galicia, A. Leyenda, Edición Digital, 3 de noviembre, 17:14h. Disponible, en mayo de 2020, en: <https://www.farodevigo.es/galicia/2017/11/03/incendios-galicia--ola-fuegos/1779263.html>
- Faro de Vigo (2018). *La "Siberia gallega" está en Chandrexa, Vilariño y A Veiga, con 3 habitantes por kilómetro cuadrado*. Vigo: Diario Faro de Vigo, Sección Galicia, Ourense, B. Lorenzo, Edición Digital, 15 de octubre, 01:57h. Disponible, en junio de 2020, en: <https://www.farodevigo.es/portada-ourense/2018/10/15/siberia-gallega-chadrenxa-vilarino-veiga/1979787.html>
- FIRMS (2020). *Fire Information for Resource Management System*. Washington, D.C.: NASA's Land, Atmosphere Near real-time Capability for EOS. Disponible, en mayo de 2020, en: https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#z:8;c:-7.9,42.5;d:2020-04-10..2020-04-11;l:dark_gray,firms_noaa20-viirs,firms_viirs,firms_modis_a,firms_modis_t

- GeoGeeks (2018). Ritmo de evolución demográfica en España. *Blog Esri España*. Disponible, en mayo de 2020, en: <https://geogeeks.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/fc0bdaa7eede475ca065ca83d19f2633>
- GLAM (2020). *MODIS*. Washington, D.C.: NASA, Global Agricultural Monitory (GAM). Disponible, en mayo de 2020, en: <https://glam1.gsfc.nasa.gov/v4.html>
- GPCC (2020). *Precipitation*. Maryland: NOAA, Physical Sciences Laboratory, Global Precipitation Climatology Centre (GPCC). Disponible, en mayo de 2020, en: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.gpcc.html>
- Hernández, L. (Coord.) (2019). *Arde el Mediterráneo: Propuesta mediterránea de WWF para la prevención de incendios forestales*. Madrid: WWF/Adena. Disponible, en mayo de 2020, en: https://d80g3k8vowjyp.cloudfront.net/downloads/wwf_informe_incendios_forestaales_2019_arde_el_mediterraneo_2019.pdf?51061/Arde-el-Mediterraneo-Nuevo-informe-sobre-incendios-forestales-WWF
- IGE (2020). *Incendios forestales*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia, Instituto Galego de Estatística (IGE). Disponible, en mayo de 2020, en: https://www.ige.eu/web/mostrar_actividade_estadistica.jsp?idioma=es&codigo=0101001002
- Institut Für Meteorologie (2020). Berlin: Universität Berlin. Disponible, en mayo de 2020, en: <http://www.met.fu-berlin.de/>
- Klimadiagramme (s.f.). Klimadaten von Spanien. Disponible, en mayo de 2020, en: https://www.klimadiagramme.de/GMA_neu/Europa/spanien0.htm
- La Provincia (2020). *La calima muestra una fotografía del futuro climático para las Islas*. Las Palmas: La Provincia, Sección Canarias, V. Pavés, Edición Digital, 25 de febrero, 01:50h. Disponible, en junio de 2020, en: <https://www.laprovincia.es/canarias/2020/02/25/calima-muestra-fotografia-futuro-climatico/1258648.html>
- La Voz de Galicia (2019). *La Galicia vacía: 182 concellos no llegan a 50 vecinos por cada kilómetro cuadrado*. A Coruña: Diario La Voz de Galicia, Sección Vigo, C. Punzón, Edición Digital, 31 de marzo, 5:00h. Disponible, en mayo de 2020, en: https://www.lavozdegalicia.es/noticia/vigo/vigo/2019/03/31/galicia-vacia-182-concellos-llegan-50-vecinos-kilometro-cuadrado/0003_201903G31P13991.htm

