



TRABAJO DE FIN DE GRADO

Curso: 2023-2024

Director: Domingo Rasilla Álvarez

**LOS INCENDIOS FORESTALES DE
ASTURIAS EN MARZO-ABRIL DE 2023:
EVALUACIÓN PRELIMINAR Y ANÁLISIS
DE SU SEVERIDAD**

**THE MARCH-APRIL 2023 ASTURIAS FOREST FIRES: PRELIMINARY
ASSESSMENT AND SEVERITY ANALYSIS**

Pablo del Olmo Díaz

Junio del 2024

RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado estudia el episodio de incendios forestales ocurridos en Asturias entre finales de marzo y comienzos de abril de 2023, periodo durante el que 400 incendios, 11 de ellos clasificados como grandes incendios forestales (GIF), quemaron una superficie total estimada en unas 34.2843 has. A partir del análisis de fuentes estadísticas y cartográficas se describen las características de este episodio en comparación con la casuística habitual de los incendios forestales de Asturias, se analizan las condiciones atmosféricas que ayudaron a su propagación, y se evalúa la severidad del incendio más grave del episodio, que afectó al Concejo de Valdés, mediante índices elaborados a partir de imágenes multiespectrales procedentes de la plataforma Sentinel-2.

Si bien algunas de esas características no se alejan demasiado de los patrones habituales de estos episodios (gran número de incendios, de pequeña superficie, simultáneos, quemando fundamentalmente superficies forestales no arboladas en zona de media montaña), otras constituyen singularidades no habituales en este tipo de eventos (número elevado de GIF, en gran medida afectando a superficies arboladas, fundamentalmente plantaciones de pino y eucalipto, a baja altitud y con afectación a zonas de interfaz urbano-forestal). Los resultados confirman además la severidad de este episodio, en especial el citado incendio del Concejo de Valdés (el de mayor superficie registrado en Asturias en los últimos 40 años), ya que perturbación causada en el ecosistema se ha mantenido incluso un año después del mismo. La excepcionalidad de este episodio, en términos de superficie afectada y severidad, sugiere que podría convertirse en un anticipo de futuros eventos en el marco de los impactos del calentamiento global.

PALABRAS CLAVE: Incendio forestal, severidad, Principado de Asturias.

ABSTRACT

This Final Degree Project studies the episode of forest fires that occurred in Asturias between late March and early April 2023, a period during which 400 fires, 11 of them classified as large forest fires, burned an estimated total area of 34,2843 ha. Through the analysis of statistical and cartographic sources of diverse origin, the characteristics of this episode are described in comparison with the usual casuistry of forest fires in Asturias, the atmospheric conditions that helped its propagation are analysed, and the severity of the most severe fire

of the episode, which affected the council of Valdés, is analysed by using indexes elaborated from multispectral images from the Sentinel-2 platform.

Although some of these characteristics are not too far from the usual patterns of these episodes (large number of fires, small area, simultaneous, burning mainly non-forested forest areas), others are unusual for this type of event (high number of GIF, largely affecting wooded areas, mainly pine and eucalyptus plantations, affecting urban-forest interface areas). The results also confirm the severity of this episode, especially the fire that affected the council of Valdés (the largest single fire recorded in Asturias in the last 40 years), since the disturbance caused in the ecosystem has been maintained even one year after it. The exceptional nature of this episode, in terms of area affected and severity, suggests that it could become a foretaste of future events within the framework of the impacts of global warming.

KEY WORDS: Forest fire, severity, Principality of Asturias.

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 ESTADO DE LA CUESTIÓN	5
1.2 OBJETIVOS	16
2. FUENTES Y METODOLOGÍA	17
2.1 FUENTES DE INFORMACIÓN	17
2.2 METODOLOGÍA	19
3. RESULTADOS	22
3.1 CARACTERIZACIÓN DEL EPISODIO DE INCENDIOS DE MARZO-ABRIL DE 2023 EN ASTURIAS.	22
3.2 CONDICIONES ATMOSFÉRICAS RELACIONADAS CON EL EPISODIO DE INCENDIOS FORESTALES	30
3.2.1 Condiciones atmosféricas durante el episodio de incendios forestales.	31
3.2.2 Condiciones atmosféricas en los meses previos.	35
3.3 ANÁLISIS DE LA SEVERIDAD DE LOS INCENDIOS FORESTALES DE ASTURIAS EN EL EPIDOSIOD DE MARZO-ABRIL DE 2023: EL INCENDIO DE VALDÉS	38
4. CONCLUSIONES	45
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	46
BIBLIOGRAFÍA	47

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ESTADO DE LA CUESTIÓN

El fuego es un elemento que ha existido en nuestro planeta desde que es posible la combustión, es decir la combinación entre un combustible y el comburente (O₂). Su origen está directamente relacionado a su vez con la aparición de las plantas, ya que estas son una fuente de producción de oxígeno, así como un elemento combustible (Pausas, 2010). Se estima que, en el Silúrico, hace 444 millones de años, con las primeras plantas terrestres aparecen también las primeras pruebas de fuego, ya que se encontraron restos carbonizados de plantas con estomas, lo que indicaría los primeros incendios de tipo superficial a una baja temperatura (Glasspool et al, 2004). Pero la actividad del fuego en la Tierra no ha sido siempre una constante, ya que depende de los niveles de oxígeno. Esto se sabe a partir de los restos orgánicos de carbón vegetal, que comienza a aparecer en el Devónico, aunque los depósitos extensos no aparecen hasta finales de la Era Paleozoica, en paralelo a un rápido aumento del oxígeno atmosférico. El máximo de alrededor de un 31% de oxígeno atmosférico durante el Carbonífero, comparado con el 21% actual, habría facilitado la combustión, incluso con altos porcentajes de humedad. El importante descenso de los niveles de oxígeno atmosférico durante el Pérmico y el Triásico explicaría a su vez las escasas evidencias de incendios, tal y como se deduce de los pocos depósitos de carbón encontrados para este periodo. Sin embargo, durante el resto del Jurásico y Cretácico, los incendios volvieron a adquirir mayor importancia (Pausas, 2009).

Haciendo ahora un salto de millones de años, llegamos al punto donde el ser humano comienza a relacionarse con el fuego. El ser humano al principio reaccionaría ante el fuego con miedo y desconocimiento ante el poderío de los grandes incendios naturales, que arrasarían los bosques y pastos de los animales que cazaban. Después sentirían curiosidad ante este elemento y comenzarían a imitar los comportamientos de otros animales, como los depredadores, acercándose a los restos del fuego para buscar presas parcialmente chamuscadas; este comportamiento ha sido denominado “uso pasivo” del fuego (Flannigan, 2001). El siguiente gran paso fue el desarrollo de las habilidades que permitieron al *Homo erectus*, hace 400.000 años, y posteriormente al *Homo sapiens*, manejar el fuego en su propio beneficio, desde cocinar los alimentos (lo que permite su mejor sabor y su mejor conservación) hasta usar el fuego como elemento que proporciona luz y calor; incluso el fuego era un elemento de poder de unos sobre los otros (Ibid.).

Cuando los humanos tuvieron la habilidad de controlar el fuego, lo dedicaron en parte a la caza, lo cual generó los primeros incendios provocados intencionalmente. Su objetivo era provocar la huida de animales escondidos en la maleza y acabar con insectos y parásitos mediante el humo, además de despejar el terreno, además de crear pastos y lugares para el cultivo, lo que podría atraer a animales que serían presa de los humanos (Ibid.).

Dando otro salto en el tiempo esta vez no de millones de años si no de cientos de miles, llegamos al mundo moderno. Aunque los incendios forestales pueden ser provocados por causas naturales (fundamentalmente rayos), la mayoría son provocados, normalmente para aumentar la superficie de cultivable despejando la vegetación natural o limpiar la maleza muerta tras las cosechas. De acuerdo con la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos, el 85-90 % de los incendios forestales se deben a causas humanas como incendios desatendidos en zonas de barbacoa, cigarrillos mal apagados o incendios directamente provocados.

El uso del fuego como herramienta ha modelado los paisajes de gran parte del planeta desde comienzos del Holoceno, favoreciendo inicialmente la apertura de los bosques, y posteriormente facilitando la conservación de paisajes abiertos (tanto campos de cultivo como pastos) tras la desaparición de la vegetación arbórea. Aunque es difícil cuantificar la superficie quemada anualmente en todo el planeta, un estudio señala que los incendios forestales fueron responsables de más del 30% de la superficie arbórea perdida desde 2001, representando un área del tamaño de Bélgica (Tyukavina et al, 2022). Su relevancia para algunos ecosistemas es tal que algunas formaciones vegetales han evolucionado junto al fuego e incluso necesitan de quemadas periódicas para reproducirse (Thompson et al, 2009). Hoy en día, la mayoría de los incendios forestales en zonas tropicales todavía responden a ese modelo de gestión de los ecosistemas terrestres, explicando en gran medida la distribución actual de los incendios forestales (Figura 1.1). La mayoría se concentra en latitudes intertropicales, con tres focos fundamentales. África es uno de los puntos críticos, donde estos incendios ocurren de norte a sur a medida que avanza la estación seca cada año (Earth Observatory Fires, 2024). En este continente son habituales los incendios usados como técnica agrícola ancestral para el control de los pastos, cazar, despejar los caminos, control de plagas o favorecer las mejores plantas para la alimentación, ya que la ceniza aporta nutrientes a los futuros cultivos (FAO, 2001). Otro foco importante se sitúa en el SE asiático, ligado, como en el caso de Sudamérica, a la deforestación para convertir los bosques tropicales en pastos para el ganado o tierras cultivables (por ejemplo, la producción de aceite

de soja; Science, 2019). Por lo tanto, aunque en África se registran más incendios que en la Amazonía, estos incendios ocurren principalmente en áreas de sabana que rodean a las selvas del Congo, mientras que en Sudamérica y SE asiático afectan sobre todo a bosques tropicales (pe. la selva del Amazonas, El Diario.es, 2019).

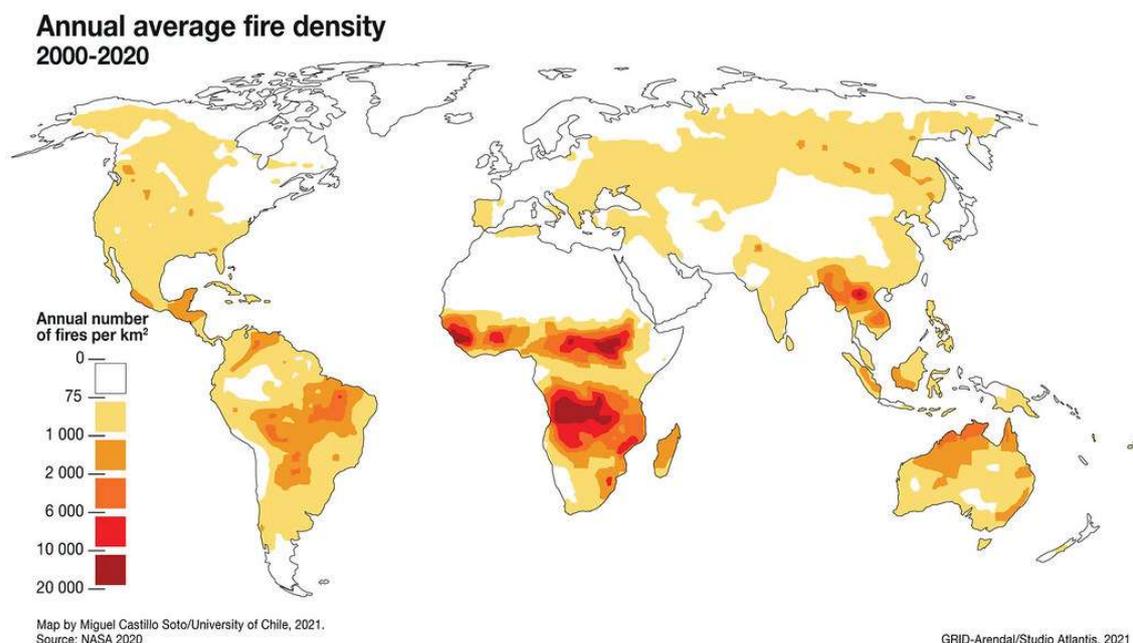


Figura 1.1. Mapa incendios forestales actuales. Fuente:
<https://www.grida.no/resources/15550>

Otra de las zonas más afectadas hoy en día por los incendios forestales es el mundo mediterráneo. En este caso los incendios forestales responden a procesos diferentes a los mencionados anteriormente. El mundo mediterráneo está sometido a un proceso de abandono rural que ha conducido a una menor presión sobre el territorio. La desaparición de los usos tradicionales en el monte y la reducción de las cargas de ganado han favorecido la recuperación progresiva de la vegetación, que ha incrementado la cantidad de combustible en los bosques.

Por último, cabe señalar la importancia que están adquiriendo los incendios que afectan a las periferias urbanas, unas áreas que reciben el nombre de “interfaz urbano-forestal”. De forma simplificada, estas áreas corresponden a zonas en las que el terreno forestal entra en contacto con zonas edificadas. Este interfaz constituye una fuente de peligro, pues se trata de un ámbito donde las probabilidades de ignición por causas humanas son mucho más frecuentes (Vilar et al., 2008) y generan problemas específicos, sustancialmente distintos a los

provocados por los incendios puramente forestales o urbanos, por ejemplo, una creciente complejidad en las labores de prevención y de extinción (Pyne et al., 1996).

Junto a los factores humanos, los incendios forestales, que constituyen un fenómeno claramente multicausal, están sometidos a factores naturales, como el relieve (altitud, pendiente, orientación), el clima (temperatura, humedad, viento, sequia acumulada) y el tipo de vegetación. En relación con el factor climático, no cabe duda del impacto del calentamiento global en los incendios forestales, no tanto para provocar más incendios, sino para que éstos sean más agresivos. Este es el origen de los conocidos como incendios de sexta generación o mega-incendios, “eventos de proporciones catastróficas, con un impacto social, económico y ambiental muy alto, cada vez más difíciles de extinguir” (Spano, 2022). Estos eventos se caracterizan por una gran intensidad del fuego, una gran velocidad de propagación y la génesis de unas condiciones ambientales capaces de proyectar pavesas a gran distancia, múltiples focos y en general, un comportamiento errático que no es predecible por los actuales modelos de expansión del fuego. Un ejemplo de estos “mega incendios” fue el de Pedrógão Grande en el centro de Portugal de junio de 2017, que calcinó unas 46.000 ha. (SondaInternacional.com, 2023) cubiertas por plantaciones de pino y eucalipto, bajo unas condiciones de temperaturas extremas y sequia prolongada, dejando un balance de 64 personas fallecidas. Otro ejemplo es el de la Sierra de La Culebra en la provincia de Zamora en el 2022 o el episodio de incendios en el verano austral de 2019-2020 en Australia.

Gracias a unos mayores esfuerzos en la prevención y extinción de incendios, en España tanto el número como la superficie quemada por los incendios forestales han disminuido en los últimos decenios (Figura 1.2) pero la proporción de la superficie quemada por los grandes incendios ha aumentado y en algunos años han supuesto el 40% de la superficie afectada (Figura 1.3)

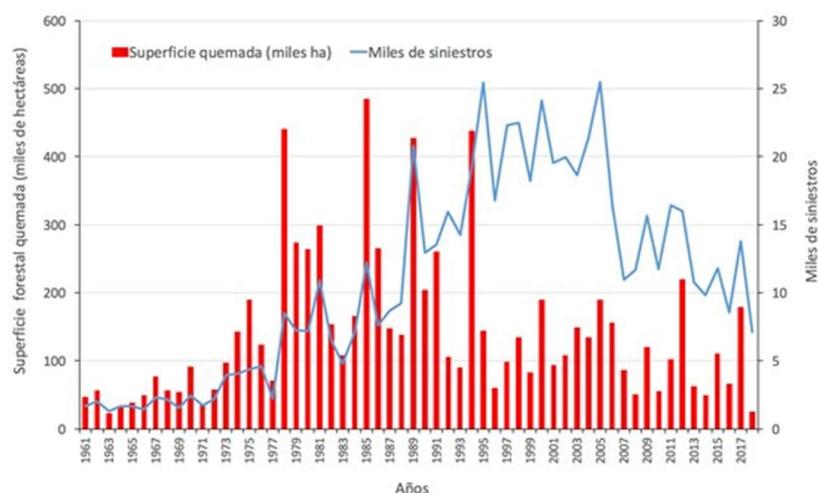


Figura 1.2. Área quemada y número de incendios en España en el último medio siglo.

Fuente: Moreno et al. (2015).

