



2025 | **16-20**
GIJÓN | **JUNIO**

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1722

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza





Revisión sistemática de los tratamientos de restauración forestal post-incendio implantados en la región mediterránea

MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ, M. (1), CAÑELLAS, I. (1), ERDOZAIN, M. (2), DE-MIGUEL, S. (3), ALBERDI, I. (1)

(1) Instituto de Ciencias Forestales (ICIFOR-INIA), CSIC. Crta. La Coruña km 7.5, 28040, Madrid, Spain (menendez.maria@inia.csic.es)

(2) Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya. Crta. Sant Llorenç de Morunys, km 2, 25280, Solsona, Lleida, Spain

(3) Universitat de Lleida. Pl. de Víctor Siurana, 1, 25003, Lleida, Spain

Resumen

Los bosques actúan como sumidero de carbono y son clave en la mitigación del cambio climático. La magnitud de los incendios, así como su duración e intensidad, se prevé que aumenten cada año, agravando más la situación en la zona mediterránea. Por ello la restauración forestal es fundamental para revertir la degradación de los ecosistemas y prevenir la pérdida de servicios ecosistémicos.

Se ha realizado una revisión sistemática de artículos publicados entre 1970 y 2023 en la región mediterránea. Partiendo de 515 artículos, tras la depuración, revisión y análisis de contenido, se han evaluado 108 que estaban centrados en tratamientos post-incendio.

El 90% de los estudios analizaron fuegos naturales, el 75% se realizaron en España y el 77% fueron restauraciones activas. La mayor parte de las restauraciones se centran en promover la regeneración de las especies y proteger el suelo frente a la erosión, a través fundamentalmente de siembra o aplicación de mulch. Sin embargo, la evolución de publicaciones no refleja el incremento de incendios ocurrido en los últimos años.

Esta revisión ha permitido conocer las actividades implementadas en las restauraciones post-incendio de la zona mediterránea en los últimos años y sentar las bases para futuras investigaciones en otras zonas.

Palabras clave

Restauración, perturbaciones forestales, erosión, degradación, indicadores, revisión bibliográfica

1. Introducción

Durante las últimas décadas, se ha observado un aumento en el número de incendios y superficies quemadas a nivel global (FLANNIGAN ET AL. 2009). BEDIA ET AL. (2014) también lo ha constatado a nivel del área mediterránea, y autores como MORENO ET AL. (1998) o PIÑOL ET AL. (1998) a nivel de España. En los países de la zona mediterránea, los principales factores que han motivado este cambio en el régimen de fuegos han sido el abandono rural y la reforestación de antiguas tierras agrícolas con masas puras (MOREIRA ET AL. 2012), que conllevan



una acumulación de combustible y una continuidad de la biomasa, tanto horizontal como vertical, especialmente cuando hay ausencia de gestión. Bajo el escenario de cambio climático que estamos viviendo actualmente, a estos factores se suma el efecto de los eventos climáticos extremos cada vez más frecuentes (FOUNDA & GIANNAKOPOULOS 2009; TOLIKA ET AL. 2009), que hacen más peligroso si cabe la acumulación de combustible porque en ocasiones el fuego se vuelve incontrolable (CUMMING 2001).

El impacto de los fuegos se hace más severo en los bosques mediterráneos debido a la peculiaridad de veranos cálidos y secos seguidos de las lluvias frecuentes y de gran intensidad que se producen en otoño (LUCAS-BORJA ET AL. 2018; SHAKESBY 2011). Este detalle hace que los cambios en la hidrología del suelo debidos al arrastre de cenizas y suelo después del fuego, aumenten el riesgo de pérdida de fertilidad en el mismo (MACHADO ET AL. 2015; HOSSEINI ET AL. 2018; SERPA ET AL. 2020) y de contaminación de aguas (BLADON ET AL. 2014; SANTÍN ET AL. 2015; SMITH ET AL. 2011) y de las alteraciones en las comunidades y funciones de ecosistemas fluviales (ERDOZAIN ET AL. 2024). Junto con esta peculiaridad, la cuenca mediterránea presenta también importantes interacciones entre el fuego y otras perturbaciones, como por ejemplo la sequía y las plagas, que aumentan el daño del propio fuego y la vulnerabilidad de todo el ecosistema forestal (DOBLAS-MIRANDA ET AL. 2017).

En este contexto, las estrategias de gestión post-incendio se basan en la reducción del impacto generado por el incendio a corto plazo (VIEIRA ET AL. 2016), y pueden ser cruciales para la recuperación del sistema a largo plazo (GONZÁLEZ-ROMERO ET AL. 2022). Estas estrategias post-incendio se pueden clasificar en tres categorías: estabilización de emergencia, rehabilitación y restauración (ROBICHAUD ET AL. 2008). Los tratamientos de estabilización de emergencia incluirían acciones como la aplicación de mulch para prevenir la erosión del suelo (LUCAS-BORJA ET AL. 2019). Mientras que las acciones de rehabilitación y restauración son actividades a más largo plazo centradas a menudo en componentes bióticos del ecosistema, sirviendo como ejemplos la recuperación natural de comunidades de plantas, el re-establecimiento de especies para pastoreo o producción de madera, o el mantenimiento de la biodiversidad (BESCHTA ET AL. 2004; HESSBURG & AGEE 2003). De hecho, la definición de la SER (SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL SCIENCE & POLICY WORKING GROUP 2004) de restauración la califica como el “proceso de asistencia a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido”. El objetivo fundamental que presenta la restauración es devolver el ecosistema a su condición histórica, aspecto éste bastante complicado en el contexto mediterráneo donde el ser humano lleva gestionando de forma muy intensa los paisajes desde hace cientos de años (MOREIRA ET AL. 2012). Sin embargo, en el caso de las zonas quemadas, deberíamos hablar más bien del concepto de rehabilitación, entendido como la reparación/recuperación de los procesos del ecosistema, la productividad del mismo o los servicios ecosistémicos que proporcionaban, pero no necesariamente como re-establecimiento del ecosistema que existía previamente, en términos de composición de especies por ejemplo. De hecho, ambos conceptos, restauración y rehabilitación comparten la idea del ecosistema de referencia, pero los objetivos y las estrategias para conseguirlo son ligeramente diferentes



(MOREIRA ET AL. 2012).

Como respuesta a la degradación medioambiental causada por las actividades humanas, las iniciativas de restauración se desarrollan desde diferentes puntos de vista con el objetivo fundamental de mitigar esos impactos y promover el aumento de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos (MCDONALD ET AL. 2016; GANN ET AL. 2019). Sin embargo, el enfoque utilizado varía dependiendo de factores como el ecosistema objetivo, los propios objetivos de la restauración o los recursos disponibles. (ATKINSON & BONSER 2020) dividieron estas aproximaciones en acciones de restauración activas o pasivas. Por un lado, se consideran restauraciones activas aquellas que suponen intervenciones directas, como la eliminación de especies invasoras, la plantación de vegetación, la reintroducción de especies o las enmiendas sobre el suelo (REY BENAYAS ET AL. 2009; MOREIRA ET AL. 2012; ANDERSEN ET AL. 2017). Por otro, las consideradas como restauraciones pasivas son aquellas que implican la interrupción de prácticas de uso de la tierra que contribuyen a la degradación ambiental (REY BENAYAS ET AL. 2009; ANDERSEN ET AL. 2017).

2. Objetivos

Dada la gran relevancia que están tomando los incendios forestales en todo el mundo y especialmente en el área mediterránea, nos hemos planteado la siguiente hipótesis: la evolución en el número de incendios se verá reflejada en la cantidad de estudios publicados por los diferentes países del área mediterránea. Partiendo de esta hipótesis, en este trabajo se ha querido recopilar la información publicada sobre los diferentes tipos de actuaciones post-incendio que plantean los principales países mediterráneos con el fin de restaurar una zona tras un incendio forestal. Junto con este objetivo principal, se han planteado los siguientes objetivos secundarios: i) conocer el tipo de restauración implementada en la zona mediterránea (activa versus pasiva); ii) analizar los objetivos de restauración planteados, junto con las iii) prácticas/actividades implementadas para llevar a cabo dicha restauración.

