



universidad
de león



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES

**RECUPERACIÓN DE ECOSISTEMAS
FORESTALES AFECTADOS POR INCENDIOS:
EVOLUCIÓN Y NUEVAS METODOLOGÍAS**

**RECOVERY OF FIRE-AFFECTED FOREST
ECOSYSTEMS: DEVELOPMENT AND NEW
METHODOLOGIES**

Autor: Sara García Gutiérrez

Tutor: Elena María Marcos Porras

GRADO EN BIOLOGÍA

Diciembre, 2022

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
➤	1.1 ¿Qué son los incendios forestales?.....	1
➤	1.2 Problemática general del fuego a nivel mundial	1
➤	1.3 Impacto de los incendios a nivel ecológico, social y económico.....	2
➤	1.4 Cómo han evolucionado los incendios y, en consecuencia, cómo ha evolucionado la metodología utilizada en la gestión de incendios en España	4
2.	MATERIAL Y MÉTODOS	5
3.	GRUPOS DE TRABAJO Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	7
4.	ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LOS ESTUDIOS SOBRE INCENDIOS FORESTALES DESDE LOS AÑOS 70 HASTA LA ACTUALIDAD	8
5.	EVOLUCIÓN DE LOS INCENDIOS Y DE LAS TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN	12
➤	5.1 La importancia de la protección del suelo en zonas quemadas.....	17
➤	5.2 Tipos de estructuras para proteger el suelo	19
6.	CONCLUSIONES.....	22
7.	BIBLIOGRAFÍA	22

RESUMEN

Los incendios forestales han evolucionado a lo largo de los años, llegándose así a determinar hasta “6 generaciones de incendios”, incrementando su agresividad. Es por ello que el objetivo de este trabajo es realizar una revisión sobre la evolución de las medidas de restauración post-incendio en ecosistemas forestales. Al mismo tiempo se tratará de analizar si ha existido una adaptación de estas medidas a los diferentes tipos de incendios que han aparecido a lo largo del tiempo. Para ello, se ha realizado una búsqueda de información en diferentes bases de datos, aplicando posteriormente unos criterios de inclusión-exclusión. A lo largo de los años, los estudios han ido evolucionado e incorporando nuevas técnicas para conocer el comportamiento del fuego y sus efectos. Así mismo, se ha determinado un cambio en las medidas de gestión post-incendio, que antiguamente se centraban en la reforestación y hoy en día en la protección del suelo. De los numerosos tratamientos que se utilizan para mitigar el efecto de la escorrentía y la erosión, parece observarse que el mulching es, a corto plazo, la técnica más efectiva. De igual manera, se destaca la importancia de la gestión pre-incendio como medida clave para controlar sus efectos.

PALABRAS CLAVE

Gestión post incendio; Incendio forestal; Recuperación de ecosistemas forestales; Severidad del fuego.

ABSTRACT

Forest fires have evolved over the years, reaching up to “6 generations of fires”, increasing their aggressiveness. For this reason, the aim of this work is to review the evolution of post-fire restoration measures in forest ecosystems. At the same time, we will try to analyze if there has been an adaptation of these measures to the different types of fires that have appeared over time. For this purpose, a search of information has been carried out in different databases, subsequently applying inclusion-exclusion criteria. Over the years, studies have evolved and incorporated new techniques to understand the behavior of fire and its effects. Likewise, a change in the post-fire management measures has been determined, which in the past focused on reforestation and nowadays on soil protection. Of the numerous treatments used to mitigate the effect of runoff and erosion, mulching appears to be the most effective technique in the short term. It also highlights the importance of pre-fire management as a key measure to control its effects.

KEYWORDS

Fire severity; Post fire management; Recovery of forest ecosystems; Wildfire.

1. INTRODUCCIÓN

➤ 1.1 ¿Qué son los incendios forestales?

Los incendios forestales son aquellos fuegos, ya sean de origen natural o antrópico, que tienen lugar en ecosistemas terrestres, y se propagan por ellos sin control (Pausas, 2012).

Son necesarios tres componentes básicos para que pueda producirse un fuego; y todos ellos están presentes en la superficie terrestre: un combustible, oxígeno y calor que permita que se produzca la ignición. Es por ello que aunque la probabilidad de que se origine un fuego es elevada (Mataix-Solera y Cerdà, 2009a), la evolución e intensidad del mismo van a estar condicionadas por la topografía, las condiciones meteorológicas y el paisaje (Hernández, 2021). Son los propios ecosistemas los que determinan la continuidad, o no, de los incendios y el régimen de los mismos (Mataix-Solera y Cerdà, 2009a). Pero, a lo largo de los años, estas condiciones han ido modificándose, permitiendo así distinguir diferentes “generaciones” de incendios (Hernández, 2021), de las cuales hablaremos más adelante.

➤ 1.2 Problemática general del fuego a nivel mundial

El fuego siempre ha sido un agente regulador de los ecosistemas (Velez Muñoz, 1986), manteniendo así la estabilidad de los mismos, y controlando los procesos de sucesión ecológica y regeneración (Castillo *et al.*, 2003). Los seres humanos han sabido adaptarse a él y utilizarlo como un recurso para obtener sus propios beneficios, ya que a lo largo de la historia se ha utilizado para, entre otras cosas, crear zonas de cultivo o pastoreo, cazar, aumentar la biodiversidad o incluso acelerar los ciclos biogeoquímicos (Mataix-Solera y Cerdà, 2009a). Pero, a pesar de todo esto, en la actualidad, la sociedad considera estos incendios como un desastre ecológico, porque las actividades antrópicas han evolucionado, causando un cambio en los regímenes naturales de los incendios, de modo que la mayoría de los fuegos, actualmente, son provocados por acciones humanas, directa, o indirectamente (Pausas, 2012) y producen un impacto mayor en los ecosistemas.

A nivel mundial, han sido millones las hectáreas afectadas por el fuego durante las últimas décadas, especialmente a partir de los años 70 (Estirado Gómez y Molina Vicente, 2005). Esto se debe a los cambios que han ocurrido en el clima de las diferentes regiones (Díaz-Hormazábal y González, 2016), así como a que, las acciones del hombre cada vez inciden más en la explotación de los recursos naturales (Castillo *et al.*, 2003) y conllevan diversos cambios en los

usos del suelo (Díaz-Hormazábal y González, 2016). Todo esto, ha derivado en cambios, tanto de la biodiversidad como en la estructura de los paisajes (Pausas, 2012).

Los incendios forestales, por tanto, se consideran desde hace décadas, una de las perturbaciones más importantes que afectan a los bosques, a nivel mundial, pero principalmente aquellos que están situados en lugares que presentan una estación con una elevada sequía seguida de lluvias torrenciales, como puede ser el clima mediterráneo. El viento es otro factor que favorece la propagación del fuego, ya que causa desecaciones rápidas en la biomasa forestal (Estirado Gómez y Molina Vicente, 2005). Por todo ello, los incendios se consideran un factor de gran influencia tanto ecológica, como socioeconómica en la cuenca mediterránea (Díaz-Hormazábal y González, 2016), en la cual nos vamos a centrar, para la realización de esta revisión.

➤ 1.3 Impacto de los incendios a nivel ecológico, social y económico

Los bosques tienen importantes funciones tanto a nivel socioeconómico, como ecológico. Según Estirado Gómez y Molina Vicente (2005), entre estas funciones destacan:

- A nivel ecológico:
 - Ser reservas de biodiversidad, función de gran importancia en España.
 - Regular el ciclo del agua.
 - Protección del suelo frente a la erosión.
 - Purificación del aire.
 - Liberación de oxígeno y fijación de CO₂. Son importantes sumideros de carbono.
- A nivel socioeconómico:
 - Permitir mantener el contacto con la naturaleza a las poblaciones urbanas, las cuales realizan numerosas actividades recreativas y/o deportivas.
 - Generación de un elevado número de empleos: como puede ser en plantaciones y trabajos silvícolas, eliminación de restos procedentes de podas, limpiezas o desbroces, así como en empresas, cooperativas y asociaciones relacionadas con el sector.

Sin embargo, todos los bienes y servicios que proporcionan los bosques pueden ser eliminados, al menos de forma temporal por los incendios, causando graves efectos medioambientales y socioeconómicos (Estirado Gómez y Molina Vicente, 2005).

Según Castillo *et al.* (2003) y Barrio *et al.* (2007) los efectos socioeconómicos derivados de los incendios forestales son:

- Pérdida de vidas humanas, así como diversos problemas de salud.
- Pérdidas económicas directas en cosechas, cultivos forestales, pérdidas patrimoniales, etc.
- Disminución de las fuentes de trabajo.
- Daños y pérdidas tanto en las propiedades públicas como privadas, bien sea de bosques, áreas de recreación, o Parques y Reservas Nacionales, entre otros.

Y, los efectos ecológicos derivados de los incendios forestales son:

- En el clima, tiene lugar un aumento de la radiación solar, una disminución de la humedad ambiental, o la contaminación atmosférica que se produce durante los propios incendios por la emisión de gases de efecto invernadero tales como el CO₂, el CO, el CH₄, el NO, o partículas más pequeñas, que son químicamente activos. Estas emisiones también se producen después de que se extinga el incendio, debido a la acción bacteriana post-incendio en el suelo.
- En el suelo, debido a que modifican la parte superficial del mismo y eliminan la parte aérea de la vegetación (Mataix-Solera y Cerdà, 2009a), se produce el deterioro de sus propiedades tanto físicas como químicas: erosión, pérdida de nutrientes, o eliminación de la microfauna.
- En la vegetación provoca la muerte, alteraciones y deformaciones en los tejidos vegetales dando lugar a una enorme pérdida de biomasa, así como el incremento de enfermedades y plagas, deterioro en las propiedades de la madera, o cambios en la sucesión vegetal acompañados de una entrada de especies invasoras.
- Por su parte, en los recursos hídricos causan sedimentaciones de cauces, alteraciones en los ciclos hidrológicos, contaminación de las aguas, reducciones de la recarga de los acuíferos, o un aumento de la escorrentía, que pueden dar lugar tanto a riadas, como a inundaciones (Vega *et al.*, 2013).
- En el paisaje, provocan tanto desertificación como fragmentación del hábitat, con el consiguiente aumento del efecto borde.
- Y, en último término, en la biodiversidad causan tanto pérdida de hábitats como de la fauna y la flora silvestres, rupturas de las cadenas alimenticias, o alteraciones en las sucesiones ecológicas.

➤ 1.4 Cómo han evolucionado los incendios y, en consecuencia, cómo ha evolucionado la metodología utilizada en la gestión de incendios en España

En los últimos años, la preocupación por los incendios forestales se ha incrementado, ya que el número de incendios ha tendido a disminuir, pero la magnitud de los mismos se ha incrementado (San-Miguel-Ayanz *et al.*, 2021).

No obstante, según El Sistema Europeo de Información sobre Incendios Forestales (EFFIS), el número de incendios en este año 2022 se ha incrementado considerablemente con respecto al porcentaje anual de los años 2006 a 2021, como se puede observar en el Gráfico 1.