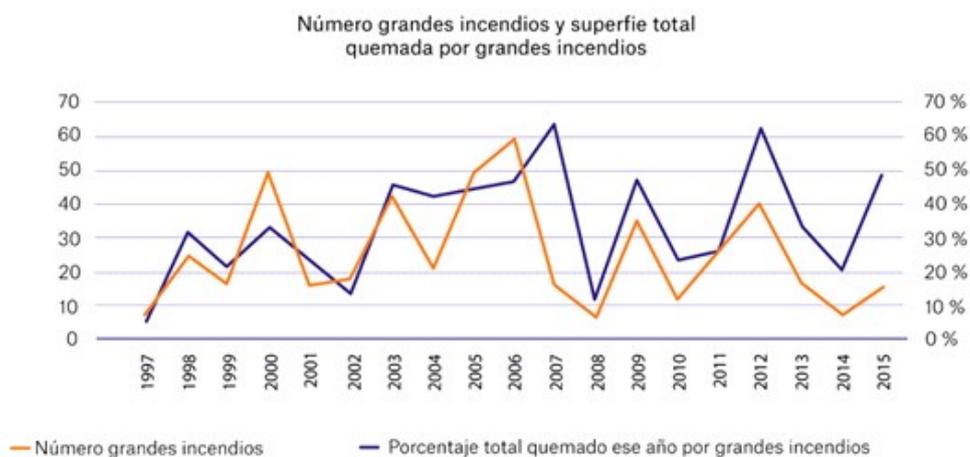


Figura 1.3. Evolución de los grandes incendios forestales +500 ha. Fuente: Fundación

La Caixa. <https://elobservatoriosocial.fundacionlacaixa.org>

Los incendios forestales en el norte de la Península Ibérica son, en gran medida, una consecuencia del uso del fuego como herramienta de gestión del medio natural, una práctica que conformó el actual paisaje rural de la región. Aunque no tenemos datos directos de Asturias, a partir de las investigaciones realizadas en el Departamento de Geografía de la Universidad de Cantabria, el fuego se ha utilizado por las comunidades locales como herramienta de gestión de los montes para la creación de nuevos espacios orientados hacia las actividades ganaderas y al mantenimiento de pastos. Estudios realizados a partir de los restos de carbón fósil depositado en turberas muestra que los incendios forestales ya fueron

habituales en el Holoceno, con algunos periodos de gran actividad coincidiendo con periodos relativamente secos (Figura 1.4). También se han recogido testimonios escritos sobre el uso del fuego como herramienta, por ejemplo, las *Ordenanzas de los Puertos de Áliva* en 1494 (Pérez-Bustamante y Baró, 1988).

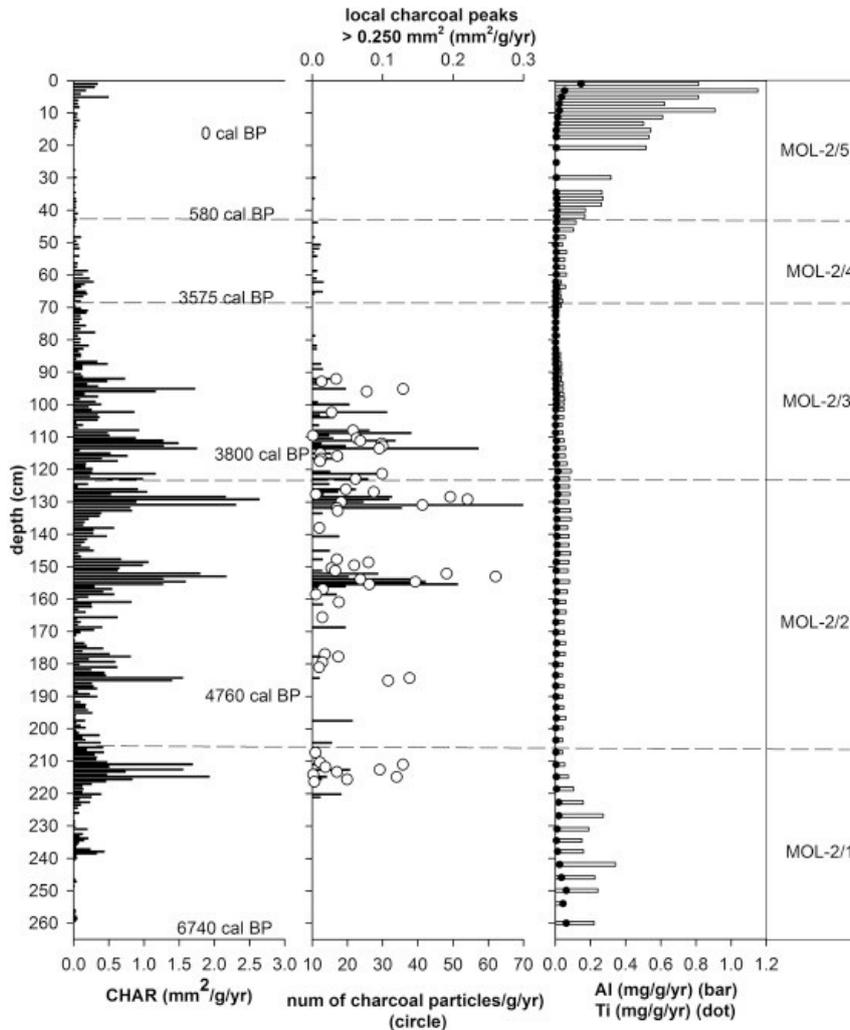


Figura 1.4. Tasas de acumulación de carbón fósil (CHAR), picos de macropartículas de carbón y acumulación de concentración de Titanio (Ti) y Aluminio (Al) como trazadores de fenómenos erosivos en la turbera de La Molina (MOL-2). Fuente: Pérez-Obiol et al, 2016.

Este uso del fuego como herramienta de gestión del territorio tiene como resultado incendios forestales que en Asturias poseen unas características particulares. La primera de ellas es un régimen caracterizado por dos máximos anuales (Figura 1.5). El más importante abarca

desde el final del invierno al comienzo de la primavera, es decir desde febrero a mediados de abril. El máximo secundario comprende los meses de agosto, septiembre y octubre.

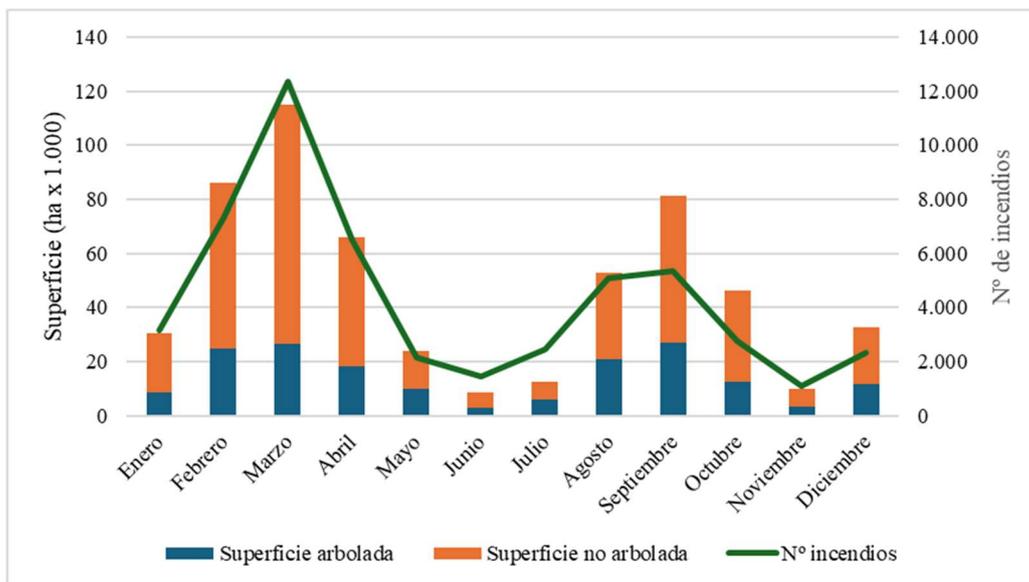


Figura 1.5. Superficie quemada por mes en Asturias. 1991-2022. Elaboración propia a partir de datos proporcionados por SADEI.

Estos incendios además se concentran en episodios desarrollados durante varios días consecutivos, en los que aparecen múltiples focos simultáneos, afectando a una superficie escasa (una media de unos 6,22 has), fundamentalmente matorral y pastizal (Figura 1.6).

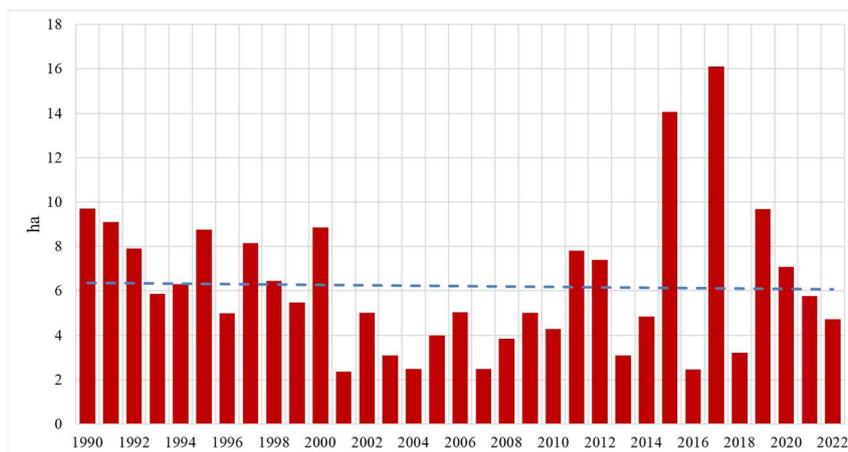


Figura 1.6. Superficie media por incendio. Asturias. 1990-2022. Elaboración propia a partir de datos proporcionados por SADEI

Otra particularidad es que, mientras en el resto de España el número de incendios y la superficie quemada disminuye, en Asturias parece aumentar en los últimos años (Figura 1.7).

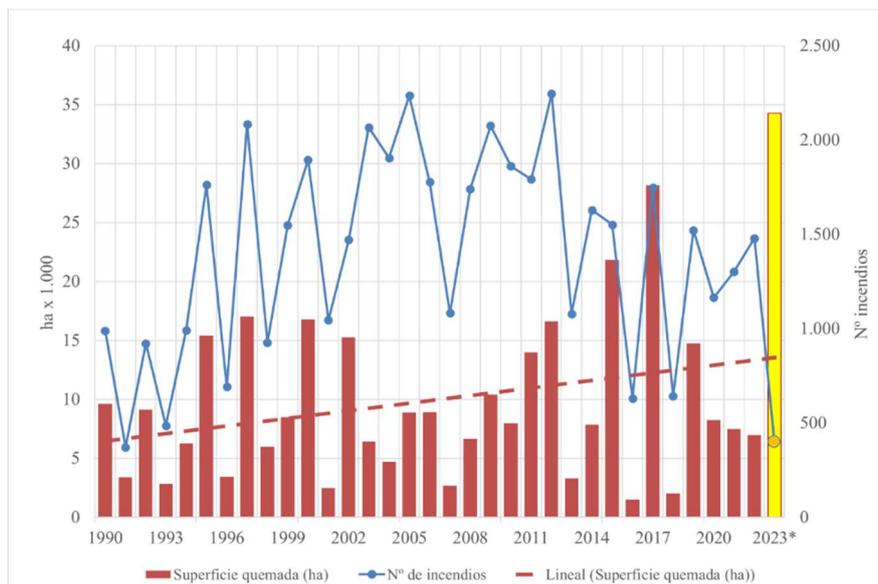


Figura 1.7. Superficie quemada y núm. de incendios. Asturias (1990-2023*).

Elaboración propia a partir de datos proporcionados por SADEI.

*Datos de 2023 hasta abril.

No obstante, este uso tradicional del fuego como herramienta de gestión está sufriendo modificaciones a causa de las transformaciones socioeconómicas del medio rural (abandono de las actividades tradicionales e introducción de especies de repoblación de rápido crecimiento), así como por políticas forestales de cuidado del medioambiente (normativa más restrictiva respecto a quemas; Gutiérrez et al., 2009). Al igual que el resto de España, el medio rural asturiano ha sufrido una importante despoblación, que ha afectado sobre todo a los concejos del interior, en particular a los del Occidente (Figura 1.8). Asturias es, actualmente, la tercera comunidad que más población rural ha perdido (casi un 20%) desde el año 2000 (Muñiz, 2019). Esto ha supuesto el abandono de la ganadería tradicional y los pastos, dejando estos espacios descuidados o dedicándolos a la plantación de especies de rápido crecimiento como pino o eucalipto.

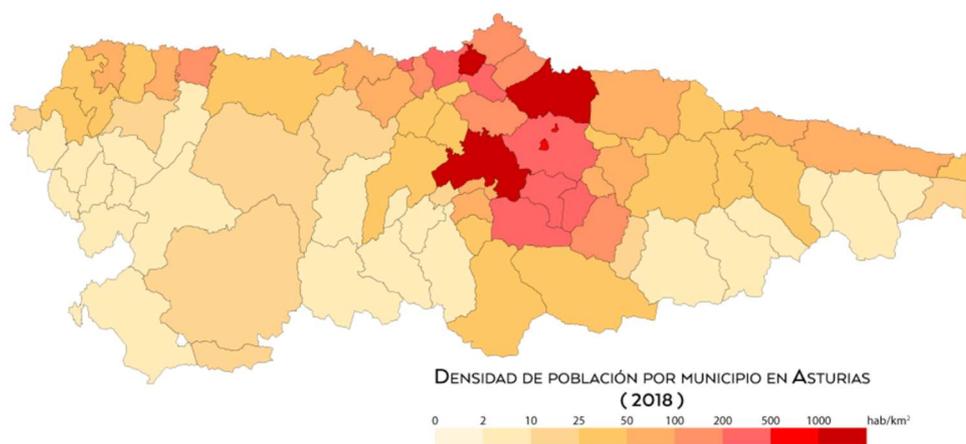


Figura 1.8. Densidad despoblación por municipio. Asturias. Wikipedia Commons, 2018

Estas transformaciones han supuesto un aumento de la superficie forestal y su densificación, como confirman los sucesivos Inventarios Forestales Nacionales, que recogen la evolución de la superficie forestal desde mediados de los 60 hasta la actualidad (aunque la comparación directa es problemática debido a cambios en los procedimientos; Tabla 1.1).

Uso y tipo de monte	IFN1 (ha)	IFN2 (ha)	IFN3 (ha)	IFN4 (ha)	% Variación IFN4/IFN3
Uso forestal (ha)	660.298	667.252	764.597	770.549	0,78
Monte arbolado total	363.311	368.129	448.360	453.700	1,19
Monte arbolado denso (FCC \geq 20%)		325.700	434.903	441.926	1,61
Monte arbolado ralo (*) (10 \leq FCC < 20%)		42.428	11.034	9.390	-14,90
Monte arbolado temporalmente sin cobertura			2.422	2.383	-1,60
Monte desarbolado total	296.987	299.122	316.237	316.848	0,19
Monte desarbolado (FCC < 5%)		299.122	311.058	316.649	1,80
Monte desarbolado con arbolado disperso (5 \leq FCC < 10%)			5.178,85	199,15	-96,15

Tabla 1.1. Evolución de la superficie forestal en Asturias según los cuatro IFN.

Fuente: Gobierno del Principado de Asturias.

Hoy en día la superficie de Asturias es ligeramente superior al millón de hectáreas, de las cuales el aproximadamente el 73% es de uso forestal, un dato que está por encima de la

media del país (el 55%). De esa superficie forestal, el 60% se considera superficie arbolada, siendo el 97% bosque arbolado denso. El 40% restante lo completa el monte desarbolado, donde la mayoría está cubierto por el matorral, pastizal y herbazal. En cuanto a las especies predominantes en las superficies arboladas, casi el 50% está formados por frondosas autóctonas mientras que un 25% están formados por especies de repoblación de producción, mientras que un 20% está compuesta por la mezcla entre frondosas autóctonas y repoblación (Tabla 1.2).

Distribución de la superficie forestal. ASTURIAS	
Usos del suelo	Superficie (ha)
Monte arbolado total	453.700,99
Monte arbolado denso	441.926,97
Monte arbolado ralo	9.390,32
Monte arbolado temporalmente sin cobertura	2.383,70
Monte desarbolado total	316.848,84
Monte desarbolado con arbolado disperso	199,15
Monte desarbolado	316.649,79
Total forestal	770.549,93

Tabla 1.2. Distribución de la superficie forestal en Asturias. Elaboración propia a partir de CORINE Land Cover.

A partir de estos datos se deduce que aproximadamente el 11% de la superficie de Asturias está ocupada por especies de repoblación. La plantación de estas especies responde a una alta demanda de madera, no satisfecha por la deforestación de los bosques asturianos hasta la primera mitad del s. XX. A partir de esta fecha se llevó a cabo una política en la que se incentivaba las repoblaciones con especies de rápido crecimiento para su aprovechamiento maderero, como eucaliptos o pinos (Manuel, 2008). La especie de repoblación más extendida hoy en el Principado es el eucalipto, con casi 60.000 ha (Tabla 3); abunda en los terrenos por debajo de 400 metros más cercanos a la costa, constituyendo formaciones monoespecíficas. Esta especie tuvo una rápida difusión debido a su rápido crecimiento, lo que provocó que propietarios particulares de terrenos comenzaran a plantarlo por su alto nivel de rentabilidad. Con una similar proporción, aparecen las especies de pino resinero o negral (*Pinus pinaster*), pino insigne o de Monterrey (*Pinus radiata*) y en menor proporción el *Pinus sylvestris* (pino albar). En cuanto al primero y al tercero hay algunos autores que prefieren denominarlos especies reintroducidas en lugar de especies alóctonas, ya que estudios paleobotánicos confirman la presencia de estos pinos en tiempos pasados (Manuel, 2008). Otros autores

afirman que *P. pinaster* no tuvieron mucha importancia en el paisaje del Cantábrico, al menos durante el Holoceno, puesto que la mayoría de los pinares que vemos hoy en día son producto de repoblaciones forestales (Pérez-Díaz et al., 2016) El *P. pinaster*, mucho más abundante que el *P. sylvestris*, se localiza en la costa occidental de Asturias mientras que el *P. sylvestris* se localiza en menor superficie y a una mayor altitud. Por último, el *P. radiata* es una especie introducida de origen americano que cuenta con un crecimiento más rápido que el *P. pinaster*, por lo que es muy atractiva para obtener un beneficio económico de su madera. Esta especie aparece entre los 200 y 800 metros de altitud.