3. Metodología

En marzo 2024, se desarrolló un extenso meta-análisis de la literatura científica existente para la región mediterránea, utilizando Web of Science (Core collection of Web of Science). La combinación de palabras que se utilizó en la búsqueda fue: ((reforest* OR a restoration* OR reveget* OR rehabilit* OR rewilding* OR renaturaliz*) AND (post-fire* OR fire*) AND (Spain* OR Portugal* OR Italy* OR Greece* OR mediterranean*) AND (forest* OR broadleaved* OR conifer*)). Esta cadena resultó inicialmente en 532 artículos que se redujo a 512 tras la comprobación de que estuviera presente información sobre la revista y el resumen. Posteriormente, se utilizó la herramienta “Refine Results” de la propia Web of Science para excluir los libros, capítulos de libro, proceedings y material editorial. Además, se eliminaron también otros dos artículos cuya área geográfica de estudio era “toda Europa”. Se revisó el conjunto completo de resúmenes y se clasificó en base a la relevancia del estudio de acuerdo con los objetivos planteados en este trabajo. Los resúmenes en los que no se veía claramente la relevancia, fueron revisados por una segunda persona. Se realizó una última depuración para dejar únicamente aquellos trabajos en los que se trataran las actividades de restauración post-incendio, lo que resultó finalmente en un total de 108 artículos



para evaluar.

Estos artículos fueron examinados en detalle para extraer información sobre los proyectos de restauración post-incendio. La Tabla 1 muestra todos los aspectos, parámetros o niveles analizados en cada artículo.

Tabla 1. Aspectos, parámetros y niveles utilizados en la categorización de los estudios analizados

Aspecto	Nivel
País	País
Tipo de fuego	Natural, experimental, quema prescrita
Intensidad	En base a la definición de cada artículo analizado. Alta, moderada a alta, moderada, baja, irregular
Tipo de restauración	Activa (definición de (REY BENAYAS ET AL. 2008)); pasiva (definición de (MORRISON & LINDELL 2011))
Objetivo de la acción de restauración	En base a los propuestos en el trabajo de (MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ ET AL. 2024a, b) (Tabla A1 Anexo)
Actividad de restauración	Actividad implementada para restaurar la zona quemada. Sin intervención, vallado, infraestructuras, regeneración natural, semillado, plantación, aplicación de mulch, geotextil, enmienda química, enmienda orgánica, laboreo del suelo, aplicación de agua, experimento de predación de semillas.

4. Resultados 4.1. Descripción general de los estudios

El conjunto de artículos recopilados reveló un fuerte sesgo geográfico en el número de artículos publicados (Figura 1A). Cerca del 79% de los 108 artículos revisados estaban localizados en la Península Ibérica, siendo un 68% de ellos españoles y un 11% portugueses. Los otros países representados en el conjunto de datos, en orden decreciente de número de artículos, fueron Grecia, Italia, Turquía, Francia y Líbano (10%, 6%, 2%, 2% y 1%, respectivamente).

La evolución en el tiempo del número de estudios publicados en el área mediterránea mostró un patrón completamente diferente en función del país analizado. España ha mostrado una evolución uniforme en el número de publicaciones desde 1970, año en el que publicó el primer artículo recopilado en esta revisión. Sin embargo, el resto de países han mostrado picos puntuales en el número de publicaciones a lo largo del periodo de estudio, sin llegar a alcanzar nunca un tercio de las publicaciones localizadas en España. En 1994 se observó un incremento en el número de publicaciones en Francia, Grecia e Italia. De forma similar, entre 2002 y 2004, las publicaciones en Grecia, Portugal e Italia se incrementaron, mientras que en Turquía fue mucho más modesto el aumento en el número de artículos.

El análisis mostró claramente que los fuegos naturales son los más estudiados en la zona mediterránea en los últimos años, suponiendo el 90% del total. Por el contrario, los fuegos experimentales suponen un 2%, y las quemaduras prescritas un



8% de los estudios (Figura 1A). Los fuegos experimentales y las quemaduras prescritas presentaron la misma distribución en el análisis de la intensidad del fuego (Figura 1B). En ambos casos, los fuegos de alta intensidad y los irregulares supusieron el 50% de los estudios analizados. La mayor variabilidad, como era de esperar, se observó en los fuegos naturales. En este caso, el porcentaje de fuegos de alta intensidad fue similar a los casos anteriores (51%), mientras que el resto de intensidades observadas, en orden decreciente de frecuencia en aparición fue: intensidad moderada a alta (25%), moderada (12%), baja (8%), baja a moderada (2%), e irregular (2%).

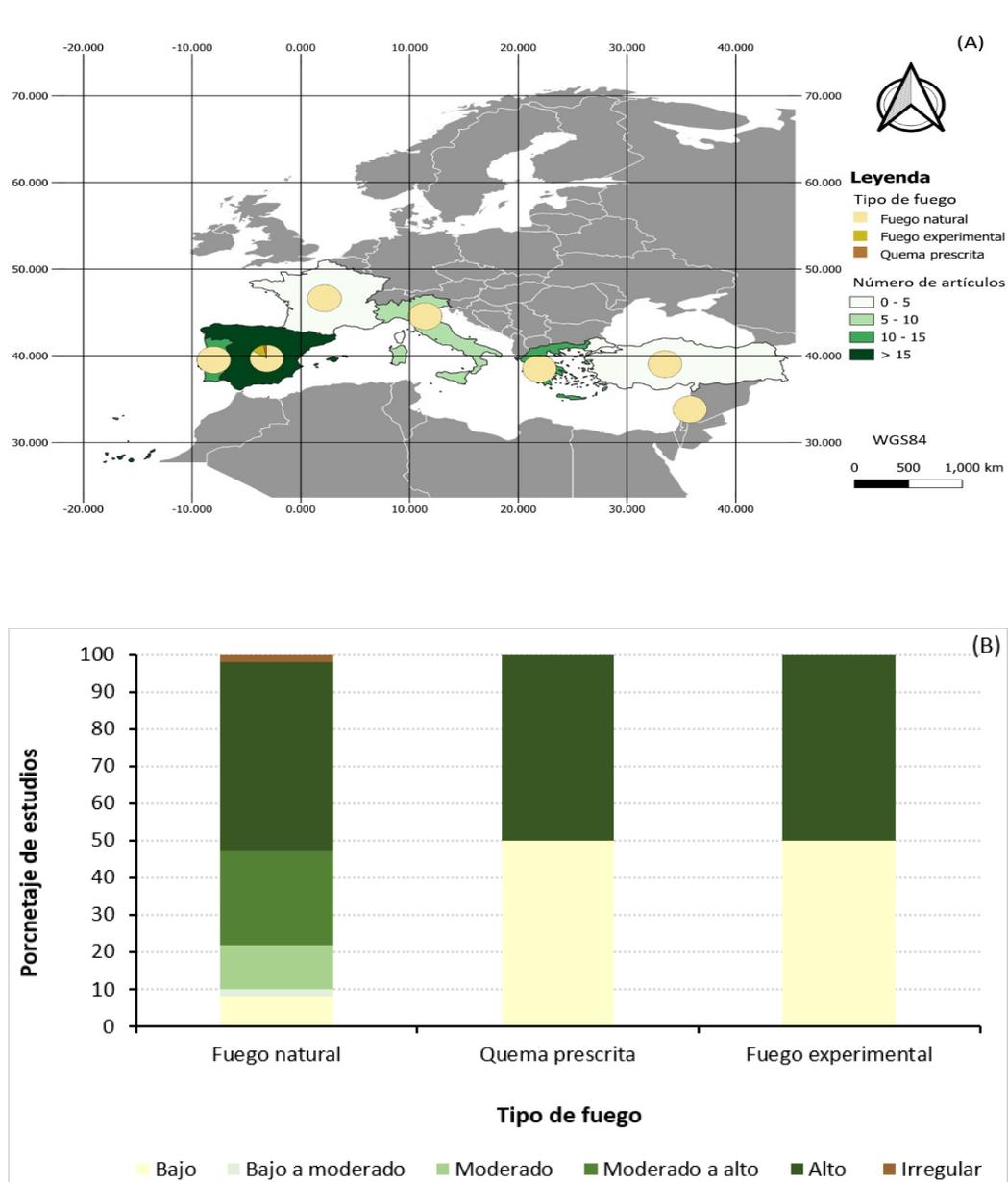


Figura 1. Perspectiva general de la base de datos. (A) Mapa del número de artículos según los países mediterráneos, junto con el tipo de fuego reportado en cada uno de ellos: fuego natural, fuego experimental y quema prescrita; (B) Intensidad del fuego: compara la intensidad de fuego.