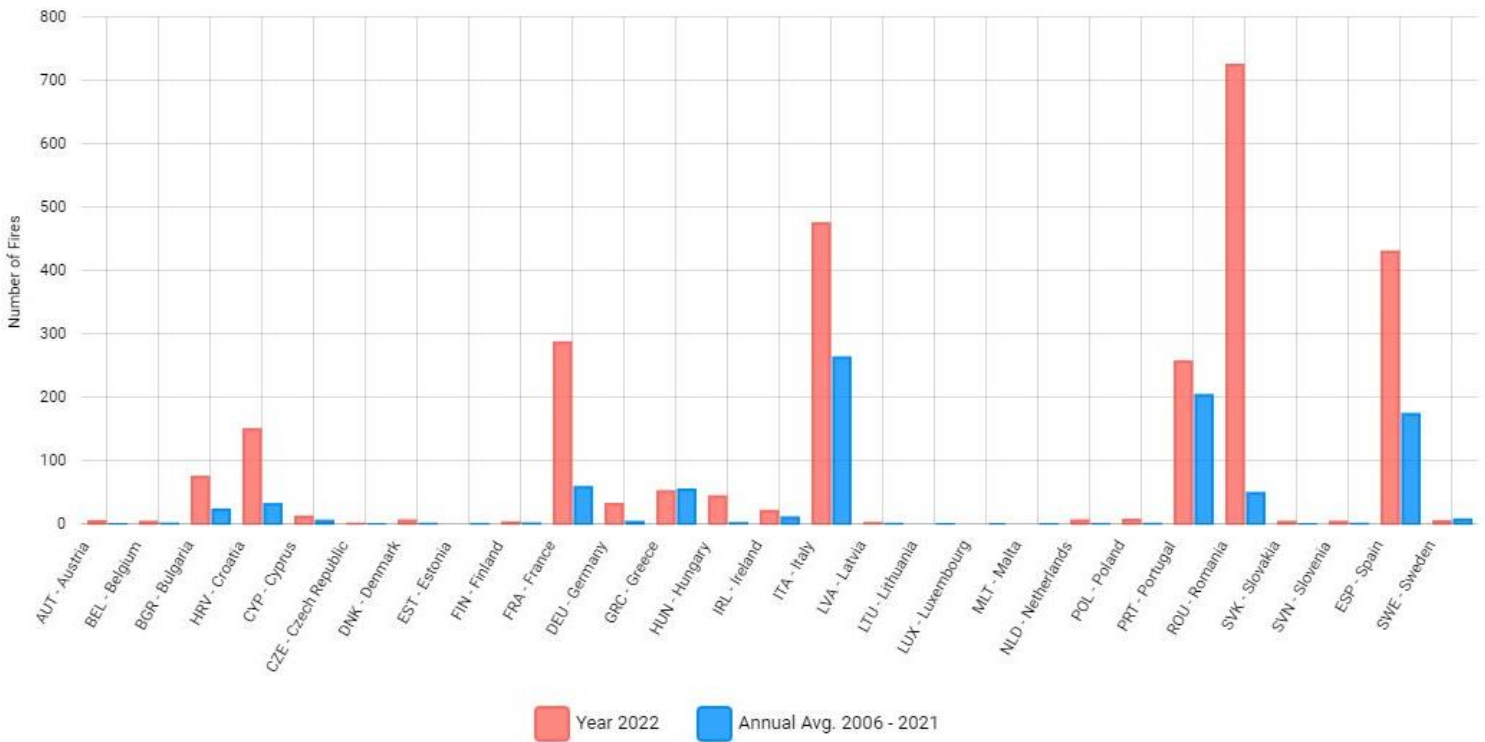


Gráfico 1. Comparativa del número de incendios ocurridos a lo largo de los diferentes países en el año 2022, con respecto al porcentaje anual de incendios de los años 2006 a 2021. Fuente: EFFIS (2022).

Además, ha aumentado el riesgo de que los incendios actuales se propaguen a gran velocidad, por presentar un comportamiento extremo y explosivo. Estos incendios se conocen como “incendios de sexta generación” y cambian las condiciones meteorológicas de la zona en la que se producen, ocasionando también tormentas de fuego, aunque afortunadamente estos incendios aún ocurren en una baja proporción (Hernández, 2021).

Al igual que los incendios han ido evolucionando a lo largo de los años, la metodología empleada para la gestión de los mismos ha evolucionado también. Antiguamente, en las zonas afectadas por el fuego se aplicaban actuaciones hidrológico-forestales, es decir, actuaciones

post-incendio, principalmente dirigidas a la reforestación. Hoy en día, las actuaciones que se proponen, se centran en minimizar el riesgo hidrológico-erosivo post-incendio, es decir, están dirigidas en mayor medida a restaurar las cuencas afectadas, protegiendo prioritariamente la degradación del suelo, que regula la escorrentía, y es el origen de los sedimentos que se movilizan (Vega *et al.*, 2013).

A lo largo de los años se ha llegado a una unanimidad con respecto a que las actuaciones preventivas frente a los incendios forestales son las que tienen un impacto más positivo (Vega, 2007; Torre Antón, 2010; Costa Alcubierre *et al.*, 2011; Pulido, 2017); y esta prevención se estructura en torno a medidas de detección, técnicas silvícolas y medidas de concienciación a la sociedad (Estirado Gómez y Molina Vicente, 2005).

Se pronostica que los incendios forestales en el futuro serán cada vez más agresivos y frecuentes (Castillo *et al.*, 2003); es por ello que el objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es analizar la evolución de los incendios forestales en el tiempo y realizar una revisión sobre las medidas de restauración post-incendio. Al mismo tiempo se tratará de analizar si ha existido una adaptación de estas medidas a los diferentes tipos de incendios que han aparecido a lo largo del tiempo.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología utilizada para la realización de este Trabajo de Fin de Grado, se basa en la búsqueda de bibliografía, utilizando las siguientes palabras clave: incendio forestal; recuperación de ecosistemas forestales; gestión post incendio; severidad del fuego; y, diferentes bases de datos online, tales como Dialnet, Google Scholar, ScienceDirect o WorldWideScience. Al total de artículos seleccionados se le aplicaron los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

Criterios de inclusión:

1. Estudios realizados en cualquier punto del mundo, con especial atención en aquellos realizados en España y el resto de la cuenca mediterránea.
2. Artículos publicados en español o en inglés.
3. Artículos publicados desde la década de los 70 hasta la actualidad.
4. Estudios con referencia a metodología empleada en la restauración de ecosistemas, post-incendio.

5. Estudios acerca de la evolución de los incendios en las últimas décadas.
6. Artículos de diferentes grupos de investigación españoles que trabajen regularmente en incendios forestales.

Criterios de exclusión:

1. Estudios poco relevantes y/o de poca calidad.
2. Artículos con errores en la metodología empleada.
3. Estudios que no se corresponden con los objetivos establecidos en el trabajo.
4. Artículos repetidos en las diferentes bases de datos.

Una vez realizada esta búsqueda, se han encontrado un total 5381 artículos. De estos, solamente 106 artículos cumplían los criterios de inclusión mencionados; y el resto fueron descartados mediante los criterios de exclusión.

De los estudios seleccionados finalmente, como se puede apreciar en el siguiente gráfico (Gráfico 2), 15 trataban sobre aspectos relacionados con la problemática general que causan los incendios forestales; 30 relacionados con los efectos del fuego sobre el suelo y la vegetación, 41 de aspectos relacionados con las diferentes metodologías empleadas para la recuperación de los ecosistemas forestales tras el fuego, y 20 de otros temas tales como la severidad del fuego, evolución de los incendios forestales a lo largo de las últimas décadas, etc.

Temas a tratar en los artículos seleccionados

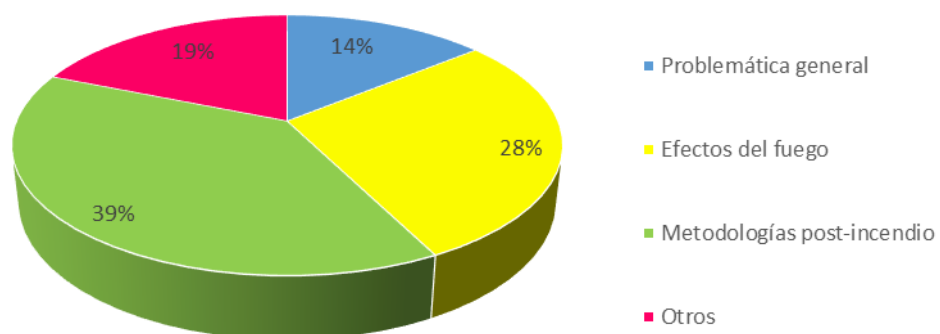


Gráfico 2. Porcentaje de estudios encontrados de los diferentes temas a tratar en esta revisión, con respecto al total de artículos seleccionados.

3. GRUPOS DE TRABAJO Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Según Moreno Rodríguez (2016) entre los principales grupos de investigación españoles, que realizan sus estudios en el ámbito de los incendios forestales y que publican de manera regular sobre el tema, encontramos un total de 46, distribuidos por comunidades autónomas como podemos ver en el Gráfico 3:



Gráfico 3. Principales grupos de investigación en el ámbito de los incendios forestales en España, por comunidades autónomas. Las comunidades autónomas que no aparecen en este gráfico carecen de ellos. Fuente: elaboración propia.

Como podemos comprobar, la mayor parte de las comunidades autónomas españolas presentan algún grupo de investigación que trabaja en este tema de manera regular; lo cual no quiere decir que no haya más autores y/o grupos de investigación que trabajen de manera puntual en esta temática. Destaca el elevado número de grupos de investigación en las comunidades autónomas de Cataluña y Galicia principalmente, debido a que son las comunidades autónomas más afectadas por los incendios forestales y en las que más recursos se destinan a este ámbito.

Dentro de los estudios relacionados con incendios forestales hay numerosas líneas de investigación y, cada uno de los grupos abarca una o varias de estas disciplinas (Moreno Rodríguez, 2016).

Entre estas líneas de investigación, podemos destacar fundamentalmente las siguientes:

- El uso de teledetección y SIG para la predicción del riesgo de incendios forestales, como es el caso del *Grupo de teledetección térmica - GTT de la Universitat de València* (2022) o para la estimación de la severidad de los incendios y cartografía de zonas quemadas, que realizan el *Grupo de investigación en Teledetección Ambiental - GITA de la Universidad de Alcalá* (2022), o el *Grupo Ecología Aplicada y Teledetección - GEAT de la Universidad de León* (2021), entre otros.

- Ecología del suelo y efectos de los incendios forestales en el mismo, como es el caso de los estudios realizados por *Soil Erosion Research Group - SEDER de la Universidad de Valencia* (2010); *MED - Soil Research Group* (2020); *IIAG-Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia* (2021); *Grupo Ecología Aplicada y Teledetección - GEAT de la Universidad de León* (2021) o *Grupo de Edafología y Tecnologías del Medio Ambiente de la Universidad Miguel Hernández* (2022).
- Ecología del fuego. En esta línea de investigación destacan, entre otros, los estudios del *Grupo Ecología Aplicada y Teledetección - GEAT de la Universidad de León* (2021).
- Impacto del fuego y otros factores ambientales en los ciclos biogeoquímicos del C y N y cambio climático. En esta línea destacan los estudios del grupo *Sistemas Forestales Mediterráneos (SIFOMED) - Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla* (2022).
- Restauración forestal y regeneración vegetal post- incendio. Los grupos *Grup de Recerca Ambiental Mediterrània - GRAM* (2020) y *Departamento de protección forestal | CIF Lourizan* (2022), son algunos de los que trabajan en esta vía de investigación.