Repoblaciones forestales. Asturias. Mapa forestal 2023.	
Especie	Porcentaje
Eucaliptales	52%
Pinares (<i>Pinus pinaster</i>)	15,90%
Pinares (<i>Pinus radiata</i>)	14,50%
Otras especies de producción	11,10%
Pinares (<i>Pinus albar</i>)	6,20%

Tabla 1.3. Proporción de especies de repoblación 2023. Asturias. Elaboración propia a partir de Mapa Forestal de España.

Otra consecuencia derivada de la despoblación rural ha sido la concentración de la población asturiana en unos pocos núcleos, agrupados en torno al “ocho asturiano” o “Ciudad Astur” (Rodríguez, 2009), que comprende Oviedo, Gijón, Avilés y las Cuencas Mineras del Nalón (Langreo) y Caudal (Mieres). En las últimas décadas, el crecimiento urbano se ha manifestado en forma de la expansión de suelo urbano disperso con baja densidad de población, generando una “interfaz urbano forestal”. Este término se refiere al espacio donde converge el medio forestal con zonas edificadas, donde se pueden generar incendios que afectan a zonas edificadas y por tanto con características diferentes a los incendios plenamente forestales o urbanos. Esta interfaz urbano-forestal es apreciable también en el litoral mediterráneo más turístico como Cataluña, Comunidad Valenciana o Andalucía, y en menor medida en Galicia y Canarias, así como las coronas metropolitanas de Madrid, Barcelona o Valencia o. (Galiana, 2012).

1.2 OBJETIVOS

Durante las semanas que median entre el 12 de marzo y el 11 de abril de 2023 se quemó en Asturias una superficie superior a las 30000 has, un registro histórico que superó el anterior registro de 24.869 has para todo el año 1989. Además, gran parte de esta superficie correspondió a una serie de grandes incendios (> 500 has), entre los que destacó el ocurrido en el concejo de Valdés, el más mediático de todo el episodio.

El objetivo fundamental de este trabajo es analizar las características de los incendios ocurridos durante ese periodo, y determinar si su comportamiento fue acorde al que siguen habitualmente los incendios en Asturias. Este objetivo fundamental se alcanzará en varias fases:

1. En la primera, se hará un análisis descriptivo del episodio, basado en la información proporcionada por SADEI y de EFFIS, con el propósito de mostrar cuál fue la evolución temporal de los incendios y su distribución espacial, incluyendo las condiciones topográficas y destacando el papel de los grandes incendios forestales.
2. Seguidamente se analizarán las condiciones atmosféricas que propiciaron los incendios a partir de los registros meteorológicos de las estaciones de Cabo Busto y el Aeropuerto de Ranón, así como un análisis de las condiciones de sequía a largo plazo en los meses previos de la zona.
3. Finalmente, se evaluará la severidad del episodio tomando como ejemplo el incendio del Concejo de Valdés, mediante el análisis de las imágenes de satélite obtenidas de la plataforma Sentinel-2.

2. FUENTES Y METODOLOGÍA

2.1 FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la realización de este trabajo se ha utilizado una amplia variedad de fuentes de información (Tabla 2.4). Por ejemplo, el European Forest Fire Information System (EFFIS; <https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/about-effis>) proporcionó una cartografía de áreas quemadas (perímetro de los incendios en formato vectorial) en toda la Península Ibérica correspondientes al periodo que media entre el 1 de enero de 2023 y el 31 de abril de 2023. De esta fuente de información se extrajeron los perímetros correspondientes a los incendios ocurridos en Asturias entre el 12 de marzo y el 11 de abril de 2023. De acuerdo con las especificaciones proporcionadas por dicha institución, aunque su fuente original, las imágenes de satélite obtenidas con el sensor MODIS a una resolución espacial de 250 m, impedía la cartografía de los incendios con superficies inferiores a 30 has, la incorporación de las imágenes de la plataforma Sentinel-2 desde 2018, permite hoy la detección de incendios por debajo de ese umbral, estimándose que, en la actualidad, las zonas cartografiadas representan alrededor del 95 % de la superficie total ardida. También se utilizó información estadística procedente de la Estadística General de Incendios Forestales (EGIF; <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/incendios-forestales/estadisticas-datos.html>) y de la Sociedad Asturiana de Estudios Económicos e Industriales (SADEI; [https://www.sadei.es/sadei/sector-primario/silvicultura-y-explotacion-forestal_191_1_ap.html?f=06_04\\$\\$060410.px](https://www.sadei.es/sadei/sector-primario/silvicultura-y-explotacion-forestal_191_1_ap.html?f=06_04$$060410.px)), que proporcionaron información actualizada hasta 2022 del número de incendios y la superficie quemada en Asturias.

Para la caracterización de las superficies forestales afectadas por los incendios forestales se utilizó el Mapa Forestal de España, a escala 1:50.000 (MFE50), descargado en formato vectorial (<https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/mfe50.html>). Esta fuente informa sobre las especies arbóreas predominantes, su estado de desarrollo (replantado, monte bravo, latizal y fustal), ocupación (porcentaje que la especie ocupa en el total de los árboles) y la fracción de cubierta para el total del arbolado (porcentaje de suelo cubierto por la proyección horizontal de las copas de los árboles), además de una aproximación a otros usos del suelo.

El análisis de la topografía afectada por los incendios forestales requirió la descarga del Modelo Digital del Terreno MDT05, con una resolución de 5 m y en formato COG (Cloud Optimized GeoTIFF), procedente del Instituto Geográfico Nacional (<https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp#>).

FUENTES UTILIZADAS		
Tipo de información	Variable	Organismo-Web
Estadística	Incendios: número y superficie quemada	Estadística General de Incendios Forestales (https://www.miteco.gob.es/) Sociedad Asturiana de Estudios Económicos e Industriales (https://www.sadei.es/)
	Temperatura, precipitación, viento	https://www.ogimet.com/ https://www.tutiempo.net/
	Índice sequía SPEI	https://spei.csic.es/
Cartográfica	Superficie quemada	European Forest Fire Information System (EFFIS; https://forest-fire.emergency.eu/)
	Mapa forestal de España ((MFE50))	https://www.miteco.gob.es/
	Modelo digital del terreno (MDT05)	Instituto Geográfico Nacional (https://pnoa.ign.es/pnoa-lidar/modelo-digital-del-terreno)
	Imágenes Sentinel-2	Copernicus Data Space Ecosystem (https://dataspace.copernicus.eu/)
	Wetterzentrale	https://www.wetterzentrale.de/
	Índice vegetación NDVI	Global Agricultural Monitoring System (https://glam1.gsfc.nasa.gov/)

Tabla 2.4. Fuentes de información. Elaboración propia

El análisis de las condiciones atmosféricas bajo las que se desarrollaron los incendios de Asturias a finales de marzo de 2023 requirió el uso de datos meteorológicos proporcionados por las estaciones de Cabo Busto (08010) y del Aeropuerto de Asturias (08011). Estas estaciones pertenecen a la red sinóptica de AEMET, pero fueron extraídas del portal web OGIMET (www.ogimet.es). En cuanto al análisis de las condiciones atmosféricas a largo plazo, se obtuvieron los valores medios (temperatura) y acumulados (precipitación) correspondientes a la estación meteorológica del Aeropuerto de Asturias, descargados de la web tutiempo.net. Para cuantificar el signo, la magnitud y duración de los déficits hídricos durante los meses previos al episodio de incendios, se utilizó el índice SPEI (Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index; <https://spei.csic.es/>) correspondiente al punto de

rejilla más próximo a la citada estación meteorológica. Este índice es multiescalar, es decir, puede calcularse para diferentes franjas temporales y se calcula a partir del balance hídrico, teniendo en cuenta simultáneamente la precipitación y la temperatura.

Para obtener una visión retrospectiva del impacto de las condiciones atmosféricas a largo plazo en los meses previos al episodio de incendios, se utilizaron las imágenes del índice de vegetación NDVI, con una resolución espacial de 1 km y una temporal de 8 días, procedentes de la web Global Agricultural Monitoring (GLAM; <https://glam1.gsfc.nasa.gov/>).

Por último, las imágenes de la plataforma Sentinel 2 fueron obtenidas a través del Copernicus Data Space Ecosystem (<https://browser.dataspace.copernicus.eu/>). Estas imágenes son obtenidas en formato Geotiff, con una resolución espacial desde 10 hasta 60 m. A diferencia de la plataforma Landsat, cuya resolución temporal es de 16 días, las imágenes Sentinel 2 se actualizan cada 5 días, con lo que se reducen los problemas de disponibilidad de información en áreas como el litoral cantábrico, donde son frecuentes las nubes. Sentinel 2 ofrece un total de 13 bandas con diferente longitud de onda, de las que se seleccionaron las bandas 8 y 12, que poseen una resolución espacial con 20 m.

2.2 METODOLOGÍA

En primer lugar, se realizó un análisis estadístico de las características de los incendios forestales ocurridos en el periodo de estudio considerado. Posteriormente se evaluó el impacto de los mecanismos climáticos a dos escalas temporales diferentes, mostrando la evolución de diversos parámetros climáticos sobre la zona de interés, haciendo uso de datos de estaciones meteorológicas oficiales de AEMET.

A la hora de evaluar el impacto de los incendios forestales sobre el medio natural se pueden utilizar diferentes indicadores. Uno de los más usuales es el concepto de severidad, que no debe ser confundido con el de intensidad del fuego. Este último cuantifica la energía liberada por el proceso de combustión de la materia orgánica y, por lo tanto, debe medirse cuando un incendio está activo. La severidad hace referencia a la perturbación o alteración generada por el fuego sobre el medio natural, siendo esta última variable en función de la topografía, la vegetación etc. (Keeley, 2009). Para cuantificar la severidad de un incendio forestal suele recurrirse a la observación directa en campo (French et al, 2008); sin embargo, en incendios extensos esta cuantificación es necesariamente puntual, lo que reduce su utilidad. Como alternativa, se ha extendido la evaluación de la severidad de los incendios forestales a través de imágenes multiespectrales mediante la detección del cambio en la reflectancia de las áreas

quemadas y las áreas sin quemar (Vlassova et al., 2014). En este trabajo se ha optado por dos alternativas:

- a) La comparación entre la vegetación sana y la vegetación afectada por los incendios mediante el índice NDVI.
- b) El cálculo de un índice especializado en la detección de la severidad de los incendios y su comparación en dos fechas, una previa y otra posterior al incendio (índice NBR).

El índice NDVI (Normalized Differenced Vegetation Index) se basa en la diferente reflectividad que tienen las especies vegetales según su salud. La clorofila, un elemento clave en la fotosíntesis de la vegetación sana, absorbe la luz visible, especialmente la luz roja, mientras que la vegetación dañada o con déficit de agua presenta niveles de clorofila más bajos, por lo que absorbe menos luz roja. El índice NDVI se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

El índice NBR (Normalized Burn Ratio) se obtiene a partir de la relación entre las bandas cercanas al infrarrojo (NIR) y las bandas de infrarrojo de onda corta (SWIR). La pérdida de biomasa tras un incendio reduce la actividad fotosintética de la especie lo que reduce la absorción de luz, aumentando la reflectividad de las bandas que registra el satélite. También la pérdida de humedad tras el incendio las modifica la señal que recibe el satélite, así como la alta temperatura que queda remanente en la zona quemada debido a la mayor absorción del suelo ya que el color negro es el predominante y este color absorbe mayor la radiación que cualquier otro (Hope y McDowell, 1992, Figura 2.9)

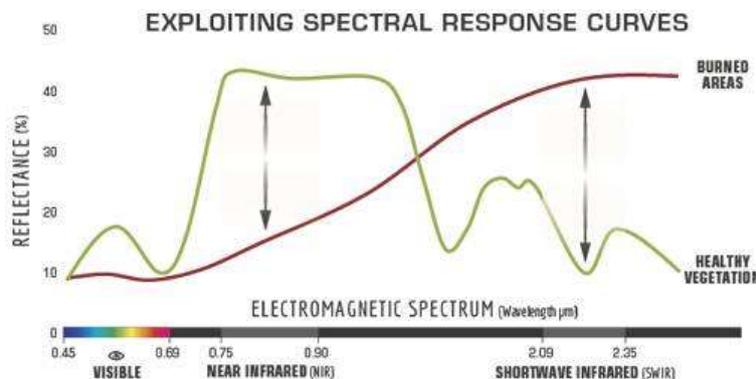


Figura 2.9. Reflectancia en función de la longitud de onda. Fuente U.S Forest Service

Esto se resume en que las zonas con vegetación sana tienen una reflectancia alta cerca del infrarrojo y baja reflectancia en SWIR, justo lo contrario que, en las zonas quemadas. Este índice se calcula a través de la siguiente expresión, utilizando para ello las bandas 8 y 12 de Sentinel:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

El índice NBR se calcula para las imágenes antes del incendio y para las imágenes posteriores al incendio; a continuación, esta última se resta de la imagen previa al incendio para crear el NBR diferenciado (o ΔNBR).

$$\Delta NBR = NBR_{posterior} - NBR_{previo}$$

El ΔNBR evalúa la severidad del incendio, pues las áreas con valores de ΔNBR más altos indican daños más severos, mientras que las áreas con valores de ΔNBR negativos pueden mostrar una mayor productividad de la vegetación. El ΔNBR se puede clasificar en diferentes rangos de severidad según las categorías propuestas por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (Tabla 5).

Severity Level	dNBR Range (scaled by 10 ³)	dNBR Range (not scaled)
Enhanced Regrowth, high (post-fire)	-500 to -251	-0.500 to -0.251
Enhanced Regrowth, low (post-fire)	-250 to -101	-0.250 to -0.101
Unburned	-100 to +99	-0.100 to +0.99
Low Severity	+100 to +269	+0.100 to +0.269
Moderate-low Severity	+270 to +439	+0.270 to +0.439
Moderate-high Severity	+440 to +659	+0.440 to +0.659
High Severity	+660 to +1300	+0.660 to +1.300

Tabla 2.5. Niveles de severidad y umbrales en incendios propuestos por el USGS.

Fuente: UN-SPIDER (<http://www.un-spider.org/>)

3. RESULTADOS

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL EPISODIO DE INCENDIOS DE MARZO-ABRIL DE 2023 EN ASTURIAS.

De acuerdo con la información suministrada por EFFIS, entre el 12 de marzo y el 11 de abril de 2023 se detectaron en Asturias un total de 400 incendios, que quemaron un total de 34.284 ha. En comparación con la serie histórica desde 1990, proporcionada por SADEI, este episodio superó a los de 2017, 2015 y 2012, hasta entonces los años con mayor número de incendios y de superficie quemada, y habría que remontarse a 1989 para encontrar una cifra tan elevada.

Aunque la comparación entre los datos proporcionados por SADEI y EFFIS debe hacerse con precaución, dadas las singularidades de la última, cabe destacar dos aspectos (Figura 3.10). El primero es el reducido número de incendios durante el episodio del año 2023, uno de los más bajos de la serie, mientras que la superficie quemada fue, como ya se ha hecho constar, la máxima de la serie temporal. Aunque probablemente el número de incendios esté infraestimado por EFFIS, en todo caso estos valores demuestran la excepcionalidad del episodio y su relevancia, dado que el tamaño medio de los incendios fue notablemente mayor de lo habitual.

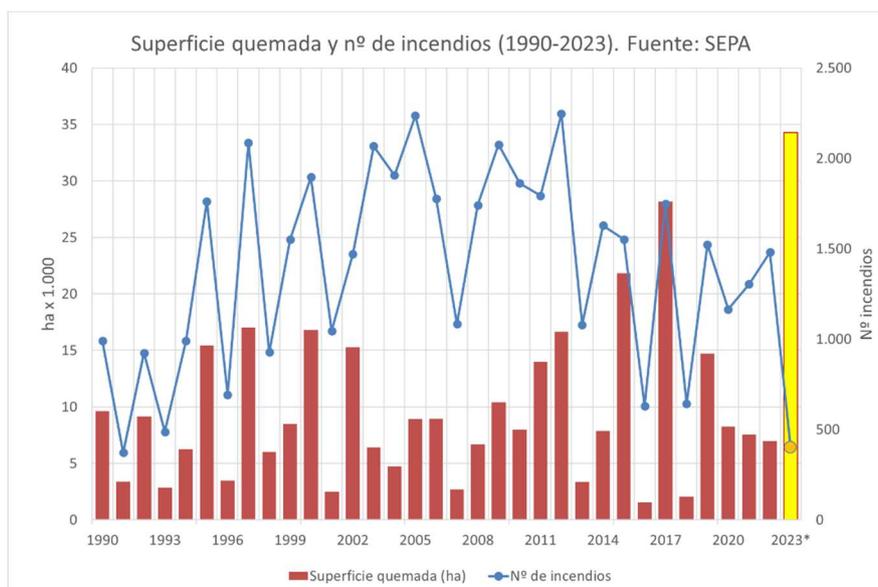


Figura 3.10. Comparación de incendios hasta abril 2023 con la serie histórica.