4.2. Tipo de restauración y objetivo

Una vez tomada la decisión de llevar a cabo la restauración, tres cuartas partes de los estudios analizados (74%) implementaron una restauración activa, mientras que otra cuarta parte (25%) optó por una restauración pasiva. El porcentaje restante hasta el total (1%) decidió implementar ambas aproximaciones, diseñando diferentes zonas según el tipo de restauración. De entre los 22 posibles objetivos de restauración establecido en (MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ ET AL. 2024), el análisis realizado reveló que la mayoría de los estudios se centraban en mejorar (23% de los estudios) y proteger el suelo (21% de los estudios), así como promover la regeneración de plantas/árboles (21% de los estudios) (Figura 2). Los siguientes objetivos más repetidos fueron cambio en la composición de especies, e incremento de la resiliencia del ecosistema, cada uno representado por un 7% de los trabajos.

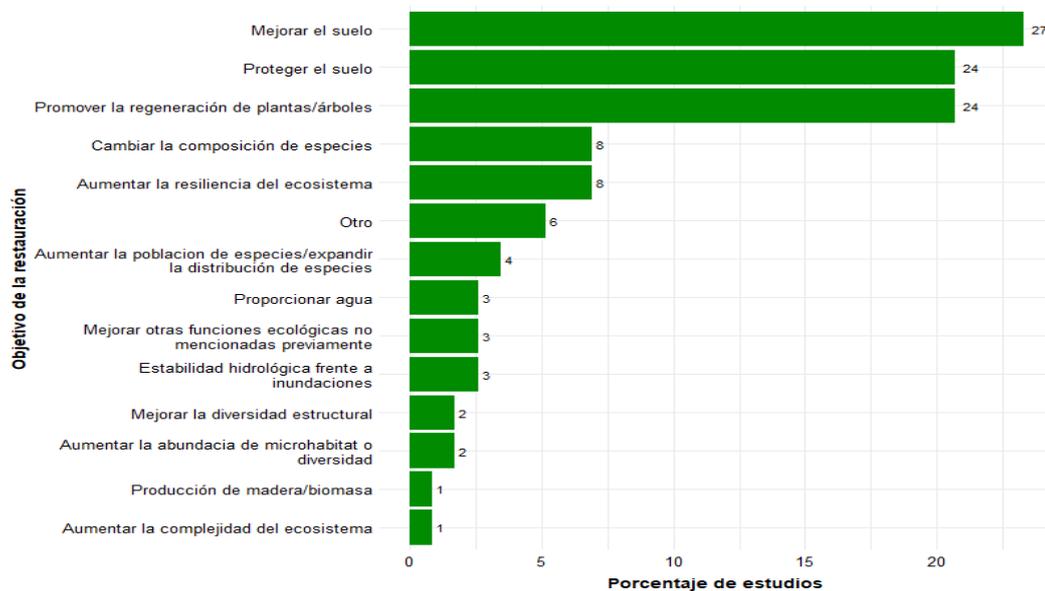


Figura 2. Distribución de los estudios analizados de acuerdo con el objetivo de la restauración. Los números que aparecen en cada barra representan el número exacto de estudios de cada objetivo.

4.3. Actividades de restauración

Todos los países, a excepción de Portugal, que ha centrado los esfuerzos fundamentalmente en la protección del suelo (28% de los estudios), han centrado los esfuerzos en desarrollar avances científicos en temas relacionados con actividades sobre la vegetación, con un 50% en Francia, 57% en Grecia, 75% en Italia y Turquía, 100% en Líbano, y 42% en España (Figura 3). Estas actividades incluyen plantación, semillado, y fomento de la regeneración natural. Por el contrario, como protección del suelo se han considerado actividades que previenen de forma activa la erosión del suelo a partir de la aplicación de mulch o la instalación de geotextiles. Dentro de la categoría denominada infraestructura, se

han encontrado estudios en Grecia (36%), Portugal (22%), Italia (13%) y España (12%). Esta categoría incluye acciones como vallados, barreras con troncos, diques de contención, o restos de troncos talados y colocados por zonas. En Francia, los esfuerzos en restauración tras un incendio se centran equitativamente en dos tipos de actividades: actividades relacionadas con la vegetación y acciones centradas en el suelo. Estas últimas incluyen actividades como la aplicación de enmiendas orgánicas o químicas, laboreo del suelo o aplicación de agua. Cuatro de los siete países estudiados no han realizado estudios científicos sobre ningún tipo de actividad de restauración en la zona quemada. Los porcentajes de estudios observados con esta “sin intervención” fueron: 25% en Turquía, 17% en España, 11% en Portugal y 7% en Grecia.

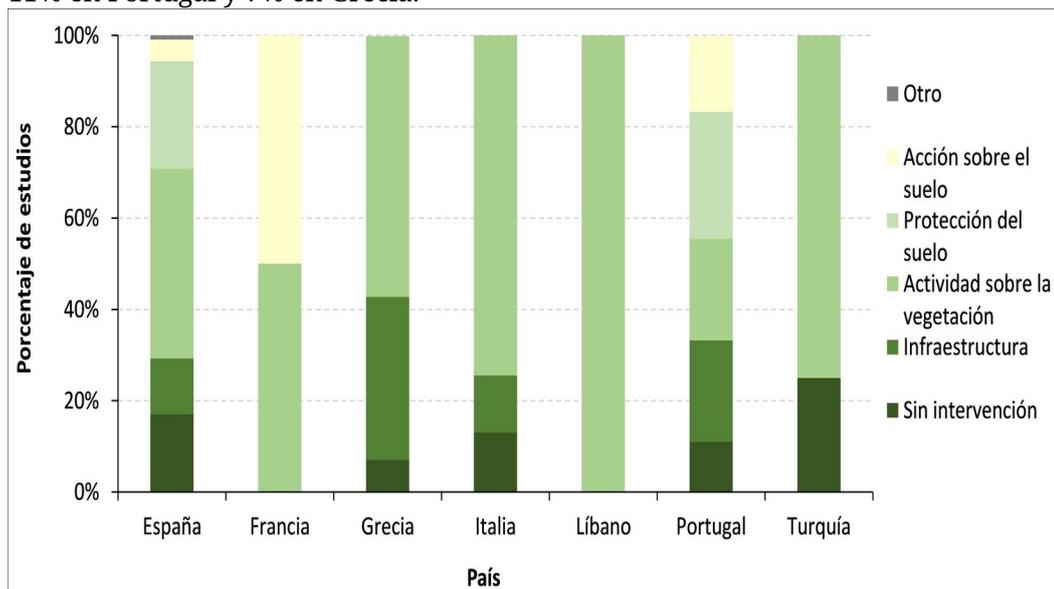


Figura 3. Distribución de las actividades de restauración por país.

El análisis en profundidad de los estudios centrados en actividades de restauración de vegetación reveló que sólo el 26% de los estudios optaron por introducir especies diferentes en la restauración. Cabe destacar que estos estudios se localizaron únicamente en plantaciones realizadas en Grecia (Figura 4). Por el contrario, aproximadamente tres cuartas partes de los estudios (74%) propusieron acciones de restauración utilizando la misma especie que se había quemado. Entre estos estudios, en Portugal los esfuerzos de restauración se dividieron equitativamente, un 50% de actividades dedicadas a plantación de árboles y otro 50% dedicado a regeneración natural de la masa. Sin embargo, todas las actividades de restauración implementadas en Francia y en el Líbano se centraron únicamente en promover la regeneración natural. En el caso de España, Grecia, Italia y Turquía se empleó una combinación de los tres tipos de actividad de restauración, variando las proporciones en cada uno de los países. En todos estos países, excepto en Turquía, se favoreció notablemente la regeneración natural frente a las otras dos actividades.