Los grupos de investigación mencionados, así como muchos aquellos que no han sido nombrados, trabajan de manera multidisciplinar, en varias de las líneas de investigación citadas anteriormente.

4. ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LOS ESTUDIOS SOBRE INCENDIOS FORESTALES DESDE LOS AÑOS 70 HASTA LA ACTUALIDAD

A partir de los años 60, encontramos datos anuales fiables acerca tanto del número de incendios, como de la superficie quemada en la Península Ibérica (Pausas, 2004); datos que coinciden con un incremento de la frecuencia y número de los conocidos como grandes incendios forestales (GIF) (Araque Jiménez, 2013), habiendo un aumento marcado y repentino de los mismos, a mediados de la década de los 80 (Westerling *et al.*, 2006).

Como podemos observar en el Gráfico 4, el año con mayor número de grandes incendios forestales fue el año 1985 y se está produciendo una ligera tendencia a la disminución de los mismos (Úbeda *et al.*, 2021), pero hay una tendencia al aumento de la superficie total afectada por ellos (San-Miguel-Ayanz *et al.*, 2021).

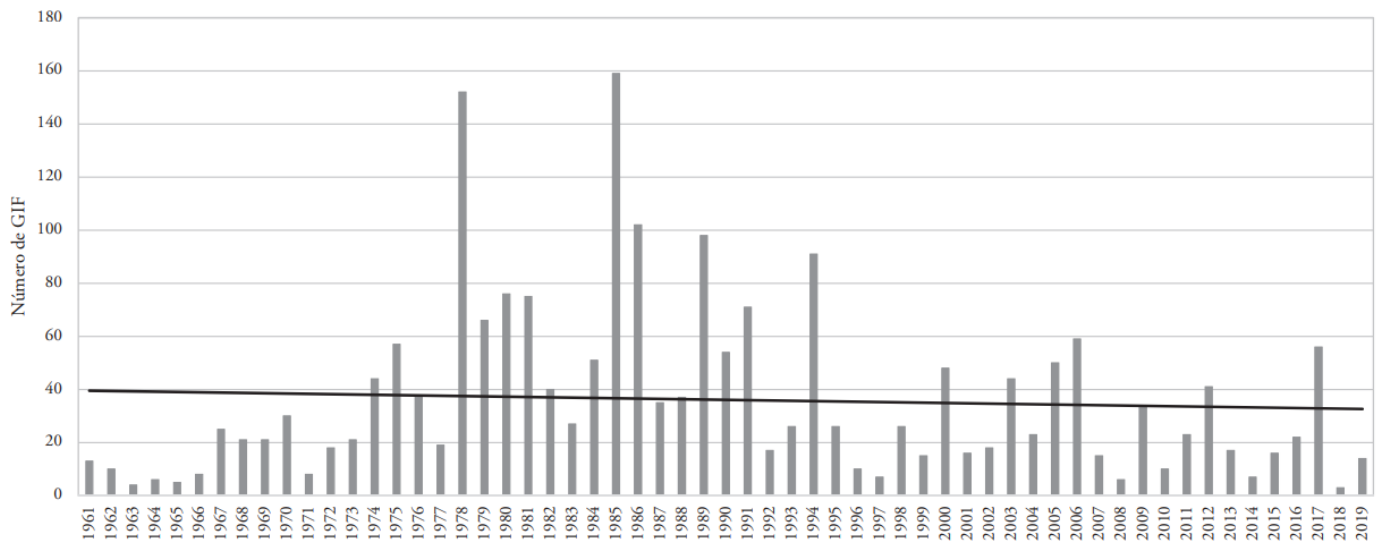


Gráfico 4. Número de grandes incendios forestales (GIF) ocurridos en España, entre los años 1961 y 2019. Fuente: Úbeda *et al.* (2021).

Dependiendo de las condiciones climáticas de cada año, se produce una gran variabilidad en cuanto a la superficie afectada por estos grandes incendios forestales. El mayor número de incendios se produce durante el verano y en los años con una mayor sequía; este número aumenta afectando además a una mayor superficie. Así mismo, la tendencia al aumento de esta superficie afectada por los incendios se ha visto determinada principalmente por tres factores, que son: el aumento de la población, el cambio climático y el cambio que se ha realizado en cuanto al uso del suelo (Pausas, 2004).

En la búsqueda de documentación realizada para elaborar esta revisión bibliográfica, se ha podido observar que los primeros estudios que se pueden encontrar sobre incendios forestales, fueron realizados en Estados Unidos, a partir de la década de los años 70. El número de artículos publicados aumenta considerablemente con el paso de los años, siendo en la actualidad cuando encontramos una mayor cantidad de los mismos, debido a la gran preocupación que suponen los incendios forestales en la sociedad, así como al avance tanto de las técnicas utilizadas en su gestión, como al gran avance que se ha producido a la hora de compartir la información a lo largo de todo el mundo.

Más concretamente, en la Península Ibérica, los primeros estudios sobre la ecología del fuego se centraban principalmente en el efecto de este sobre la vegetación; destacando la publicación de García Novo (1977), que fue pionera en este ámbito (Madrugal *et al.*, 2018).

En la década de los 70, ya comenzaba a haber estudios sobre el impacto de los incendios forestales en el suelo, como podemos ver en el capítulo del libro *Fire and Ecosystems*, escrito

por Ahlgren (1974); pero, los trabajos que se realizaban acerca de la recuperación de los ecosistemas forestales afectados por los incendios se centraban principalmente en la eliminación de maleza y árboles muertos, seguido de una reforestación, como podemos ver reflejado en el “*Decreto 3769 / 1972 , de 23 de diciembre , por el que se aprueba el Reglamento de la Ley 81 / 1968 , de 5 de diciembre , sobre incendios*” (1973) y, la observación de los resultados de esta gestión, frente a las zonas control, en las que se realizaba poco, o ningún manejo, permitiendo así la sucesión ecológica natural post-incendio (Bock *et al.*, 1978).

Así mismo, los modelos matemáticos complejos utilizados para la predicción del comportamiento del fuego se comenzaron a desarrollar en esta década. Estos modelos permiten relacionar diferentes propiedades del fuego, como pueden ser la intensidad, la velocidad de propagación, la longitud de la llama, el tiempo de combustión, la velocidad del viento, o la pendiente del terreno, entre otras. Y, son muy útiles en la toma de decisiones relacionadas con la prevención frente a los incendios, en las que hay que realizar un trabajo complejo de asignación de recursos (Albini, 1976).

Pero, Holling (1973) defiende que habría que asumir que no solo es que vaya a haber nuevos problemas futuros, sino también que éstos serán inesperados, por lo que habría que intentar enfocar la gestión desde un punto de vista basado en la resiliencia, es decir, en la medida de la persistencia de los sistemas, así como su capacidad para absorber los cambios y perturbaciones que ocurren en ellos, manteniendo las mismas relaciones entre poblaciones o variables.

A finales de la década de los años 70 y principios de los años 80, la teledetección comenzó a ser empleada en diferentes estudios sobre incendios forestales (Díaz-Delgado *et al.*, 1998), como es el caso de los realizados por Chuvieco y Congalton (1988). Estos estudios se pueden realizar tanto en momentos anteriores, como durante, o en momentos posteriores al incendio; y son muy útiles para determinar diversos índices de peligrosidad, la presencia de focos activos, o para evaluar algunas consecuencias del fuego (Pérez Cabello y De la Riva Fernández, 1998).

Entre los mencionados estudios, encontramos muchos de ellos tratando de determinar la severidad del fuego. Es muy útil conocer la relación que hay entre la severidad del incendio y la respuesta de la vegetación frente al mismo, para poder entender la supervivencia y la recuperación de esta vegetación después del incendio (Ryan y Noste, 1985).

Numerosos autores tales como Lentile *et al.* (2006), Ávila-Flores *et al.* (2014), o Montorio Llovería *et al.* (2014), entre otros, han definido la severidad del fuego como la magnitud de los cambios ecológicos que han sido provocados por este. Es una variable de gran importancia a

la hora de realizar la gestión de zonas quemadas. Normalmente, una severidad elevada se vincula con una mayor escorrentía y erosión del terreno (Doerr *et al.*, 2006) y una menor recuperación de la vegetación tras el incendio (Montorio Llovería *et al.*, 2014). Los trabajos que se realizan con la determinación de esta variable son muy útiles para predecir los efectos de los incendios tanto en el suelo, como en la vegetación, pero también la supervivencia de las semillas, o las longitudes que alcanzan las llamas (Ryan y Noste, 1985). A pesar de esto, como se trata de una variable muy práctica, en la actualidad se siguen buscando nuevos métodos para evaluarla (Montorio Llovería *et al.*, 2014).

Los incendios del Parque Nacional de Yellowstone (PNY) en 1988, determinaron un antes y un después en los estudios relacionados con la gestión de los incendios forestales. Estos incendios afectaron a un total de 250.000 hectáreas y se llegó a pensar que nunca se podría recuperar el PNY. Sin embargo, la cubierta vegetal de las zonas afectadas fue restaurada por las especies autóctonas de manera natural, muy rápidamente, lo cual muestra que una revegetación posterior al incendio probablemente fuese innecesaria e incluso contraproducente (Turner *et al.*, 2003).

Los estudios realizados tras estos incendios fueron, y aún continúan siendo, muy útiles para interpretar cuál es el efecto de los incendios sobre la heterogeneidad y la dinámica de los ecosistemas forestales (Turner *et al.*, 1994); así como para abordar algunas cuestiones básicas sobre la ecología del fuego (Turner *et al.*, 2003).

A partir de la década de los 90 ya fueron numerosas las conferencias y resoluciones internacionales que abordaban la problemática de la erosión de los suelos debido a los incendios forestales y que se centraban en controlarla (López Sardá, 2004; Shakesby, 2011). Concretamente en la *Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación* (1994), ya se determinó que los incendios forestales eran uno de los principales causantes de la pérdida de vegetación natural, y en consecuencia, de la degradación del suelo (López Sardá, 2004).

Ya en las últimas décadas, los estudios se centraban en observar la respuesta de los montes tras la regeneración natural y tras la repoblación, así como en buscar posibles mejoras en la gestión que se realizaba en las áreas afectadas por los incendios, obteniendo herramientas de gestión que mejorasen el estado y la resiliencia de los ecosistemas forestales. Se ha evaluado, entre otros, los impactos que provocaban la saca de madera de las zonas degradadas, la restauración de las zonas por reforestación, los cambios y respuestas que se producían en los bancos de semillas que se almacenan en el suelo, o las mejoras que suponían algunas prácticas silvícolas

sobre la biodiversidad, la actividad microbiológica del suelo, la materia orgánica o la productividad, en áreas quemadas. Todo esto con la ayuda de numerosos, y cada día más avanzados, modelos de simulación de desarrollo, utilizando diversas variables (De las Heras *et al.*, 2009).