Asturias. Elaboración propia a partir de datos SADEI y EFFIS

Con relación a sus repercusiones sociales, los fuegos afectaron a un total de 37 concejos, provocando la evacuación de 375 personas de sus casas y la clausura de colegios, dejando a 1305 alumnos sin clase en los Concejos de Valdés y Villayón, así como la modificación de las consultas en centros de salud (Pérez, 2023). La situación fue de tal gravedad que el día 29 de marzo el Gobierno de Asturias aumentó a nivel 2 el plan de protección civil de emergencia por incendios (INFOPA), solicitando la ayuda de la UME, lo que reforzó el dispositivo de extinción hasta alcanzar más de 600 efectivos, decenas de vehículos, dos hidroaviones y cinco helicópteros. El día 30 de marzo las llamas del incendio de Valdés provocaron el cierre de la autovía A-8 en dirección Oviedo y en sentido Galicia en Cudillero, así como la nacional N-492 en Trevías, la AS-219 y la AS-351 (EFE, 2023).

La peor semana fue la del 26 de marzo al 1 de abril, donde 231 incendios quemaron 28.711 ha (Figura 11). Esta concentración de los incendios en un periodo corto de tiempo es también característica de los episodios de incendios en el litoral cantábrico.

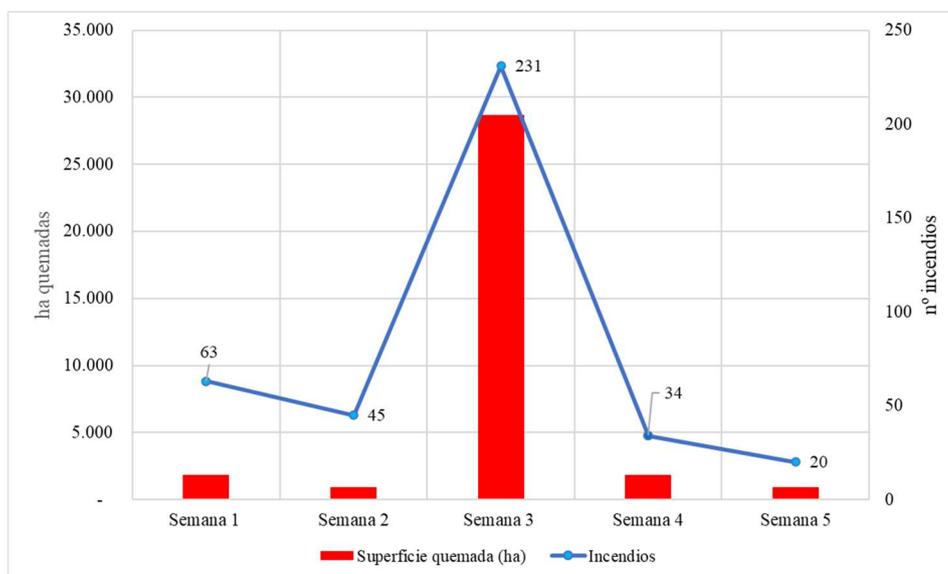


Figura 3.11. Núm. de incendios y superficie quemada por semanas en marzo-abril de 2023. Asturias. Elaboración propia a partir de EFFIS.

En esta semana aparecieron de manera simultánea múltiples incendios repartidos por el territorio, circunstancia habitual en los incendios forestales en Asturias (Figura 12).

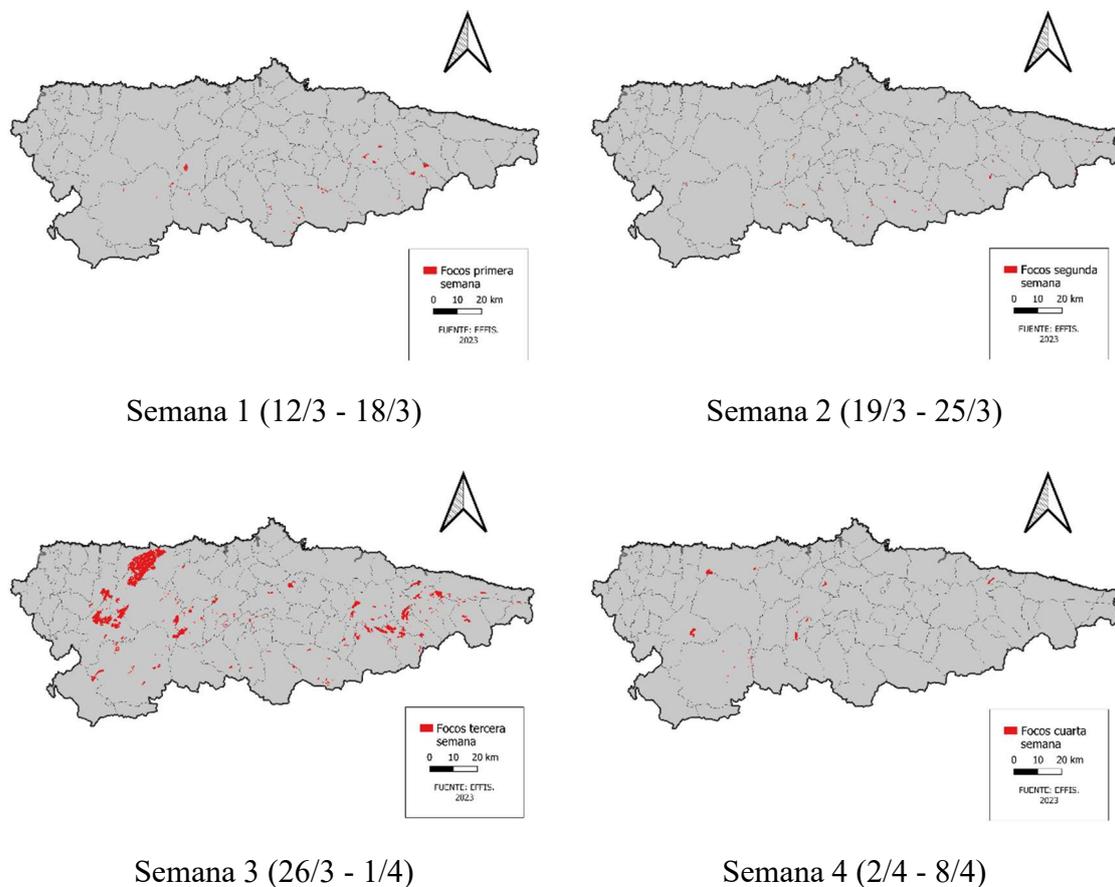


Figura 3.12. Incendios por semanas. Asturias. Marzo-abril 2023. Elaboración propia a partir de EFFIS.

La mayor parte de la superficie quemada en Asturias (excluyendo el incendio de Valdés) fue fundamentalmente pastos y matorral (aproximadamente las $\frac{3}{4}$ partes del total regional), siendo el 20 % restante superficie arbolada y el 2,3 % superficie ocupada por cultivos. Con relación al reparto de la superficie arbolada, cabe señalar que dentro del epígrafe frondosas se suele incluir el eucalipto, por lo que es posible que la proporción representada por las especies de repoblación haya sido mucho más alta (Figura 3.13).

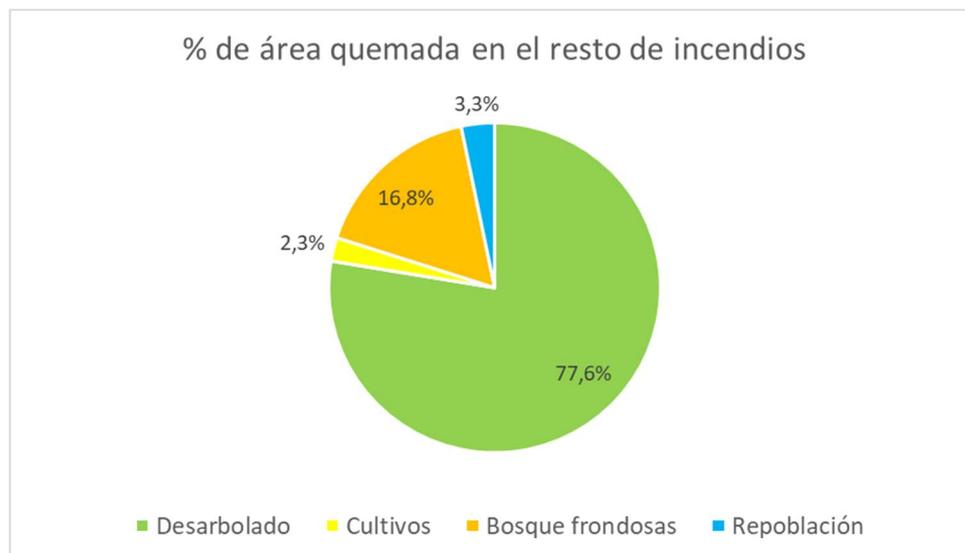


Figura 3.13. Distribución de la superficie quemada en Asturias según tipo de cobertura (excluido el incendio de Valdés) durante el episodio de marzo-abril de 2023. Elaboración propia a partir de EFFIS y el mapa forestal de España.

El rango de altitudes correspondiente a la superficie quemada fue muy amplio, con incendios prácticamente a nivel del mar, mientras que otros se situaron por encima de los 1500 m (Figura 3.14). El valor mediano se situó en el rango de 400-500 m, mientras que la pendiente mediana estuvo próxima a los 30°. Ambas circunstancias explican la dificultad en las labores de extinción, al ser difícil el acceso de los medios terrestres de extinción, a lo que se sumó, como veremos en el siguiente apartado, la ausencia de medios aéreos por el fuerte viento. Por último, cabe señalar que no se aprecia una orientación definida, ya que las orientaciones SE y NW corresponden al trazado de las principales alineaciones montañosas del Occidente Asturiano.

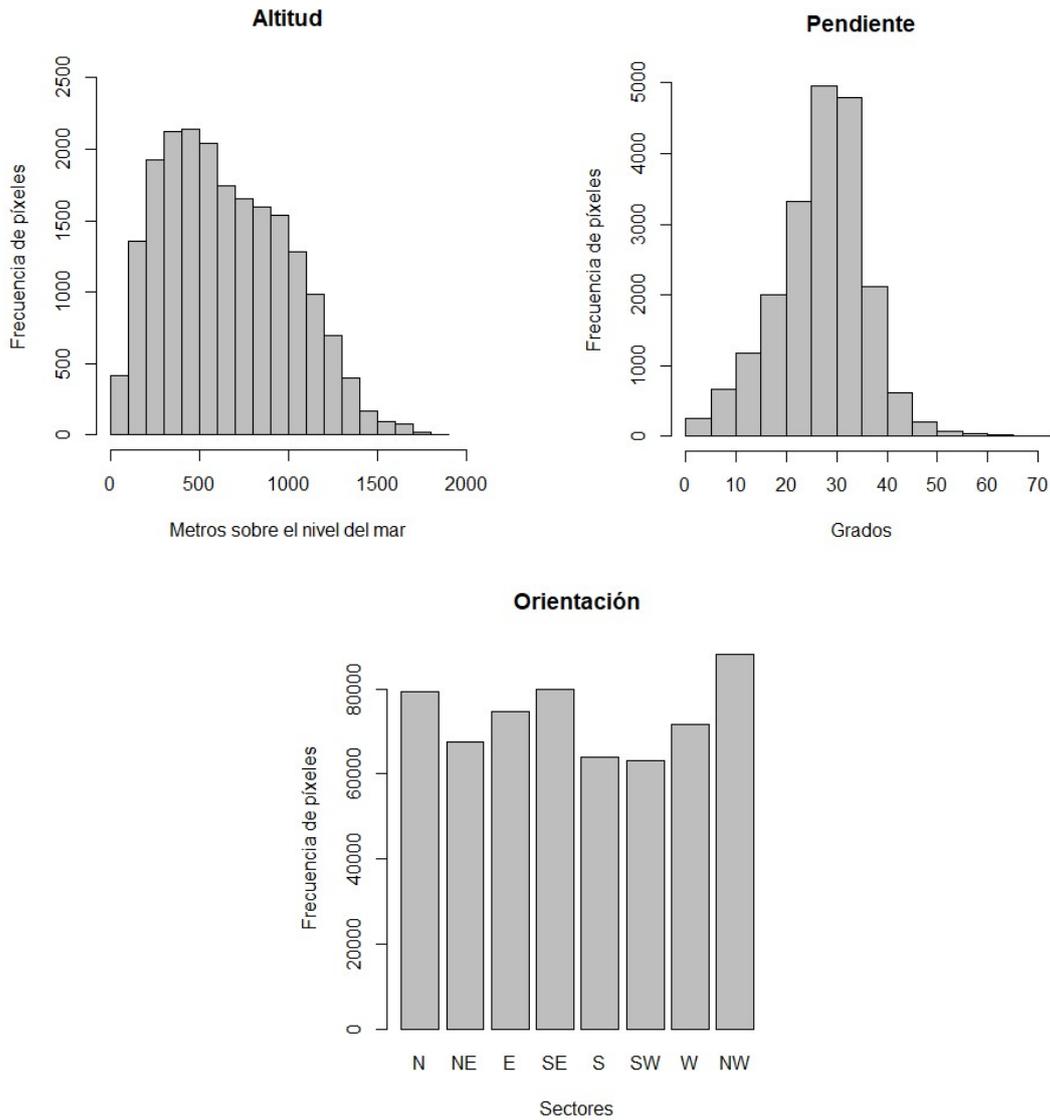


Figura 3.14. Parámetros topográficos asociados a los incendios. Elaboración propia a partir de EFFIS y del MDT.

De los 400 incendios antes mencionados, el 79 % fueron incendios de menos de 50 hectáreas, pero se registraron 11 incendios de más de 500 ha (considerados como GIF), quemando casi 19.049 ha, lo que supuso aproximadamente el 56 % de la superficie quemada total (Figura 3.15).

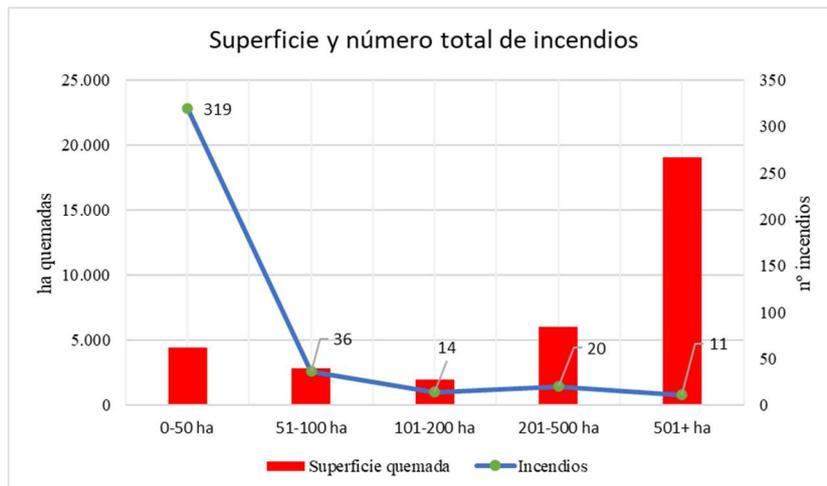


Figura 3.15. Superficie y número de incendios por tamaño. Asturias. Marzo – abril 2023. Elaboración propia a partir de datos de EFFIS. 2023

Estos 11 grandes incendios se localizaron tanto al Occidente como al Oriente de Asturias, concentrándose en un lapso de 2 días y su duración osciló entre un solo día y tres días. Tan sólo 4 de ellos superaron las 1000 has, todos ellos en la mitad occidental (Figura 16).

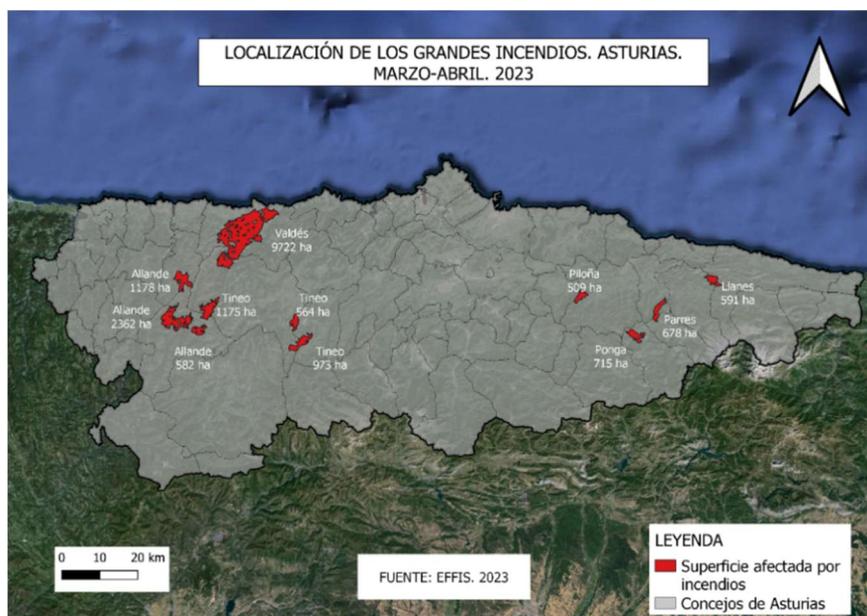


Figura 3.16. Localización de los grandes incendios de superficie superior a 500 ha en marzo-abril de 2023. Elaboración propia a partir de EFFIS.