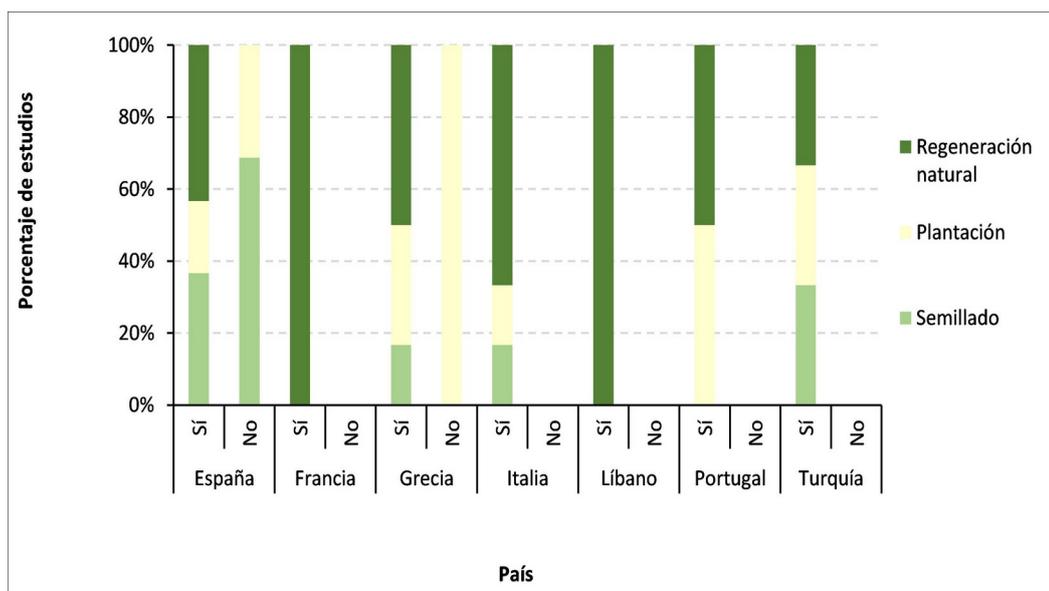


Figura 4. Distribución por países de los estudios realizados sobre los métodos de establecimiento de planta tras el fuego. Las clases sí/no indican si la especie utilizada es la misma que se quemó.

5. Discusión

Esta revisión bibliográfica de las actividades de restauración implementadas en zonas mediterráneas tras el paso del fuego reveló una gran variabilidad en la forma de afrontar la pérdida de vegetación en los diferentes países analizados, tanto desde el punto de vista del objetivo principal de la acción de restauración como en las actividades desarrolladas para llevar a cabo la recuperación del ecosistema.

Los resultados obtenidos permiten mejorar el conocimiento actual sobre las restauraciones desarrolladas en la zona mediterránea en los últimos años tras los incendios ocurridos, con aspectos como el tipo de fuego, los objetivos principales planteados o las actividades implementadas para llevar a cabo dichas restauraciones. La revisión sistemática de literatura científica presente en Web of Science explicada anteriormente y centrada en la evaluación de las actividades implementadas tras los incendios, ha permitido dar respuesta a los objetivos planteados en este trabajo hasta cierto punto. Sin embargo, uno de los principales retos de los estudios de revisión bibliográfica es dar cabida a la gran variabilidad de estudios existentes, ya que en muchos casos los trabajos pertenecen a literatura no científica o literatura gris, se publican en revistas de divulgación o son proyectos desarrollados a pequeña escala, como ya observaron autores como MARIOTTI ET AL. (2023), LAPIN ET AL. (2024).

La línea cronológica de publicaciones en los países mediterráneos analizados en esta revisión, claramente ha reflejado la tendencia creciente a lo largo del periodo de estudio (1970-2024). Sin embargo, el número de fuegos registrados y superficie quemada (Sistema Europeo de Información sobre Incendios Forestales, EFFIS en inglés) en los diferentes países no se ha visto reflejado directamente en el número de artículos científicos centrados en restauración post-incendio, y más



concretamente en actividades implementadas en la restauración tras el fuego. Un claro ejemplo son todas las restauraciones implementadas en Las Landas (Francia) en el periodo 1941-1949 tras la destrucción de 500.000 ha (GADANT 1987), en las que no se han encontrado publicaciones para este periodo. La realidad observada contradice completamente la hipótesis de partida planteada en este trabajo y en la que se esperaba ver claramente reflejada la realidad de los incendios ocurridos en un incremento en el número de publicaciones científicas al respecto. El análisis de los datos del Sistema Europeo de Información sobre Incendios Forestales (EFFIS, en inglés) para el periodo 2006-2004 (última consulta realizada 07-11-2024) mostró que Portugal era el país con mayor superficie quemada (más de 1.800.000 ha), seguido de cerca por España (1.500.000), y posteriormente por Italia, Grecia, Turquía, Francia y Líbano, en orden decreciente. Sin embargo, nuestra revisión sistemática reflejó que la mayor parte de los estudios de restauración post-incendio han sido desarrollados fundamentalmente en España, con un número acumulado a fecha de 2021 que cuadruplica los existentes en Portugal, Italia o Grecia.

Varios estudios han destacado la importancia de que el suelo mantenga unas buenas condiciones hidrológicas y topográficas que faciliten la recuperación de las funciones biogeoquímicas de los ecosistemas degradados tras los incendios (HOLL & ZAHAWI 2014; MORENO-MATEOS ET AL. 2015). MELI ET AL. (2017) observaron en su revisión bibliográfica una gran variabilidad en las tasas de recuperación de las zonas estudiadas tras restauraciones activas y pasivas, sin llegar a poder concluir que las restauraciones activas conseguían una mejor o más rápida recuperación tras la perturbación que las pasivas, incluso teniendo en cuenta también estudios que realizaban ambos tipos de restauración en la misma zona. Otros autores como MOREIREA ET AL. (2009) afirman que las restauraciones pasivas son una aproximación correcta cuando la estructura del ecosistema o los daños funcionales sufridos son limitados y la resiliencia del mismo alta. En nuestro caso, comparando únicamente el número de estudios con un tipo u otro de restauración, se ha observado claramente una mayor selección de restauraciones activas frente a pasivas (74 y 25%, respectivamente) en las actuaciones post-incendio de los diferentes países mediterráneos evaluados. Sin embargo, se han analizado también estudios en los que se planteaba una combinación de restauración activa y pasiva, como es el caso de trabajos realizados por ALBERT-BELDA ET AL. 2019 y LUCAS-BORJA ET AL. 2019 en los que se combinan barreras frente a la erosión junto con la aplicación de mulch para proporcionar una cubierta vegetal que aumenta la rugosidad de la superficie, particularmente con el fin de reducir el impacto a corto plazo de las precipitaciones intensas con gran probabilidad de erosión.

La elección de restauraciones activas frente a pasivas se vio también reflejada en los objetivos seleccionados para llevar a cabo la restauración del ecosistema tras los diferentes episodios de fuego analizados. En el conjunto de estudios evaluados, las restauraciones se centraron mayoritariamente en mejorar el suelo y protegerlo de la erosión, o promover la regeneración de las plantas/árboles (23, 21 y 21%, respectivamente). Los dos primeros objetivos podrían considerarse como restauraciones activas, frente al tercero de ellos que se englobaría dentro de una restauración pasiva. Sin embargo, hay que tener en cuenta un aspecto muy



importante y es que, en ocasiones, la decisión de llevar a cabo una restauración activa frente a una pasiva depende mucho de la especie desaparecida tras el incendio. Algunas especies que tras el incendio tienen la capacidad de regenerar de semilla (PAUSAS 2004), de rebrotar de los tocones quemados (ESPELTA ET AL. 2003), o de arbustos o herbáceas, están mucho más vinculadas a restauraciones pasivas que activas (MOREIRA ET AL. 2012).