Actualmente, las investigaciones continúan avanzando, pero se ha determinado, como podemos ver en el folleto divulgativo de González-Prieto *et al.* (2018), que los objetivos en las acciones a realizar post-incendio son, principalmente:

- Intentar detener la degradación y las pérdidas de suelo y reducir la pérdida de las cenizas debida a la erosión.
- Evitar que las zonas periféricas, que no han sido quemadas, se vean afectadas, ya que serán un reservorio de biodiversidad para la posterior recolonización de la flora y la fauna de las zonas afectadas.
- Impedir los daños que puedan causar los incendios indirectamente en zonas que no han sido alcanzadas por las llamas, especialmente en las masas y los cursos de agua.
- Ayudar a un rápido restablecimiento de las zonas afectadas.

5. EVOLUCIÓN DE LOS INCENDIOS Y DE LAS TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN

Como ya se ha comentado anteriormente, los incendios han evolucionado a lo largo de la historia; especialmente a partir de las décadas de los años 60 y 70, cuando comenzaron a ser más notables y numerosos (Gómez del Álamo *et al.*, 2013). Se han determinado seis generaciones diferentes de incendios, como podemos observar en la Tabla 1, en función de las diferentes características y efectos que han ido adquiriendo estos incendios a lo largo del tiempo.

Tabla 1. Diferentes generaciones de incendios y sus características. Realizada con datos obtenidos de Castellnou Ribau y Miralles Bover (2009) y Hernández (2021).

Generación	Cuándo	Características
1ª generación	Décadas de los 50 y 60	Desaparecen las tierras de cultivo y el bosque va ganando continuidad como combustible. Los incendios son cada vez más grandes. Incendios de superficie y principalmente impulsados por el viento. De 1.000 a 5.000 ha.
2ª generación	Décadas de los 70 y 80	Aumento paulatino del abandono del medio rural, se sigue acumulando masa forestal, que actúa como combustible y los incendios ganan continuidad y velocidad de propagación. Son impulsados por el viento y la topografía principalmente. De 5.000 a 10.000 ha.

3ª generación	Década de los 90	Mayor incremento de la densidad de combustible, que permite la continuidad de copas en los bosques, dando lugar a incendios de copas activos y penachos conectivos. Fuegos más continuos, intensos y rápidos. Cambian de comportamiento rápidamente, por lo que se escapan de la capacidad de ser controlados. Están favorecidos por olas de calor extremas. De 10.000 a 20.000 ha.
4ª generación	Desde el 2000	Los incendios alcanzan la interfaz urbano-forestal, de modo que las áreas residenciales e industriales comienzan a verse afectadas. Pueden alcanzar más de 1.000 ha. dentro de las zonas urbanas.
5ª generación	Desde el 2000	Prácticamente a la vez que los anteriores. Se conocen como “megaincendios”. Son varios incendios simultáneos en el mismo área, grandes, rápidos y muy intensos. También afectan a la interfaz urbano-forestal.
6ª generación	Desde el 2016	Incendios con un comportamiento extremo y explosivo. Vinculados al cambio climático. Se propagan a una gran velocidad, siendo incluso capaces de provocar tormentas de fuego o cambiar las condiciones meteorológicas de la zona en la que se producen.

Las técnicas utilizadas para combatir los incendios forestales, también han ido evolucionando a lo largo de los años, con cada nueva generación de incendios.

Para poder sofocar los conocidos como incendios de primera y segunda generación se utilizaban los recursos locales, construyendo cortafuegos e infraestructuras de apoyo. A medida que pasaban los años, los recursos aéreos, como helicópteros, eran cada vez más utilizados. Pero, con la llegada de los conocidos como incendios de tercera generación, se introdujeron modelos para determinar el riesgo de incendio, de tal modo que se pudiesen gestionar con antelación los recursos necesarios para combatirlos. Además, se mejoraron las técnicas de extinción, utilizando herramientas combinadas tanto manuales, como mecánicas, y reforzando el apoyo aéreo. A partir de la década de los 2000, con la llegada de los incendios de cuarta generación, aumentaron los estudios relacionados con el fuego y se hizo un importante uso de la teledetección y de los sistemas de información geográfica (SIG) para determinar las zonas más vulnerables y aumentar las posibilidades de extinción (Castellnou Ribau y Miralles Bover, 2009).

Antiguamente la restauración post-incendio se enfocaba, principalmente, a la realización de prácticas semejantes a las que se llevan a cabo para reestablecer las áreas degradadas y deforestadas; es decir, en la ejecución de una tala de salvamento, con la posterior construcción de diques de contención para evitar inundaciones a corto plazo y finalmente, pasados unos años tras el incendio, una reforestación (Vallejo y Alloza, 2012) utilizando las especies que mejor se adaptan a la zona afectada (Araque Jiménez, 2013). A todo ello se le suma el mantenimiento de

cortafuegos, el uso de tratamientos fitosanitarios, o el desmenuzado de los restos de vegetación para facilitar que la materia orgánica pueda depositarse en el suelo (WWF/Adena, 2008).

Pero, desde la década de los años 90, las prácticas que se realizan en cuanto a gestión forestal tras los incendios han variado cada vez más, tanto en las diferentes especies vegetales que se utilizan para realizar las reforestaciones, como en el tipo de acciones a llevar a cabo (Vallejo y Alloza, 2012).

Actualmente, ante la presencia de los incendios de quinta y sexta generación, son necesarias nuevas herramientas y tácticas para hacer frente a estos grandes incendios que ocurren de manera simultánea (Castellnou Ribau y Miralles Bover, 2009).

Es necesaria la realización de programas de gestión específicos para cada ocasión concreta, ya que la respuesta del medio a las diferentes variables ambientales, es distinta en cada uno de los casos (Pérez-Cabello *et al.*, 2011). Pero, a lo largo de los años, se han determinado una serie de pautas a seguir, de manera general, para la realización de una buena gestión post- incendio, como podemos observar en la Figura 1.

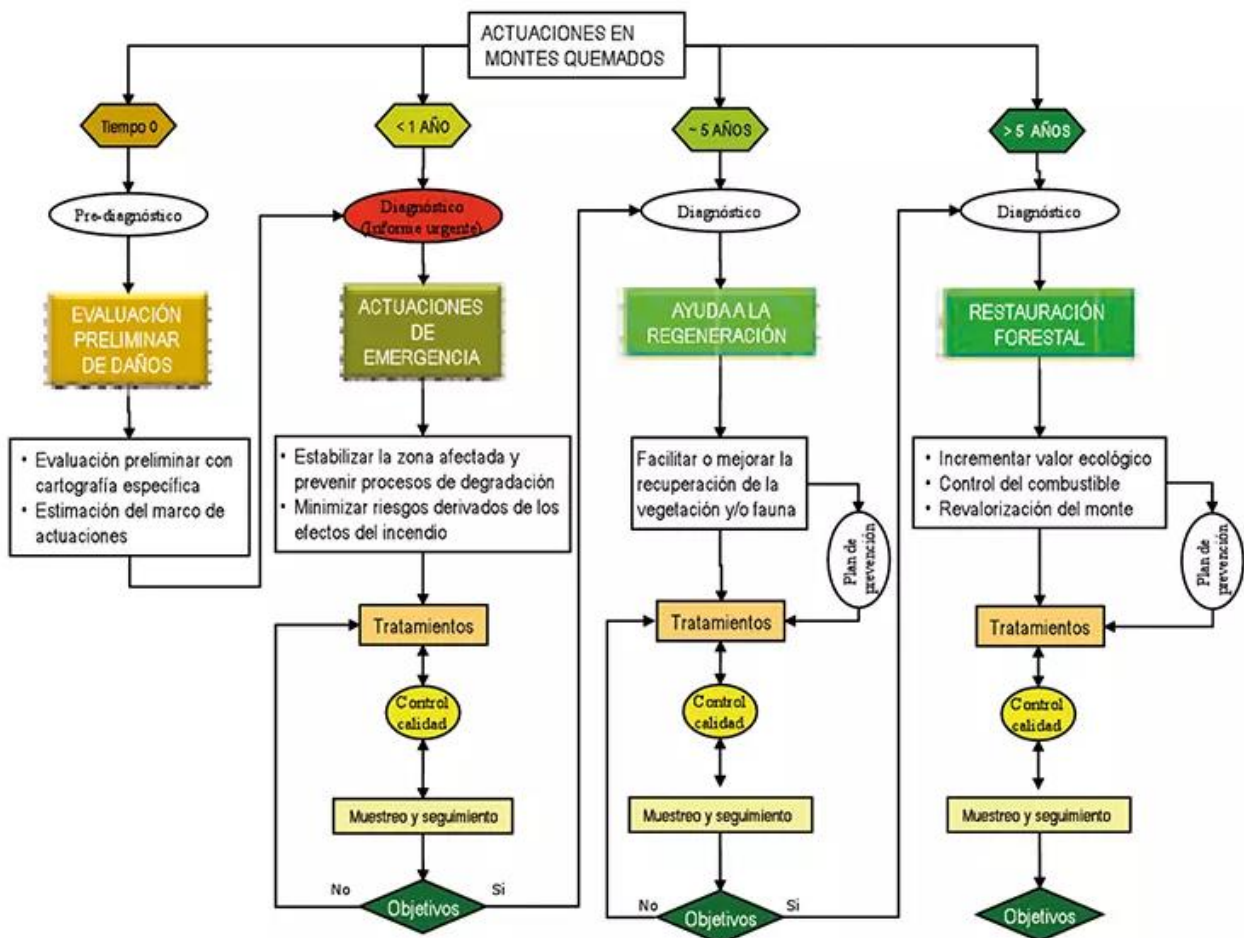


Figura 1. Marco conceptual para la restauración de montes quemados con las sucesivas fases de actuación. Fuente: Alloza *et al.* (2013).

Esta restauración se plantea en diferentes fases temporales, hasta conseguir la rehabilitación completa de la zona quemada (Moreira *et al.*, 2012; Alloza *et al.*, 2013).

Podemos diferenciar, por tanto, actuaciones inmediatas, a corto, medio y largo plazo (Vega *et al.*, 2013). Estos planes de restauración tienen una duración de unos 10 años y se debe realizar un seguimiento y evaluación de todas las actuaciones que se llevan a cabo a lo largo de ese decenio (Junta de Castilla y León, 2021).

Según Alloza *et al.* (2013), podemos distinguir 4 etapas en este proceso: la evaluación preliminar de los impactos, las actuaciones de emergencia, la ayuda a la regeneración y la restauración forestal del medio, a medio y largo plazo.

1. Evaluación preliminar de los impactos

En primer lugar, de manera inmediata, durante el primer semestre, se deben realizar diferentes estudios acerca de la severidad y de los daños que haya provocado el incendio (Junta de Castilla y León, 2021). Estos primeros estudios para conocer el impacto real del fuego, pueden realizarse mediante el uso de series temporales de imágenes Landsat (Martínez *et al.*, 2017). Es lo que se conoce como la realización de un prediagnóstico; y es necesario para poder determinar qué actuaciones es necesario llevar a cabo posteriormente (Alloza *et al.*, 2013).