Un análisis más detallado muestra que alguno de estos GIF se produjo en zonas altas de la mitad occidental, donde se quemó en su mayoría superficie no arbolada, como ocurrió en los de Allande y Tineo donde se quemó el 83% y cerca de un 90% de superficie no arbolada.

Por el contrario, los GIF de la mitad oriental (Parres, Colunga, Llanes y Piloña) ocurrieron en zonas relativamente más bajas, algunas no muy lejanas a la costa, afectando por igual a superficie arbolada y no arbolada, siendo la primera sobre todo arbolado de repoblación, como pino y eucalipto (Tabla 3.6).

INCENDIOS FORESTALES					
Municipio	Area (ha)	Fecha inicio	Fecha final	% Arbolado	% Desarbolado
Valdés	9722	28/03/23	31/03/23	73,73	26,27
Allande	2362	29/03/23	31/03/23	17,38	82,62
Allande	1178	29/03/23	31/03/23	16,91	83,09
Tineo	1175	29/03/23	31/03/23	15,03	84,97
Tineo	973	27/03/23	31/03/23	0,82	99,18
Ponga	715	28/03/23	31/03/23	47,30	52,70
Parres	678	28/03/23	31/03/23	37,24	62,76
Llanes	591	28/03/23	30/03/23	3,21	96,79
Allande	582	30/03/23	31/03/23	5,85	94,15
Tineo	564	30/03/23	31/03/23	4,90	95,10
Piloña	509	29/03/23	31/03/23	61,46	38,54

Tabla 3.6. Incendios de más de 500 ha. Asturias. Marzo-abril 2023. Elaboración propia a partir de EFFIS.

Otro de los incendios más singulares y de mayor impacto social fue el del monte Naranco. A pesar de su escasa superficie (99 ha), fue especialmente peligroso, dada su proximidad a la ciudad de Oviedo, por lo que cabría considerarlo un exponente de los incendios de interfaz urbano forestal (Figura 3.17).



Figura 3.17. Incendio del monte Naranco desde Oviedo. 31 marzo 2023. Fuente:

www.elcomercio.es

De todos los incendios ocurridos en ese episodio, destaca por su gravedad el que afectó al Concejo de Valdés. Su origen fue una quema no controlada agravada por el viento (Vega, 2023). El fuego se originó el día 28 en Foyedo y fue creciendo hacia el norte hasta llegar a la costa, cerca de Cadavedo. La superficie quemada por este incendio superó las 9700 has (lo que representó el 28,5 % de toda la superficie quemada en el episodio), un registro récord al menos en las 4 últimas décadas, ya que habría que retrotraerse a los años 70 para encontrar algún incendio con una superficie próxima.

Otra característica singular de este incendio fue que, de la elevada superficie arbolada quemada, al menos la mitad estuvo conformada por repoblaciones, una cifra que, atendiendo a lo dicho en páginas anteriores, probablemente esté subestimada al no incluir eucaliptales, una especie que aparece a menudo en los concejos costeros del Occidente Asturiano. Por otro lado, la alta proporción de superficie quemada de cultivos indica la cercanía a núcleos de población, un factor de riesgo añadido a la virulencia del fuego (Figura 3.18).

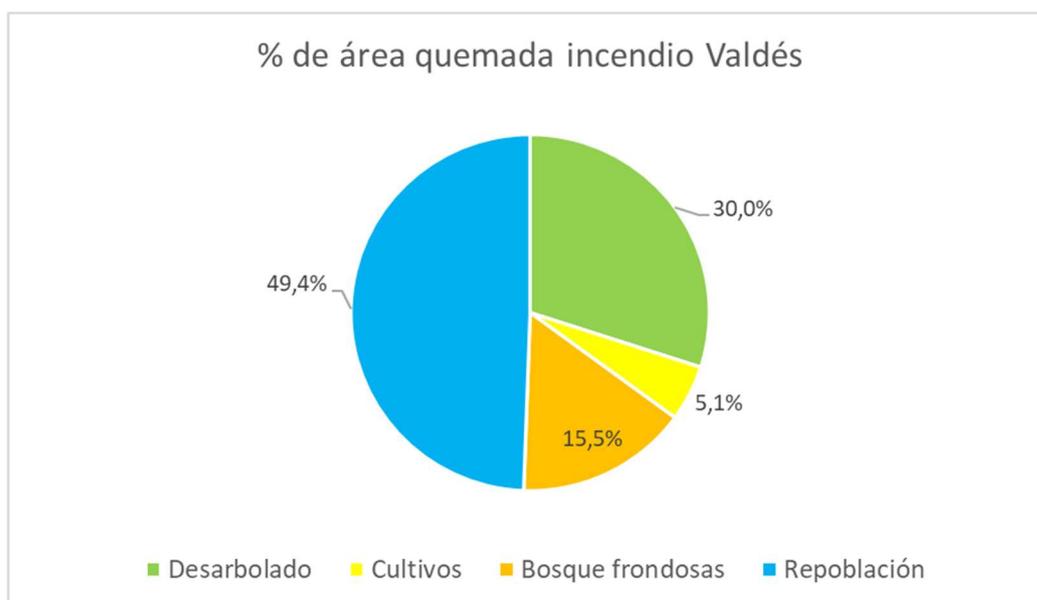


Figura 3.18. Porcentaje de área quemada exclusivamente en el incendio de Valdés. Asturias. Marzo-abril. 2023. Elaboración propia a partir de EFFIS y el mapa forestal de España.

En cuanto las especies de repoblación afectadas por el incendio de Valdés (unas 4600 ha que supusieron el 82% del total regional), se quemó la mitad de la masa de eucaliptos del episodio, el 44% de los ejemplares de *P. radiata* y el 95% de los ejemplares de *P. pinaster* (3015,12 ha quemadas, o lo que es igual al 17% de su superficie regional; Figura 3.19).

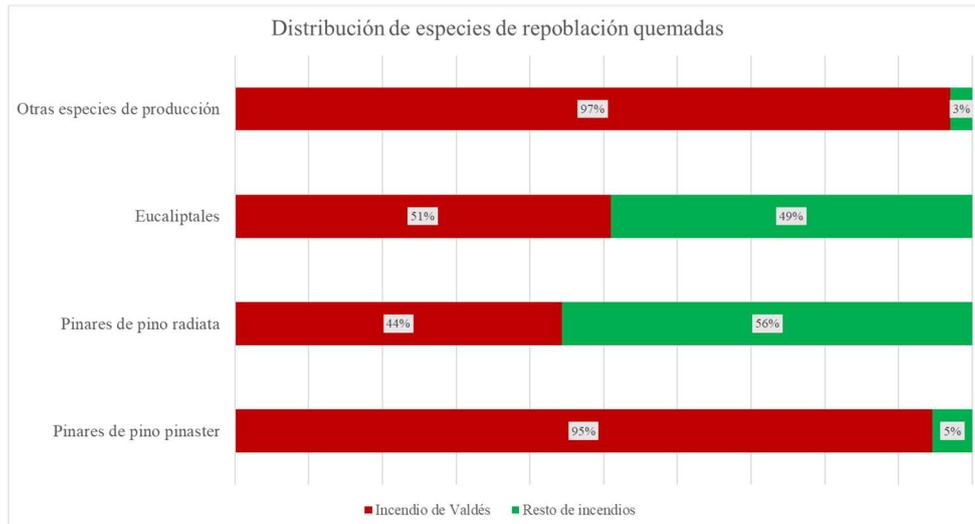


Figura 3.19. Comparación de superficie afectada. Asturias. Elaboración propia a partir de datos de EFFIS y mapa forestal de España.

Es precisamente la costa occidental de Asturias, alrededor del concejo de Valdés, la que concentra la mayor parte de la superficie plantada de *Pinus pinaster* de Asturias (Figura 3.20).

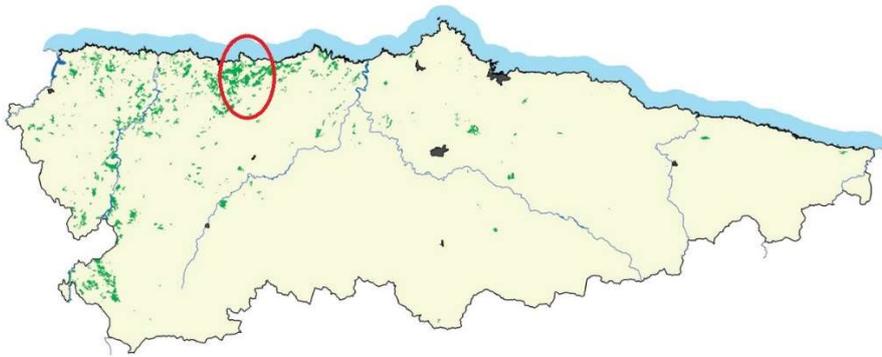


Figura 3.20. Localización de *Pinus pinaster* en Asturias. Fuente: elaboración propia a partir del 4º Inventario Forestal Nacional.

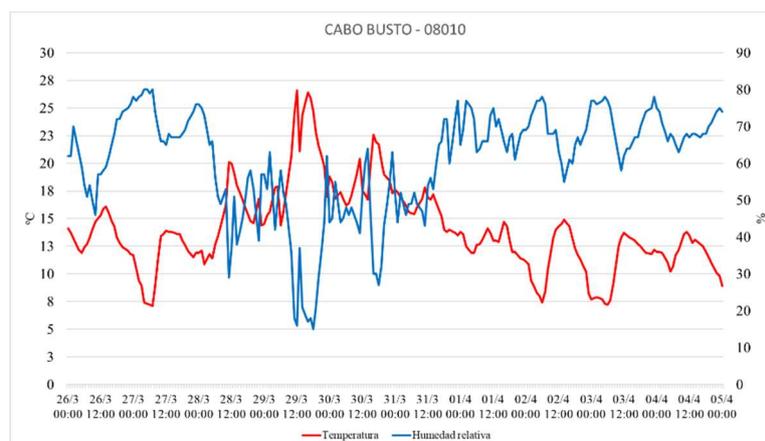
3.2 CONDICIONES ATMOSFÉRICAS RELACIONADAS CON EL EPISODIO DE INCENDIOS FORESTALES

Para el desarrollo de un incendio forestal, aparte de combustible y una fuente de ignición, se necesitan unas determinadas condiciones meteorológicas que pueden ser analizadas a dos escalas temporales complementarias: a corto plazo, es decir, durante la duración del propio incendio, y a largo plazo, durante los meses previos.

3.2.1 Condiciones atmosféricas durante el episodio de incendios forestales.

VARIABLES meteorológicas como la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del viento tienen un papel fundamental en la conversión de un conato en un incendio forestal, al favorecer la rápida propagación del fuego. La evolución de las condiciones atmosféricas en la última semana de marzo de 2023 es un ejemplo de la relevancia de las condiciones meteorológicas locales en la propagación del fuego. En el caso de la Cornisa Cantábrica, los incendios forestales se asocian frecuentemente a un tipo de condiciones atmosféricas radicalmente diferentes a las habituales, popularmente conocidas como “suradas” (Rasilla, 1999). Esta situación se caracteriza por altas temperaturas, humedad relativa baja y vientos fuertes de componente S y SW, que son el resultado del conocido “efecto Föhn”.

La evolución de las condiciones a nivel local, ejemplificadas por los registros meteorológicos de la estación de Cabo Busto, recuerda claramente dicho proceso (Figura 21). Las condiciones atmosféricas del 27 de marzo se caracterizaron por el predominio del viento del E flojos, una temperatura máxima de 14°C grados y una humedad relativa a mediodía del 65 %. Al día siguiente persistían los vientos flujos y de dirección variable, pero las temperaturas habían ascendido hasta los 20°C de máxima, con humedades relativas entre el 30% y el 50%. El día 29 el incendio de Valdés comenzó a propagarse avivado por las altas temperaturas, llegando a los 26,6°C al mediodía, acompañadas por bajos niveles de humedad relativa durante todo el día, pero especialmente en las horas centrales del día (valores de 16% al mediodía a 15% a las 18 UTC). Estas condiciones fueron provocadas por el intenso viento de componente S y SE, que sopló con velocidades sostenidas de más de 60 km/h y una racha máxima de 104 km/h en la estación meteorológica de Cabo Busto.



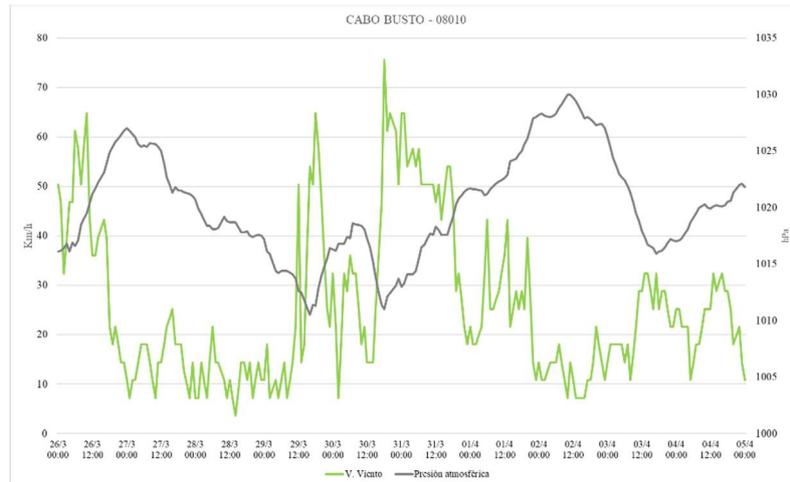


Figura 3.21. Evolución de los registros horarios de temperatura y humedad relativa (imagen superior) y velocidad del viento y presión atmosférica (imagen inferior) en la estación meteorológica de Cabo Busto entre el 26 de marzo y el 4 de abril de 2023.

Elaboración propia partir de datos obtenidos de www.ogimet.es

El mapa sinóptico correspondiente a las 12 UTC de ese día 29 explica esas condiciones, ya que muestra una borrasca al NW de la Península Ibérica, mientras que un anticiclón ocupa el Mediterráneo. Entre ambos centros de acción se generó un flujo del SW, como muestra el trazado de las isobaras (Figura 3.22).

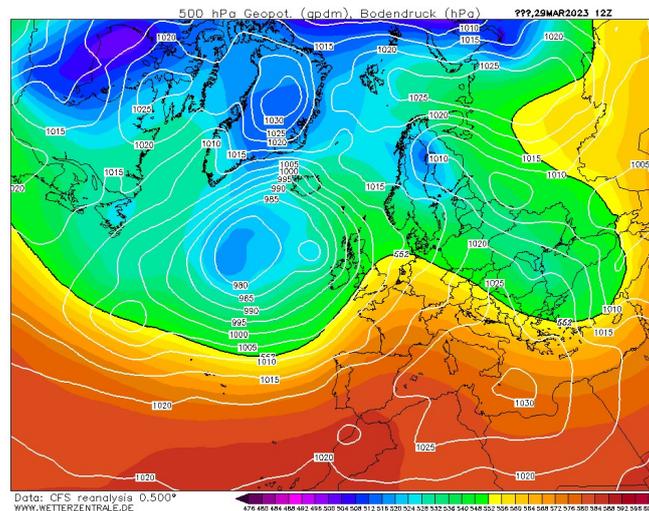


Figura 3.22. Mapa sinóptico correspondiente al día 29-03-2023 a las 12 UTC. La altitud del nivel de 500 hPa aparece coloreada, mientras que las isobaras con la presión en superficie están marcadas por isolíneas blancas Fuente: www.wetterzentrale.de

De acuerdo con el mecanismo teórico del “efecto föhn”, al atravesar la Cordillera Cantábrica, las masas de aire atlántico son forzadas a ascender por la vertiente meridional, enfriándose,

condensándose y generando nubes y precipitaciones. A medida que desciende por la vertiente meridional, la compresión adiabática aumenta la temperatura (a un ritmo de 10°C cada 1000 m), reduce la humedad relativa y aumenta la velocidad del viento. El análisis de la distribución regional de la temperatura y de la humedad relativa el día 29 a las 12 UTC aporta ciertas singularidades a esta surada desde el punto de vista meteorológico. La primera es la alta temperatura que acompañó a esta advección atlántica, ya que en la costa gallega se superaron los 20°C, mientras que en las estaciones ubicadas en la Montaña Cantábrica (Leitariegos, Pajares o San Isidro) superaban los 15°C (Figura 3.23).