Las alteraciones que produce el fuego sobre los ecosistemas modifican los ciclos biogeoquímicos, implican cambios en la calidad de las aguas, los procesos hidrológicos y geomorfológicos, la vegetación, el suelo, la fauna, e incluso la propia composición de la atmósfera (SHAKESBY & DOERR 2006). Esta variedad de alteraciones posteriores al fuego se ve claramente reflejadas en una variedad de actividades de restauración post-incendio observada en los estudios analizados, ya que diferentes trabajos han centrados sus esfuerzos en diferentes elementos del ecosistema. Pese a la gran afección que sufren los suelos tras el paso de los incendios, ha resultado llamativo que, ningún estudio de los desarrollados en Grecia, Italia, Líbano o Turquía plantearon investigar acciones sobre el suelo, ni directas mediante aplicación de algún tipo de enmienda o laboreo del suelo, ni de protección frente a la erosión mediante aplicación de mulch o colocación de geotextil. De hecho, las acciones de protección del suelo frente a la erosión en los estudios analizados únicamente se encontraron en trabajos realizados en España y Portugal, siendo mayor el número de estudios en los que se aplicaron diferentes tipos de mulch (entre otros FERNÁNDEZ 2021; CARMONA-YÁÑEZ ET AL. 2023), que aquellos en los que se colocaron geotextiles (GÓMEZ-REY ET AL. 2013; GONZÁLEZ-PELAYO ET AL. 2023).

Dentro del grupo de actividades post-incendio englobadas como infraestructuras, únicamente un estudio desarrollado en Portugal (SILVA ET AL. 2015) planteó la utilización de vallados para evaluar la recuperación de las plantas tras el incendio. El análisis de los trabajos recopilados ha permitido observar que fundamentalmente las actividades post-incendio vinculadas a infraestructuras son fundamentalmente barreras físicas construidas en muchas ocasiones con fustes y ramas de los árboles quemados en el incendio con el objetivo de reducir la superficie de escorrentía (ALBERT-BELDA ET AL. 2019), la erosión (GONZÁLEZ-ROMERO ET AL. 2021), el transporte de sedimentos (BASSO ET AL. 2022; GONZÁLEZ-ROMERO ET AL. 2022), o favorecer la acumulación de sedimentos para reducir la pérdida de materia orgánica en el suelo (MYRONIDIS ET AL. 2010; GONZÁLEZ-ROMERO ET AL. 2018; GÓMEZ-SÁNCHEZ ET AL. 2023).

Finalmente, el grupo de trabajos analizados sobre “actividad sobre la vegetación” resultó ser el mayoritario, incluyendo todas las posibles actividades de restauración post-incendio que se observó en los 7 países que formaron parte de la revisión bibliográfica, en mayor o menor medida. Todos los países de la zona mediterránea evaluados presentaron algún estudio en el que se planteaba la regeneración natural tras el incendio. Las especies estudiadas variaron desde *Pinus canariensis* Chr.Sm. ex DC, *P. pinaster* subs. *mesogeensis* Ait, *P. halepensis* Mill. o *P. nigra* J.F. Arnold en España (ARÉVALO ET AL. 2001; 2014; LEVERKUS ET AL. 2016; FUENTES ET AL. 2018; TABOADA ET AL., 2017; 2018); *Quercus coccifera* L.,



Q. robur L., *P. pinaster* o *P. sylvestris* L. en Portugal (PROENÇA ET AL. 2010; MEIRANETO ET AL. 2011); *P. brutia* en Líbano (HALABI ET AL. 2014); *P. halepensis* en Grecia (GOUDELIS ET AL. 2007); *P. sylvestris*, *P. halepensis*, *P. pinea*, *Q. ilex*, *Q. pubescens* Mill. o *Q. cerris* L. en Italia (MARZANO ET AL. 2013; MARCOLIN ET AL. 2019; LINGUA ET AL. 2023; SPATOLA ET AL. 2023); o *Q. pubescens* en Francia (LARCHEVÊQUE ET AL. 2008).

La utilización de plantación o semillado como actividad sobre la vegetación para la restauración de la zona quemada no fue la elección de ninguno de los trabajos evaluados procedentes de Francia ni del Líbano. Por el contrario, en el resto de países, con mayor o menor porcentaje se plantearon ambas opciones para reintroducir-introducir las especies tras el incendio, siendo éstas fundamentalmente las mismas que se quemaron. Únicamente trabajos desarrollados en Grecia o España decidieron plantar también la opción de utilizar especies diferentes a las que habían desaparecido en el incendio. En muchas ocasiones, la decisión de llevar a cabo una plantación o un semillado es cuestión del coste y del impacto ecológico, no siendo muy frecuentes los estudios que comparan ambos tipos de introducción de vegetación (ESPELTA ET AL. 2003). Otros autores como (CASTRO ET AL. 2011) han basado la elección del semillado en la reducción del déficit de agua existente para las semillas después del incendio, a partir de un proceso de facilitación en la reducción de radiación solar e incremento de la humedad en el suelo gracias a dejar ramas in situ y dispersar las semillas en esas zonas. Pese a ello, estudios como los desarrollados por BAEZA ET AL. (1991), VALLEJO ET AL. (2000) o ALLOZA & VALLEJO (2006) sí que han afirmado que en ambientes mediterráneos existe un shock post-trasplante debido a las duras condiciones de sequía y estrés hídrico, con una mayor mortalidad de las plantas, así como complicaciones en el establecimiento del sistema radicular de las mismas. De hecho, varios autores han reportado también un menor éxito en plantaciones de *P. nigra* en ambientes mediterráneos en comparación con los obtenidos en bosques templados o boreales (GEMMEL ET AL. 1996; GRAHAMM ET AL. 1989; ARCHIBOLD ET AL. 2000). Pese a estas diferencias y las conclusiones obtenidas en otros estudios, no se ha observado ningún patrón geográfico o de especies que haya permitido clasificar todos los estudios analizados en este trabajo en relación a la utilización de plantación o semillado para la restauración de las zonas quemadas.

6. Conclusiones

La revisión sistemática de literatura científica realizada evidencia que la mayoría de los estudios sobre restauraciones post-incendio en la región mediterránea se concentran en enfoques de restauración activa, destacándose España como el país con mayor producción científica en este ámbito. No obstante, no se ha encontrado una relación entre la cantidad de publicaciones científicas y la magnitud de los incendios en términos de frecuencia y superficie afectada en los países mediterráneos, lo que sugiere que numerosas restauraciones llevadas a cabo no se documentan ni se publican en forma de artículos científicos.

A pesar de esta brecha, los resultados de la revisión han permitido analizar los avances y limitaciones en los tratamientos post incendio implementados hasta la



fecha, así como identificar áreas que requieren mayor investigación. Entre estas lagunas destaca la falta de estudios que evalúen a largo plazo la efectividad de las estrategias aplicadas, y la necesidad de abordar enfoques integrales que combinen restauraciones activas y pasivas.

Además, el análisis conjunto de las experiencias documentadas en diferentes países proporciona una base sólida para identificar problemas comunes y extrapolar aprendizajes valiosos. Este enfoque colaborativo podría facilitar la creación de estrategias más eficientes, adaptadas a las características específicas de la región mediterránea y enfocadas a mitigar los efectos del cambio climático, prevenir la erosión del suelo y promover la resiliencia de los ecosistemas frente a futuros incendios.

7. Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada mediante el Proyecto SUPERB H2020-LC-GD-2020 (Grant Agreement number 101036849) y el Proyecto Recopilación de casos de éxito en restauración y adaptación forestal en España (REFORADAPT) de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través de la Convocatoria de subvenciones para la realización de proyectos que contribuyen a implementar el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2021-2030).

8. Bibliografía

ALBERT-BELDA, E.; BERMEJO-FERNÁNDEZ, A.; CERDÀ, A.; TAGUAS, E. V.; 2019. The use of Easy-Barriers to control soil and water losses in fire-affected land in Quesada, Andalusia, Spain. *Science of the Total Environment* 690, 480–491. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.303>

ALLOZA, J.A.; VALLEJO, R.; 2006. Restoration of burned areas in forest management plans, in: Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue. pp. 475–488.