2. Actuaciones de emergencia

Una vez que se ha contrastado la información obtenida durante la evaluación preliminar de los impactos, con observaciones directas en campo de la zona afectada, se determina si será, o no, necesaria una intervención en la zona para paliar los daños causados (Vega Hidalgo, 2016). Así mismo, se deben identificar las zonas prioritarias de actuación, que serán las más vulnerables, y se llevarán a cabo las acciones que sean más necesarias para poder estabilizar el área dañada e impedir los riesgos futuros (Alloza *et al.*, 2013). Estas actuaciones de emergencia pueden prolongarse hasta un año después del incendio (U. S. Department of Agriculture, 2022) y se dirigen principalmente a mitigar los efectos adversos, tanto a nivel hidrológico, como erosivo, que generan los incendios (Subdirección General de Política Forestal y Lucha Contra la Desertificación - MITECO, 2020), evitando un mayor deterioro del suelo, y protegiendo determinadas infraestructuras (Vega Hidalgo, 2016). Pero también se realiza una defensa contra las plagas forestales, que tienen una mayor facilidad de proliferar tras los incendios (Junta de Castilla y León, 2022). Es por ello, entre otros factores, que se realiza la corta y extracción urgente de la madera quemada (Vega Hidalgo, 2016). Aunque la realización de esta práctica,

sigue generando una gran controversia, ya que hay estudios, como los realizados por Merino Barrios *et al.*, (2003); Castro Gutiérrez *et al.* (2008); Castro *et al.* (2013); o Rodríguez-Martínez *et al.* (2013), que determinan que la extracción de la madera quemada no aporta beneficios reales a las labores de gestión post- incendio, e incluso, que podría ser desfavorable para las mismas. Esto se debe a que esta madera contiene nutrientes que pueden ser liberados al suelo, durante el proceso de descomposición, de manera que ayudarían a la recuperación de la fertilidad edáfica (Marañón-Jiménez *et al.*, 2009).

3. Ayuda a la regeneración

Una vez realizadas las actuaciones de emergencia, en la siguiente fase el objetivo es recuperar la cobertura vegetal, así como las especies dominantes antes del incendio. Es en este momento, aproximadamente desde el primer hasta el quinto año después del incendio, cuando gracias al seguimiento realizado en las etapas anteriores, podemos conocer la capacidad de resiliencia del bosque, observando el grado de regeneración natural existente (Alloza *et al.*, 2013). Para ello se pueden realizar análisis de la evolución de índices de vegetación, como es el caso del índice NDVI (Normalized Differenced Vegetation Index) (Montorio Llovería *et al.*, 2007), que se obtienen a partir de trayectorias espectrales de imágenes Landsat (Kennedy *et al.*, 2010).

La regeneración natural, también conocida como restauración pasiva, se determina por la aparición de nueva vegetación en la zona afectada, sin intervención humana (Madrigal *et al.*, 2018), de manera que se conformarán de nuevo, a corto plazo, las mismas comunidades que había antes de las llamas (Ramón Vallejo *et al.*, 2009). Esta regeneración natural protegerá la zona ante nuevas alteraciones, permitiendo además que se lleven a cabo los procesos de sucesión ecológica que restaurarán la biodiversidad y la estructura del ecosistema (Madrigal *et al.*, 2018). Es primordial intentar facilitar y acelerar los procesos de regeneración natural, para ello se realizaran los tratamientos silvícolas necesarios, controlando así la cantidad de combustible, o las posibles colonizaciones de plantas invasoras, además es conveniente la aplicación de medidas para promover el restablecimiento de la fauna (Hernández, 2014).

4. Restauración forestal a medio y largo plazo

Esta es la última etapa del proceso. Se llevará a cabo una repoblación del bosque únicamente en los casos en los que sea necesario (Costa Pérez *et al.*, 2006), comúnmente, en los casos en los que la regeneración natural sea escasa (Habrouk, 2001).

La finalidad de esta repoblación es la revalorización del bosque (Alloza *et al.*, 2013) asegurando la recuperación de la biomasa forestal y la funcionalidad del ecosistema (Hernández, 2014).

En los medios altamente alterados, se recomienda favorecer la riqueza de especies nativas, que proporcionarán una mayor resistencia en el caso de que tengan lugar nuevos incendios en el futuro, ya que son las que presentan una mejor adaptación al régimen local de incendios (Leverkus *et al.*, 2021).

Además, para que estas restauraciones forestales sean viables, es necesario realizar un mantenimiento de las mismas, como mínimo durante los primeros cinco años después de su realización (Colmena *et al.*, 2021).

➤ 5.1 La importancia de la protección del suelo en zonas quemadas

Tradicionalmente, las investigaciones realizadas acerca de los efectos que causaban los incendios, se centraban en sus impactos en la flora, la fauna, o la atmósfera. Pero, en los últimos años se ha empezado a tomar conciencia de los numerosos efectos adversos que puede causar el fuego (Doerr y Cerdà, 2005; Lombao *et al.*, 2015) en las propiedades mineralógicas, físicas, químicas y biológicas de los suelos (Certini, 2005), a corto, medio y largo plazo (Doerr y Cerdà, 2005), e incluso de una manera permanente (Vallejo *et al.*, 2012; Jiménez Pinilla, 2016). Estas alteraciones tendrán una menor o mayor gravedad, en función de la intensidad y severidad del fuego y de las propias propiedades edáficas (Certini, 2005; Mataix-Solera y Cerdà, 2009b).

Aunque el suelo pueda parecer inerte, realmente se trata de un sistema dinámico, en el cual se producen una incontable cantidad de procesos biológicos (González-Prieto *et al.*, 2018).

Los distintos efectos que pueden provocar los incendios sobre el suelo, pueden ser directos o indirectos (Neary *et al.*, 2005; Bodi *et al.*, 2012). Los directos, se asocian al calor y suelen ser breves, con la excepción de los fuegos que permanecen latentes; afectan a los centímetros superficiales del suelo. Pero, por su parte, los impactos indirectos se relacionan con el lecho de cenizas que permanece sobre el suelo, la topografía, el grado de recuperación de la vegetación, la gestión que se realice, los patrones meteorológicos después del incendio (Pereira *et al.*, 2018), o las modificaciones en el contenido de humedad (Doerr *et al.*, 2002), entre otros.

Los incendios de baja gravedad no ocasionan cambios irreversibles en los suelos, pero sí que provocan el aumento de la hidrofobicidad edáfica, de tal manera que el suelo absorbe menos

agua y, como consecuencia hay una mayor tendencia a que se produzca erosión en el mismo. Pero, los fuegos más graves provocan numerosos efectos nocivos, como puede ser el deterioro de la estructura y porosidad del suelo, la pérdida de gran cantidad de nutrientes (Certini, 2005) y de materia orgánica, así como un aumento en el pH del área afectada (Marcos *et al.*, 2007; Benito *et al.*, 2009; Mataix-Solera *et al.*, 2009; Úbeda *et al.*, 2009) el aumento de la erosión y la lixiviación, o un cambio en las comunidades de microorganismos, e invertebrados que viven en el suelo (Certini, 2005).

Es decir, los incendios de mayor severidad e intensidad, tienen un gran impacto negativo en prácticamente todas las características del suelo, de modo que disminuyen su calidad y alteran su funcionamiento. Concretamente, el aumento de la erosión, que se considera uno de los fenómenos más perjudiciales (Vallejo y Alloza, 2012), se produce principalmente porque se destruyen los agregados de la estructura edáfica, debido a la combustión de la materia orgánica y, al haberse eliminado la vegetación superficial, el agua de las lluvias impacta de manera directa sobre el suelo, de tal manera que se obturan los poros, derivando así en una disminución de la capacidad de infiltración de este agua, que conlleva al aumento de la escorrentía, que a su vez, propicia la erosión (Carballas *et al.*, 2009). Esta erosión por su parte, puede causar una disminución de la productividad del suelo, sedimentaciones, o inundaciones fuera del área afectada (Vallejo *et al.*, 2012). Es por todo ello, que los procesos de erosión y escorrentía deben ser uno de los principales objetivos a tratar en la gestión post- incendio (Vallejo y Alloza, 1998).

Aunque, cabe destacar que, a intensidad y severidad bajas, los incendios pueden incluso llegar a mejorar algunas propiedades de los suelos (Certini, 2005; Mataix-Solera y Cerdà, 2009b; Pereira *et al.*, 2018). En este sentido, la capa de cenizas que queda sobre el suelo, juega un papel muy importante, ya que inmediatamente después del incendio (de unos 2 a 10 días), las tasas de escorrentía y erosión son prácticamente nulas, pero una vez que se elimina la cobertura de cenizas, estas tasas aumentan considerablemente (Cerdà y Doerr, 2008; Bodi *et al.*, 2012).

Como ya se ha comentado, tanto los efectos de los incendios sobre el suelo, como la capacidad de recuperarse de los mismos, van a depender de numerosos factores, que son interdependientes entre sí. En función de la capacidad de resiliencia de cada ecosistema concreto, se debe determinar si es necesario, o no, realizar una gestión post-incendio en el suelo. En muchos de los casos esta gestión no será necesaria (Pereira *et al.*, 2018), puesto que solo debería realizarse en zonas concretas que sean más susceptibles a la degradación (Bodi *et al.*, 2012), donde la

severidad y la intensidad del fuego hayan sido elevadas (Pereira *et al.*, 2018), o existan riesgos de deterioro de infraestructuras o de las cuencas hidrográficas (Vallejo *et al.*, 2012).

El suelo es más propenso a la degradación durante el primer año tras haber tenido lugar el incendio (Pereira *et al.*, 2018), dejando de ser tan susceptible una vez que la cubierta vegetal se vaya regenerando. Es por ello que, las medidas a llevar a cabo para protegerlo deben realizarse en la mayor brevedad de tiempo posible y tienen que ser efectivas en un período corto de tiempo (Vallejo *et al.*, 2012).

Estas medidas de protección del suelo después del incendio, se incluyen dentro de las conocidas como actuaciones de emergencia (Vallejo *et al.*, 2012), mencionadas en el apartado anterior. Son medidas que promueven el restablecimiento del ciclo biológico de nutrientes, de la actividad microbiana del suelo, y que agilizan la recuperación de la cobertura vegetal; que elevan el contenido de materia orgánica y que evitan que el suelo continúe degradándose (Carballas *et al.*, 2009).

➤ 5.2 Tipos de estructuras para proteger el suelo

Cuando se determina que hay una necesidad de realizar medidas de emergencia para la protección del suelo en el área afectada, es el momento de determinar qué tratamiento es el más adecuado para cada caso concreto; a veces, es necesario realizar varios tratamientos simultáneos para aumentar la efectividad de los mismos (Napper, 2006).

Autores como Neary *et al.* (2005), Napper (2006), Robichaud *et al.* (2010), Vega *et al.* (2013), Pereira *et al.* (2018) determinan que estos tratamientos se pueden dividir esencialmente en dos tipos: los que se realizan en las laderas, cuya finalidad es disminuir los procesos de escorrentía y erosión; y los que se realizan en los cauces, que se utilizan para mantener los sedimentos y reducir la energía de la corriente, mitigando los efectos sobre la calidad del agua.