Figura 3.23. Valores de temperatura del aire (°C) a las 12 UTC del 29 de marzo. 12 UTC. Fuente: www.ogimet.es

En segundo lugar, y a diferencia del modelo teórico del “efecto Föhn”, la masa de aire era seca en origen, ya que los valores de humedad relativa en el NW de la Península Ibérica rondaban el 30-40 % (salvo Pajares, con un 45 %; Figura 3.24).

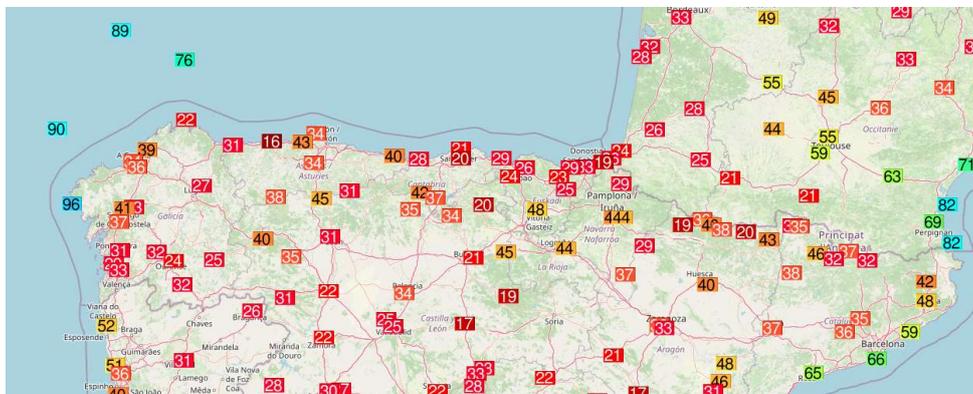


Figura 3.24. Valores de humedad relativa (%) a las 12 UTC del 29 de marzo. Fuente: www.ogimet.es

Se puede atribuir estos bajos valores de humedad relativa a una masa de aire cálida y seca, con probable origen en el N de África, como muestra la lengua de altas temperaturas que aparece en el mapa de la topografía de 850 hPa, extendiéndose desde Marruecos hasta el centro de Francia (Figura 3.25).

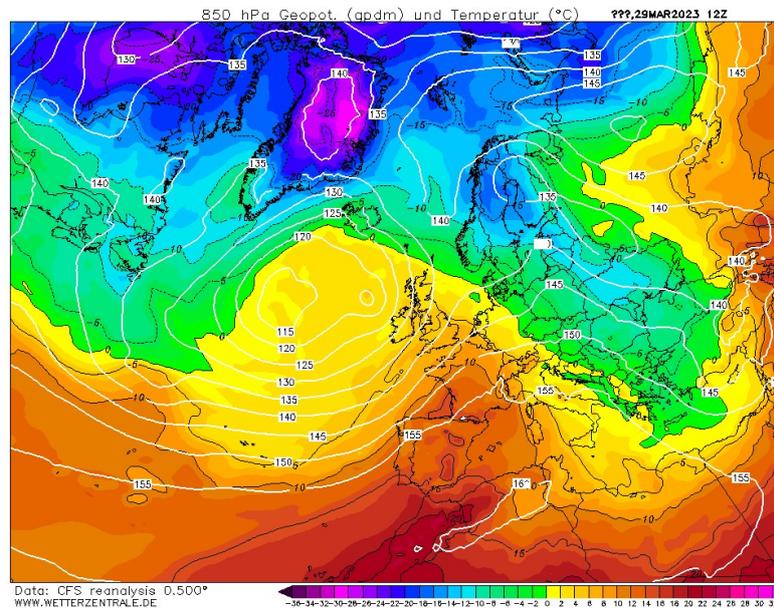


Figura 3.25. Mapa sinóptico correspondiente al día 29-03-2023 a las 12 UTC. La temperatura aparece coloreada, mientras que la topografía de 850 hPa está marcada por isolíneas blancas. Fuente: www.wetterzentrale.de

El día 30 cambió la dirección del viento con la entrada de un frente muy activo que provocó vientos del oeste y temperaturas cálidas, pero inferiores a las del día precedente: máxima de 23°C, mientras que la humedad se mantuvo también baja (mínimo diario a las seis de la tarde con 27%). El viento del oeste arreció con fuerza a partir de la tarde del día 30 alcanzándose 75.6 km/h en cabo Busto a las 18 UTC. El viento se mantuvo intenso durante toda la noche siempre en dirección oeste con rachas en torno a los 50 km/h hasta las 18 UTC del día 31. En este día las temperaturas ya no superaron los 19 grados y la humedad como es habitual con este viento se situó en torno al 70%. Finalmente, el primer día del mes de abril vino acompañado de ligeras precipitaciones que fueron clave para la mejora en la situación de los incendios activos en Asturias.

3.2.2 Condiciones atmosféricas en los meses previos.

Mientras que las condiciones atmosféricas a corto plazo explican en gran medida la rapidez en la propagación de un incendio, las condiciones a largo plazo determinan en primera instancia cuán inflamable es el combustible, lo que a su vez influye en la progresión de las llamas: cuanto más seco esté el combustible mayor progresión. A su vez, la sequedad del combustible depende estrechamente de la ausencia de precipitaciones y de las anomalías de temperatura en los meses previos

El mes de marzo se caracterizó por ser excepcionalmente cálido, con una temperatura promedio de 11,1°C en Asturias, lo que supuso una desviación de +2,2°C en comparación con la media histórica del periodo 1991-2020. Dicho mes fue considerado el segundo marzo más cálido, solo detrás de marzo de 1997, que registró una temperatura media mensual de 11,6°C (Tabla 7; AEMET, 2023).

Estación	Media de las temperaturas máximas	Media de las temperaturas mínimas	T media mensual (valor normal)(°C)	Precipitación (valor normal) (mm)
Asturias-Aeropuerto	17	8.8	12.9° (11.3°)	33.3 (87.6)

Tabla 3.7. Valores registrados en la estación de Asturias-Aeropuerto 2023. Fuente: AEMET

Las anomalías de temperatura fueron especialmente evidentes en el interior y en costa occidental de la región (Figura 3.26).

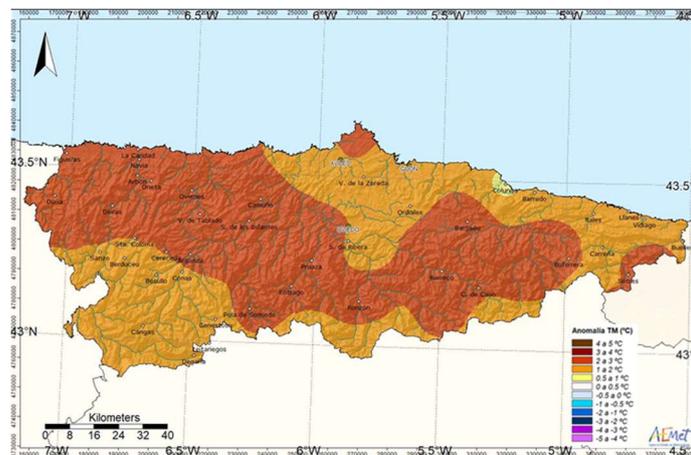


Figura 3.26. Anomalía de la Temperatura media de marzo de 2023 respecto de la media del periodo 1991-2020. Fuente: AEMET.

En cuanto a la pluviometría, marzo fue más seco de lo habitual, ya que tan solo se recogieron 30 mm de precipitación, lo que supone el 25% de la precipitación habitual en dicho mes, siendo considerado el tercero más seco del periodo 1991-2023 (AEMET, 2023). La distribución espacial de las anomalías pluviométricas muestra un claro gradiente SW-NE (Figura 3.27).



Figura 3.27. Porcentaje de precipitación recogida en marzo de 2023 respecto de la media mensual del periodo 1991-2020. Fuente: AEMET.

Sin embargo, el análisis de estas anomalías climáticas debe ampliarse a los meses precedentes para obtener una imagen completa del papel de las condiciones atmosféricas en la génesis de este episodio de incendios. Tomando como referencia a los valores de temperatura y precipitación en el Aeropuerto de Asturias los 8 meses previos al mes de marzo y comparándolos con los valores normales del periodo 1981-2010 (<https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos>), se observa que, salvo el mes de enero, en el que se recogieron 265.9 mm (una cantidad que es más del doble de la media -103.3 mm-) y septiembre (donde la precipitación fue similar a la esperada), los demás meses encadenaron déficits de precipitación, culminando con un febrero donde se registró la mitad de lo esperado. En el caso de las temperaturas, estas se mantuvieron por encima de la media durante todo el verano y el otoño alcanzándose el mayor desfase en octubre con 2.9 grados por encima de lo habitual. En el mes de enero la temperatura media se situó similar a la media (-0. 2°), mientras que febrero fue 1°C más fresco que la media (Figura 3.28).

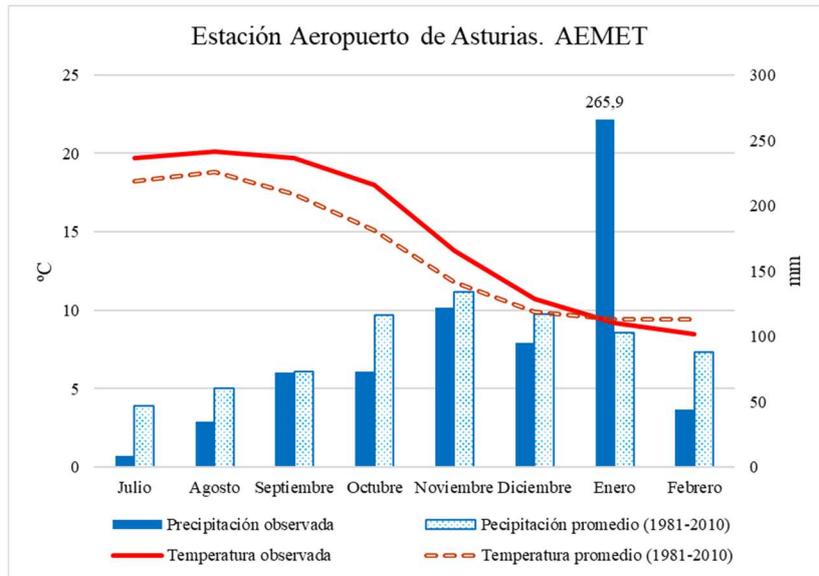


Figura 3.28. Comparación de temperatura precipitación observada 2023 y el promedio. Elaboración propia a partir de datos AEMET.

Estas anomalías climáticas, entendidas como desviaciones respecto al comportamiento habitual de la atmósfera, también pueden ser analizadas a través de los diferentes índices utilizados para identificar el comienzo y fin de un periodo de sequía, establecer su duración y cuantificar su intensidad, teniendo la ventaja de resumir en un único valor estas características. Para ello, se aplicó el índice SPEI, que es un índice multiescalar que permite cuantificar la intensidad de la sequía a diferentes escalas temporales. Los resultados muestran qué, a medida que se amplía la escala temporal, el déficit hídrico acumulado en Asturias era cada vez más intenso (Figura 3.29).

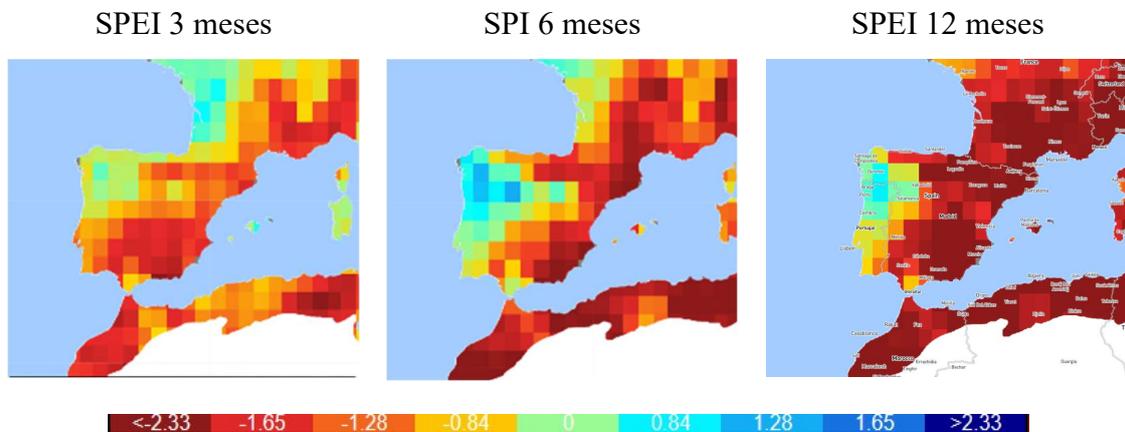


Figura 3.29. Distribución espacial del índice SPEI a 3 escalas temporales: a 3, 6 y 12 meses. Fuente: Global Drought Monitor (<https://spei.csic.es/>)

La evolución de los valores del índice SPEI en el punto de rejilla correspondiente a la costa occidental asturiana, a una escala temporal de 12 meses, muestra valores inferiores a -1 (considerados indicadores de una situación de sequía) desde diciembre de 2021 hasta marzo del presente año 2024 (es decir, 26 meses de déficit hídrico a largo plazo), con un valor mínimo de -3,16 (sequía muy intensa) en diciembre de 2022. Tanto duración como intensidad pueden considerarse valores extremos, ya que el anterior episodio de sequía, que tuvo lugar entre 2016 y 2017 (y que correspondió a otro año con una elevada superficie quemada en Asturias) sólo duró entre enero de 2017 y marzo de 2018 (es decir, 15 meses) y su máxima intensidad, -2,85, se registró en noviembre de 2017 (Figura 3.30).

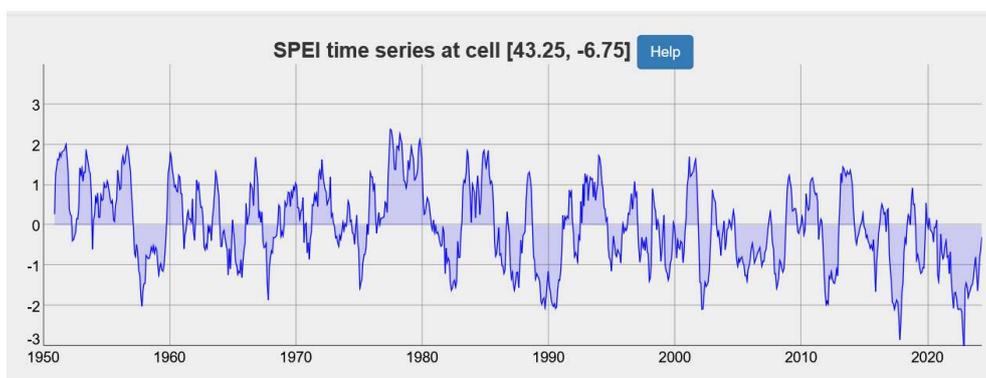
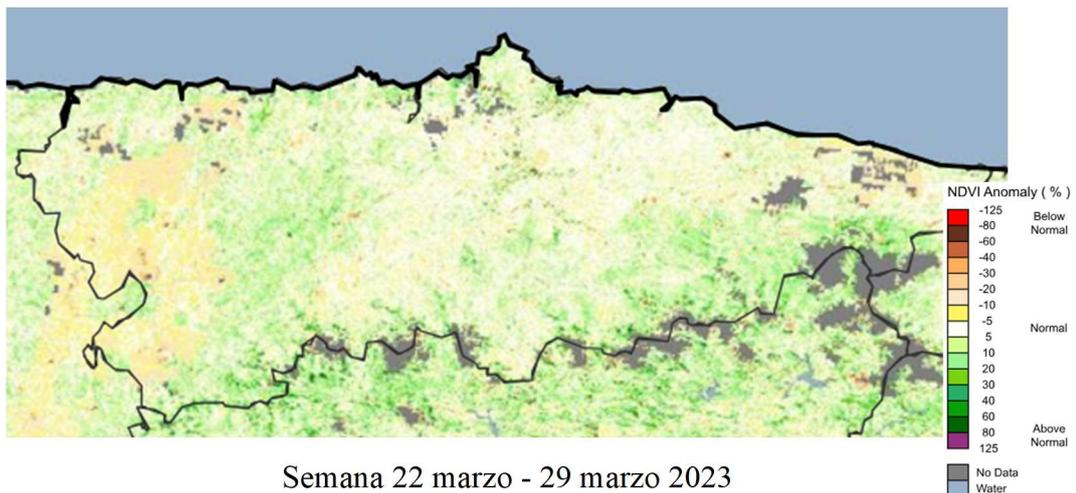


Figura 3.30. Evolución del índice SPEI a una escala temporal de 12 meses. Fuente: Global Drought Monitor (<https://spei.csic.es/>)