- Lazarzoff, C. (2003). Indonesia Rainforest Fires Doubled CO2 Levels Globally. *Blog Internet Archive WayBack Machine*. Disponible, en mayo de 2020, en: https://web.archive.org/web/20030508073851/http://www.monitor.net/monitor/0211a/ra_infire2.html
- López Santalla, A.; López García, M. (Coords.) (2019). *Los Incendios Forestales en España: Decenio 2006-2015*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). Disponible, en mayo de 2020, en: https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/incendios-decenio-2006-2015_tcm30-511095.pdf
- MAPA (2016). *Fallecidos en Incendios forestales en España 1991-2015*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), Dirección General de Desarrollo Rural, Innovación y Política Forestal. Disponible, en mayo de 2020, en: https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/web_seguridad_tcm30-137420.pdf
- MAPA (2020). *Acciones de Extinción*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). Disponible, en mayo de 2020, en: <https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/incendios-forestales/extincion/>
- MAPA (2020a). *Estadísticas de Incendios Forestales*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). Disponible, en mayo de 2020, en: https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/Incendios_default.aspx
- MAPA (2020b). *Geoportal*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). Disponible, en mayo de 2020, en: <https://sig.mapama.gob.es/geoportal/>
- MITECO (2020). *Datos Calidad del Aire 2001-2017*. Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). Disponible, en mayo de 2020, en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/evaluacion-datos/datos/Datos_2001_2017.aspx
- MOUDS (2020). *Riesgo de incendio forestal*. En: Cátedra Desenvolupament Sostenible, Módulos Universitarios en Ciencia del Desarrollo Sostenible. Tarragona: Universitat Rovira i Virgili. Disponible, en mayo de 2020, en: <http://www.desenvolupamentsostenible.org/es/los-riesgos-naturales/3-concepto-y-tipo-de-riesgo/3-8-riesgo-de-incendio-forestal>

- NIOSH (2019). *Fighting Wildfires*. Centers for Disease Control and Prevention (CDC), The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Disponible, en mayo de 2020, en: <https://www.cdc.gov/niosh/topics/firefighting/default.html>
- NOAA (2020). *Physical Sciences Laboratory*. Maryland: NOAA. Disponible, en mayo de 2020, en: <http://psl.noaa.gov/>
- OGIMET (2017). Temperatura del aire (°C) basada en SYNOP. *Blog OGIMET*. Disponible, en mayo de 2020, en: https://www.ogimet.com/cgi-bin/ogimet_nav
- QualAr (2020). *Base de Datos Online sobre a Qualidade de Ar em Portugal*. Amadora: Agência Portuguesa do Ambiente (APA). Disponible, en mayo de 2020, en: <https://qualar1.apambiente.pt/qualar/index.php?page=6>
- RAE (2019). Incendio forestal. *Diccionario de la lengua española*. Madrid: Real Academia Española. Disponible, en mayo de 2020, en: <https://dej.rae.es/lema/incendio-forestal>
- Rey, M. (2017a). Cando e onde hai máis risco de incendio en Galicia? *Blog Gciencia, Xornalismo+Divulgación*. Disponible, en mayo de 2020, en: <https://www.gciencia.com/medioambiental/modelo-risco-incendio-galicia/>
- Rey, M. (2017b). Ocho mapas y gráficos para intentar comprender los incendios en Galicia. *Blog Gciencia, Xornalismo+Divulgación*. Disponible, en mayo de 2020, en: <https://www.gciencia.com/extra/mapas-incendios-galicia/>
- Roesli, H.P.; De Valk, P.; Tusinska, A.; Prieto, J. (2017). *Smoke and flames from extensive wildfires in Portugal and Spain in mid-October 2017 could be clearly seen on satellite imagery*. EUMETSAT, Widespread wildfires in Portugal and Spain. Disponible, en mayo de 2020, en: https://www.eumetsat.int/website/home/Images/ImageLibrary/DAT_3688467.html?lang=EN
- SPEI (2017). *SPEI Global Drought Monitor*. Madrid: Ministerio de Economía y Competitividad, CSIC. Disponible, en mayo de 2020, en: <https://spei.csic.es/map/maps.html#months=1#month=9#year=2017>
- Stewart, S.R. (2018). *Hurricane Ophelia (AL 172017)*. Silver Spring (Maryland): NOAA, Tropical Cyclone Report. Disponible, en mayo de 2020, en: https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL172017_Ophelia.pdf

UCL (2019). *Depression and suicide risk linked to air pollution*. London: University College London (UCL), News. Disponible, en mayo de 2020, en: <https://www.ucl.ac.uk/news/2019/dec/depression-and-suicide-risk-linked-air-pollution>

Wikipedia (2013). *Indonesian Forest Fires*. Wikipedia, The Free Encyclopedia: Imagen de NASA, proveniente del instrumento satelital TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), utilizado para seguir el humo y nieblas tóxicas a nivel mundial. Disponible, en mayo de 2020, en: https://en.wikipedia.org/wiki/1997_Indonesian_forest_fires

Worldview (2017). *Satellite imagery*. Washington, D.C.: NASA. Disponible, en mayo de 2020, en: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>