ANDERSEN, R.; FARRELL, C.; GRAF, M.; MULLER, F.; CALVAR, E.; FRANKARD, P.; CAPORN, S.; ANDERSON, P.; 2017. An overview of the progress and challenges of peatland restoration in Western Europe. *Restor Ecol* 25, 271–282. <https://doi.org/10.1111/rec.12415>

ARCHIBOLD, O.W.; ACTON, C.; RIPLEY, E.A.; 2000. Effect of site preparation on soil properties and vegetation cover, and the growth and survival of white spruce (*Picea glauca*) seedlings, in Saskatchewan. *For Ecol Manage* 131, 127–141.

ARÉVALO, J.R.; FERNÁNDEZ-LUGO, S.; GARCÍA-DOMÍNGUEZ, C.; NARANJO-CIGALA, A.; GRILLO, F.; CALVO, L.; 2014. Prescribed burning and clear-cutting effects on understory vegetation in a *Pinus canariensis* stand (Gran Canaria). *Scientific World Journal* 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/215418>



ARÉVALO, J.R.; FERNÁNDEZ-PALACIOS, J.M.; JIMÉNEZ, M.J.; GIL, P.; 2001. The effect of fire intensity on the understory species composition of two *Pinus canariensis* reforested stands in Tenerife (Canary islands). *For Ecol Manage* 148, 21–29. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00478-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00478-3)

ATKINSON, J.; BONSER, S.P.; 2020. “Active” and “passive” ecological restoration strategies in meta-analysis. *Restor Ecol* 28, 1032–1035. <https://doi.org/10.1111/rec.13229>

BAEZA, J.M.; PASTOR, A.; MARTÍN, J.; IBÁÑEZ, M.; 1991. Mortalidad postimplantación en repoblaciones de *Pinus halepensis*, *Quercus ilex*, *Ceratonia siliqua* y *Tetraclinis articulata* en la provincia de Alicante. *Studia Oecolog.* 8, 139–146.

BASSO, M.; SERPA, D.; ROCHA, J.; MARTINS, M.A.S.; KEIZER, J.; VIEIRA, D.C.S.; 2022. A modelling approach to evaluate land management options for recently burnt catchments. *Eur J Soil Sci* 73, 1–19. <https://doi.org/10.1111/ejss.13275>

BEDIA, J.; HERRERA, S.; CAMIA, A.; MORENO, J.M.; GUTIÉRREZ, J.M.; 2014. Forest fire danger projections in the Mediterranean using ENSEMBLES regional climate change scenarios. *Clim Change* 122, 185–199. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-1005-z>

BESCHTA, R.L.; RHODES, J.J.; KAUFFMAN, J.B.; GRESSWELL, R.E.; MINSHALL, G.W.; KARR, J.R.; PERRY, D.A.; HAUER, F.R.; FRISSELL, C.A.; 2004. Postfire management on forested public lands of the western United States. *Conservation Biology*. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00495.x>

BLADON, K.D.; EMELKO, M.B.; SILINS, U.; STONE, M.; 2014. Wildfire and the future of water supply. *Environ Sci Technol* 48, 8936–8943. <https://doi.org/10.1021/es500130g>

CARMONA-YÁÑEZ, M.D.; FRANCOS, M.; MIRALLES, I.; SORIA, R.; AHANGARKOLAAEE, S.S.; VAFIE, E.; ZEMA, D.A.; LUCAS-BORJA, M.E.; 2023. Short-term impacts of wildfire and post-fire mulching on ecosystem multifunctionality in a semi-arid pine forest. *For Ecol Manage* 541. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121000>

CASTRO, J.; ALLEN, C.D.; MOLINA-MORALES, M.; MARAÑÓN-JIMÉNEZ, S.; SÁNCHEZ-MIRANDA, Á.; ZAMORA, R.; 2011. Salvage Logging Versus the Use of Burnt Wood as a Nurse Object to Promote Post-Fire Tree Seedling Establishment. *Restor Ecol* 19, 537–544. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2009.00619.x>

CUMMING, S.G.; 2001. Forest type and wildfire in the Alberta boreal mixedwood: What do fires burn? *Ecological Applications* 11(1), 97–110.



DOBLAS-MIRANDA, E.; ALONSO, R.; ARNAN, X.; BERMEJO, V.; BROTONS, L.; DE LAS HERAS, J.; ESTIARTE, M.; HÓDAR, J.A.; LLORENS, P.; LLORET, F.; LÓPEZ-SERRANO, F.R.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; MOYA, D.; PEÑUELAS, J.; PINO, J.; RODRIGO, A.; ROURA-PASCUAL, N.; VALLADARES, F.; VILÀ, M.; ZAMORA, R.; RETANA, J.; 2017. A review of the combination among global change factors in forests, shrublands and pastures of the Mediterranean Region: Beyond drought effects. *Glob Planet Change*. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.11.012>

ELENA GÓMEZ-SÁNCHEZ, M.; NAVIDI, M.; ORTEGA, R.; SORIA, R.; MIRALLES, I.; DOLORES CARMONA-YÁÑEZ, M.; GARRIDO-GALLEGO, P.; PLAZA ÀLVAREZ, P.; MOYA, D.; DE LAS HERAS, J.; ZEMA, D.A.; ESTEBAN LUCAS-BORJA, M.; 2023. Medium-term associations of soil properties and plant diversity in a semi-arid pine forest after post-wildfire management. *For Ecol Manage* 545. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121163>

ERDOZAIN, M.; ALBERDI, I.; ASZALÓS, R.; ..., DE-MIGUEL, S.; 2024. The Evolution of Forest Restoration in Europe: A Synthesis for a Step Forward Based on National Expert Knowledge. *Curr For Rep* 11:4. doi: 10.1007/s40725-024-00235-3

ESPELTA, J.M.; RETANA, J.; HABROUK, A.; 2003. An economic and ecological multi-criteria evaluation of reforestation methods to recover burned *Pinus nigra* forests in NE Spain. *For Ecol Manage* 180, 185–198. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00599-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00599-6)

FERNÁNDEZ, C.; 2021. Medium-term effects of straw helimulching on post-fire vegetation recovery in shrublands in north-west Spain. *Int J Wildland Fire* 30, 301–305. <https://doi.org/10.1071/WF20092>

FLANNIGAN, M.D.; KRAWCZUK, M.A.; DE GROOT, W.J.; WOTTON, B.M.; GOWMAN, L.M.; 2009. Implications of changing climate for global wildland fire. *Int J Wildland Fire* 18, 483–507. <https://doi.org/10.1071/WF08187>

FOUNDA, D.; GIANNAKOPOULOS, C.; 2009. The exceptionally hot summer of 2007 in Athens, Greece - A typical summer in the future climate? *Glob Planet Change* 67, 227–236. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.03.013>

FUENTES, L.; DUGUY, B.; NADAL-SALA, D.; 2018. Short-term effects of spring prescribed burning on the understory vegetation of a *Pinus halepensis* forest in Northeastern Spain. *Science of the Total Environment* 610–611, 720–731. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.050>

GADANT, J.; 1987. La forêt et le reboisement dans l'aménagement du territoire rural 39, 68–73. <https://doi.org/10.4267/2042/25852i>



GANN, G.D.; MCDONALD, T.; WALDER, B.; ARONSON, J.; NELSON, C.R.; HALLETT, J.G.; EISENBERG, C.; GUARIGUATA, M.R.; LIU, J.; ECHEVERRÍA, C.; GONZALES, E.; SHAW, N.; DECLEER, K.; DIXON, K.W.; 2019. International standards and principles for the practice of Ecological Restoration, Second. ed.

GEMMEL, P.; NILSSON, U.; WELANDER, T.; 1996. Development of oak and beech seedlings planted under varying shelterwood densities and with different site preparation methods in southern Sweden, *New Forests*. Kluwer Academic Publishers.