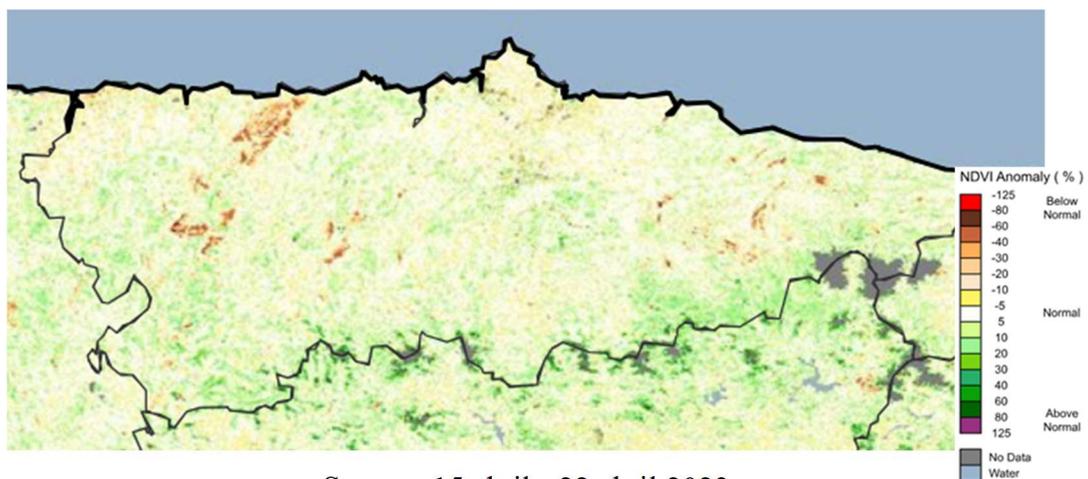
3.3 ANÁLISIS DE LA SEVERIDAD DE LOS INCENDIOS FORESTALES DE ASTURIAS EN EL EPIDOSIOD DE MARZO-ABRIL DE 2023: EL INCENDIO DE VALDÉS

Los efectos negativos de los incendios sobre el medio natural son bien conocidos, siendo los más importantes a nivel local la pérdida de biomasa vegetal, la reducción de la biodiversidad y la degradación del suelo, amén de la emisión de diferentes gases y compuestos nocivos a la atmósfera. Estos efectos ecológicos están ligados estrechamente a la severidad de un incendio (Keely, 2009). Esta severidad se puede evaluar utilizando la información proporcionada por sensores remoto, mediante diversos índices espectrales. Probablemente, el índice más famoso es el NVDI. En la figura 3.31, se muestra la anomalía del NDVI para toda Asturias en 3 semanas diferentes, una previa al episodio de incendios, otra inmediatamente posterior, y la última un año después. Durante la semana previa las anomalías del índice NDVI eran ligeramente negativas, sobre todo en los valles interiores

del Occidente de Asturias, siendo normales o ligeramente superiores a los habituales en el resto de la región. Debe tenerse en cuenta que en marzo aún no ha llegado la primavera, por lo que gran parte de la vegetación no ha desarrollado los mecanismos fisiológicos que permiten el crecimiento de las plantas. Tras el episodio de incendios se aprecian claramente las zonas afectadas, ya que los valores de NVDI correspondientes a las superficies quemadas son inferiores al valor medio, evidenciando la pérdida de vigor vegetativo asociado a estas superficies. Un año después, persistían anomalías negativas en zonas concretas de Asturias, que correspondían en gran medida a las áreas afectadas por los incendios forestales más grandes y virulentos, en particular, la huella del incendio de Valdés, en especial porque la regeneración de la superficie arbórea es más lenta, mientras que los fuegos sobre matorral se regeneran de forma más rápida (de La Puente, 2017).



Semana 22 marzo - 29 marzo 2023



Semana 15 abril - 22 abril 2023

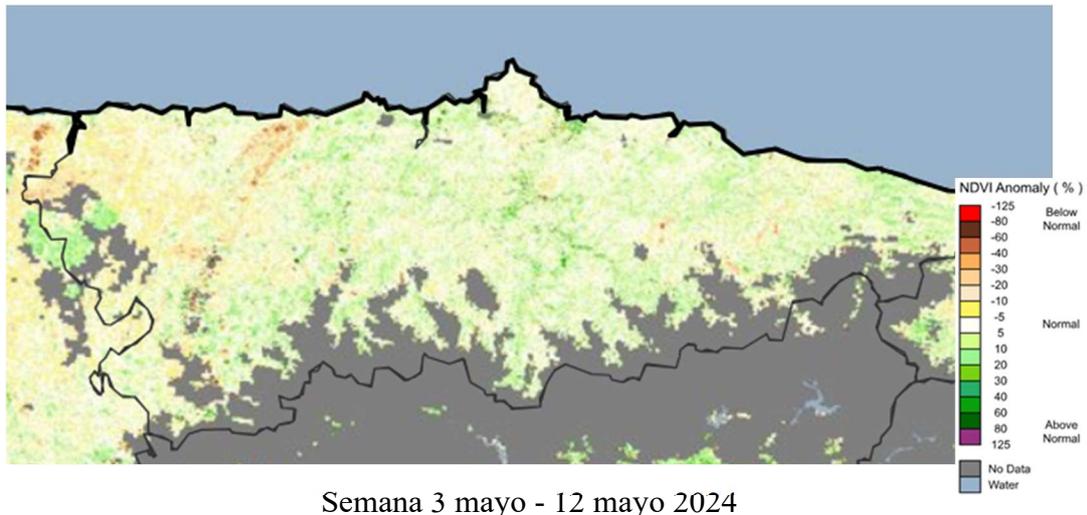


Figura 3.31. Anomalía del índice NDVI en tres momentos diferentes: inmediatamente antes, inmediatamente después y un año tras los incendios. Fuente: GIMMS, (<https://glam1.gsfc.nasa.gov/>)

Tras el cálculo del índice NBR correspondiente a las imágenes previas y posteriores al episodio de incendios, se obtuvo el índice Δ NBR como la diferencia entre ambas imágenes (Figura 3.32), aunque no se pudo representar la totalidad de Asturias al estar ocupada la zona oriental de Asturias por una densa cubierta de nubes en la imagen posterior.

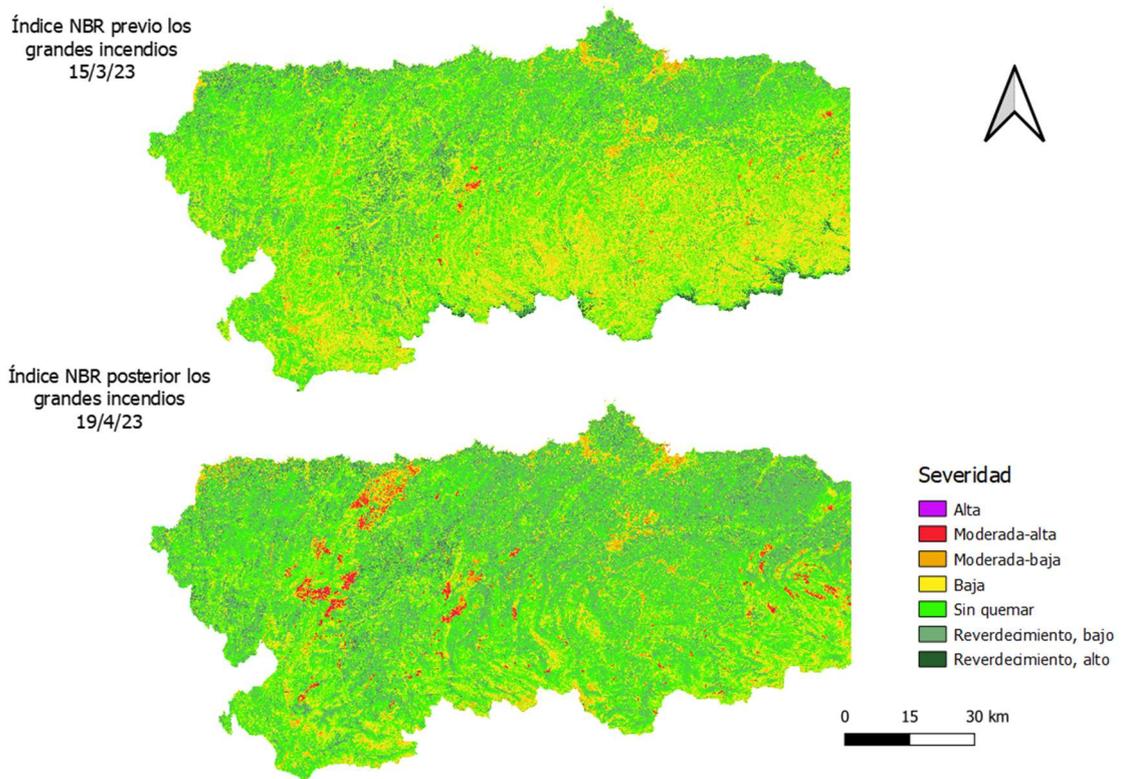


Figura 3.32. Severidad antes y después de los grandes incendios. Elaboración propia a partir de Sentinel-2 (<https://dataspace.copernicus.eu/explore-data>).

Dadas las dimensiones que alcanzó el incendio de Valdés en comparación con otros incendios, se procedió a un análisis más detallado, utilizando para ello imágenes en color natural y en falso color infrarrojo, y calculando posteriormente el índice ΔNBR . Las imágenes en color natural (Figura 3.33) muestran la superficie como la ven nuestros ojos, combinando las bandas 4, 3 y 2, es decir las longitudes de onda correspondientes al rojo verde y azul. Comparando la imagen previa y la posterior al incendio, se observa la diferente tonalidad del área afectada por el fuego. En la imagen previa, las zonas con tonalidad verde oscuro corresponden a los montes, ocupados fundamentalmente por especies de repoblación, como el pino. El color verde claro corresponde a zonas de pasto, dominantes en la costa, y formando manchas en el interior de las superficies arboladas y en el fondo de los valles. En la imagen tomada tras el incendio se observa claramente un color más oscuro, que corresponde a las superficies calcinadas correspondientes mayoritariamente, como se ha señalado previamente, a zonas forestales, aunque se aprecia entre ellas pequeñas manchas con una tonalidad similar a la observada en las zonas no quemadas. Esto corresponde a zonas de pastos que no se vieron afectadas o lo fueron marginalmente por el fuego.



Figura 3.33. Imagen Sentinel 2 en color natural previa (15 de marzo, izquierda) y posterior (19 de abril, derecha) al incendio de Valdés. Fuente: <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data>.

Las imágenes en falso color suelen utilizarse para revelar o mejorar características que pasarían inadvertidas por el ojo humano. Para ello se combinan bandas del espectro electromagnético infrarrojo cercano y medio (en el caso de Sentinel 2 RGB 8,4,3) lo que genera una imagen donde se puede distinguir con facilidad las áreas quemadas y la vegetación saludable debido a la diferente reflectividad que presentan. La vegetación quemada pierde la humedad y la estructura básica como el tallo y las hojas por lo que su reflectividad es mínima, apareciendo como zonas oscuras. Además, la pérdida de vegetación deja expuesto el suelo y demás restos carbonizados que absorben la mayor parte del infrarrojo por lo que refuerza los tonos oscuros (Figura 3.34).

En la imagen previa al incendio se puede observar con tonos rojos oscuros los montes cubiertos mayoritariamente por especies de repoblación de hoja perenne mientras que los prados muestran un color rojo más claro e intenso. Las herbáceas reflejan intensamente el infrarrojo cercano gracias a sus hojas delgadas y de mayor superficie por unidad de biomasa. Los tonos oscuros de las especies de repoblación de hoja perenne están causados porque el mayor grosor de las hojas en forma de aguja refleja menos luz.

Otro factor que afecta a la reflectancia en el infrarrojo es que en las especies presentes en la pradería presentan un contenido de clorofila y agua mayor que las especies de pino y eucalipto lo que se traduce en una mayor reflectancia de infrarrojo. Así como la capa de cera presente en las hojas perennes provoca una variación en la reflectividad comparado con las herbáceas (Jensen, 2007).

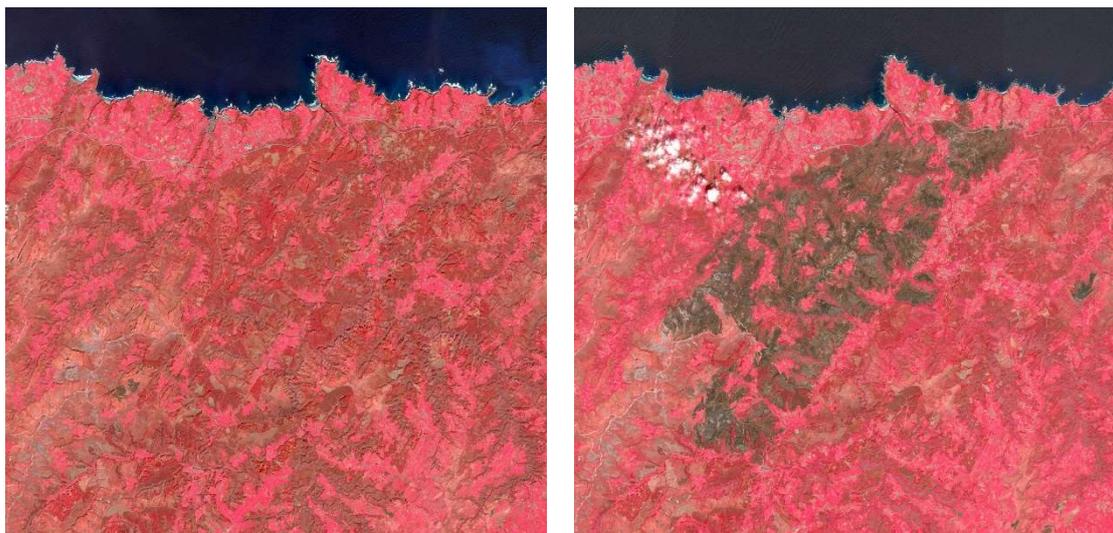


Figura 3.34. Imagen en falso color previa (izquierda) y posterior (derecha) al incendio de Valdés. Fuente: <https://dataspace.copernicus.eu/explore-data>

El mapa que muestra la distribución del índice ΔNBR según categorías de severidad, elaborado a partir de los umbrales propuestos por el USGS (Figura 3.35), muestra un gradiente de severidad que comienza en el SW y avanza hacia el NE. De él se pueden deducir dos aspectos. El primero, que el origen del incendio se situó en la zona SW, propagándose hacia el NE, con un comportamiento “explosivo” en sus estados iniciales, pero perdiendo energía a medida que progresaba. El segundo es su coincidencia con la dirección del viento predominante durante el episodio, circunstancia que refuerza el papel de las condiciones meteorológicas locales en la transformación de una pequeña quema no autorizada en el incendio más grande de las últimas 4 décadas en Asturias.

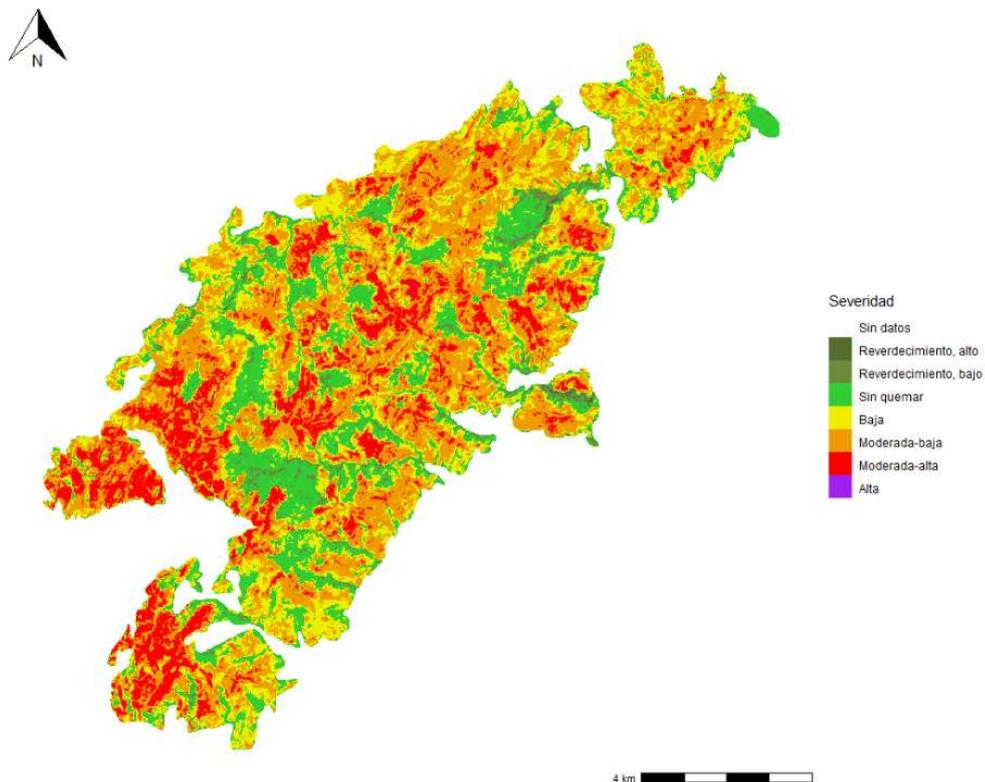


Figura 3.35. Distribución espacial de la superficie quemada en el incendio de Valdés según grados de severidad. Fuente: elaboración propia a partir de imágenes de Sentinel-2 (<https://dataspace.copernicus.eu/explore-data>).