Tratamientos en las laderas:

- **Mulching o acolchado:** proporciona una cobertura inmediata y, más o menos continua, del suelo y lo protege de la erosión y de la pérdida de nutrientes. Se puede realizar con diferentes materiales, tales como restos agrícolas vegetales, como paja principalmente (Barreiro *et al.*, 2011), o restos forestales molidos, como astillas de madera o triturados de cortezas, ramas o troncos. Hay diferentes técnicas de aplicación del mulch; puede realizarse en seco,

proyectado con agua (también conocido como hidromulch), y de desde la tierra, o de manera aérea (Napper, 2006; Vega *et al.*, 2013; Fernández y Vega, 2016).

- Escarificación: consiste en intervenir en el suelo superficial, dejándolo expuesto. Se utiliza para favorecer la regeneración natural; aunque cabe destacar que esta técnica podría reducir la fertilidad del suelo (Soto *et al.*, 2015).
- Siembra: se utiliza para obtener una cobertura vegetal superficial, que minimice la erosión. Puede realizarse de manera manual o aérea. Esta técnica puede no ser eficaz hasta el segundo año tras la perturbación. Suele combinarse tanto con el mulching (como se puede observar en la Figura 2), como con la escarificación, para mejorar su eficacia (Napper, 2006).
- Uso de Poliacrilamidas (PAM), u otros polímeros: su aplicación se considera una variante del mulching. Su aplicación se realiza en seco Se utilizan para reacondicionar el suelo tras el incendio, pero no hay demasiados estudios acerca de los beneficios de su aplicación (Vega *et al.*, 2013).
- Barreras contra la erosión: se utilizan para ralentizar los procesos de escorrentía, atrapar los sedimentos y mejorar la infiltración (Napper, 2006). Se distinguen principalmente dos tipos: las fajinadas y las banquetas y albarradas (Vega *et al.*, 2013).
 - Fajinadas: consiste en la utilización de troncos (fajinadas de troncos) (Figura 3), o restos vegetales (fajinadas de materiales vegetales), que se colocan en el suelo siguiendo las curvas de nivel. Proporcionan una barrera donde se depositan los sedimentos que se desplazan a causa de la escorrentía, para reducir la velocidad del flujo del agua. Si estas fajinadas no están bien colocadas podrían suponer un peligro incluso mayor que el que puede suponer la ausencia de tratamiento, puesto que concentrarían el flujo de la escorrentía (Vega *et al.*, 2013). No está demostrada aún su eficiencia real (De la Fuente y Blond, 2010), pero a pesar de esto, se trata de uno de los tratamientos más empleados en la gestión post-incendio (Vega *et al.*, 2013).
 - Banquetas y albarradas: se trata de estructuras que se realizan con piedra, formando escalones (Ana Isabel Barreiro Buján, 2016) y se utilizan para disminuir la escorrentía superficial (Vega *et al.*, 2013).



Figura 2. Detalle de área tratada con mulch + siembra, seis meses después de su aplicación. Fuente: Vega *et al.* (2013).



Figura 3. Uso de fajinadas para la protección del suelo tras un incendio. Fuente: Lucas-Borja *et al.* (2021)

Tratamientos en los cauces:

- **Estabilizadores de nivel:** son rocas, troncos o estructuras de fibra enrollada, que regulan la pendiente del canal, disminuyendo la velocidad del agua y manteniendo la relación anchura-profundidad. Suelen ser más eficaces en cuencas pequeñas (Napper, 2006).
- **Diques de contención:** retienen temporalmente los sedimentos y atenúan los caudales, porque el agua es reconducida a través de varias cuencas pequeñas (Napper, 2006).
- **Reforzado de los cauces de los ríos:** Se utiliza para reducir los daños potenciales que puede causar el aumento del caudal máximo del río, mediante la colocación de rocas u otros materiales a lo largo de las orillas (Napper, 2006). Este tratamiento es adecuado en aquellos ríos cuyos cauces presenten un alto riesgo de erosión (Vega *et al.*, 2013).
- **Desviadores de caudal:** se utilizan para encauzar la escorrentía superficial ocasionada por el incendio, hacia los cauces, para evitar el deterioro de infraestructuras. Es recomendable que esta técnica vaya acompañada de una limpieza de los residuos del canal y de las zonas cercanas (Vega *et al.*, 2013).

Son numerosos los estudios, como los de Gimeno *et al.* (2005); Napper (2006); Robichaud *et al.* (2010); Fontúrbel *et al.* (2016); o Fernández *et al.* (2019), que han determinado que los tratamientos llevados a cabo con mulch de paja, bien sea solo, o combinando con siembra, son más efectivos que el resto de tratamientos mencionados para mitigar los procesos de erosión y escorrentía causados por los incendios. Pero, la mayor parte de los estudios son investigaciones realizadas a corto plazo, por lo que es necesario continuar con estas investigaciones, para poder determinar su eficacia real a largo plazo. Así mismo, cada tratamiento, o la combinación de varios de ellos, es más o menos efectivo en función de la situación concreta en la que se utilice.

6. CONCLUSIONES

1. A lo largo del tiempo se ha incrementado tanto la superficie afectada por los incendios como su agresividad, apareciendo en los últimos años los llamados incendios de 6ª generación, que son los más intensos y explosivos y se propagan a una gran velocidad.
2. A medida que los incendios forestales comenzaron a ser más frecuentes, aumentó el número de estudios que se realizaron sobre ellos; y con el paso de los años, las metodologías utilizadas para su estudio han ido cambiando, introduciéndose el uso de la teledetección y la modelización.
3. Los principales problemas que afectan al suelo después de los incendios son el aumento de la escorrentía y la consiguiente erosión, y por ello las medidas de emergencia post-incendio, actualmente se centran en ellos. Los estudios han determinado que el mulch es el tratamiento más efectivo para este fin, a corto plazo. Pero, es necesario continuar con las investigaciones para observar su efectividad real a largo plazo.
4. Se prevé que los incendios forestales continúen evolucionando y siendo cada vez más potentes, por lo que los estudios acerca de la ecología del fuego deben continuar, para que la gestión de los mismos pueda seguir avanzando con ellos.

7. BIBLIOGRAFÍA

Ahlgren, I. F. (1974) "The effect of fire on soil organisms", *Fire and Ecosystems*, pp. 42-72.

Albini, F. A. (1976) *Estimating wildfire behavior and effects*. Utah: INTERMOUNTAIN FOREST AND RANGE EXPERIMENT STATION. Forest Service. U.S. Department of Agriculture.

Alloza, J. A., García, S., Gimeno, T., Baeza, J., Vallejo, V. R., Rojo, L. y Martínez, A. (2013) *Guía técnica para la gestión de montes quemados. Protocolos de actuación para la restauración de zonas quemadas con riesgo de desertificación*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Ana Isabel Barreiro Buján (2016) *Impacto de diferentes agentes de extinción y prácticas de restauración post-incendio sobre la microbiota edáfica*. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.

Araque Jiménez, E. (2013) "Medio siglo de grandes incendios forestales en Andalucía (1961-2011)", *Mediterranee*, 121(2), pp. 41-51. doi:10.4000/mediterranee.6840.

Ávila-Flores, D. Y., González-Tagle, M. A., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E., Vargas-Larreta, B. y Rodríguez, E. A. (2014) "Efecto de la severidad del

fuego en las características de la estructura forestal en rodales de coníferas", *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 20(1), pp. 33-45. doi:10.5154/r.rchscfa.2013.01.005.

Barreiro, A., Lombao, A., Martín, A., Iglesias, L., Carballas, T., Díaz- Fierros, F. y Díaz-Raviña, M. (2011) "Utilización de paja en la recuperación de suelos afectados por incendios forestales".

Barrio, M., Loureiro, M. y Chas, M. L. (2007) "Aproximación a las pérdidas económicas ocasionadas a corto plazo por los incendios forestales en Galicia en 2006", *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 7(14), pp. 45-64.

Benito, E., Soto, B., Varela, E., Rodríguez Alleres, M. y Rodríguez Suárez, J. A. (2009) "Modificaciones inducidas por los incendios forestales en las propiedades físicas de los suelos del noroeste de España: implicaciones en la respuesta hidrológica y en la erosión hídrica", en *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España.*, pp. 303-323.

Bock, J. H., Raphael, M. y Bock, C. E. (1978) "A Comparison of Planting and Natural Succession After a Forest Fire in the Northern Sierra Nevada", *Journal of Applied Ecology*, 15(2), pp. 597-602.

Bodi, M. B., Cerdà, A., Mataix-Solera, J. y Doerr, S. H. (2012) "Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea: Revisión bibliográfica", *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 58, pp. 33-55. doi:10.21138/bage.2058.

Carballas, T., Martín, Á. y Díaz-Raviña, M. (2009) "Efecto de los incendios forestales sobre los suelos de Galicia", en Cerdà, A. y Mataix-Solera, J. (eds.) *Efecto de los incendios forestales sobre los suelos en España: el estado de la cuestión visto por los científicos españoles*. Valencia: FUEGORED, Cátedra de Divulgació de la Ciència, Universitat de València, pp. 269-302.

Castellnou Ribau, M. y Miralles Bover, M. (2009) "The changing face of wildfires", *Crisis Response*, 5(4), pp. 56-57.

Castillo, M., Pedernera, P. y Peña, E. (2003) "Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global", *Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA*, XIX(1), pp. 44-53. doi:10.1002/hyp.9647.

Castro Gutiérrez, J., Sánchez-Miranda Moreno, Á., Lorite Moreno, J. y Zamora Rodríguez, R. (2008) "Resultados preliminares del efecto de los tratamientos selvícolas post-incendio relacionados con la madera quemada sobre el establecimiento de plantones de *Juniperus communis* L. en la alta montaña mediterránea", *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 28, pp. 31-36.

Castro, J., Marañón-Jiménez, S., Serrano-Ortiz, P., Sánchez-Cañete, E. P., Reverter, B. R., Guzmán-Álvarez, J. R. y Kowalski, A. S. (2013) "Efecto del manejo de la madera quemada sobre la regeneración forestal post-incendio: implicaciones para la gestión y para el conjunto del ecosistema", en *6º Congreso Forestal Español*, p. 19.

Cerdà, A. y Doerr, S. H. (2008) "The effect of ash and needle cover on surface runoff and erosion in the immediate post-fire period", *Catena*, 74(3), pp. 256-263.

Certini, G. (2005) "Effects of fire on properties of forest soils: a review", *Oecologia*, 143, pp.

1-10. doi:10.1007/s00442-004-1788-8.

Chuvieco, E. y Congalton, R. G. (1988) "Mapping and inventory of forest fires from digital processing of tm data", *Geocarto International*. Taylor & Francis Group, 3(4), pp. 41-53.

Colmena, G., Colomina, D., Melero, M., Peiteado, C. y Rodríguez, G. (2021) *Manual de restauración forestal*. WWF España.

Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación (1994) París. 17 junio de 1994. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/legislacion/legislacion-y-convenios/convenios-internacionales/convencion_desertificacion.aspx (Accedido: 7 de noviembre de 2022).