GÓMEZ-REY, M.X.; MADEIRA, M.; GONZALEZ-PRIETO, S.J.; COUTINHO, J.; 2013. Soil C and N dynamics in a Mediterranean oak woodland with shrub encroachment. *Plant Soil* 371, 339–354. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1695-z>

GONZÁLEZ-PELAYO, O.; PRATS, S.A.; AMD, V.; DCS, V.; MAIA, P.; KEIZER, J.J.; 2023. Impacts of barley (*Hordeum vulgare* L.) straw mulch on post-fire soil erosion and ground vegetation recovery in a strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) stand. *Ecol Eng* 195. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107074>

GONZÁLEZ-ROMERO, J.; LÓPEZ-VICENTE, M.; GÓMEZ-SÁNCHEZ, E.; PEÑA-MOLINA, E.; GALLETERO, P.; PLAZA-ÁLVAREZ, P.; FAJARDO-CANTOS, A.; MOYA, D.; DE LAS HERAS, J.; LUCAS-BORJA, M.E.; 2022. Post-fire management effects on hillslope-stream sediment connectivity in a Mediterranean forest ecosystem. *J Environ Manage* 316. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115212>

GONZÁLEZ-ROMERO, J.; LÓPEZ-VICENTE, M.; GÓMEZ-SÁNCHEZ, E.; PEÑA-MOLINA, E.; GALLETERO, P.; PLAZA-ÁLVAREZ, P.; MOYA, D.; DE LAS HERAS, J.; LUCAS-BORJA, M.E.; 2021. Post-fire management effects on sediment (dis)connectivity in Mediterranean forest ecosystems: Channel and catchment response. *Earth Surf Process Landf* 46, 2710–2727. <https://doi.org/10.1002/esp.5202>

GONZÁLEZ-ROMERO, J.; LUCAS-BORJA, M.E.; PLAZA-ÁLVAREZ, P.A.; SAGRA, J.; MOYA, D.; DE LAS HERAS, J.; 2018. Temporal effects of post-fire check dam construction on soil functionality in SE Spain. *Science of the Total Environment* 642, 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.052>

GOUDELIS, G.; GANATSAS, P.P.; SPANOS, I.; KARPI, A.; 2007. Effect of repeated fire on plant community recovery in Penteli, central Greece, in: Stokes et al. (Ed.), *Eco and Ground Bio-Engineering: The Use of Vegetation to Improve Slope Stability*. pp. 337–343.

GRAHAM, R.T.; HARVEY, A.E.; JURGENSEN, M.F.; 1989. Effect of site preparation on survival and growth of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziessi* Mirb. Franco.) seedlings.



New Forests 3(1): 89-98. doi: 10.1007/BF00128903

HALABI, A. EL.; MITRI, G.; JAZI, M.; 2014. Monitoring post-fire forest regeneration of *Pinus brutia* in North Lebanon, in: *Advances in Forest Fire Research*. Imprensa da Universidade de Coimbra, pp. 564–568. https://doi.org/10.14195/978-989-26-0884-6_64

HESSBURG, P.F.; AGEE, J.K.; 2003. An environmental narrative of Inland Northwest United States forests, 1800-2000, in: *For Ecol Manage*. Elsevier, pp. 23–59. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00052-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00052-5)

HOLL, K.D.; ZAHAWI, R.A.; 2014. Factors explaining variability in woody above-ground biomass accumulation in restored tropical forest. *For Ecol Manage* 319, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.01.024>

HOSSEINI, M.; NUNES, J.P.; PELAYO, O.G.; KEIZER, J.J.; RITSEMA, C.; GEISSEN, V.; 2018. Developing generalized parameters for post-fire erosion risk assessment using the revised Morgan-Morgan-Finney model: A test for north-central Portuguese pine stands. *Catena* (Amst) 165, 358–368. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.02.019>

LAPIN, K.; HOFFMANN, J.; DYDERSKI, M.; LAKATOS, F.; MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ, M.; DE-MIGUEL, S.; ERDOZAIN, M.; SVENSSON, J.; WERDEN, L.; CAÑELLAS, I.; ZORIC, M.; ALBERDI, I.; 2024. Challenges, Motivations, and Perspectives of Practitioners on Forest Restoration across Seven European Countries. *Restoration Ecology* (under review)

LARCHEVÊQUE, M.; MONTÈS, N.; BALDY, V.; BALLINI, C.; 2008. Can compost improve *Quercus pubescens* Willd establishment in a Mediterranean post-fire shrubland? *Bioresour Technol* 99, 3754–3764. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.07.019>

LEVERKUS, A.B.; BENAYAS, J.M.R.; CASTRO, J.; 2016. Shifting demographic conflicts across recruitment cohorts in a dynamic post-disturbance landscape. *Ecology* 97, 2628–2639. <https://doi.org/10.1002/ecy.1527>

LINGUA, E.; MARQUES, G.; MARCHI, N.; GARBARINO, M.; MARANGON, D.; TACCALITI, F.; MARZANO, R.; 2023. Post-Fire Restoration and Deadwood Management: Microsite Dynamics and Their Impact on Natural Regeneration. *Forests* 14. <https://doi.org/10.3390/f14091820>

LUCAS-BORJA, M.E.; CALSAMIGLIA, A.; FORTESA, J.; GARCÍA-COMENDADOR, J.; LOZANO GUARDIOLA, E.; GARCÍA-ORENES, F.; GAGO, J.; ESTRANY, J.; 2018. The role of wildfire on soil quality in abandoned terraces of three Mediterranean micro-



catchments. *Catena* (Amst) 170, 246–256.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.06.014>

LUCAS-BORJA, M.E.; GONZÁLEZ-ROMERO, J.; PLAZA-ÁLVAREZ, P.A.; SAGRA, J.; GÓMEZ, M.E.; MOYA, D.; CERDÀ, A.; DE LAS HERAS, J.; 2019. The impact of straw mulching and salvage logging on post-fire runoff and soil erosion generation under Mediterranean climate conditions. *Science of the Total Environment* 654, 441–451.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.161>

MACHADO, A.I.; SERPA, D.; FERREIRA, R.V.; RODRÍGUEZ-BLANCO, M.L.; PINTO, R.; NUNES, M.I.; CERQUEIRA, M.A.; KEIZER, J.J.; 2015. Cation export by overland flow in a recently burnt forest area in north-central Portugal. *Science of the Total Environment* 524–525, 201–212. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.026>

MARCOLIN, E.; MARZANO, R.; VITALI, A.; GARBARINO, M.; LINGUA, E.; 2019. Post-fire management impact on natural forest regeneration through altered microsite conditions. *Forests* 10. <https://doi.org/10.3390/f10111014>

MARIOTTI, B.; OLIET, J.A.; ANDIVIA, E.; TSAKALDIMI, M.; VILLAR-SALVADOR, P.; IVETIĆ, V.; MONTAGNOLI, A.; JANKOVIĆ, I.K.; BILIR, N.; BOHLENIUS, H.; CVJETKOVIĆ, B.; DŪMIŇŠ, K.; HEISKANEN, J.; HINKOV, G.; FLØISTAD, I.S.; COCOZZA, C.; 2023. A Global Review on Innovative, Sustainable, and Effective Materials Composing Growing Media for Forest Seedling Production. *Curr For Rep*. <https://doi.org/10.1007/s40725-023-00204-2>

MARZANO, R.; GARBARINO, M.; MARCOLIN, E.; PIVIDORI, M.; LINGUA, E.; 2013. Deadwood anisotropic facilitation on seedling establishment after a stand-replacing wildfire in Aosta Valley (NW Italy). *Ecol Eng* 51, 117–122. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.030>

MCDONALD, T.; D.GANN, G.; JONSON, J.; DIXON, K.W.; 2016. International Standards for the practice of ecological restoration-including principles and key concepts. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3645563>

MEIRA-NETO, J.A.A.; CLEMENTE, A.; OLIVEIRA, G.; NUNES, A.; CORREIA, O.; 2011. Post-fire and post-quarry rehabilitation successions in Mediterranean-like ecosystems: Implications for ecological restoration. *Ecol Eng* 37, 1132–1139. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.02.008>