En el incendio de Valdés el 23% de la superficie quemada sufrió una severidad considerada moderada-alta y el 34.2% moderada baja (Figura 3.36). Esta superficie se corresponde en su mayoría con ejemplares de bosque de plantación como el *Pinus pinaster* conocidos por su

alta combustibilidad debido al alto contenido de sustancias resinosas, y ayudada por la rápida propagación en focos secundarios, las piñas que saltan incendiadas desde los pinos a bastante distancia.

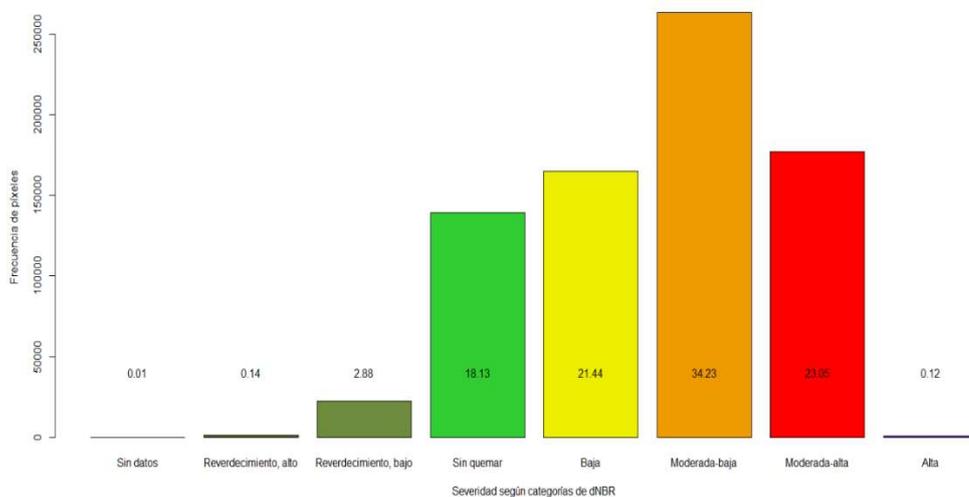


Figura 3.36. Superficie quemada en el incendio de Valdés según grados de severidad.

Fuente: elaboración propia a partir de imágenes de Sentinel-2

(<https://dataspace.copernicus.eu/explore-data>).

4. CONCLUSIONES

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado ha sido la caracterización del episodio de incendios forestales que afectó a Asturias durante los meses de marzo y abril de 2023, combinando diferentes fuentes de información. Como resultados más relevantes se pueden destacar los siguientes:

1. Tomando como referencia la superficie quemada, puede calificarse el episodio como uno de los más dañinos desde que existe información estadística sobre incendios forestales en Asturias, al nivel de otros episodios extremos, como los del año 1989.
2. Como es habitual, el episodio consistió en un gran número de incendios, de pequeña superficie, simultáneos, en laderas situadas a media altitud, y quemando fundamentalmente superficies forestales no arboladas.
3. Sin embargo, la magnitud de la superficie quemada sólo se explica por la aparición de un número elevado de GIF (> 500 has), que se extendieron a superficies arboladas, fundamentalmente plantaciones de pino y eucalipto, entre los que destacó el de Valdés, el incendio individual de mayor superficie registrado en Asturias en los últimos 40 años. Además, algunos incendios afectaron a las proximidades de núcleos urbanos de relevancia, como Oviedo, adquiriendo características propias de los incendios de interfaz urbano-forestal.
4. La propagación de las llamas estuvo favorecida por unas condiciones atmosféricas típicas: elevada temperatura, baja humedad relativa y vientos fuertes de componente sur. De la misma manera, las condiciones atmosféricas en los meses precedentes, caracterizadas por anomalías térmicas positivas, ausencia de precipitaciones y una intensa sequía, ayudaron a la propagación de los incendios.
5. El impacto de este episodio sobre la dinámica natural del territorio se evaluó mediante índices cuantitativos (NDVI y NBR) derivados de imágenes multiespectrales (Sentinel 2). Los resultados confirman además una gran severidad, en especial el incendio de Valdés, ya que la perturbación causada se mantuvo incluso un año después del evento.

Por último, cabría señalar que, aunque este episodio muestra evidentes similitudes con la dinámica tradicional de los incendios en el N de España, ciertos rasgos arriba señalados podrían ser un precedente de futuros escenarios de incendios forestales en la región bajo el impacto del cambio climático.

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figuras	Págs.
Figura 1.1. Mapa incendios forestales actuales	7
Figura 1.2. Área quemada y número de incendios. España	9
Figura 1.3. Evolución de los grandes incendios forestales +500 ha	9
Figura 1.4. Tasas de acumulación de carbón fósil	10
Figura 1.5. Superficie quemada por mes en Asturias.	11
Figura 1.6. Superficie media por incendio. Asturias	11
Figura 1.7. Sup. quemada y núm. de incendios. Asturias	12
Figura 1.8. Densidad despoblación por municipio. Asturias	13
Figura 2.9. Reflectancia en función de la longitud de onda	20
Figura 3.10. Comparación abril 2023 con la s. histórica.	22
Figura 3.11. Núm. y sup. quemada en marzo-abril de 2023.	23
Figura 3.12. Incendios por semanas. Asturias. Marzo-abril	24
Figura 3.13. Superficie quemada según tipo de cobertura.	25
Figura 3.14. Parámetros topográficos.	26
Figura 3.15. Superficie y número de incendios por tamaño.	27
Figura 3.16. Localización de los grandes incendios.	27
Figura 3.17. Incendio del monte Naranco desde Oviedo	28
Figura 3.18. Porcentaje de área quemada. Valdés.	29
Figura 3.19. Comparación de superficie afectada. Asturias.	30
Figura 3.20. Localización de <i>Pinus pinaster</i> en Asturias.	30
Figura 3.21. Evo. de variables atmosféricas. Cabo Busto.	32
Figura 3.22. Mapa sinóptico correspondiente. 9/3/23.	32
Figura 3.23. Valores de temperatura del aire. 29/3/23.	33
Figura 3.24. Valores de humedad relativa. 29/3/23.	33
Figura 3.25. Mapa sinóptico. Día 29-03-2023.	34
Figura 3.26. Anomalía de la temperatura media de marzo'23.	35
Figura 3.27. % de precipitación recogida en marzo'23	36
Figura 3.28. Comparación de temperatura y precipitación	37
Figura 3.29. Distribución espacial del índice SPEI a 3 escalas	37
Figura 3.30. Evolución SPEI a una escala temporal de 12 m.	38
Figura 3.31. Anomalía NDVI.	40
Figura 3.32. Severidad antes y después de los incendios.	40
Figura 3.33. Imagen Sentinel 2 en color natural.	41

Figura 3.34. Imagen en falso color.	42
Figura 3.35. Distribución espacial de la superficie quemada.	43
Figura 3.36. Superficie quemada en el incendio de Valdés.	44
Tablas	Págs.
Tabla 1.1. Evolución de la superficie forestal en Asturias según los cuatro IFN	13
Tabla 1.2. Distribución de la superficie forestal en Asturias	14
Tabla 1.3. Proporción de especies de repoblación 2023. Asturias	15
Tabla 2.4. Fuentes de información	18
Tabla 2.5. Niveles de severidad y umbrales en incendios. USGS	21
Tabla 3.6. Incendios de más de 500 ha. Asturias. Marzo-abril 2023	28
Tabla 3.7. Valores registrados en la estación de Asturias-Aeropuerto 2023	35

BIBLIOGRAFÍA

- AEMET (2023). *Avance del boletín Climatológico Mensual*. Agencia de Meteorología. Asturias. Publicado el 6 de abril del 2023. Disponible en junio de 2024, en <https://www.aemet.es>
- Calvo, A. (2022). *Revisión del plan forestal de Asturias 2021-2036*. Gobierno del Principado de Asturias. Disponible en junio de 2024, en: <https://www.profoas.com/pdf>.
- De la Puente García, Laura (2017). *Las posibilidades de la teledetección para la gestión de los incendios forestales en Cantabria: recuperación vegetal postfuego a partir de MODIS*. [Trabajo Final de Máster, Universidad de Cantabria]. <http://hdl.handle.net/10902/12388>.
- Earth Observatory (2006). Washington, D.C.: NASA, MODIS Rapid Response Team. Disponible, en abril 2024, en: https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/MOD14A1_M_FIRE
- El Diario (2019). *El corazón de África está en llamas (pero el verdadero problema es la sequía)*. Lleida. Disponible en mayo 2024 en [El corazón de África está en llamas \(pero el verdadero problema es la sequía\) \(eldiario.es\)](http://eldiario.es)
- FAO (2001). Roma. Disponible en mayo 2024 en [DIVERSIDAD BIOLÓGICA FORESTAL - Unasyva 209 \(fao.org\)](http://www.fao.org/publications/series/1/collection.do)
- Fernando Rasilla, D., (1999). *Viento del sur y efecto föhn en la Cordillera Cantábrica* Ministerio de Fomento. Madrid. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10486/12855>
- Flannigan, M.D., and B.M. Wotton. (2001). *Climate, weather and area burned*. Academic Press, New York, USA. Disponible en junio de 2024: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978012386660850012X>

- Forest Service, US (2024). *NBR Index*. U.S. Department of agricultura. Disponible en junio 2024: <https://www.fs.usda.gov/>
- French, N. H. F., Kasischke, E. S., Hall, R. J., Murphy, K. A., Verbyla, D. L., Hoy, E. E., & Allen, J. L. (2008). Using Landsat data to assess fire and burn severity in the North American boreal forest region: an overview and summary of results. *International Journal Of Wildland Fire*, 17(4), 443. <https://doi.org/10.1071/wf08007>
- Fundación La Caixa (2017). *Incendios forestales en España. Importancia, diagnóstico y propuestas para un futuro más sostenible*. Disponible en junio 2024 en <https://elobservatoriosocial.fundacionlacaixa.org/>
- Galiana Martín, L. (2012). *Las interfaces urbano-forestales: un nuevo territorio de riesgo en España*. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, (58), 205-226. Universidad Complutense de Madrid. <https://www.ucm.es/data/cont/docs/530-2013-10-15-09-GALIANA.pdf>
- Glasspool, I., Edwards, D., L, Axe. (2024). *Charcoal in the Silurian as evidence of the earliest wildfire*. Publicado en mayo 2004. Disponible en junio de 2024. DOI: 10.1130/G20363.1
- GRID-Arendal. (s. f.). *Annual average fire density*. Disponible en junio 2024 en: <https://www.grida.no/resources/15550>
- Hope A. S. y McDowell T. P. (1992): «The relationship between surface temperature and a spectral vegetation index of a tallgrass prairie: effects of a burning and other landscape controls». *International Journal of Remote Sensing*, 13, pp. 2849-2863.
- Jensen, J. R. (2007). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. Pearson. ISBN-13: 9780131889507
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). *Banco de datos de la naturaleza: Asturias*. MITECO. Disponible en junio 2024: <https://www.miteco.gob.es>
- Mira, N. (2023). *Los incendios en Asturias obligan a cortar la autovía que une la comunidad con Galicia*. Publicado el 30 de marzo. Disponible en junio 2024 en: <https://www.elconfidencial.com>
- Moreno, J. M., Urbieto, I. R., Bedia, J., Gutiérrez, J. M., & Vallejo, V. R. (2015). *Cap 34- Los incendios forestales en España ante el cambio climático*. Universidad de Castilla-La Mancha, Instituto de Física de Cantabria (CSIC-UC), Universidad de Barcelona, y CEAM. Disponible en: www.miteco.gob.es
- Muñiz, R. (2019). *Asturias es la tercera comunidad que más población rural pierde este siglo*. El Comercio: Diario de Asturias. Disponible en junio 2024 en: [El Comercio: Diario de Asturias](http://ElComercio:Diario.de.Asturias)

Los incendios forestales de Asturias en marzo-abril de 2023: evaluación preliminar y análisis de su severidad.

- Nosti, P. (2023). *El fuego devora el Naranco*. El Comercio: Diario de Asturias. Publicado el 30 de marzo de 2024. Disponible en mayo 2024: de <https://www.elcomercio.es>
- Pausas, J. G. (2010). *Fuego y evolución en el Mediterráneo. Investigación y Ciencia*. Universidad de Valencia. Publicado en agosto 2010. Disponible en junio de 2024, en https://www.uv.es/jgpausas/papers/Pausas-2010-IyC_fuego-evolucion.pdf
- Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2009). *A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life*. *BioScience/Bioscience*, 59(7), 593-601. Disponible en junio de 2024. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.7.10>
- Pérez, P. (2023). *Incendios que apagaron el verde del paraíso*. El Comercio: Diario de Asturias. Publicado el 7 de abril. Disponible en junio de 2024 en: <https://www.elcomercio.es>
- Pérez-Bustamante, R. y Baró, J. (1988) *El gobierno y la administración de los pueblos de Cantabria I Liébana*. Santander: Institución Cultural de Cantabria.
- Pérez-Díaz, S., López-Sáez, J. A., Pontevedra-Pombal, X., Souto-Souto, M., & Galop, D. (2016). *8000 years of vegetation history in the northern Iberian Peninsula inferred from the palaeoenvironmental study of the Zalama ombrotrophic bog (Basque-Cantabrian Mountains, Spain)*. *Boreas*, 45(4), 658-672. <https://doi.org/10.1111/bor.12182>
- Pérez-Obiol, Ramon & Codrón, Juan & Pèlachs, Albert & Pérez-Haase, Aaron & Soriano, J.M. (2016). *Landscape dynamics and fire activity since 6740 cal yr BP in the Cantabrian region (La Molina peat bog, Puente Viesgo, Spain)*. *Quaternary Science Reviews*. 135. 65-78. 10.1016/j.quascirev.2016.01.021. Disponible en junio de 2024, en <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/28528>
- Prieto, F (2017). *Incendios forestales en España. Importancia, diagnóstico y propuestas para un futuro más sostenible*. Fundación La Caixa. Disponible en junio 2024 en: <https://elobservatoriosocial.fundacionlacaixa.org>
- Pyne, S. J., Andrew, P.L.y Laven, R.D. (1996) *Introduction to Wildland fire*. New York, Wiley, 769 págs.
- Rodríguez Coterón, S. (2022) *El papel del fuego en la configuración del paisaje vegetal de la sierra del escudo (montaña cantábrica central) durante los últimos 6000 años*. Santander, Universidad de Cantabria, págs. 37-74
- Rodríguez Gutiérrez, F., Menéndez Fernández, R., Blanco Fernández, J. (2009) *El área metropolitana de Asturias: Ciudad Astur: el nacimiento de una estrella urbana en Europa*. Gijón: Trea. ISBN: 9788497043441. Disponible en junio 2024 en: [REBIUN - ODA \(baratz.es\)](https://rebiun-oda.baratz.es)

Los incendios forestales de Asturias en marzo-abril de 2023: evaluación preliminar y análisis de su severidad.

Science (2019). *There's no doubt that Brazil's fires are linked to deforestation, scientists say*. Sao Paulo. Disponible en mayo 2024 en <https://www.science.org/content/article/theres-no-doubt-brazils-fires-are-caused-deforestation-scientists-say>

SondaInternacional (2023). *Las heridas abiertas de Pedrógão Grande*. Portugal. Disponible en junio 2024: [Las heridas abiertas de Pedrógão Grande - SONDA Internacional](#)

Spano, D. (2022). *La despoblación y el abandono del sector primario condenan al bosque español*. Universidad de Sassari. Disponible en junio 2024: <https://civio.es/espana-en-llamas/2022/06/23>.

Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S., Mosseler, A. (2009). *Forest Resilience, Biodiversity, and Climate Change. A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series no. 43, 67 pages. Disponible en mayo 2024 <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-43-en.pdf>

Tyukavina, Alexandra & Potapov, Peter & Hansen, Matthew & Pickens, Amy & Stehman, Stephen & Turubanova, Svetlana & Parker, Diana & Zalles, Viviana & Lima, Andre & Kommareddy, Indrani & Song, Xiao-Peng & Wang, Lei & Harris, Nancy. (2022). *Global Trends of Forest Loss Due to Fire From 2001 to 2019*. *Frontiers in Remote Sensing*. 3. 10.3389/frsen.2022.825190.

Vega, L. Á. (2023, 12 abril). *El cóctel que generó el gran incendio de Valdés: todo empezó con una quema ilegal en Tineo*. La Nueva España. Publicado el 12 de abril de 2023. Disponible en mayo 2024 en: <https://www.lne.es>

Vilar del Hoyo, L., Martín Isabel, M.P. y Martínez Vega, J. (2008): *Empleo de técnicas de regresión logística para la obtención de modelos de riesgo humano de incendio forestal a escala regional*. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, nº 47, págs. 5-29.

Vlassova, L., Pérez-Cabello, F., Mimbbrero, M. R., Llovería, R. M., & García-Martín, A. (2014). *Analysis of the Relationship between Land Surface Temperature and Wildfire Severity in a Series of Landsat Images*. *Remote Sensing*, 6(7), 6136-6162. Disponible en junio 2024 en: <https://doi.org/10.3390/rs6076136>

Wikipedia (2019) Asturias población 2018. Disponible en junio de 2024 en: https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Asturias_Poblacion-2018.png