Costa Alcubierre, P., Castellnou Ribau, M., Larrañaga Otxoa de Egileor, A., Miralles Bover, M. y Kraus, P. D. (2011) *La Prevención de los grandes incendios forestales adaptada al incendio tipo*. Unitat Tècnica del GRAF.

Costa Pérez, J. C., Lozano Arribas, R., Cueto Álvarez de Sotomayor, M., Teruel Jiménez, J. M., Romero Gómez, J. F., Catalina Mimendi, M. Á., Vicente Fernández, C., Jover Robles, Á. L., Rodríguez de Velasco Vega, J., García Sanz, J. y Badillo Valle, V. (2006) *Restauración de zonas incendiadas en Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.

De la Fuente, J. y Blond, A. (2010) "Gestión forestal de zonas quemadas tras la oleada de incendios de 2006 en la provincia de Pontevedra", en Díaz Raviña, M., Benito, E., Carballas, T., Fontúrbel, M. T. y Vega, J. A. (eds.) *Fuegored 2010: Jornadas Internacionales : Investigación y gestión para la protección del suelo y restauración de los ecosistemas forestales. Research and post-fire Management: Soil Protection and Rehabilitation Techniques for Burnt Forest Ecosystems afect*. Santiago de Compostela: IIAG (CSIC) - FUEGORED 2010, pp. 65-83.

De las Heras, J., Ferrandis, P., López-Serrano, F. R. y Moya, D. (2009) "Manejo del bosque mediterráneo para su restauración y recuperación tras grandes incendios forestales", en Cerdà, A. y Mataix-Solera, J. (eds.) *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España: el estado en cuestión visto por los científicos españoles*. FUEGORED, Càtedra de Divulgació de la Ciència, Universitat de València, pp. 107-130.

Departamento de protección forestal | CIF Lourizan (2022). Disponible en: <https://lourizan.xunta.gal/es/centro/departamentos/departamento-de-proteccion-forestal> (Accedido: 9 de noviembre de 2022).

Díaz-Delgado, R., Salvador, R., Valeriano, J. y Pons, X. (1998) "Detección de superficies forestales quemadas en Cataluña mediante imágenes de satélite durante el período 1975-1995. Aplicación para la caracterización del régimen de incendios y los procesos de regeneración de la vegetación", *Serie Geográfica*, 7, pp. 129-138.

Díaz-Hormazábal, I. y González, M. E. (2016) "Análisis espacio-temporal de incendios forestales en la región del Maule, Chile", *Bosque*, 37(1), pp. 147-158. doi:10.4067/S0717-92002016000100014.

Doerr, S. H. y Cerdà, A. (2005) "Fire effects on soil system functioning: New insights and future challenges", *International Journal of Wildland Fire*, 14(4), pp. 339-342. doi:10.1071/WF05094.

Doerr, S. H., Dekker, L. W., Ritsema, C. J., Shakesby, R. A. y Bryant, R. (2002) "Water repellency of soils: The influence of ambient relative humidity", *Soil Science Society of America Journal*, 66(2), pp. 401-405. doi:10.2136/sssaj2002.4010.

Doerr, S. H., Shakesby, R. A., Blake, W. H., Chafer, C. J., Humphreys, G. S. y Wallbrink, P. J. (2006) "Effects of differing wildfire severities on soil wettability and implications for hydrological response", *Journal of Hydrology*, 319(1-4), pp. 295-311.

EFFIS (2022) *EFFIS - Statistics Portal*. Disponible en: <https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis.statistics/estimates> (Accedido: 23 de octubre de 2022).

Esapña (1973) "Decreto 3769 / 1972 , de 23 de diciembre , por el que se aprueba el Reglamento de la Ley 81 / 1968 , de 5 de diciembre , sobre incendios", *Boletín Oficial del Estado*, 13 de febrero de 1973, (38), pp. 2711-2724. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1973-208> (Accedido: 2 de noviembre de 2022).

Estirado Gómez, F. y Molina Vicente, P. (2005) "El problema de los incendios forestales en España", *Documentos de trabajo (Laboratorio de alternativas)*, (69), p. 58.

Fernández, C. y Vega, J. A. (2016) "Efectos de la aplicación de mulch para el control de la erosión post-incendio sobre la recuperación de la vegetación en áreas de matorral", *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 42, pp. 103-110.

Fernández, C., Vega, J. A., Arbones, P. y Fontúrbel, T. (2019) *Eficacia de los tratamientos de estabilización del suelo después de incendio en Galicia*. 1ª edición. Santiago de Compostela: Andavira Editora.

Fontúrbel, M. T., Fernández, C. y Vega, J. A. (2016) "Efectos a medio plazo de tratamientos de rehabilitación post-incendio en propiedades microbiológicas del suelo", *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 42, pp. 11-128.

García Novo, F. (1977) "The effects of fire on the vegetation of Doñana National Park, (Spain).", en USDA Forest Service (ed.) *Proceedings of the Symposium on the Environmental Consequences of Fire and Fuel Management in Mediterranean Ecosystems.*, Washington, D. C., pp. 318-325.

Gimeno, T., Bladé, C., Kribeche, H. y Bautista, S. (2005) "Tratamientos de rehabilitación post-incendio en áreas sensibles a la degradación del suelo", *IV Congreso Forestal Español*.

Gómez del Álamo, R., Montiel Molina, C., Adrados Villar, E., Martínez García, L., Villar Lijarcio, J. J., Martín-Palomino y Benito, M., Araque Jiménez, E., Luzón García, A., Palacios Estremera, T., Madrazo García de Lomana, G. y Entrenas Martínez, L. (2013) *La presencia histórica del fuego en el territorio*, Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

González-Prieto, S., Martín, A., Carballas, T. y Díaz-Raviña, M. (2018) *Guía de actuaciones en una zona quemada: folleto divulgativo*. Santiago de Compostela: Andavira Editores S. L.

Grup de Recerca Ambiental Mediterrània - GRAM (2020). Disponible en: <http://www.ub.edu/gram/projectes/> (Accedido: 9 de noviembre de 2022).

Grupo de Edafología y Tecnologías del Medio Ambiente de la Universidad Miguel Hernández (2022). Disponible en: https://www.umh.es/contenido/Investigacion/:uor_859_10/datos_es.html (Accedido: 9 de noviembre de 2022).

Grupo de investigación en Teledetección Ambiental - GITA de la Universidad de Alcalá (2022). Disponible en: <https://geogra.uah.es/gita/> (Accedido: 9 de noviembre de 2022).

Grupo de teledetección térmica - GTT de la Universitat de València (2022). Disponible en: <https://www.uv.es/uvweb/servicio-investigacion/es/grupos-investigacion/grupo-1285949714098.html?p2=GIUV2013-177> (Accedido: 24 de noviembre de 2022).

Grupo Ecología Aplicada y Teledetección - GEAT de la Universidad de León (2021). Disponible en: <http://ecologiaaplicadayteledeteccion.blogspot.com/> (Accedido: 9 de noviembre de 2022).

Habrouk, A. (2001) *Regeneración natural y restauración de la zona afectada por el gran incendio del Bages y Berguedà de 1994*. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.

Hernández, L. (2014) *Los bosques después del fuego: Análisis de WWF sobre la necesidad de restaurar para reducir la vulnerabilidad de los bosques*, WWF/Adena.

Hernández, L. (2021) *Paisajes cortafuegos - Propuesta de WWF España y ANP/WWF Portugal para adaptar el territorio ibérico a los incendios*. WWF España y ANP|WWF.

Holling, C. S. (1973) "Resilience and Stability of Ecological Systems", *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, pp. 1-23.

IIAG-Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia (2021). Disponible en: <http://www.iiag.csic.es/inicio> (Accedido: 9 de noviembre de 2022).

Jiménez Pinilla, P. (2016) *Avances en el estudio de suelos mediterráneos afectados por incendios forestales*. Tesis doctoral. Universidad Miguel Hernández.

Junta de Castilla y León (2021) *Plan de restauración del incendio de agosto de 2021 en la Sierra de la Paramera (Ávila)*.

Junta de Castilla y León (2022) *Restauración de grandes incendios | Medio Ambiente | Junta de Castilla y León*. Disponible en: <https://medioambiente.jcyl.es/web/es/restauracion-grandes-incendios.html> (Accedido: 14 de noviembre de 2022).

Kennedy, R. E., Yang, Z. y Cohen, W. B. (2010) "Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr - Temporal segmentation algorithms", *Remote Sensing of Environment*, 114(12), pp. 2897-2910. doi:10.1016/j.rse.2010.07.008.

Lentile, L. B., Holden, Z. A., Smith, A. M. S., Falkowski, M. J., Hudak, A. T., Morgan, P., Lewis, S. A., Gessler, P. E. y Benson, N. C. (2006) "Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects", *International Journal of Wildland Fire*, 15(3), pp. 319-345. doi:10.1071/WF05097.

Leverkus, A. B., Thorn, S., Gustafsson, L., Noss, R., Müller, J., Pausas, J. G. y Lindenmayer, D. B. (2021) "Environmental policies to cope with novel disturbance regimes—steps to address

a world scientists' warning to humanity", *Environmental Research Letters*, 16(2).

Lombao, A., Barreiro, A., Carballas, T., Fontúrbel, M. T., Martín, A., Vega, J. A., Fernández, C. y Díaz-Raviña, M. (2015) "Changes in soil properties after a wildfire in Fragas do Eume Natural Park (Galicia, NW Spain)", *Catena*, 135, pp. 409-418. doi:10.1016/j.catena.2014.08.007.

López Sardá, L. (2004) *Aplicación de las técnicas de restauración hidrológico forestal en la recuperación de áreas degradadas por incendios forestales*. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.

Lucas-Borja, M. E., Delgado-Baquerizo, M., Muñoz-Rojas, M., Plaza-Álvarez, P. A., Gómez-Sánchez, M. E., González-Romero, J., Peña-Molina, E., Moya, D. y de las Heras, J. (2021) "Changes in ecosystem properties after post-fire management strategies in wildfire-affected Mediterranean forests", *Journal of Applied Ecology*, 58(4), pp. 836-846.

Madrigal, J., Guijarro, M., Carrillo, C. y Hernando, C. (2018) "Gestión posincendio como apoyo a la regeneración natural en áreas quemadas", en Academia de Ciencias Sociales y del Medio Ambiente de Andalucía (eds.) *Ecología de la regeneración de zonas incendiadas*, pp. 60-73.

Marañón-Jiménez, S., Castro, J., Kowalski, A. S. y Zamora, R. (2009) "Papel de la madera quemada en la recuperación de la fertilidad del suelo tras incendios forestales", en FUEGORED 2009 (ed.) *Advances in forest fire effects on soils - Book of Abstracts of the Communications presented to the II International Meeting on Forest Fire Effects on Soils*. Sevilla: IRNAS-CSIC-Universidad de Sevilla., p. 111.

Marcos, E., Tárrega, R. y Luis, E. (2007) "Changes in a Humic Cambisol heated (100-500 °C) under laboratory conditions: The significance of heating time", *Geoderma*, 138, pp. 237-243. doi:10.1016/j.geoderma.2006.11.017.