MELI, P.; HOLL, K.D.; BENAYAS, J.M.R.; JONES, H.P.; JONES, P.C.; MONTOYA, D.; MATEOS, D.M.; 2017. A global review of past land use, climate, and active vs. passive restoration effects on forest recovery. *PLoS One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171368>



MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ, M.; RUBIO-CUADRADO, A.; CAÑELLAS, I.; ERDOZAIN, M.; DE MIGUEL, S.; LAPIN, K.; HOFFMANN, J.; WERDEN, L.; ALBERDI, I.; 2024a. How to measure outcomes in forest restoration? A European review of success and failure indicators. *Frontiers in Forests and Global Change* 7, 16. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1420127>

MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ, M.; RUBIO-CUADRADO, A.; BAUHUS, J.; ...; ALBERDI, I.; 2024b. A comprehensive analysis of forest restoration practices across Europe: Ecological, economic, social and policy dimensions. *Ecological indicators* (under review)

MOREIRA, F.; ARIANOUTSOU, M.; CORONA, P.; DE LAS HERAS, J. (EDS.); 2012. Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests. *Managing Forest Ecosystems*. Springer Dordrecht Heidelberg London. New York. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-2208-8>

MOREIRA, F.; CATRY, F.; LOPES, T.; BUGALHO, M.N.; REGO, F.; 2009. Comparing survival and size of resprouts and planted trees for post-fire forest restoration in central Portugal. *Ecol Eng* 35, 870–873. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.12.017>

MORENO, J.M.; VÁZQUEZ, A.; VÉLEZ, R.; 1998. Recent history of forest fires in Spain, in: MORENO, J.M. (ED.), *Large Forest Fires*. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, pp. 159–85.

MORENO-MATEOS, D.; MELI, P.; VARA-RODRÍGUEZ, M.I.; ARONSON, J.; 2015. Ecosystem response to interventions: Lessons from restored and created wetland ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 52, 1528–1537. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12518>

MORRISON, E.B.; LINDELL, C.A.; 2011. Active or Passive Forest Restoration? Assessing Restoration Alternatives with Avian Foraging Behavior. *Restor Ecol* 19, 170–177. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00725.x>

MYRONIDIS, D.I.; EMMANOULOU, D.A.; MITSOPOULOS, I.A.; RIGGOS, E.E.; 2010. Soil Erosion Potential after Fire and Rehabilitation Treatments in Greece. *Environmental Modeling and Assessment* 15, 239–250. <https://doi.org/10.1007/s10666-009-9199-1>

PAUSAS, J.G.; 2004. Changes in fire and climate in the Eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin). *Clim Change* 350.

PIÑOL, J.; TERRADAS, J.; LLORET, F.; 1998. Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Clim Change* 38, 345–357.



PROENÇA, V.; PEREIRA, H.M.; VICENTE, L.; 2010. Resistance to wildfire and early regeneration in natural broadleaved forest and pine plantation. *Acta Oecologica* 36, 626–633. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2010.09.008>

REY BENAYAS, J.M.; BULLOCK, J.M.; NEWTON, A.C.; 2008. Creating woodland islets to reconcile ecological restoration, conservation, and agricultural land use. *Front Ecol Environ*. <https://doi.org/10.1890/070057>

REY BENAYAS, J.M.; NEWTON, A.C.; DIAZ, A.; BULLOCK, J.M.; 2009. Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: A meta-analysis. *Science* (1979) 325, 1121–1124. <https://doi.org/10.1126/science.1172460>

ROBICHAUD, P.R.; WAGENBRENNER, J.W.; BROWN, R.E.; WOHLGEMUTH, P.M.; BEYERS, J.L.; 2008. Evaluating the effectiveness of contour-felled log erosion barriers as a post-fire runoff and erosion mitigation treatment in the western United States. *Int J Wildland Fire* 17, 255–273. <https://doi.org/10.1071/WF07032>

SANTÍN, C.; DOERR, S.H.; OTERO, X.L.; CHAFER, C.J.; 2015. Quantity, composition and water contamination potential of ash produced under different wildfire severities. *Environ Res* 142, 297–308. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.06.041>

SERPA, D.; FERREIRA, R.V.; MACHADO, A.I.; CERQUEIRA, M.A.; KEIZER, J.J.; 2020. Mid-term post-fire losses of nitrogen and phosphorus by overland flow in two contrasting eucalypt stands in north-central Portugal. *Science of the Total Environment* 705. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135843>

SHAKESBY, R.A.; 2011. Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions. *Earth Sci Rev* 105, 71–100. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.01.001>

SHAKESBY, R.A.; DOERR, S.H.; 2006. Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth Sci Rev* 74, 269–307. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2005.10.006>

SILVA, J.S.; CATRY, F.X.; MOREIRA, F.; BUGALHO, M.N.; 2015. The effects of deer exclusion on the development of a Mediterranean plant community affected by a wildfire. *Restor Ecol* 23, 760–767. <https://doi.org/10.1111/rec.12242>

SMITH, H.G.; SHERIDAN, G.J.; LANE, P.N.J.; NYMAN, P.; HAYDON, S.; 2011. Wildfire effects on water quality in forest catchments: A review with implications for water supply. *J Hydrol (Amst)*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.10.043>

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL SCIENCE & POLICY



WORKING GROUP; 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration.

SPATOLA, M.F.; BORGHETTI, M.; NOLE, A.; 2023. Elucidating factors driving post-fire vegetation recovery in the Mediterranean forests using Landsat spectral metrics. *Agric For Meteorol* 342. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109731>

TABOADA, A.; FERNÁNDEZ-GARCÍA, V.; MARCOS, E.; CALVO, L., 2018. Interactions between large high-severity fires and salvage logging on a short return interval reduce the regrowth of fire-prone serotinous forests. *For Ecol Manage* 414, 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.02.013>

TABOADA, A.; TÁRREGA, R.; MARCOS, E.; VALBUENA, L.; SUÁREZ-SEOANE, S.; CALVO, L.; 2017. Fire recurrence and emergency post-fire management influence seedling recruitment and growth by altering plant interactions in fire-prone ecosystems. *For Ecol Manage* 402, 63–75. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.07.029>

TOLIKA, K.; MAHERAS, P.; TEGOULIAS, I.; 2009. Extreme temperatures in Greece during 2007: Could this be a “return to the future”? *Geophys Res Lett* 36, 1–5. <https://doi.org/10.1029/2009GL038538>

VALLEJO, V.R.; BAUTISTA, S.; CORTINA, J.; 2000. Restoration for soil protection after disturbances. In: Trabaud, L. (Ed.), *Life and Environment in the Mediterranean*. WIT Press, Boston, pp. 301–343.

VIEIRA, D.C.S.; MALVAR, M.C.; FERNÁNDEZ, C.; SERPA, D.; KEIZER, J.J.; 2016. Annual runoff and erosion in a recently burned Mediterranean forest – The effects of plowing and time-since-fire. *Geomorphology* 270, 172–183. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.06.042>

9. Anexo

Tabla A1. *Objetivos de restauración establecidos en el artículo Menéndez-Miguélez et al. (2024)*

ID	OBJETIVO DE LA RESTAURACIÓN
1	Aumentar la población de especies/expandir la distribución de especies
2	Cambiar la composición de especies
3	Promover la regeneración de plantas/árboles
4	Mejorar la diversidad estructural
5	Aumentar la abundancia de microhábitat o diversidad
6	Promover hábitats de interés
7	Proteger el suelo
8	Mejorar el suelo
9	Proporcionar agua

MT 6: FUEGO Y OTROS RIESGOS ABIÓTICOS



10	Calidad de agua
11	Estabilidad hidrológica frente a inundaciones
12	Aumentar la resiliencia del ecosistema
13	Aumentar la complejidad del ecosistema
14	Aumentar la conectividad del ecosistema
15	Mejorar otras funciones ecológicas no mencionadas previamente
16	Producción de madera/biomasa
17	Captura de CO ₂
18	Mejorar el abastecimiento de productos forestales no maderables
19	Mitigación de la contaminación
20	Control local del clima
21	Salud humana y bienestar

Nota. Los objetivos marcados en gris claro no se han encontrado en ninguno de los trabajos analizados en esta revisión sistemática.