Martínez, S., Chuvieco, E., Aguado, I. y Salas, J. (2017) "Severidad y regeneración en grandes incendios forestales: Análisis a partir de series temporales de imágenes Landsat", *Revista de Teledetección*, 49, pp. 17-32. doi:10.4995/raet.2017.7182.

Mataix-Solera, J. y Cerdà, A. (2009a) "Incendios forestales en España. Ecosistemas terrestres y suelos", en Cerdà, A. y Mataix-Solera, J. (eds.) *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España: el estado en cuestión visto por los científicos españoles*. Valencia: FUEGORED, Càtedra de Divulgació de la Ciència, Universitat de València, pp. 25-54.

Mataix-Solera, J. y Cerdà, A. (2009b) "Los efectos de los incendios forestales en los suelos. Síntesis y conclusiones. Nuevos retos en la investigación y en la gestión", en Cerdà, A. y Mataix-Solera, J. (eds.) *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España: el estado en cuestión visto por los científicos españoles*. Valencia: FUEGORED, Càtedra de Divulgació de la Ciència, Universitat de València, pp. 493-529.

Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Arcenegui, V., Bárcenas, G., Zornoza, R., Pérez Bejarano, A., Bodí, M. B., Mataix-Beneyto, J., Gómez, I., García-Orenes, F., Navarro-Pedreño, J., Jordán, M. M., Cerdà, A., Doerr, S. H., Úbeda, X., Outeiro, L., Pereira, P., Jordán, A. y Zavala, L. M. (2009) "Los incendios forestales y el suelo: un resumen de la investigación realizada por el Grupo de Edafología Ambiental de la UMH en colaboración con otros grupos", en Cerdà, A. y Mataix-Solera, J. (eds.) *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos de España: el estado*

de la cuestión visto por los científicos españoles. Valencia: FUEGORED, Càtedra de Divulgació de la Ciència, Universitat de València, pp. 185-218.

MED-Soil Research Group (2020). Disponible en: <http://medsoil.weebly.com/about.html> (Accedido: 9 de noviembre de 2022).

Merino Barrios, A., Brañas Lasala, J., Rey, C. y Rodríguez Soalleiro, R. (2003) "Biomasa arbórea y acumulación de nutrientes en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Galicia", *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales*, 12(2), pp. 85-98.

Montorio Llovería, R., Pérez-Cabello, F., García-Martín, A. y De la Riva, J. (2007) "Estudio de los procesos de regeneración vegetal postincendio en parcelas experimentales mediante radiometría de campo", *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 33, pp. 59-84.

Montorio Llovería, R., Pérez-Cabello, F., García-Martín, A., Vlassova, L. y De la Riva Fernández, J. (2014) "La severidad del fuego: revisión de conceptos, métodos y efectos ambientales", *Geoecología, cambio ambiental y paisaje: homenaje al profesor José María García Ruiz*, pp. 427-440.

Moreira, F., Arianoutsou, M., Vallejo, V. R., De las Heras, J., Corona, P., Xanthopoulos, G., Fernandes, P. y Papageorgiou, K. (2012) en Moreira, F. et al. (eds.) *Post-fire forest management and Restoration of Southern European Forests*, Springer Dordrecht, pp. 1-19. doi:10.1007/978-94-007-2208-8.

Moreno Rodríguez, J. M. (2016) *Los incendios forestales en España en un contexto de cambio climático: Información y Herramientas para la Adaptación (Infoadapt)*. Memoria final del proyecto. Universidad de Castilla-La Mancha.

Napper, C. (2006) *Burned area emergency response treatments catalog*. San Dimas, California: USDA Forest Service, National Technology and Development Program, Watershed, Soil, Air Management, San Dimas Technology & Development Center.

Neary, D. G., Ryan, K. C. y DeBano, L. F. (2005) *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water., General Technical Report RMRS-GTR-42- vol. 4*. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

Pausas, J. G. (2004) "La recurrencia de incendios en el monte mediterráneo", *Avances en el estudio de la gestión del monte mediterráneo. Mediterráneo*, pp. 47-64.

Pausas, J. G. (2012) *Incendios forestales – una visión desde la ecología*. 1.^a ed. Madrid: Los Libros de la Catarata.

Pereira, P., Francos, M., C. Brevik, E., Ubeda, X. y Bogunovic, I. (2018) "Post-fire soil management", *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 5, pp. 26-32. doi:10.1016/j.coesh.2018.04.002.

Pérez-Cabello, F., Echeverría, M., De la Riva, J. y Ibarra, P. (2011) "Apuntes sobre los efectos de los incendios forestales y restauración ambiental de área quemadas. Estado de la cuestión y principios generales", *Geographicalia*, (59-60), pp. 295-308.

Pérez Cabello, F. y De la Riva Fernández, J. (1998) "El empleo de imágenes Landsat TM para la detección y cartografía de áreas incendiadas en el Prepirineo occidental oscense",

Geographicalia, (36), pp. 131-145. doi:10.26754/ojs_geoph/geoph.1998361684.

Pulido, F. (2017) "Primeros pasos de una nueva gestión en zonas incendiadas: el proyecto Mosaico ensaya en Extremadura un enfoque pionero en la prevención de incendios", *Quercus*, 381, pp. 52-53.

Ramón Vallejo, V., Bautista, S. y Alloza, J. A. (2009) "Restauración de montes quemados en condiciones mediterráneas", *Recursos Rurais*, (5), pp. 55-60. doi:10.15304/rr.id5303.

Robichaud, P. R., Ashmun, L. E. y Sims, B. D. (2010) *Post-fire treatment effectiveness for hillslope stabilization*. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

Rodríguez-Martínez, N., Bordas, P., Piñeiro, J., García de Castro, N., Martín, P. y Méndez, M. (2013) "Meta-análisis de los efectos de la retirada de la madera quemada sobre la regeneración de los bosques mediterráneos: un paso hacia una gestión basada en la evidencia", *Ecosistemas. Revista científica d ecología y medio ambiente*, 22(1), pp. 71-76.

Ryan, K. C. y Noste, N. V. (1985) *Evaluating prescribed fires*, en Lotan, J. E., *et al.* (tech. coor) Proceedings (eds.) *Symposium and Workshop on Wilderness Fire*. USDA Forest Service Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT-182, pp. 230-238.

San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Boca, R., Maianti, P., Libertà, G., Artes-Vivancos, T., Oom, D., Branco, A., De Rigo, D., Ferrari, D., Pfeiffer, H., Grecchi, R., Nuijten, D. y Onida, M. (2021) *Advance EFFIS report on Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2020*, Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi:10.2760/344684.

Shakesby, R. A. (2011) "Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions", *Earth-Science Reviews*, 105, pp. 71-100.

Sistemas Forestales Mediterráneos (SIFOMED) - Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (2022). Disponible en: <https://www.irnas.csic.es/sifomed/> (Accedido: 9 de noviembre de 2022).

Soil Erosion Research Group - SEDER de la Universidad de Valencia (2010). Disponible en: <https://www.uv.es/~acerda/> (Accedido: 9 de noviembre de 2022).

Soto, D. P., Gerding, V. y Donoso, P. (2015) *Uso de la escarificación del suelo como técnica facilitadora para la regeneración en bosques adultos cosechados del tipo forestal Coihue-Raulí-Tepa*. Universidad Austral de Chile. doi:10.13140/RG.2.1.4616.8084.

Subdirección General de Política Forestal y Lucha Contra la Desertificación - MITECO (2020) *Actuaciones hidrológico-forestales de emergencia en áreas afectadas por incendios forestales y otros desastres naturales durante el año 2020*.

Torre Antón, M. (2010) "La situación actual del problema de los incendios forestales", *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 31, pp. 179-195.

Turner, M. G., Hargrove, W. W., Gardner, R. H. y Romme, W. H. (1994) "Effects of fire on landscape heterogeneity in Yellowstone National Park , Wyoming", *Journal of Vegetation Science*, 5, pp. 731-742.

Turner, M. G., Romme, W. H. y Tinker, D. B. (2003) "Surprises and lessons from the 1988 Yellowstone fires", *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(7), pp. 351-358. doi:10.1890/1540-9295(2003)001[0351:SALFTY]2.0.CO;2.

U. S. Department of Agriculture (2022) *After the Fire | US Forest Service*. Disponible en: <https://www.fs.usda.gov/science-technology/fire/after-fire> (Accedido: 15 de noviembre de 2022).

Úbeda, X., Mataix-Solera, J., Francos, M. y Farguell, J. (2021) "Grandes incendios forestales en España y alteraciones de su régimen en las últimas décadas", *Geografia, Riscos e Proteção Civil. Homenagem ao Professor doutor Luciano Lourenço*, pp. 147-161.

Úbeda, X., Outeiro, L., Pereira, P. y Miguel, A. (2009) "Estudios sobre las consecuencias del fuego en las propiedades del suelo y la erosión en Catalunya. Investigaciones del GRAM (Grup de Recerca Ambiental Mediterrània)", en Cerdà, A. y Mataix-Solera, J. (eds.) *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España: el estado de la cuestión visto por los científicos españoles*. Valencia: FUEGORED, Càtedra de Divulgació de la Ciència, Universitat de València, pp. 325-353.

Vallejo, R. y Alloza, J. A. (1998) "The restoration of burned lands: the case of eastern Spain", en Moreno, J. M. (ed.) *Large forest fires*. Leiden: Backhuys Publishers, pp. 91-108.

Vallejo, V. R. y Alloza, A. J. (2012) "Post-fire management in the mediterranean Basin", *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 58(2-3), pp. 251-264. doi:10.1560/IJEE.58.2-3.251.

Vallejo, V. R., Arianoutsou, M. y Moreira, F. (2012) "Fire Ecology and Post-Fire Restoration Approaches in Southern European Forest Types", en Moreira, F. *et al.* (eds.) *Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests*. Springer Dordrecht, pp. 93-119. doi:10.1007/978-94-007-2208-8.

Vega Hidalgo, J. A. (2016) "Prioridades de restauración de áreas forestales quemadas", *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 42, pp. 155-180.

Vega, J. A. (2007) "Bases ecológicas para la restauración preventiva de zonas quemadas", *Thematic Session 8- Restauración de zonas quemadas*, pp. 1-23.

Vega, J. A., Fontúrbel, T., Fernández, C., Arellano, A., Díaz-Raviña, M., Carballas, M. T., Martín, A., González-Prieto, S., Merino, A. y Benito, E. (2013) *Acciones urgentes contra la erosión en áreas forestales quemadas. Guía para su planificación en Galicia*. 1ª ed. Santiago de Compostela.

Velez Muñoz, R. (1986) "Incendios forestales y su relación con el medio rural", *Revista de Estudios Agro-sociales*, 136, pp. 195-224.

Westerling, A. L., Hidalgo, H. G., Cayan, D. R. y Swetnam, T. W. (2006) "Warming and earlier spring increase Western U.S. forest wildfire activity", *Science*, 313(5789), pp. 940-943. doi:10.1126/science.1128834.

WWF/Adena (2008) *Criterios de restauración de Zonas Incendiadas, Manuales de Desarrollo Sostenible*. Fundación Banco Santander.